METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

89

HELSINKI 1978

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

89

HELSINKI 1978

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

89

89.1 Kärkkäinen, M. 1976. Havutukkien painomittauksen edellytyksiä puutieteelliseltä kannalta. Summary: Wood science prerequisites for the weight measurement of pine and spruce logs .... 1—59

89.2 Keipi, K. 1977. Transfer pricing for log allocation in a decentralized forest products firm. Seloste: Hajautetun metsäteollisuusyrityksen sisäinen raakapuun siirtohinnoittelu ..... 1—114

89.3 Uusvaara, O. & Löyttyniemi, K. 1977. The effect of injuries caused by summer storage of sawlogs on the quality and value of sawn timber. Seloste: Sahapuun kesävarastoinnista aiheutuvien varastovikojen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon ..... 1—61

89.4 Harstela, P. 1977. Ergonomic and technic aspects of bunching round timber in thinnings. Seloste: Kasauksen ergonomia ja teknologia harvennushakkuissa ..... 1—37

89.5 Heikkilä, R. 1977. Eläimet kylvetyn männyn ja kuusen siemenen tuhoojina Pohjois-Suomessa. Summary: Destruction caused by animals to sown pine and spruce seed in North Finland ..... 1—35

89.6 Löyttyniemi, K. & Uusvaara, O. 1977. Insect attack on pine and spruce sawlogs felled during the growing season. Seloste: Hyönteisten merkitys kasvukauden aikana valmistettujen mänty- ja kuusisahatukkien pilaantumisessa ..... 1—48

HAVUTUKKIEN PAINOMITTAUKSEN EDELLYTYKSIÄ PUUTIETEELLISELTÄ KANNALTA

MATTI KÄRKKÄINEN

SUMMARY

WOOD SCIENCE
PREREQUISITES FOR THE WEIGHT MEASUREMENT OF
PINE AND SPRUCE LOGS

HELSINKI 1976

ISBN 951-40-0239-9
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

Alkusanat 4

Merkinnät 5

1. Johdanto 6

2. Tuoretiheyden vaihtelu 7

21. Määritelmiä ja lähtökohta 7

22. Puuaineen kuiva-tuoretiheys 8

221. Mänty 8

222. Kuusi 10

223. Johtopäätöksiä puutavaran punnituksen kannalta 11

23. Sydänpuuosuus 12

231. Mänty 12

232. Kuusi 14

233. Johtopäätöksiä painomittauksen kannalta 14

24. Puuaineen kosteus 18

241. Kosteuden käsite ja luonne 18

242. Mänty 18

243. Kuusi 21

25. Tuoretiheys 23

251. Tuoretiheyden riippuvuus eri tekijöistä 23

252. Mänty 29

253. Kuusi 32

26. Oksien ja muiden vikojen vaikutus tuoretiheyteen 34

261. Rungon sisässä olevat oksat 34

262. Lyly 39

263. Laho 40

27. Kuoren vaikutus tuoretiheyteen 40

271. Kuoren vaikutusta koskevia kaavoja 40

272. Käytännössä tehtyjen kuorimittausten hyödyntäminen 46

3. Johtopäätöksiä empiiristen painomittaustutkimusten valossa 48

4. Tulosten tarkastelua 52

Kirjallisuutta 54

Summary 59

ALKUSANAT

Tutkimus on toinen osa tutkimussarjasta, jossa tarkastellaan puutavaran painomittauksen perusteita. Ensimmäisessä osassa on tarkasteltu havutukkien kuoren tiheyttä ja kosteutta (K ä r k k ä i n e n 1976).

Työssä on käytetty hyväksi aiemmin julkaisuja tutkimuksia sekä Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston julkaisemattomia aineistoja. Laskennassa on avustanut ja piirroksista huolehtinut T a r j a B j ö r k l u n d. Konekirjoituksesta on vastannut A u n e R y t k ö n e n. Käsikirjoituksen ovat lukeneet V e i j o H e i s k a n e n ja O l a v i H u i k a r i.

Kiitän saamastani tuesta.

Helsinki 1976-09-24.

Matti Kärkkäinen

MERKINNÄT

*	= riski on 0.05
**	= riski on 0.01
***	= riski on 0.001
c	= kuoren ja puun tuoretiheyden suhde r_b/r_w
h	= sydänpuuosuus % tilavuudesta
h_1	= sydänpuuosuus % läpimitasta
k	= vakio
m_a	= veden massa kg
m_b	= kuoren massa kg
m_w	= puun massa kg
n	= lukumäärä
p	= kuoren osuus % puun ja kuoren yhteisestä tilavuudesta
p_1	= p/100
q	= kuoren osuus % puun ja kuoren yhteisestä massasta
r	= korrelaatiokerroin
r_{bg}	= kuoren tuoretiheys kg/m³
r_{wg}	= puun tuoretiheys kg/m³
$r_{(w+b)g}$	= puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys kg/m³
r_g	= tuoretiheys kg/m³
r_o	= kuivatiheys kg/m³
R	= kuiva-tuoretiheys kg/m³
R_h	= sydänpuun kuiva-tuoretiheys kg/m³
R_s	= pintapuun kuiva-tuoretiheys kg/m³
s	= standardipoikkeama
u	= kosteussuhde % kuivasta massasta
u_h	= sydänpuun kosteussuhde %
u_s	= pintapuun kosteussuhde %
V_b	= kuoren tilavuus m³ (tuoreena)
V_w	= puun tilavuus m³ (tuoreena)
$\bar{x}$	= keskiarvo
y_s	= pintapuussa olevan veden massa kg/m³

1. JOHDANTO

Erilaisista puutavaran mittausmenetelmistä tehdasmittaukseen sopii erityisen hyvin puutavarakuorman tai nipun massan määritys punnitsemalla. Punnitseminen on nopea, tarkka ja punnituslaitteiston asentamisen jälkeen käyttökustannuksiltaan halpa menetelmä. Ainoa oleellinen haitta tehdasmittauksessa on siinä, että mitattava suure, massa, ei aina sovellu käytettäväksi luovutusperusteena ja muihin tarkoituksiin. Puutavaraerän tuoreena mitattu massa täytyy usein muuntaa sen tilavuudeksi. Mikäli tiedetään puuaineen tuoretiheys, tilavuus saadaan yksinkertaisesti jakamalla kyseisen puutavaraerän massa sen tiheydellä.

Autokuormittaista puutavaran massan määritystä on käytetty erityisesti kuitupuulle. Sahatukkien painomittauksesta ei ole oltu kovinkaan kiinnostuneita, koska jalostuslaitoksen toiminnan kannalta tilavuus on massaa tärkeämpi suure. Käytännöllisenä syynä saattaa olla myös se, että yleensä sahatukit on jo huolellisesti mitattu yksin kappalein ennen tehtaalle saapumista, jolloin tilavuus voidaan selvittaa kenties aiemmin syntyneistä asiakirjoista.

Viime aikoina havusahatukkien painomittaukseen on kuitenkin alettu kiinnittää huomiota. Itse asiassa voidaan jopa olettaa, että punnitusmenetelmiä voidaan edullisemmin soveltaa havusahatukkeihin kuin perinteelliseen kuitupuuhun. Tämä johtuu jo siitä, että tukit tuodaan sahoille pääasiassa tuoreena, jolloin puutavaran kosteus on suunnilleen sama kuin kasvavissa puissa. Tuoretiheys vaihtelee tällöin vähemmän kuin kuitupuulla, jolla erilainen varastoimisaika voi aiheuttaa huomattavaa vaihtelua puutavaran kosteudessa (esim. Leinonen ja Pullinen 1971). Tätä painon alenemista voidaan tosin selittää makroilmastotunnusten avulla (Nisula 1974).

Käsillä olevassa tutkimuksessa tarkastellaan havutukkien punnitustulosten muuntamista tilavuusyksiköiksi ja sen edellytyksiä puutieteelliseltä kannalta. Tutkimus perustuu kirjallisuuteen ja empiirisiin aineistoihin, joista osa on aikaisemmin julkaisemattomia. Julkaisemattomat aineistot on kerätty Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston toimesta 1970-luvulla.

2. TUORETIHEYDEN VAIHTELU

21. Määritelmiä ja lähtökohta

Tiheydellä tarkoitetaan yleisesti massaa tilavuusyksikköä kohti. Tuoretiheydellä tarkoitetaan sitä puun tiheyttä, joka saadaan jakamalla puun tuoreena mitattu massa sen tuoreena mitatulla tilavuudella. Kuivatiheys merkitsee vastaavasti sitä, että sekä massa että tilavuus on määritetty absoluuttisen kuivina. Kuiva-tuoretiheydellä taas tarkoitetaan sitä suuretta, joka saadaan jakamalla absoluuttisen kuivana mitattu puuaineen massa sen tuoreena mitatulla tilavuudella. — Terminologia on perusteltu aikaisemmissa julkaisuissa (Kärkkäinen 1971 a, 1971 b, s. 86).

Tuoretiheyden määritelmästä voi päätellä, että sen suuruuteen vaikuttaa puun kuiva-tuoretiheys ja puussa olevan veden määrä. Veden määrää suhteessa puuaineen määrään kuvataan usein kosteussuhteella, jolla tarkoitetaan veden massan ja puunäytteen kuivan massan suhdetta. Kosteus on puolestaan veden massan ja näytteen kokonaismassan suhde. Kosteussuhde ja kosteus ilmoitetaan suosituksen mukaan yleensä prosentteina (SI-mittayksikkösuositus... 1974). Edelleen veden massa voidaan ilmoittaa suhteessa näytteen tilavuuteen, jolloin yksikkönä käytetään kg/m^3. Tämän tunnuksen käyttöä on aikaisemmin perusteltu (Kärkkäinen 1976, s. 10).

Havupuilla on huomattava veden määrään vaikuttava tekijä sydänpuuosuus, jonka lisäksi on myös siitä riippumatonta kosteuden vaihtelua. — Näin ollen tarkastelemalla erikseen kuiva-tuoretiheyttä, sydänpuuosuutta ja kosteutta (tai muuta vastaavaa tunnusta) voidaan saada mielikuva tuoretiheyden vaihtelusta. Kun kysymyksessä ovat kuorelliset havutukit, joudutaan tarkastelemaan puuainetta ja kuorta erikseen. Kun tuoretiheys määräytyy yksiselitteisesti kuiva-tuoretiheydestä ja puukuutiometrissä olevasta veden määrästä ja kun kumpikin tunnus voi vaihdella toisesta riippumatta, on luonnollista olettaa, että tuoretiheyden varianssi on suurempi kuin kuiva-tuoretiheyden varianssi. Näin on havaittu myös empiirisissä tutkimuksissa. Esim. Gjølberg ja Okstad (1975) totesivat, että autokuormamittauksessa kuusen tuoretiheyden varianssi oli 7 070 (kg/m^3)^2 ja kuiva-tuoretiheyden 830 (kg/m^3)^2. Luonnollisesti tämä ilmiö vaikuttaa voimakkaasti erilaisten painomittausjärjestelmien edullisuuteen.

Tässä yhteydessä tarkastellaan lähinnä rungon sisäistä tuoretiheyden vaihtelua ja erityisesti tukkipuukokoisia runkoja. Runkojen välisiä eroja voidaan osittain selittää rungon sisäisten tekijöiden avulla.

22. Puuaineen kuiva-tuoretiheys

221. *Mänty*

Lukuisat Pohjoismaissa tehdyt kuiva-tuoretiheyttä koskevat tutkimukset perustuvat pienten virheettömien puukappaleiden käyttöön. Näin ollen oksien, reaktiopuun ja muiden tiheyteen vaikuttavien vikojen vaikutus on erikseen otettava huomioon. Lisäksi on vielä luultavaa, että ainakin oksaisissa männyissä näytteet on otettu vuosikasvainten puolivälistä, jolloin mm. kuiva-tuoretiheys on keskimääräistä alhaisempi. Eräästä amerikkalaisesta tutkimuksesta päätellen virhe keskiarvoon nähden voisi olla suuruusluokaltaan 5 kg/m³ (B a k e r 1968).

Yleisesti vallitsevan käsityksen mukaan männyllä puuaineen kuiva-tuoretiheys kohoaa selvästi ja jatkuvasti hidastuvalla nopeudella ytimestä pintaan päin. Varttuneilla puilla pinnan ja ytimen välinen ero saattaa olla hyvin huomattava. Esimerkiksi eräässä ruotsalaisessa tutkimuksessa todettiin, että muutaman puun keskiarvona mitaten ytimen ja pinnan välinen tiheysero vaihteli välillä 25. . .109 kg/m³, kun tarkastelun kohteena oli 10 % korkeus rungossa (T a m m i n e n 1962, taulukko 17). Mainitulla korkeudella pinnan ja ytimen välinen ero on myös muiden tutkimusten mukaan suurimmallaan (esim. H a k k i l a 1966, s. 40, U u s v a a r a 1974, s. 68). Kun 10 prosentin korkeudelta siirrytään latvaan päin, ytimen ja pinnan välinen tiheysero laskee huomattavasti. Esimerkiksi H a k k i l a n (1966, s. 40) tutkimuksesta voidaan laskea, että 41. . .80 vuotiailla männyillä 10 prosentin korkeudella ytimen ja pinnan tiheysero oli 96 kg/m³, 40 prosentin korkeudella 56 kg/m³ ja 70 prosentin korkeudella 19 kg/m³. — Kyseissä tutkimuksessa ydin edusti sisintä 10 % poikkipinta-alasta ja pinta ulointa 50 % pinta-alasta. — Pääasiallisena syynä tällaiseen ilmiöön voidaan pitää sitä, että rungon yläosassa ytimestä laskettu vuosilustojen ikä on vähäinen rungon alaosaan verrattuna, eikä tiheysero ytimen ja pinnan välillä näin ollen ole vielä ennättänyt muodostua suureksi.

Kun mäntyrungon kaikilla korkeuksilla (kantoa ehkä lukuunottamatta, ks. T a m m i n e n 1962, sen taulukko 17) kuiva-tuoretiheys kasvaa ytimestä pintaan päin, ja toisaalta ytimen läheisyydessä vallitseva tiheys pysyy suunnilleen samana tai alenee tyvestä latvaan päin, on selvää, että keskimääräinen rungon poikkileikkauksessa vallitseva tiheys alenee kannosta latvaan päin. Esimerkiksi usein jo mainitussa T a m m i s e n (1962, taulukko 18) tutkimuksessa, jonka aineistona oli 108 mäntyrunkoa 20 metsiköstä, tyven ja latvan väliset tiheyserot olivat selvästi yli 100 kg/m³. Myös H a k k i l a n (1966, s. 40) tutkimuksessa tiheysero oli huomattava. Esitetystä taulukosta voidaan laskea, että 41. . .80 vuotiailla männyillä kannon tasalta ja 70 % korkeudelta mitatun kuiva-tuoretiheyden ero oli 93 kg/m³ ja yli 81 vuotta

vanhoilla männyillä 101 kg/m³. Uusvaaran (1974, s. 68) tutkimuksessa tyven ja latvan ero oli hieman vähäisempi kuin Hakkilan tutkimuksessa eron johtuessa ilmeisesti siitä, että Uusvaaran aineistona olivat verraten nuoret, hyväpohjaisille kasvupaikoille perustetut viljelymänniköt. — Edelleen mainittakoon, että Jalavan (1945, s. 49) tutkimuksissa kuivatiheysero oli vallitsevan latvuskerroksen mäntyrungoissa tyven ja latvan välillä yleensä yli 100 kg/m³.

Kasvupaikan merkitystä osoittaa esimerkiksi se, että Uusvaaran (1974, s. 69) tutkimuksessa 30. . .50 vuotiaiden männiköiden kuiva-tuoretiheys oli VT-kasvupaikalla 30. . .50 kg/m³ korkeampi kuin OMT-kasvupaikalla. Suurimmillaan ero oli tyvessä (50 kg/m³) ja pienimmillään latvassa (30 kg/m³). Aiemmin tehdyn Hakkilan (1966, s. 58) tutkimuksen mukaan keskimääräinen ero vähenee iän lisääntyessä. Ero metsätyyppien VT ja OMT välillä oli hänen aineistossaan 25 vuoden iässä 33 kg/m³, 50 vuoden iässä 21 kg/m³, 75 vuoden iässä 16 kg/m³ ja 100 vuotta vanhoilla 15 kg/m³. — Näitä johtopäätöksiä tukevat myös Lassilan (1930) tulokset. Kun aineistona oli 200 rinnantasalta otettua kairanlastua, 20 uloimman vuosiluston kuivatiheys oli CT-kankaalla 464 kg/m³, VT-kankaalla 452 kg/m³, MT-kankaalla 444 kg/m³ ja OMT-kankaalla 431 kg/m³. Tutkimuksen metodisena heikkoutena on kuitenkin puiden vaihteleva ikä. — Vastaavia tuloksia saivat myös Jalava (1933, s. 102) ja Siimes (1938, s. 119).

Ilmeistä on, että edellä esitetty tiheyden aleneminen kasvupaikan parantuessa voidaan tulkita kasvunopeuden ja tiheyden negatiiviseksi korrelaatioksi. Tällöin kaikki ne tekijät, jotka lisäävät kasvunopeutta, vaikuttavat tiheyttä alentavasti. Niinpä Jalava (1945, s. 44) havaitsi, että valtapuiden kuivatiheys on alempi kuin vallittujen puiden kaikista pahiten alle jääneitä yksilöitä lukuunottamatta. Eroa ei kuitenkaan enää ollut 140-vuotiailla männyillä. Edelleen on havaittu, että lannoitus ainakin aluksi alentaa kuiva-tuoretiheyttä lukuunottamatta kaikista heikoimmin kasvavia puita, joissa se voi lisääntyä (Saikku 1975 a).

Mäntyrunkojen välisiä kuiva-tuoretiheyden eroja selitettäessä erityistä huomiota on kiinnitettävä ikään. Kuten edellä on todettu, tiheys kasvaa ytimestä pintaan päin lukuunottamatta kenties yli-ikäisten mäntyjen viimeisimpiä vuosilustoja. — Esim. Lundbergin (1928) tutkimuksessa kuivatiheys kääntyi laskuun noin satavuotisissa männyissä. — Näin ollen runkojen iän kasvaessa niiden keskimääräinen kuiva-tuoretiheys kohoaa. Ikä on varsin hyvä tiheyden vaihtelun selittäjä. Esim. aiemmin mainitussa suomalaisessa aineistossa ikä selitti kuiva-tuoretiheyden runkojen välisestä vaihtelusta 32 % (Hakkila 1966, s. 50). Samasta syystä voi olettaa, että keski-ikäisten runkojen vanhetessa puun ylä- ja alaosan välinen tiheysero pienenee, koska kasvu jatkuu tyveä kauemmin rungon yläosassa, ja puun muoto muuttuu täyteläisemmäksi. — Empiirisiä tuloksia tästä oletettavissa olevasta tiheyseron pienenemisestä ei kuitenkaan ole.

Muihin runkojen välisiä tiheyseroja selittäviin tekijöihin ei tässä puututa. Aiemmin mainitun kasvupaikan lisäksi tärkeimpiä lienee geneettinen vaihtelu (Velling 1974, 1976).

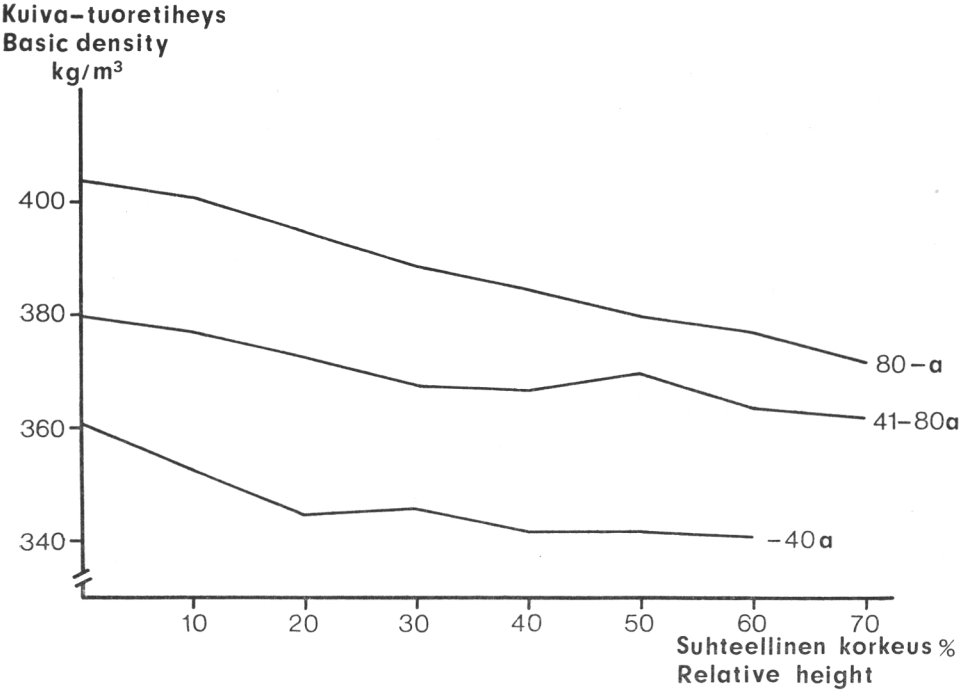
222. *Kuusi*

Toisin kuin männyillä, tiheyden vaihtelu ytimen ja pinnan välillä on kuusella vähäistä. Esimerkiksi Tammisen (1964, sen taulukko 16) tutkimuksessa ei yleensä voitu havaita tiheyden kasvavan ytimestä pintaan päin, pikemminkin päin vastoin. Myöskään Hakkila (1966, s. 40) ei voinut havaita kovin suuria eroja rungon poikkileikkauksen eri osien välillä. Suurimmatkin raportoidut erot ovat pienehköjä. Esim. Nylinderin (1953, s. 36) esittämästä kuvasta näkyy, että hänen tutkimuksessaan kuivatiheys ensin laski ytimestä pintaan päin minimiarvoon n. 390 kg/m³ ja sitten kohosi pinnassa maksimiarvoon n. 415 kg/m³. Tämä ero, n. 25 kg/m³ on pienempi kuin männyllä, jolla 10 % korkeudella ytimen ja pinnan kuiva-tuoretiheyden ero on keski-ikäisillä puilla n. 100 kg/m³, kuten edellä on todettu.

Kun kuiva-tuoretiheys alenee verraten vähän tyvestä latvaan päin ytimen läheisyydessä (Tamminen 1964, taulukko 16, Hakkila 1966, s. 40), on selvää, että poikkileikkauksen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys laskee vain vähän kannosta latvaan päin. Mainitussa Tammisen (1964) tutkimuksessa, jonka aineistona oli 77 kuusirunkoa 16 metsiköstä, saatiin tulos, jonka mukaan kuiva-tuoretiheys laskee jatkuvasti, mutta heikosti tyvestä latvaan päin (Tamminen 1964, taulukko 17). Tätä käsitystä tukee Hakkilan (1966, s. 40) tutkimus, jos esitetystä taulukosta tulokset lasketaan ikäluokittain. Alle 40-vuotiailla kuusilla kuiva-tuoretiheys laski arvosta 361 kg/m³ (tyvi) arvoon 341 kg/m³ (60 % korkeus) eli 20 kg/m³. 41...80 vuotta vanhoilla kuusilla tiheys aleni tyven arvosta 380 kg/m³ arvoon 362 kg/m³ (70 % korkeus) eli 18 kg/m³. Yli 81-vuotiailla kuusilla vastaavat tiheydet olivat 404 ja 372 kg/m³ eli aleneminen 32 kg/m³. — Kaikissa ikäluokissa kuiva-tuoretiheys aleni tyvestä latvaan päin. — Harhaanjohtavan mielikuvan saa tarkastelemalla kaikkia ikäluokkia yhdessä, jolloin yhteinen kuvaaja laskee keskirunkoon ja kohoaa sieltä latvaan päin (Hakkila 1966, s. 43). Tällainen tulos on toisaalta saatu eräillä amerikkalaisilla kuusilajeilla (Spurr ja Hsiung 1954, s. 194, Wahlgren ym. 1966, s. 11, Heger 1974). Maksimin ja minimin ero on kuitenkin vähäinen kuiva-tuoretiheydessä, esim. Hegerin tutkimuksen mustakuusella 11 kg/m³. — Ks. kuva 1, joka on piirretty Hakkilan (1966) aineiston perusteella.

Eräissä muissa tutkimuksissa on saatu hiukan toisia tuloksia. Nylinder ja Hägglund (1955, s. 115) totesivat luonnonkuusikkotutkimuksessaan, että kuivatiheys kohosi 25 % korkeudelta arvosta 467 kg/m³ arvoon 483 kg/m³ 75 % korkeudella. Suomalaisessa viljelykuusikoita koskevassa tutkimuksessa taas havaittiin, että tiheys kohosi tyvestä noin 2 m korkeudelle ja laski siitä heikosti latvaan (Hakkila ja Uusvaara 1968). Myös tässä tapauksessa erot kuiva-tuoretiheydessä olivat kaiken kaikkiaan vähäiset mäntyyn verrattuna.

Kuusirunkojen välisiin eroihin pätevät samat huomautukset kuin männyllä. Esim. Klem (1965) totesi kuusen kuivatiheyden olevan parhailla boniteeteilla 10 % alempi kuin huonoilla kasvupaikoilla. Hakkilan (1966, s. 58) tutkimuksessa ero oli pienempi, esim. VT- ja OMT-kuusikon välillä 19. . .20 kg/m³ eli OMT:n arvosta



Kuva 1. Kuiva-tuoretiheyden aleneminen tyvestä latvaan päin eri-ikäisissä kuusirungoissa. Laskettu Hakkilan (1966) tulosten perusteella.

Fig. 1. The decrease in basic density of spruce of varying age from butt to top. Colculated from the results of Hakkila (1966).

5.0. . .5.6 %. Tiheysero ei riippunut iästä kuten männyllä. Samoin kuin männyllä, lannoitus ym. kasvunopeutta lisäävät toimet ainakin aluksi alentavat tiheyttä (Saikku 1975 b).

223. *Johtopäätöksiä puutavaran punnituksen kannalta*

Käytännöllistä puutavaran painomittausta ajatellen vaikuttaa edellä esitetyn perusteella ilmeiseltä, että kuiva-tuoretiheys vaihtelee männyllä enemmän kuin kuusella. Kuusella voidaan mm. olettaa, että tyvitukit poikkeavat muista tukeista vain vähän, koska kuiva-tuoretiheys ei muutu puun pituussuunnassa kovinkaan paljoa, toisin kuin männyllä. Samoin voidaan olettaa, että tukkien järeys selittää kuiva-tuoretiheyden varianssista vähemmän kuin männyllä, koska kuiva-tuoretiheys lisääntyy ytimestä pintaan vain vähän. Jos järeys johtuu nopeakasvuisuudesta, tiheys jopa alenee tukin järeytyessä.

Sen sijaan mänty on ongelmallinen puulaji puutavaran painomittauksen kannalta. Voidaan olettaa, että tyvitukit ovat kuiva-tuoretiheydeltään kenties 50. . .80 kg/m³

tiheämpiä kuin muut tukit. Tarkkoja lukuja ei voida esittää, koska luotettavia selvityksiä ei tästä kysymyksestä ole käytettävissä. Erottamalla tyvitukit muista tukeista voidaan periaatteessa siis saada kuiva-tuoretiheydeltään toisistaan poikkeavia eriä.

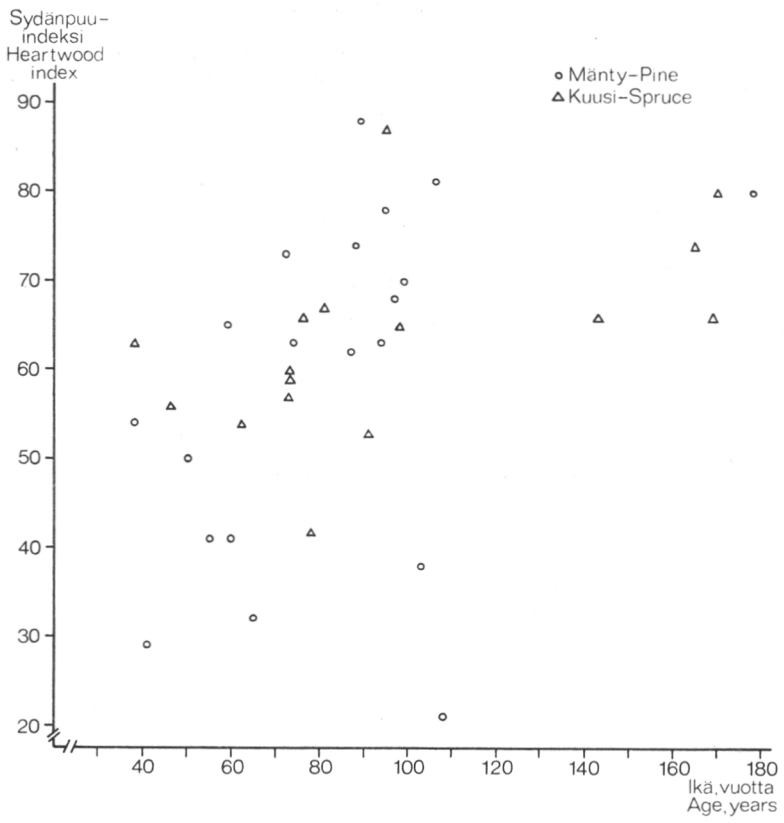
Kun tukit järeytyvät runkojen iän kasvaessa, voidaan olettaa, että kuiva-tuoretiheys kasvaa tukkien järeytymisen myötä. Käytännössä asia ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen. Kuten aiemmin on todettu, mm. kasvupaikka vaikuttaa kuiva-tuoretiheyteen. Jos tarkastellaan yhtä vanhoja runkoja, hyvällä kasvupaikalla kasvaneet rungot ovat järeämpiä kuin huonolla kasvupaikalla kasvaneet, mutta kuiva-tuoretiheydeltään kenties useita kymmeniä kilogrammoja kuutiometriä kohti kevyempiä. Näiden eri suuntaan vaikuttavien tekijöiden johdosta on hyvin luultavaa, ettei käytännöllisessä puutavaran painomittauksessa tukkien järeyden avulla voida kovin hyvin selittää kuiva-tuoretiheyden vaihtelua. Mittauksen sujuvuuden kannalta ei nimittäin voida ajatella, että tukeista selvitettäisiin ikä taikka vielä vähemmän kasvupaikka. Käytännössä joudutaan tyytymään pelkästään latvaläpimittaan tai vastaavaan tunnukseen järeyden kuvaajana, ja tällöin pääsevät vaikuttamaan eri suuntiin vaikuttavat tekijät ikä ja kasvupaikka (kasvunopeus).

23. Sydänpuuosuus

231. *Mänty*

Yleisesti vallitsevan käsityksen mukaan männyn sydänpuupitoisuus on suurimmillaan noin 20. . .30 prosentin korkeudella rungon pituudesta. Tällaisia havaintoja ovat tehneet tukkipuukokoisista rungoista mm. Lappi-Seppälä (1927, s. 40—41), Nylinder (1956, 1959, 1961 a), Tamminen (1962), Hakkila (1967), jne. Nuorilla puilla sydänpuuosuus alenee nopeasti latvaan päin. Esimerkiksi Nylinderin (1959, s. 12) tutkimuksessa todettiin 100 puun aineistoon perustuen, että noin 50 vuotta vanhoilla männyillä sydänpuupitoisuus oli puun pituuden suunnassa suurimmillaan lähes 50 % läpimitasta. Tässä tapauksessa maksimikohta saavutettiin 10 % korkeudella rungon pituudesta. Rungon puolivälissä sydänpuupitoisuus oli enää 30 % ja 80 % korkeudella ainoastaan 7 %.

Vanhoilla puilla sydänpuuosuuden lasku ei ole näin voimakasta. Tämä johtuu kahdesta seikasta. Ensinnäkin rungossa alkaa sydänpuuta muodostua aikaisemmin yläosassa kuin alaosassa, kun ikänä käytetään pinnasta laskettua vuosilustojen määrää (Omeis 1895, s. 156—158). Toisaalta runko muuttuu iän kasvaessa muodoltaan täyteläisemmäksi, ja tämä heijastuu myös sydänpuuosuudessa. Tämän vuoksi nuorien puiden sydänpuuosuus laskee nopeammin latvaa kohti kuin vanhojen puiden (Werberg 1930). — Voidaan kuitenkin sanoa, että talousmetsissä tavallisissa männyn ikäluokissa sydänpuupitoisuuden aleneminen tyvestä latvaan päin on vielä voimakasta. Tämä näkyy mm. kuvasta 2, johon on merkitty sydänpuuindeksin riippuvuus iästä männyllä ja kuusella Tammisen (1962, taulukot 2. . .6, 12, 1964, taulukot



Kuva 2. Männyn ja kuusen sydänpuuindeksin riippuvuus iästä. Sydänpuuindeksi osoittaa, kuinka monta prosenttia rungon puolivälissä vallitseva sydänpuuosuus on maksimaalisesta sydänpuuosuudesta.

Fig. 2. The relation between the heartwood index and the age. The heartwood index is $100 \cdot x/y$, *where* x = *the proportion of heartwood at the middle point along the stem, and* y = *the maximum proportion of heartwood.*

2. . .5, 11) esittämistä metsiköittäisistä tuloksista laskettuna. — Tässä yhteydessä sydänpuuindeksillä tarkoitetaan sitä, kuinka monta prosenttia 50 % korkeudella vallitseva sydänpuuosuus tilavuudesta [1]) on maksimaalisesta sydänpuuosuudesta, joka männyllä on 20. . .30 % korkeudella ja kuusella n. 10 % korkeudella. Sydänpuuindeksi osoittaa näin ollen, kuinka voimakkaasti sydänpuuosuus laskee maksimikohdasta keskirunkoon.

Tärkeimpiä runkojen välisiä sydänpuupitoisuuseroja selittävä tekijä on ikä. Kun sydänpuun kuutiomäärä lisääntyy iän myötä nopeammin kuin koko rungon kuutiomäärä, sydänpuupitoisuus kasvaa. Huomattava vaikutus on myös kasvuedellytyksillä,

[1]) Mainittujen tutkimusten läpimittaan perustuvat sydänpuun osuudet on laskettu tilavuusosuuksiksi.

lähinnä siten, että nopeakasvuisissa puuyksilöissä sydänpuuosuus on pienempi kuin hidaskasvuisissa. — Kirjallisuutta, ks. Kärkkäinen 1972, s. 196.

Kun iän ja kasvuedellytysten yhteisvaikutus otetaan huomioon, voidaan männyllä vallitseva säännönmukaisuus tiivistää seuraavasti: läpimitan ollessa sama nopeakasvuisten mäntyjen sydänpuuosuus on pienempi kuin hidaskasvuisten. Jos taas ikä on sama, suuriläpimittaisilla (nopeakasvuisilla) puilla on suurempi sydänpuuosuus kuin pieniläpimittaisilla (hidaskasvuisilla). Tämän säännönmukaisuuden ovat meikäläisellä männyllä todenneet Werberg (1930) ja Tamminen (1962). — Mainittakoon, että myös Suomessa kasvaneen lehtikuusen on todettu noudattavan samaa säännönmukaisuutta (Hakkila ja Winter 1973, s. 21).

232. *Kuusi*

Kuusella sydänpuuosuuden vaihtelu rungon sisällä on suunnilleen samanlainen kuin männyllä, mutta maksimikohta on alempana, noin rinnantasalla tai hieman ylempänä (Nylinder 1961 b, Tamminen 1964, Ericson 1966). Sydänpuupitoisuuden aleneminen rinnantasalta tyveen päin on kuitenkin niin vähäistä, että yleisesti ottaen voidaan sanoa sydänpuupitoisuuden laskevan kuusella jatkuvasti tyvestä latvaan päin. Samoin kuin männyllä, myös kuusella sydänpuupitoisuus laskee tyvestä latvaan päin nopeammin nuorilla kuin vanhoilla puilla (kuva 2). Tunnettua myös on, että sydänpuupitoisuus on kuusella keskimäärin suurempi kuin männyllä.

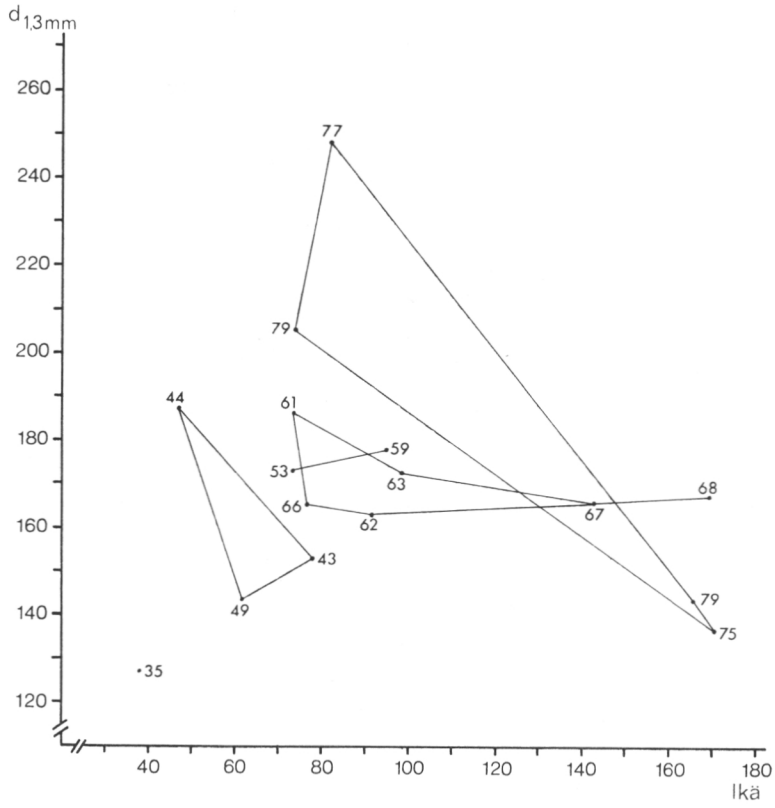
Puun ikä selittää samoin kuin männylläkin sydänpuuosuuden rungoittaista vaihtelua. Myös kasvupaikan vaikutus on saman suuntainen kuin männyllä. Näin ollen läpimitan ollessa sama nopeakasvuisten puiden sydänpuuosuus on pienempi kuin hidaskasvuisten puiden. Toisaalta iän ollessa sama nopeakasvuisten puiden sydänpuuosuus on suurempi kuin hidaskasvuisten. Tällaisen säännönmukaisuuden on havainnut mm. Tamminen (1964). Ks. kuva 3.

233. *Johtopäätöksiä painomittauksen kannalta*

Mäntytukkien latvasta sydänpuuosuus voidaan tarvittaessa mitata tai arvioida silmävaraisesti, koska sydänpuu erottuu mantopuusta yleensä helposti. Kuusella ei tällainen mittaus tai arviointi käy päinsä, vaan joudutaan päättelemään sydänpuuosuus esim. latvaläpimitan perusteella.

Myöskään männyllä sydänpuuosuuden selvittäminen ei ole ongelmatonta. Kaikissa tapauksissa tukkien päitä ei voida tarkastella, ja automaattimittauksen mahdollisuudet ovat yksinkertaisin laittein vähäiset. Silloin kun varsinaista sydänpuuosuuden selvittämistä ei enää voida tehdä, joudutaan tarkastelemaan sydänpuuosuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Havutukkien sydänpuuosuuteen vaikuttavista lukuisista tekijöistä voidaan käytännöllisessä puutavaran painomittauksessa ottaa huomioon vain vähäinen osa. Kun



Kuva 3. Läpimitasta ilmoitetun sydänpuuosuuden riippuvuus iästä ja läpimitasta T a m m i s e n (1964) kuusta koskevassa aineistossa. Numerot tarkoittavat em. sydänpuuosuutta. Samalle kymmenluvulle kuuluvat sydänpuuosuushavainnot on yhdistetty.

Fig. 3. The relationship between proportion of heartwood expressed in per cent of the diameter, and the age and the diameter in the spruce material of T a m m i n e n (1964). The numbers express the proportion of heartwood, and numbers of corresponding magnitude are connected. Ikä — *age.*

puutavara punnitaan nykyistä tekniikkaa käyttäen muualla kuin kasvupaikalla eikä kasvupaikkakohtaisia tietoja voida yleensä selvittää painomittauksessa käytännöllisistä syistä, ainakin kasvupaikkatekijöiden aiheuttama sydänpuuosuuden vaihtelu jää pelkästään lisäämään sydänpuuosuuden varianssia. Periaatteessa voidaan tosin ajatella kasvunopeuden mittaamista, mutta käytännössä tämä lienee ylivoimainen tehtävä. Yksittäisessä tukkien automaattimittauksessa voidaan tosin ajatella mitattavaksi myös tukin kapeneminen, joka tunnetusti korreloi kasvunopeuden kanssa, mutta latvasta mitattu sydänpuuosuus riippuu vain heikosti tästä tunnuksesta. Esimerkiksi jäljempänä kuvattavassa pohjoiskarjalaisessa aineistossa havaittiin latvasta mitatun sydänpuuosuuden lievästi alenevan latvakapenemisen (keskus- ja latvaläpimitan erotus) kasvaessa. Kun tyvitukeilla kapaneminen oli alle 8 mm/m, sydänpuu-

osuus oli 29.4 %. Kun kapeneminen oli 16. . .20 mm/m, sydänpuuosuus oli 27.4 %. — Automaattimittauksen mahdollisuudet ovat tässä suhteessa siis sangen rajalliset.

Sydänpuupitoisuuteen vaikuttavista tekijöistä voidaan kätevimmin selvittää tukin koko, käytännössä latvaläpimitta, ja mahdollisesti myös tukin asema rungossa erottamalla tyvitukit muista tukeista. Johtuipa tukin koko sitten muita tukkeja korkeammasta iästä tai paremmasta kasvunopeudesta, oletettavaa on aiemmin esitetyn perusteella, että tukin järeytyessä myös sen sydänpuuosuus kasvaa. Samoin voidaan olettaa, että rungon alaosasta otettujen tukkien sydänpuuosuus on suurempi kuin väli- ja latvatukkien. — Voidaan siis ajatella, että mainittujen kahden tekijän avulla voidaan arvioida painomittauksessa tärkeää sydänpuuosuutta.

On kuitenkin aiheellista otaksua, ettei asia ole käytännössä mitenkään yksinkertainen. Voidaan esimerkiksi ajatella, että huomattava osa punnituspaikalle saapuvista tyvitukeista tulee sellaisista rungoista, joista on saatu ainoastaan yksi tukki. Tällöin sydänpuuosuus on rungon pienuudesta tai mahdollisesti vähäisestä iästä johtuen pieni. Toisaalta sopii olettaa, että punnituspaikalle saapuvat väli- ja latvatukit ovat peräisin järeistä ja mahdollisesti vanhoista rungoista, joiden sydänpuuosuus on suuri. Pienistä rungoista ei nimittäin voi saada väli- ja latvatukkeja.

Käytettävissä ei ole laajoja selvityksiä, kuinka sydänpuuosuus käytännössä vaihtelee. Tätä tutkimusta varten on laskettu eräästä pohjoiskarjalaisesta mäntytukkeja koskevasta aineistosta (2 546 tukkia) joitakin tuloksia. Tämän muita tutkimuksia varten kerätyn mäntytukkiaineiston edustavuus on koko maata ajatellen kyseenalainen, mutta tulokset antanevat kuitenkin suuntaviivoja. Seuraavassa esitettävät luvut koskevat sydänpuupitoisia tukkeja. Aineistoon kuului myös tukkeja, joissa ei voitu havaita sydänpuuta.

Voidaan ensinnäkin todeta, että kysymyksessä olevassa aineistossa tyvitukkien ja muiden tukkien latvaläpimitan ero oli vähäinen. Tyvitukeilla keskimääräinen painottamaton latvaläpimitta oli 216 mm ja muilla kuin tyvitukeilla 194 mm. Tyvitukkeja aineistoon kuului 1 524 ja muita kuin tyvitukkeja 1 022. — Tyvitukkien erottaminen muista tukeista ei siis tässä tapauksessa kovin paljoa merkinnyt järeyden erottamisen kannalta. — Tätä tulosta ei saa kuitenkaan yleistää, sillä tutkimus koski vain u/s-tukkeja.

Vastaavasti voitiin aineistoa laskea, että sydänpuun pinta-ala latvaleikkauksen pinta-alasta oli tyvitukeilla 29.6 % ja muilla tukeilla 27.7 %. Näitä lukuja laskettaessa on otettu huomioon, että järeiden tukkien sydänpuun pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin pienten tukkien. — Mainittakoon, että painottamaton tukeittain laskettujen sydänpuuprosenttien keskiarvo oli tyvitukeissa 28.0 % ja muissa tukeissa 26.8 %.

Edellä mainittu tyvi- ja muiden tukkien ero on painomittausta ajatellen vähäinen. Tavallisessa tukkisumassa, jossa on mukana myös heikkolaatuisia latvatukkeja u/s-latvatukkien lisäksi, ero on oletettavasti suurempi. Voidaan todeta, että teoreettisesta mielenkiinnosta huolimatta tyvitukkien erottaminen muista tukeista ei näytä tarjoavan kovin suuria mahdollisuuksia painomittauksessa oleellisen tuoretiheyden varianssin pienentämiseen.

Huomattavasti parempiin tuloksiin päästään tarkastelemalla tukkien järeyttä. Taulukossa 1 on esitetty sydänpuuosuus prosentteina latvaleikkauksen pinta-alasta erikseen tyvi- ja muille tukeille eri läpimittaluokissa. Taulukkoon on otettu ne läpimittaluokat, joista havaintoja on runsaimmin.

Taulukko 1. Tukin latvasta mitattu sydänpuuosuus prosentteina pinta-alasta männyn tyvi- ja latvatukeissa. Pohjoiskarjalainen aineisto.

Table 1. Heartwood percentage by area in the top heads of pine logs. Material from North Carelia

Latvaläpimitta, cm *Top diameter, cm*	Sydänpuuosuus % pinta-alasta *Heartwood percentage by area*						
	Tyvet — *Butts*			Muut — *Others*			Kaikki
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	*Total*
13	28	10.7	12.3	20	15.5	14.0	12.7
15	88	18.5	14.2	88	21.4	12.1	20.0
17	281	22.5	14.4	303	25.0	14.2	23.8
19	151	25.8	15.7	154	27.4	14.8	26.6
21	305	28.6	16.2	290	28.6	15.4	28.6
23	163	34.2	16.1	77	29.6	14.0	32.7
25	275	32.6	17.2	71	31.4	13.5	32.4
27	161	32.2	17.5	18	31.8	12.4	32.2

Mielenkiintoinen havainto on, että läpimitan ollessa pieni tyvitukkien sydänpuuosuus on pienempi kuin muiden tukkien. Kun läpimitta on yli 21 cm, tyvitukkien sydänpuuosuus on suurempi kuin muiden tukkien. Mahdollista on, että tämä ilmiö johtuu juuri aiemmin mainitusta yhden tukin runkojen suuresta osuudesta pienissä läpimittaluokissa. — Tilastollisesti ero on muodollisen merkitsevä ainoastaan läpimittaluokissa 17 ja 23 cm. — Kuten edellä on todettu, edellisessä luokassa tyvitukkien sydänpuuosuus on pienempi kuin muiden tukkien ja jälkimmäisessä suurempi. — Tyvitukkien ja muiden tukkien välinen ero sydänpuuosuudessa on kuitenkin vähäinen verrattuna läpimittaluokkien välisiin eroihin. Saattaa olla, että käytännöllisessä mittaustyössä kannattaa tarkastella tyvitukkeja ja muita tukkeja yhdessä ja keskittää päähuomio pelkkään latvaläpimittaan.

Kuten taulukosta 1 ilmenee, tukin latvaläpimitan suuretessa sydänpuuosuus lisääntyy selvästi. Korkeat standardipoikkeaman arvot kuitenkin kielivät, että vaihtelu on huomattavan laaja kussakin läpimittaluokassa. Tämä merkitsee sitä, että sydänpuuosuuden ja läpimitan korrelaatio on vain kohtalaisen korkea. Tämä on havaittu myös aiemmassa, kuitupuuta koskevassa tutkimuksessa (Kärkkäinen 1972). — Keskimäärin ottaen voidaan kuitenkin sanoa, että sydänpuuosuus lisääntyy jatkuvasti hidastuvalla nopeudella latvaläpimitan kasvaessa.

Taulukossa 1 olevalla vaihteluvälillä sydänpuuosuuden vaikutus tuoretiheyteen on huomattava. Ääritapauksien välillä tuoretiheys laskee määräedellytyksin pelkän sydänpuun määrän lisääntymisen vuoksi lähes 100 kg/m³. — Jäljempänä tässä työssä näihin laskelmiin palataan tarkemmin.

24. Puuaineen kosteus

241. *Kosteuden käsite ja luonne*

Puuaineessa olevan veden määrää kuvataan tässä yhteydessä pääasiassa kosteussuhteella, jolla tarkoitetaan aiemmin todetun mukaisesti näytteessä olevan veden massan ja näytteen kuivan massan suhdetta (SI-mittayksikkösuositus... 1974). Tavallisesti kosteussuhde ilmoitetaan prosentteina puukappaleen absoluuttisen kuivasta massasta.

Toisin kuin aikaisemmin tarkasteltu kuiva-tuoretiheys tai sydänpuupitoisuus, puuaineessa olevan veden määrä muuttuu jatkuvasti. Elävissä puissa kosteus vaihtelee kasvukauden aikana huomattavasti jopa vuorokauden sisällä, puhumattakaan sitten vuodenajoittaisista ja sään muuttumiseen liittyvistä vaihteluista. Kaadetuissa puissa ja kuorellisessakin puutavarassa kosteus taas muuttuu ilman suojaamistoimia kesäaikana nopeasti aiheuttaen tulosten tulkintavaikeuksia. Puussa olevan veden määrä tavallisesti vähenee, mutta lisääntymistäkin voi tapahtua sään ollessa tällaiselle ilmiölle suotuisan.

Kuiva-tuoretiheyteen ja sydänpuupitoisuuteen verrattuna kosteuden vaikutusta tuorepainoon on vaikea kuvata tyydyttävästi, vaikka joitakin yleisiä lainalaisuuksia voidaankin esittää. Tuoretiheyden vaihtelun selittämisen kannalta tällainen tilanne on hankala, koska tavanomaisesta, puutavaran mittauksen yhteydessä havaittavasta kosteuden vaihtelusta aiheutuu myös huomattava tuoretiheyden vaihtelu.

Kun puuaineessa olevan veden määrää kuvataan edellä mainitulla kosteussuhteella, on vielä huomattava, että tähän tunnukseen vaikuttaa puuaineen tiheys. Selvää on, että vettä voi olla puuaineessa tilavuusyksikköä kohti sitä vähemmän, mitä tiheämpää puuaine on. Esimerkiksi jäljempänä tarkasteltava voimakas kosteussuhteen nousu männyllä tyvestä latvaan päin johtunee pääasiassa siitä, että puun tiheys alenee samassa suunnassa (T u o m o l a 1943, s. 15). — Mainittu kosteussuhteen ja puuaineen tiheyden riippuvuus toisistaan on luonnollisesti otettava huomioon tuloksia tulkittaessa.

Jäljempänä tarkastellaan pelkästään kaatotuoreita tukkeja, joissa oleellista kuivumista ei ole ehtinyt tapahtua.

242. *Mänty*

Tuoreessa mäntyrungossa tärkein kosteussuhteeseen vaikuttava tekijä on pintapuun ja sydänpuun ero. Järeän männyn pintapuussa kosteussuhde on yleensä runsaasti yli 100 %, kun taas sydänpuun kosteussuhde on suuruusluokaltaan 30. . .40 %. Esim. J a l a v a n (1932) eri puolilla Suomea kasvaneita valtapuita koskeneessa tutkimuksessa 85 rungon keskimääräinen kosteussuhde kolmen metrin korkeudella oli helmikuussa 1932 133 % pintapuussa ja 31.9 % sydänpuussa. Hyvin samankaltaisia kosteuspitoisuuksia sai myös S i i m e s (1938), jonka tutkimat 201 mäntyä

oli kaadettu tammikuussa ja lokakuussa 1935. — Todella laajoihin aineistoihin perustuvia kosteussuhdetutkimuksia ei Suomessa liene tehty.

Sydänpuun ja pintapuun eron lisäksi männyllä on huomattavia eroja myös rungon pituussuunnassa. Yleensä on havaittu kosteussuhteen nousevan voimakkaasti tyvestä latvaan päin pintapuussa ja hieman myös sydänpuussa. Esimerkiksi aikaisemmin mainitussa Siimeksen (1938, s. 104) tutkimuksessa pintapuun kosteussuhde oli tyvessä 120 % ja kolmannen tukin latvassa 153 %. Sydänpuun kosteussuhde kohosi samassa suunnassa vain hiukan, arvosta 31.9 % arvoon 33.8 %. Toisissa tapauksissa sydänpuun kosteussuhde on saattanut jopa laskea, esim. Nylinderillä (1950, s. 183—187) arvosta 34 % arvoon 29 %. Myös kesäaikana kaadetuista männyistä on saatu samanlaisia tuloksia (esim. Jalava 1941). Seuraavassa jaotelmassa esitetyt tulokset, jotka koskevat 108 mäntyrunkoa, on saatu kesällä 1959—1960 kaadetuista puista (Tamminen 1962, laskettu sen taulukon 9 mukaan). — Mainittakoon vielä, että tulokset koskevat pintapuun ulointa ja sydänpuun sisintä osaa.

	Korkeus % rungon pituudesta					
	1	10	30	50	70	90
Pintapuun kosteussuhde	114	114	130	145	159	168
Sydänpuun kosteussuhde	34.8	35.6	35.2	40.5	..	..

(Tamminen 1962, laskettu sen taulukon 9 mukaan)

Kuten aikaisemmin on jo viitattu, männyllä havaittu kosteussuhteen selvä aleneminen pintapuussa tyvestä latvaan päin johtuu yksinomaan tai suureksi osaksi tiheyden alenemisesta samassa suunnassa. Esimerkiksi juuri Tamminen (1962, kuva 5) saattoi todeta erittäin selvän negatiivisen korrelaation kosteussuhteen ja kuivatiheyden välillä. Kun kyseisessä tutkimuksessa puuaineen kuivatiheys oli 400 kg/m³, kosteussuhde oli n. 170 %. Kun tiheys oli 600 kg/m³, kosteussuhde oli n. 105 %.

Edellä esitettyjä tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ne koskevat määräajankohtana kaadettuja puita. Tunnettua on, että elävässä mäntyrungossa olevan veden määrä riippuu monista ympäristötekijöistä, eikä saman mäntyrungon kosteussuhde pysy suinkaan vakiona esim. kuukaudesta toiseen. Yleensä oletetaan, että kosteuspitoisuuden vaihtelu sydänpuussa on vähäistä, eikä sillä ole mitään oleellista merkitystä esim. puutavaran painomittauksen kannalta. Sen sijaan pintapuun kosteus vaihtelee huomattavasti.

Yleensä Pohjoismaiden ilmastossa voidaan olettaa, että mäntyrungon sisältämä vesimäärä on suurimmillaan myöhäsyksyllä tai talvella ja että minimikohta saavutetaan joskus kasvukauden aikana täsmällisen ajankohdan määräytyessä sään perusteella (Lagerberg ym. 1927, s. 617—620, Hakkila 1962, jne.). Joskus myös maksimikosteus on sattunut kasvukauden aikana (Johansson 1957). — Tämä väittämä koskee rungon kuorellisen poikkileikkauksen keskimääräistä tai kuorettoman puuaineen kosteutta. Pelkkää kuoren kosteutta koskee päinvastainen säännönmukaisuus: kosteus on kuoressa suurimmillaan kasvukauden aikana ja pienimmillään lepokautena. — Kuoren vaikutusta tarkastellaan jäljempänä tarkemmin.

Muutos kosteussuhteen minimistä sen maksimiarvoon saattaa joskus olla hyvin nopea. Esimerkkinä voidaan tarkastella Etelä-Ruotsissa tehtyä tutkimusta, jossa alkukesästä 1959 alkukesään 1960 hakattiin kaksimetristä mäntypuuta kahdeksaan eri otteeseen (Henningsson ja Tamminen 1961). Seuraavassa jaotelmassa tarkastellaan, millaisia tuloksia vastakaadettujen, mutta kuorittujen pölkkyjen tuoretiheydestä saatiin syyskuussa ja marraskuussa 1959. Mainittakoon, että mäntypölkkyjä valmistettiin kulloisenakin hakkuuajankohtana 360. . .1 027 kpl ja yhteensä 4 870 kpl.

Sydänpuupitoisuus % tilavuudesta	Tuoretiheys kg/m³ Syyskuu	Marraskuu	Ero kg/m³	Nousu %
0 . . . 4	908	984	76	8.4
4.1. . .16	885	949	64	7.2
16.1. . .36	842	897	55	6.5

(Henningsson ja Tamminen 1961, laskettu sen taulukon 8 mukaan)

Eräässä toisessa tutkimuksessa taas havaittiin 40. . .45 -vuotiaassa männikössä, että v. 1955 kasvukauden aikainen maksimikosteus sattui olemaan kesäkuussa ja minimikosteus heinäkuussa. Kesäkuussa tyvitukkien tuoretiheys oli 943 kg/m³ ja heinäkuussa 877 kg/m³. Vastaavat latvatukkien arvot olivat 1 002 kg/m³ ja 907 kg/m³. — Kumpanakin ajankohtana hakattiin 65 runkoa. — Tuoretiheyden aleneminen (7.0. . .9.5 %) ei voinut johtua kosteuden sijasta hakattujen puiden satunnaisista kuiva-tuoretiheyden eroista, koska kolme kuukautta vedessä varastoitujen tukkien tiheys oli parin prosentin tarkkuudella sama kaatoajankohdasta riippumatta (Johansson 1956).

Suomalaisista tutkimuksista kannattaa mainita laaja Leinosen (1972 a) painomittaustutkimus. Hänen esittämistään tiedoista voidaan laskea, että mäntytukkien keskimääräinen tuoretiheys oli talvella 872 kg/m³ ja kesällä 824 kg/m³. Talviaineiston suuruus oli 2 285 m³ ja kesäaineiston 4 444 m³. — Osa erosta voi selittyä erilaisen kuivumisen vuoksi, mutta tuskin koko ero.

Kosteussuhteen vaikeasta ennustettavuudesta antaa hyvän kuvan toinen Johanssonin (1957) tutkimus. Tällöin koko vuoden maksimituoretiheys saavutettiin heinäkuussa ja minimi kesäkuussa. — Tässä tapauksessa eri kuukausina kaadettiin kulloinkin 100 runkoa n. 40-vuotiaasta männiköstä v. 1955—1956. Kosteuden vaihtelun vaikeaa selitettävyyttä todistaa myös Nylinderin (1953) kuusta koskeva tutkimus. Tulosten mukaan mm. uloimman pintapuun vuodenajoittainen kosteusvaihtelu oli erilainen kuin sisemmän pintapuun.

Puutavaran mittauksessa joudutaan luonnollisesti tarkastelemaan kussakin mittauskohdassa vallitsevaa poikkileikkauksen keskimääräistä kosteutta.

Edellä esitettyjä tuloksia tarkasteltaessa on otettava vielä huomioon, että kosteussuhteen prosentuaalinen muutos on lähes kaksinkertainen verrattuna edellä esitettyyn tuoretiheyden prosentuaaliseen muutokseen.

Saman mäntyrungon kosteussuhteen vaihtelu vuoden kuluessa saattaa merkitä edellä olevan mukaisesti sitä, että esim. latvatukkien tuoretiheys voi muuttua lyhyen ajan sisällä jopa 100 kg/m³. Tämän lisäksi on vielä otettava huomioon runkojen väliset erot.

Osa runkojen välisistä kosteuseroista johtuu epäilemättä ympäristötekijöistä, mutta samalla kasvupaikalla kasvavien samanikäisten runkojen välinen kosteuden huomattava vaihtelu on antanut aiheen olettaa kosteuden olevan vahvasti perinnöllisesti määräytyvää (ks. Z o b e l ym. 1968, s. 15). Mainitussa amerikkalaisessa tutkimuksessa samalla kasvupaikalla joidenkin runkojen kosteussuhde saattoi olla kaksinkertainen toisiin runkoihin verrattuna. Myös Suomen olosuhteissa on havaittu kosteuden vaihtelevan melkoisesti. Esimerkiksi aikaisemmin mainitussa J a l a v a n (1932) 85 valtapuuta koskevassa tutkimuksessa pintapuun kosteussuhde vaihteli välillä 96. . .177 % ja sydänpuun kosteussuhde välillä 29.6. . .33.3 %. T a m m i s e n (1962, sen taulukko 10) tutkimuksessa 108 mäntyrungon uloimman pintapuun kosteussuhde vaihteli 10 % korkeudella muutaman puun keskiarvona mitaten välillä 100. . .144 %. Vastaavasti vaihtelu sydänpuun sisäosissa oli 32. . .48 %. — Nämä luvut osoittanevat, että runkojen välinen kosteussuhteen vaihtelu on todella huomattavaa, vaikka sydänpuun vaikutus keskimääräiseen kosteuteen eliminoitaisiin.

Osa runkojen välisestä vaihtelusta voidaan selittää kasvupaikan avulla. Puutavaran painomittausta ajatellen tämän mahdollisuuden käyttökelpoisuus on kuitenkin kyseenalainen, koska esimerkiksi välivarastolla tai tehtaalla ei yleensä voi tietää, millaiselta kasvupaikalta puutavara tulee. Mainittakoon kuitenkin, että S i i m e k s e n (1938, s. 104) tutkimuksessa käenkaali-mustikkatyypillä kasvaneiden mäntyjen pintapuun kosteussuhde oli 138 %, mustikkatyypillä kasvaneiden 139 % ja kuivalla kankaalla kasvaneiden 120 %. — Yleensä voidaan olettaa, että kasvuedellytysten parantuessa kosteussuhde nousee. Ainakin osa tästä noususta aiheutuu kuiva-tuoretiheyden alenemisesta.

243. *Kuusi*

Samoin kuin männyllä, myös kuusella tärkein kosteussuhteeseen vaikuttava tekijä on pintapuun ja sydänpuun ero. — Myöskään kuusesta ei laajoihin aineistoihin perustuvia kosteussuhdetutkimuksia liene Suomessa tehty.

Kun sydän- ja pintapuuta tarkastellaan erikseen, kuusen kosteussuhde on T a m m i s e n (1962, 1964) tutkimuksesta saatavien tietojen mukaan männyn kosteussuhdetta korkeampi rungon alaosissa lähinnä puuaineen pienemmästä tiheydestä johtuen. Latvassa männyn kosteussuhde saattaa olla suurempi. Esimerkiksi vertaamalla T a m m i s e n (1962, sen taulukko 9, 1964, taulukko 8) saamia metsiköittäisiä tuloksia voidaan laskea, että kuusen uloimman pintapuun kosteussuhde on mäntyä korkeampi tilastollisesti merkitsevästi kannon, 10 % ja 30 % korkeudella, mänty taas 90 % korkeudella. Ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä 50 ja 70 % kor-

keudella. Sydänpuussa kosteussuhteen ero oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan kannon korkeudella (kuusen sydänpuu kosteampaa).

Myös uloimmassa pintapuussa olevan veden massa kuutiometriä kohti oli suurempi kuusella kuin männyllä aivan latvaa lukuunottamatta. Tämä tunnus on laskettavissa T a m m i s e n (1962, 1964) esittämistä kuivatiheyden ja kosteussuhteen arvoista. Samansuuntainen ero on myös sydänpuussa, mutta tilastollisesti ero on merkitsevä vain 30 % korkeudella.

Aivan päinvastainen tulos voidaan kuitenkin laskea N y l i n d e r i n (1961 a, b) esittämistä taulukoista jäljempänä esitettävän kaavan (5) avulla (luku 251). Sekä suurilla, keskikokoisilla että pienillä puilla oli kuutiometrissä olevan veden määrä pintapuussa kaikilla korkeuksilla suurempi männyllä kuin kuusella. Pienillä puilla erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. — Kysymys männyn ja kuusen eroista lienee jätettävä avoimeksi.

Rungon pituusakselin suunnassa kuusen kosteussuhde muuttuu vähemmän kuin männyllä, ilmeisesti ainakin osittain siksi, että myös tiheyden vaihtelu samassa suunnassa on pienempää kuin männyllä. Esimerkiksi T a m m i s e n (1964, sen taulukko 8) tutkimuksessa, joka käsitteli 77 kuusirungon ominaisuuksia, saatiin seuraavan jaotelman mukaisia tuloksia.

	Korkeus % rungon pituudesta					
	1	10	30	50	70	90
Pintapuun kosteussuhde	146	143	152	157	156	147
Sydänpuun kosteussuhde	43.2	39.0	38.0	39.2	..	..

(T a m m i n e n 1964, laskettu sen taulukon 8 mukaan)

Myös muissa pohjoismaisissa tutkimuksissa on havaittu, että kuusella kosteus lisääntyy tyvestä latvaan päin suhteellisen vähän mäntyyn verrattuna. Esimerkiksi N y l i n d e r i n (1950, s. 183) tutkimuksessa kuusella pintapuun kosteus laski kannosta noin 10 % korkeudelle, sitten nousi latvaan saakka. Uloimmassa pintapuussa alin havaittu kosteussuhde oli 155 % ja suurin (latvassa) noin 180 %. Myös N y l i n d e r i n tutkimuksessa sydänpuun kosteus hiukan aleni tyvestä latvaan päin, siis samoin kuin T a m m i s e n (1964) aiemmin mainitussa tutkimuksessa. — Kaikkien käytettävissä olevien tutkimusten mukaan näyttää kuitenkin siltä, että sydänpuun kosteussuhteen vaihtelu on maksimiarvosta minimiarvoon korkeintaan 5 prosenttiyksikön suuruusluokkaa. — On myös selvää, että keskimääräinen poikkileikkauksessa vallitseva kosteussuhde vaihtelee rungon pituussuunnassa vähemmän kuusella kuin männyllä. Osittain tämä johtuu edellä mainitusta pintapuun kosteuden pienemmästä vaihtelusta (jonka syynä voi olla vähäinen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu), osittain taas siitä, että kuusella sydänpuupitoisuus on suurempi kuin männyllä.

Samoin kuin männyllä, myös kuusella rungossa oleva vesimäärä vaihtelee kuukaudesta toiseen. Sydänpuun kosteussuhteen vaihtelun voi olettaa olevan vähäistä (esim. N y l i n d e r 1953). Pintapuun kosteuden tiedetään vaihtelevan, mutta yleistämiskelpoisia tuloksia ei tiettävästi ole olemassa. Mahdolliselta kuitenkin näyt-

tää, että kuusella vuodenajoittainen vaihtelu on vähintään samaa suuruusluokkaa tai jopa suurempi kuin männyllä. Esimerkiksi Hakkila (1962) havaitsi, että pienikokoisten kuusirunkojen kosteus vaihteli vuodenajan mukaan enemmän kuin pienikokoisten mäntyjen. Tätä tulosta ei ilman muuta voida yleistää järeisiin tukkipuukokoisiin runkoihin, mutta se voinee antaa kuitenkin viitteitä suurten runkojen pintapuussa olevasta kosteusvaihtelusta.

Myös norjalainen Klem (1944, s. 485) havaitsi suuria eroja. Hänen tutkimuksessaan kuusen tuoretiheys aleni 101 kg/m³ maaliskuusta heinäkuuhun. Kyseessä olivat tällöin pienikokoiset puut. Vanhan saksalaisen käsikirjatiedon mukaan ero kesän ja talven välillä saattaa olla pintapuussa peräti 190 kg/m³ ja sydänpuussakin 50 kg/m³ (Tischendorf 1927, s. 65). — Pohjoismaisiin oloihin nämä luvut saattavat olla liian suuret, mutta osoittavat kuitenkin vuodenajan suuren merkityksen tuoretiheydelle.

Keskimääräisiä kosteussuhteita ajatellen on selvää, että kuusen mäntyä suurempi sydänpuuosuus tasaa vuodenajan vaikutusta. Tästä huolimatta voidaan olettaa, että kuusen kosteussuhde on männyn tavoin korkeampi myöhäsyksyllä ja talvella kuin kasvukauden aikana. Esimerkiksi Leinosen (1972 a) esittämistä tuloksista voidaan laskea, että eräässä painomittaustutkimuksessa kuusitukkien tuoretiheys oli talvella 870 kg/m³ ja kesällä 786 kg/m³. Talviaineiston suuruus oli 1 395 m³ ja kesäaineiston 601 m³. — Osa tuoretiheyserosta saattaa luonnollisesti selittyä puutavaran kesäaikaisen kuivumisen vuoksi, mutta tämän vaikutuksen arviointi ei ole mahdollista.

Runkojen väliset kosteuserot ovat myös kuusella huomattavat. Esimerkiksi Tammisen (1964, taulukko 9) tutkimuksessa uloimmassa pintapuussa 10 % korkeudella vallitseva kosteussuhde oli muutaman puun keskiarvona mitaten välillä 118...161 %. Sydänpuun sisäosassa kosteussuhteen vaihtelu oli taas välillä 33...54 %.

Osa runkojen välisistä eroista voidaan selittää kasvunopeuden avulla. Esimerkiksi Nylinder havaitsi, että samalla kasvupaikalla kasvavien samanikäisten kuusirunkojen pintapuun kosteus lisääntyi läpimitan kasvaessa. Alle 18 cm paksuilla puilla kosteussuhde oli 146 %, yli 21 cm paksuilla puilla 182 %. Nämä tulokset koskivat 20 % korkeutta ja ulointa pintapuuta.

Samoin kuin männyllä, myös kuusella on kasvupaikan vaikutusta vaikea ottaa huomioon käytännöllisessä puutavaran painomittauksessa.

25. Tuoretiheys

251. *Tuoretiheyden riippuvuus eri tekijöistä*

Edellä tarkastellut tekijät, kuiva-tuoretiheys, sydänpuupitoisuus sekä sydän- ja pintapuun kosteussuhde määräävät yksiselitteisesti puuaineen tuoretiheyden. — Jäljempänä käytetään seuraavia merkintöjä:

r_g = tuoretiheys kg/m³ (pelkän puuaineen tai puun ja kuoren)
u_h = sydänpuun kosteussuhde %

u_s = pintapuun kosteussuhde %
(tai pintapuun ja kuoren, jos r_g tarkoittaa kuorellista puuta)
h = sydänpuuosuus tilavuudesta %
R = kuiva-tuoretiheys kg/m³ (pelkän puuaineen tai puun ja kuoren)

Kun tarkastellaan tuoretilavuudeltaan kuutiometrin kokoista puumäärää, kuiva-tuoretiheys osoittaa suoraan tässä tilavuudessa olevan puuaineen kuivan massan. Sydänpuussa olevan veden määrän osoittaa kaava (1).

$$(1)\quad \text{Sydänpuussa olevan veden massa} = \frac{h}{100} \cdot \frac{u_h}{100} \cdot R$$

Vastaavasti pintapuussa olevan veden massan osoittaa kaava (2).

$$(2)\quad \text{Pintapuussa olevan veden massa} = \frac{(100\text{-}h)}{100} \cdot \frac{u_s}{100} \cdot R$$

Kun nämä kaavojen (1) ja (2) osoittamat vesimäärät m³ kohti lasketaan yhteen kuiva-tuoretiheyden kanssa kaavan (3) mukaisesti, saadaan lopputuloksena tuoretiheys kg/m³.

$$(3)\quad r_g = R\ (1 + \frac{hu_h}{10\,000} + \frac{(100\text{-}h)u_s}{10\,000})$$

Edellä on kaavaa (3) johdettaessa oletettu, että sekä sydänpuun että pintapuun kuiva-tuoretiheys on sama. Ellei tämä pidä paikkansa, joudutaan käyttämään kaavaa (4). — Kuiva-tuoretiheydessä oleva alaindeksi h tarkoittaa sydänpuuta ja s pintapuuta.

$$(4)\quad r_g = \frac{hR_h}{100} + \frac{(100\text{-}h)R_s}{100} + \frac{hu_hR_h}{10\,000} + \frac{(100\text{-}h)u_sR_s}{10\,000}$$

Kaavat (3) ja (4) kuvaavat periaatteessa tarkasti puuaineen tuoretiheyttä, kun tunnetaan kuiva-tuoretiheys, sydänpuupitoisuus sekä kosteussuhde. Näiden kaavojen avulla ei kuitenkaan voida tarkastella, kuinka paljon jonkin tekijän muuttuminen vaikuttaa tuoretiheyden muuttumiseen. Tämä johtuu kyseisten tekijöiden korreloitumisesta. Kuten aikaisemmin on jo todettu, erityisesti pintapuun kosteussuhde alenee voimakkaasti puuaineen tiheyden kasvaessa.

Jotta aiemmin tarkasteltu malli saataisiin muutosten tarkastelun kannalta realistiseksi, pintapuun kosteussuhteen ja sen kuiva-tuoretiheyden korreloituminen on otettava huomioon. Tämän korreloitumisen syiden ymmärtämiseksi on tarkasteltava, millainen on pintapuun absoluuttinen määrä eri korkeuksilla rungossa. Toisaalta on tarkasteltava, kuinka paljon tilavuusyksikköä kohti on vettä eri korkeuksilla.

Pintapuun absoluuttisesta määrästä rungon eri korkeuksilla on hämmästyttävän vähän tietoja. Sydänpuupitoisuutta on kyllä tutkittu runsaasti, kuten aikaisemmin

viitatusta kirjallisuudesta on jo käynyt ilmi, mutta tulosten esittämisen yhteydessä ei yleensä ole kiinnitetty huomiota pintapuun absoluuttiseen määrään.

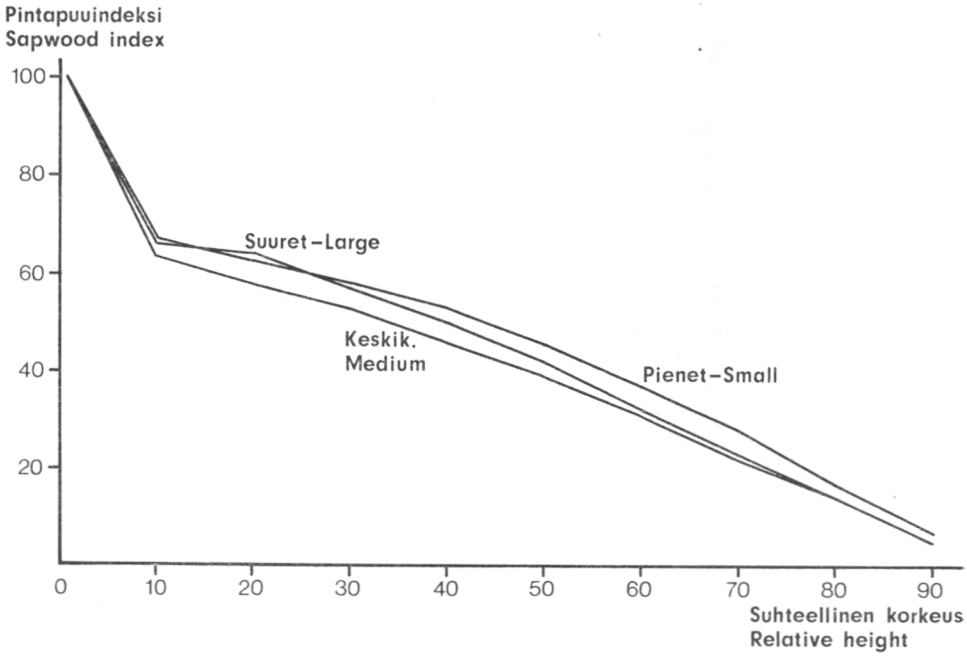
Tätä tutkimusta varten on laskettu joitakin tuloksia N y l i n d e r i n (1961 a, b) tutkimusraportissaan esittämistä taulukoista 3 ja 6. Erikokoisten puiden vertailun mahdollistamiseksi kannon korkeudella vallitsevaa pintapuun määrää on merkitty luvulla 100, ja tähän lukuun muut pintapuun määrät on sitten suhteutettu. Näistä indekseistä on tämän jälkeen laskettu keskiarvot.

Kuvassa 4 on esitetty tulokset 160 kuusesta, jotka edustavat 8 metsikköä. Suuria puita on 40, keskikokoisia 80 ja pieniä 40.

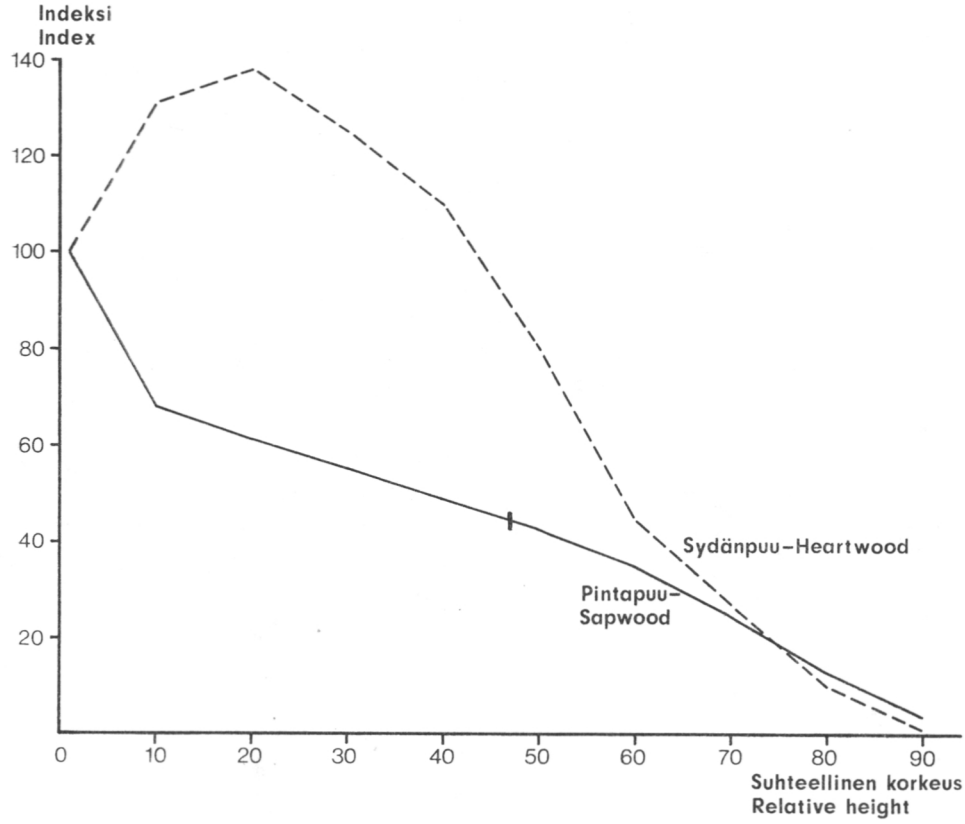
Kuvan 4 perusteella on ilmeistä, että pintapuu on tavanomaista laajempi kannon korkeudella. Noin 10 % korkeudelta alkaen pintapuun määrä laskee latvaan päin hiukan suoraviivaista nopeammin. Erikokoisilla puilla kuvaajat ovat hyvin samankaltaisia.

Kuvassa 5 on esitetty mäntyä koskevat tulokset. Pintapuun kuvaaja perustuu 100 keskikokoiseen puun analysointiin. Vertailun vuoksi kuvaan on piirretty myös sydänpuuosuuden indeksi. Kannon korkeudella vallitsevaa sydänpuuosuutta on merkitty luvulla 100. Pintapuun absoluuttisen määrän kuvaajaan on merkitty myös latvusraja.

Mäntyä esittävä kuva 5 on tulkinnallisesti erityisen mielenkiintoinen. Kannon tasalla pintapuun absoluuttinen määrä on poikkeuksellisen korkea. Kannosta ylöspäin, noin 10 % korkeudelta alkaen, pintapuun määrä laskee suoraviivaisesti latvus-



Kuva 4. Kuusen pintapuun absoluuttisen määrän riippuvuus korkeudesta. Kannon korkeus = 100.
Fig. 4. Cross-sectional area of the sapwood of spruce and its relation to the height. Stump level = 100.



Kuva 5. Männyn pintapuun absoluuttisen määrän ja sydänpuuosuuden riippuvuus korkeudesta. Kannon korkeus = 100.

Fig. 5. Cross-sectional area of the sapwood of pine and its relation to the height. Stump level = 100.

rajaan saakka. Latvusrajasta alkaen pintapuun määrän aleneminen on edelleen likimain suoraviivainen, mutta jyrkempi. Sydänpuuosuuden kuvaajaan verrattuna pintapuun absoluuttisen määrän kuvaaja on yhtenäinen ja johdonmukaisesti käyttäytyvä. Kuusen ja männyn kuvaajat vastaavat hämmästyttävän hyvin toisiaan.

Esitettyjen tulosten mukaan pintapuun absoluuttinen määrä alenee kannon korkeutta lukuunottamatta sangen tasaisesti tyvestä latvaan päin. — Vielä on selvitettävä, kuinka paljon tilavuusyksikköä kohti vettä on rungon eri korkeuksilla.

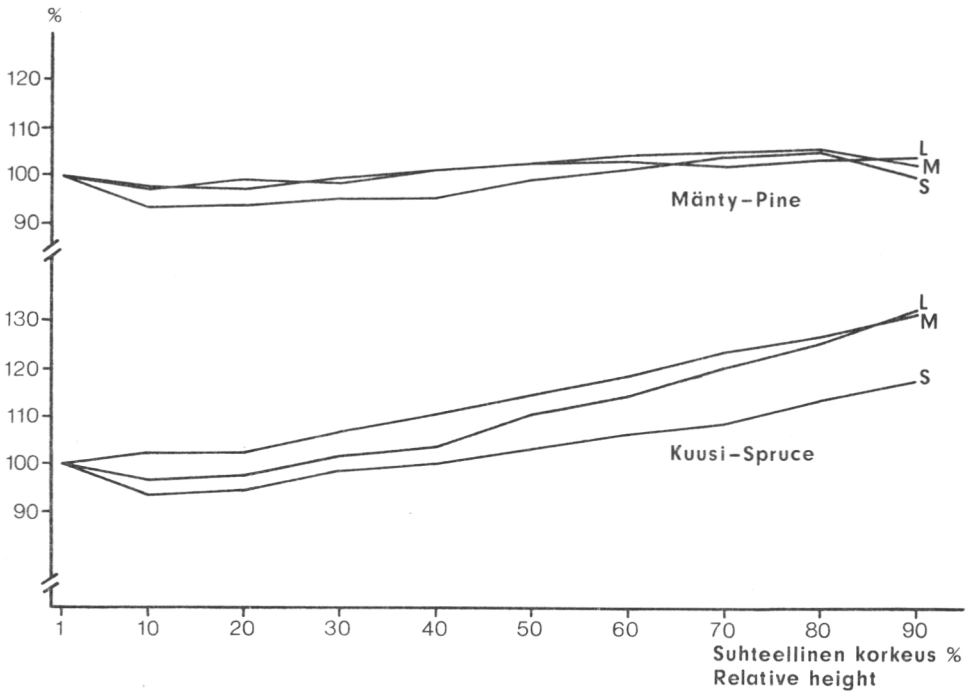
Myöskään tästä ongelmasta ei ole käytettävissä valmiita tuloksia. Tässä yhteydessä on jälleen turvauduttu N y l i n d e r i n (1961 a, b) esittämiin havaintoihin, joista kaavalla (5) on laskettu pintapuussa olevan veden määrä tilavuusyksikköä kohti. — Kaavassa (5) on jouduttu tekemään joitakin olettamuksia. On mm. oletettu, että sydänpuun kosteussuhde on 35 %, ja että sydänpuulle voidaan käyttää samaa kuivatiheyttä kuin koko rungon poikkileikkaukselle kyseisellä korkeudella. Jälkimmäinen

olettamus on sikäli epärealistinen, että tiheyden tiedetään ainakin männyllä nousevan selvästi ytimestä pintaan päin. Olettamusta on kuitenkin jouduttu käyttämään, koska kyseisissä tutkimuksissa ei ole erikseen selvitetty sydänpuun kuivatiheyttä.

$$(5)\quad y_s = \frac{r_g - R - \left(\frac{0{,}35\ r_0 h_1^2}{10\,000}\right)}{1 - \frac{h_1^2}{10\,000}}$$

jossa y_s = pintapuussa olevan veden massa kg/m³
r_g = tuoretiheys kg/m³
R = kuiva-tuoretiheys kg/m³
r_0 = kuivatiheys kg/m³
h_1 = läpimitasta ilmoitettu sydänpuuosuus %

Kaavalla (5) lasketut Nylinderin (1961 a, b) aineistoihin perustuvat tulokset on esitetty kuvassa 6. Pintapuussa olevan veden määrä kuutiometriä kohti on laskettu erikseen suurille, keskikokoisille ja pienille puille kussakin metsikössä. Keskiarvot on laskettu indekseistä siten, että luvulla 100 on merkitty kannon korkeudella vallit-



Kuva 6. Kaavalla (5) laskettu veden määrä kg/m³ pienissä (S), keskikokoisissa (M) ja suurissa (L) puissa. Nylinderin (1961 a, b) aineistot.

Fig. 6. Amount of water kg/m³ in small (S), medium (M) and large (L) trees according to the material of Nylinder (1961 a, b).

sevaa pintapuussa olevan veden massaa kg/m³. — Mainittakoon, että suuria mäntyrunkoja oli 50, keskikokoisia 100 ja pieniä 50 yhteensä kymmenessä metsikössä. Suuria kuusirunkoja oli taas 40, keskikokoisia 80 ja pieniä 40 yhteensä kahdeksassa metsikössä.

Kuvan 6 perusteella on ensinnäkin ilmeistä, että männyllä ja kuusella veden määrä pintapuun kuutiometriä kohti muuttuu eri tavalla tyvestä latvaan päin. Männyllä pintapuussa olevan veden määrä kuutiometriä kohti pysyy likimain vakiona. Kun kannon korkeudella olevat veden massaa kuutiometriä kohti merkitään luvulla 100, suurilla mäntypuilla on alhaisin arvo 20 % korkeudella (97.3) ja suurin arvo 90 % korkeudella 104.5). Keskikokoisilla puilla minimiarvo on 10 % korkeudella (97.5) ja suurin arvo 80 % korkeudella (106.0). Pienillä puilla minimi ja maksimi ovat samoilla kohdilla kuin keskikokoisissa puissa. Vastaavat indeksin arvot ovat 93.8 ja 105.7. — Voidaan näin ollen todeta, että männyllä pintapuussa olevan veden massa kuutiometriä kohti pysyy samana rungon eri korkeuksilla 10 prosenttiyksikön rajoissa.

Em. kaavalla laskettu veden määrä kannon korkeudella oli suurilla puilla 578 kg/m³, keskikokoisilla 552 kg/m³ ja pienillä 547 kg/m³.

Tammisen (1962) havainnoista (108 puuta) laskettavissa olevat tulokset tukevat edellä olevaa johtopäätöstä. Kun hänen tutkimuksensa taulukoista 9 ja 21 lasketaan uloimmassa pintapuussa olevan veden määrä, saadaan tulos, jonka mukaan veden määrä kuutiometriä kohti on alimmillaan kannon ja 10 % korkeudella ja suurimmillaan 70 % korkeudella. Minimin ja maksimin ero on vain 6.3 %. — Absoluuttinen arvo kannon tasalla oli 653 kg/m³.

Kuusella tilanne on toinen Nylinderin (1961 b) aineiston mukaan. Kuvan 6 mukaan suurilla ja pienillä puilla minimikohta on 10 % korkeudella ja keskikokoisilla puilla aivan tyvessä. Kaikissa puunkokoluokissa maksimikohta on aivan latvassa. Suurten puitten minimi on 96.6 ja maksimi 132.5. Keskikokoisilla puilla vastaavat arvot ovat 100.0 ja 131.9. Pienillä puilla minimi on 93.5 ja maksimi 117.7. — Kuusella pintapuun kuutiometriä kohti laskettu veden massa siis lisääntyy selvästi tyvestä latvaan päin.

Mainittakoon vielä, että em. kaavalla laskettuna suurilla puilla veden määrä oli koko pintapuussa 456 kg/m³, keskikokoisilla puilla 444 kg/m³ ja pienillä 498 kg/m³.

Kun Tammisen (1964) havaintojen perusteella tarkastellaan pelkästään ulointa pintapuuta, saatu kuva on toinen kuin Nylinderillä (1961 b), mutta sama kuin aiemmin tarkastellulla männyllä. Kun Tammisen (1964) taulukoista 8 ja 20 lasketaan uloimmassa pintapuussa olevan veden määrä kuutiometriä kohti, havaitaan minimin ja maksimin eroksi vain 5.5 %. Minimi oli aivan latvassa ja lähellä minimiä oleva arvo kannon korkeudella. Maksimi oli 50 % korkeudella.

Absoluuttisista arvoista mainittakoon, että kuutiometriä kohti vettä oli kannon korkeudella uloimmassa pintapuussa keskimäärin 674 kg. Tutkittuja puita oli 77.

Saaduista tuloksista on huomattava, että veden massa kuutiometriä kohti lisääntyy huomattavasti vähemmän kuin mitä pintapuun absoluuttisen määrän alenemisesta

tyvestä latvaan päin voisi päätellä. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että jopa oksattomassa männyn rungon osassa vettä kuluu huomattavan paljon erilaisiin fysiologisiin prosesseihin tai siirtyy puuaineesta kuoreen. Toinen mahdollisuus luonnollisesti on, että veden virtaamisnopeus on puun latvaosissa huomattavasti suurempi kuin tyviosissa. — Nämä sinänsä mielenkiintoiset fysiologiset pohdinnat eivät kuitenkaan kuulu varsinaisesti tämän tutkimuksen piiriin.

Jos oletetaan, että tilavuusyksikössä olevan veden massa pysyy samana puuaineen tiheydestä riippumatta kuten edellä olevan mukaisesti ainakin männyllä näyttää olevan, saadaan jäljempänä esitettävä kosteussuhteen riippuvuus kuiva-tuoretiheydestä. — Merkitään jossakin puun osassa olevan veden massaa m_a. Vastaava puun massa olkoon m_w ja puun tuoretilavuus V_w. Tällöin kosteussuhde $u = 100\ m_a/m_w$ ja kuiva-tuoretiheys $R = m_w/V_w$. Kun oletetaan, että veden massa tilavuusyksikköä kohti on vakio, saadaan $m_a/V_w = k$ eli $m_a = kV_w$, jossa k on jokin vakio. Kun tämä sijoitetaan kosteussuhteen kaavaan ja otetaan huomioon kuiva-tuoretiheyden kaava, saadaan yhteys $u = 100\ k/R$ eli toisin sanoen, kosteussuhteen ja kuiva-tuoretiheyden tulo on vakio silloin, kun tilavuusyksikössä olevan veden massa on vakio.

252. *Mänty*

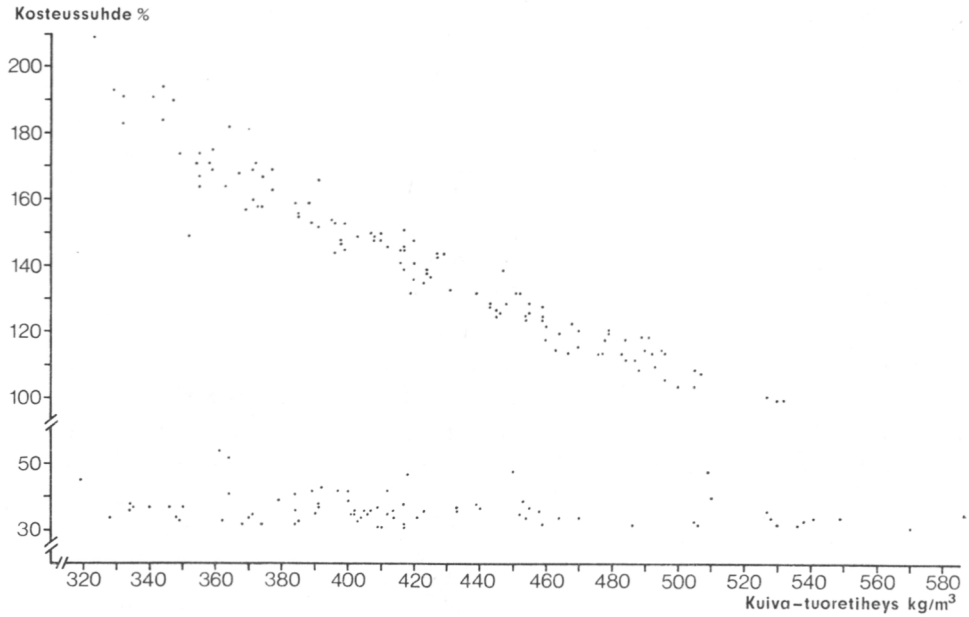
Kovin runsaasti ei ole sellaisia empiirisiä materiaaleja, joista voitaisiin laskea kosteussuhteen riippuvuus kuiva-tuoretiheydestä. Kuva 7 on piirretty T a m m i s e n (1962, taulukot 9 ja 17) tulosten perusteella. Siitä voidaan havaita, kuinka voimakkaasti pintapuun kosteussuhde alenee kuiva-tuoretiheyden kasvaessa, ja ettei vastaavaa riippuvuutta ole männyn sydänpuussa.

Kuvan 7 perusteella on laskettu yhtälö (6), joka osoittaa, millä tavalla pintapuun kosteussuhde riippuu kuiva-tuoretiheydestä männyllä.

(6) $u_p = 553.9—1.482\ R + 0.001183\ R^2$

Tämä empiirinen yhtälö poikkeaa jonkin verran kaavasta $u = 100\ k/R$, jonka perustelu on edellä esitetty. Jos teoreettinen kaava sijoitetaan siten, että sillä saadaan sama tulos kuin kaavalla (6) tiheyden ollessa 400 kg/m³, voidaan todeta teoreettisen kaavan antavan liian alhaisia kosteussuhteen arvoja kuiva-tuoretiheyden ollessa pieni. Vastaavasti teoreettinen kaava antaa liian suuria kosteussuhteita tiheyden ollessa suuri. Erot eivät kuitenkaan ole kovin suuret. Kuvan 7 vaihtelualueella suurimmat kosteussuhde-erot ovat 10. . .15 prosenttiyksikköä. Näin ollen olettamus, että veden massa on suunnilleen sama pintapuun tilavuusyksikköä kohti riippumatta puuaineen kuiva-tuoretiheydestä, pitää likimäärin paikkansa ja siten, että tiheässä puussa kosteussuhde on oletettua alhaisempi ja kevyessä puussa oletettua korkeampi.

Kun kaava (3) ja empiirinen mäntyä koskeva yhtälö (6) yhdistetään, saadaan yhtälö (7). Sitä käyttäen voidaan selvitellä, kuinka paljon tuoretiheys muuttuu sydän-



Kuva 7. Männyn pintapuun (ylemmät pisteet) ja sydänpuun (alemmat) kosteussuhteen riippuvuus kuiva-tuoretiheydestä Tammisen (1962) aineistossa.

Fig. 7. Relationship between the moisture content of sapwood (upper points) and heartwood (lower points), and the basic density in the pine material of Tammine n (1962)

Kosteussuhde — *moisture content, of oven-dry weight*
Kuiva-tuoretiheys — *basic density*

puun kosteuden, sydänpuupitoisuuden ja kuiva-tuoretiheyden muuttuessa. — Tällöin on siis oletettu, että kuiva-tuoretiheys määrää täydellisesti pintapuun kosteussuhteen.

$$(7)\quad r_g = R\ (1 + \frac{hu_h}{10\,000} + \frac{(100\text{-}h)}{10\,000}\ (553.9 - 1.482\ R + 0.001183\ R^2))$$

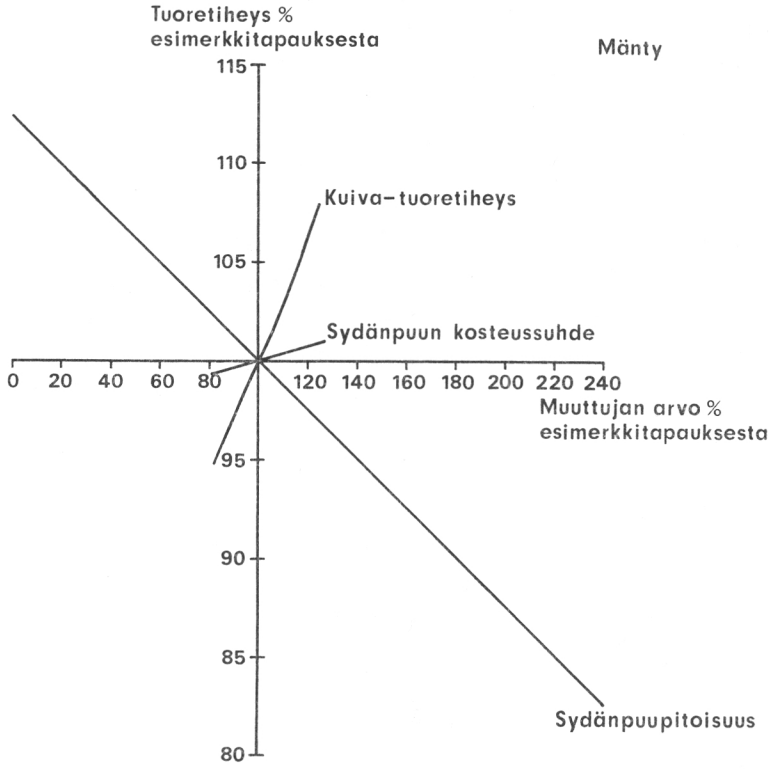
Kun sydänpuun kosteussuhde u_s on 33 %, sydänpuupitoisuus h tilavuudesta 25 % ja puuaineen kuiva-tuoretiheys R 425 kg/m³, yhtälöllä (7) saadaan tuoretiheydeksi r_g 899 kg/m³. Näitä arvoja voidaan pitää esimerkkitapauksena, josta lähtien voidaan tarkastella eri tekijöiden merkittävyyttä tuoretiheyden muuttumisen kannalta.

Kun sydänpuun kosteussuhde ja puuaineen kuiva-tuoretiheys pidetään esimerkkitapauksen esittämissä arvoissa, voidaan havaita sydänpuupitoisuuden muutoksen vaikuttavan huomattavasti tuoretiheyteen. Jos sydänpuuta ei ole lainkaan, puuaineen tuoretiheys on 1 010 kg/m³ eli 12.3 % enemmän kuin esimerkikkitapauksessa. Jos taas sydänpuun tilavuusprosentti on kaksinkertainen eli 50 %, tuoretiheys on yhtälön (7) mukaan laskien 788 kg/m³ eli 87.7 % esimerkkitapauksen arvosta.

Jos taas sydänpuun kosteussuhde ja sydänpuupitoisuus pidetään esimerkkitapauksen arvoissa, voidaan havaita kuiva-tuoretiheyden muutoksen vaikuttavan

kohtalaisen paljon tuoretiheyteen. Jos puuaineen kuiva-tuoretiheys on 500 kg/m³ eli 18 % enemmän kuin esimerkkitapauksessa, puuaineen tuoretiheys on 949 kg/m³ eli 5.6 % enemmän kuin esimerkkitapauksessa. Toisin sanoen kuiva-tuoretiheyden ja kosteussuhteen negatiivisesta korrelaatiosta huolimatta tuoretiheys kasvaa kuiva-tuoretiheyden kasvaessa. — Samalla tavalla voidaan laskea sydänpuun kosteussuhteen vaikutus.

Saadut tulokset on esitetty kuvassa 8. Luvulla 100 on merkitty esimerkkitapauksen arvoja. Muuttujien vaihteluvälillä on pyritty kuvaamaan luonnossa mahdollista vaihtelua. Näin ollen sydänpuupitoisuus vaihtelee välillä 0. . .60 % tilavuudesta, sydänpuun kosteussuhde välillä 27. . .42 % ja puuaineen kuiva-tuoretiheys 350. . .525 kg/m³. Vain aniharvoissa tapauksissa kyseiset muuttujat saanevat suurempia tai pienempiä arvoja.



Kuva 8. Eri tekijöiden vaikutus tuoretiheyteen männyllä.
Fig. 8. The effects of various factors on the green density of pine.
Explanations:

Tuoretiheys % esimerkkitapauksesta — *Green density in per cent of the example*
Kuiva-tuoretiheys — *basic density*
Sydänpuun kosteussuhde — *moisture content in heartwood*
Sydänpuupitoisuus — *proportion of heartwood*
Muuttujan arvo % esimerkkitapauksesta —
Variable in per cent of the value in the example

Kuvan 8 perusteella on eniten tuoretiheyteen vaikuttava tekijä sydänpuupitoisuus. Sen merkittävyys johtuu osittain siitä, että sydänpuupitoisuus vaikuttaa huomattavasti (regressiokerroin suuri) tuoretiheyteen. Toisaalta sen vaikutus on huomattava sen vuoksi, että sydänpuupitoisuus vaihtelee laajoissa rajoissa. — Luonnollisesti myös kuiva-tuoretiheys vaikuttaa tuoretiheyteen melkoisesti. Sen vaikutus jää kuitenkin sydänpuupitoisuuden vaikutusta pienemmäksi lähinnä siksi, että sen vaihteluväli on loppujen lopuksi vähäinen.

Sydänpuun kosteussuhteella ei näytä olevan oleellista merkitystä tuoretiheyden suuruuteen. Tämä tulos on varsin ymmärrettävä.

Edellä tarkasteltu kuva 8 ilmentää lähinnä mäntyrunkojen välisiä eroja ja niihin vaikuttavia tekijöitä. On mielenkiintoista todeta, että aiemmin kappaleessa 242 tarkastellut vuodenajoittaiset muutokset saattavat olla suuruusluokaltaan samaa tasoa kuin rungoittaiset erot. Kuten kappaleessa 242 viitatut tutkimukset osoittavat, jopa kuukauden sisällä tuoretiheys saattaa muuttua 5. . .10 %. Kuvan 8 perusteella näin suuria muutoksia voidaan pitää todella huomattavina runkojen välisiin eroihin verrattuna.

253. *Kuusi*

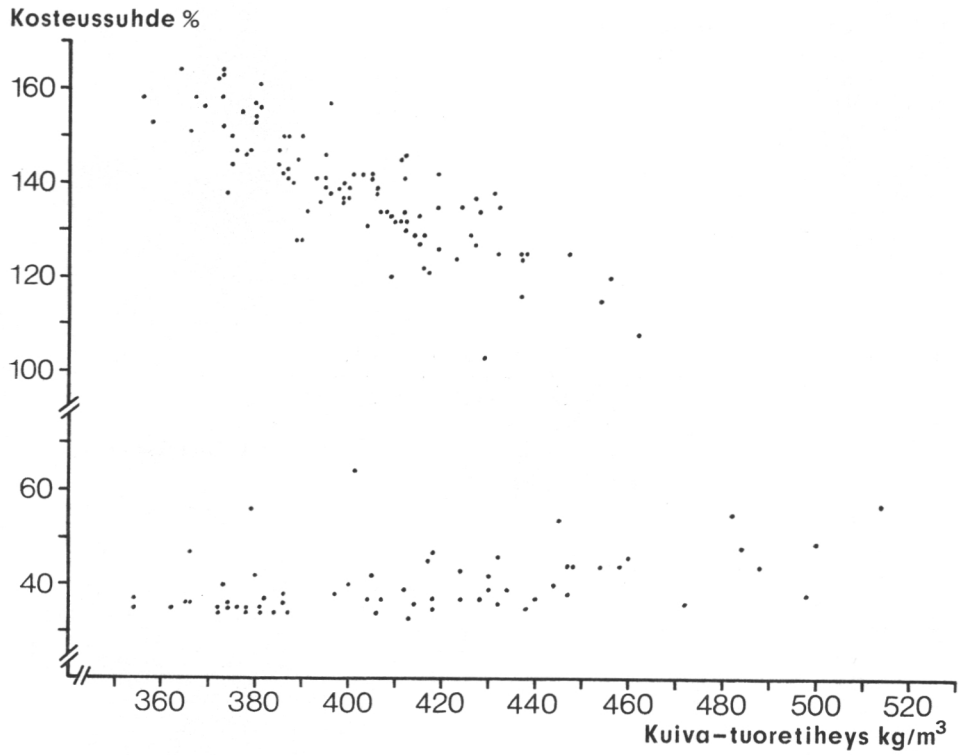
Aivan samoin kuin männyllä, myös kuusella pintapuun kosteussuhde korreloi voimakkaasti puuaineen tiheyden kanssa. Yhtälö (8) kuvaa, kuinka pintapuun kosteussuhde riippuu puuaineen kuiva-tuoretiheydestä. Yhtälö on laskettu T a m m i s e n (1964, taulukot 8 ja 16) tuloksista, jotka on esitetty kuvassa 9 sydänpuun tulosten kanssa. Kuten kuvasta havaitaan, riippuvuus on pintapuussa voimakas, mutta sydänpuussa likimain olematon.

(8) $u_p = 941.4—3.451\ R + 0.003663\ R^2$

Myös kuusella, samoin kuin männyllä, empiirinen yhtälö poikkeaa teoreettisesta esityksestä $u = 100\ k/R$. Jos 100 k/R merkitään samaksi kuin empiirinen yhtälö kuiva-tuoretiheyden arvolla 400 kg/m³, havaitaan sama ilmiö kuin männyllä: olettamus, että veden massa on tilavuusyksikössä vakio tiheydestä riippumatta, pitää suunnilleen paikkansa. Kuitenkin tiheässä puussa kosteus on oletettua pienempi ja kevyessä oletettua suurempi.

Kun yhtälö (8) liitetään kaavaan (3) samalla tavoin kuin männyllä meneteltiin, saadaan ennusteyhtälö, jota käyttäen voidaan selvitellä, kuinka paljon tuoretiheys muuttuu sydänpuun kosteuden, sydänpuupitoisuuden ja kuiva-tuoretiheyden muuttuessa. Tällöin on siis oletettu, että kuiva-tuoretiheys määrää täydellisesti pintapuun kosteussuhteen.

Kuusta koskevassa esimerkkitapauksessa sydänpuun kosteussuhteeksi on otettu 36 %, sydänpuupitoisuudeksi tilavuudesta 30 % ja kuiva-tuoretiheydeksi 375 kg/m³. Tällöin on ennustettu tuoretiheys 842 kg/m³. Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina vaikuttaa erityisen voimakkaasti sydänpuupitoisuus. Kun sydänpuuta ei



Kuva 9. Kuusen pintapuun (ylemmät pisteet) ja sydänpuun (alemmat) kosteussuhteen riippuvuus kuiva-tuoretiheydestä Tammisen (1964) aineistossa.

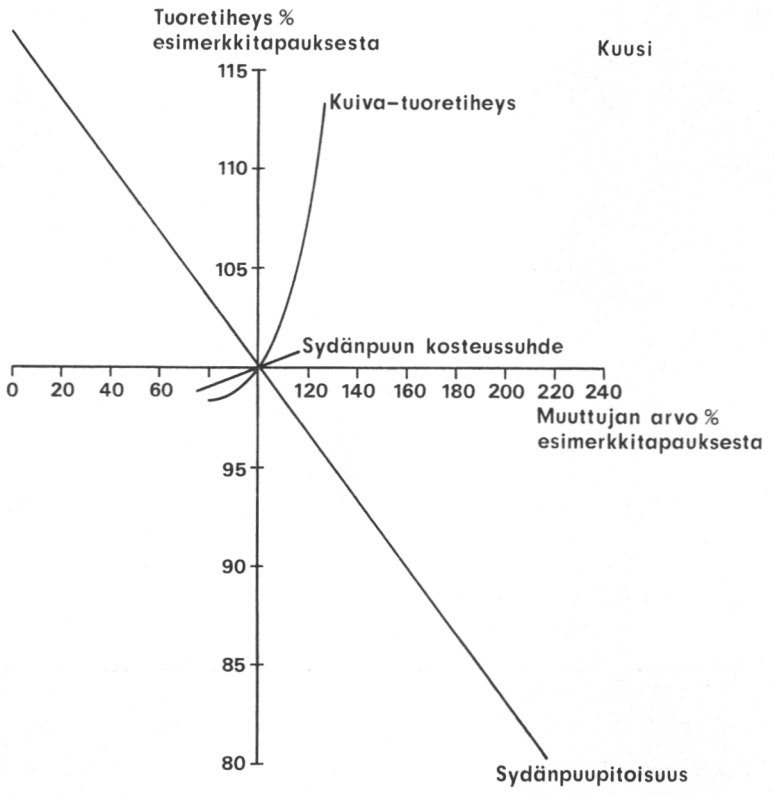
Fig. 9. Relationship between the moisture content of sapwood (upper points) and heartwood (lower points), and the basic density in the spruce material of Tamminen (1964).

Kosteussuhde — *moisture content, of oven-dry weight*
Kuiva-tuoretiheys — *basic density*

ole lainkaan, tuoretiheys on 984 kg/m³ eli 16.9 % enemmän kuin esimerkkitapauksessa. Jos sydänpuupitoisuus kasvaa kaksinkertaiseksi eli arvoon 60 % tilavuudesta, tuoretiheys on 700 kg/m³. Tämä on 83.1 % esimerkkitapauksen tuoretiheydestä. Vastaavasti voidaan tarkastella muiden tekijöiden vaikutusta. Saadut tulokset on esitettu kuvassa 10. Sen mukaan huomattavin käytännössä tuoretiheyteen vaikuttava tekijä on sydänpuupitoisuus, siis samoin kuin männyllä. Tämä johtuu toisaalta regressiokertoimen suuruudesta, toisaalta taas vaihteluvälin suuruudesta, joka kuvassa on oletettu väliksi 0. . .65 % tilavuudesta.

Myös kuiva-tuoretiheys vaikuttaa melkoisesti tuoretiheyteen huolimatta sen negatiivisesta korrelaatiosta kosteussuhteen kanssa. Kuvassa on oletettu, että vaihteluväli on 300. . .475 kg/m³.

Samoin kuin männyllä, myös kuusella sydänpuun kosteussuhteen tavanomainen vaihtelu voi vaikuttaa vain vähän tuoretiheyteen. Kuvassa kosteussuhteen alimmaksi arvoksi on otettu 27 % ja ylimmäksi 42 %.



Kuva 10. Eri tekijöiden vaikutus tuoretiheyteen kuusella.
Fig. 10. The effects of various factors on the green density of spruce. Explanations, see fig. 8.

Edellä tarkasteltu kuva 8 antaa mielikuvan kuusirunkojen välisistä eroista. Sekä sydänpuupitoisuuden että kuiva-tuoretiheyden muutos vaikuttaa tuoretiheyteen enemmän kuusella kuin männyllä. — Käytännössä on kuitenkin vaikea arvioida, mikä merkitys tälle ilmiölle on annettava. Tulkinnalliseen varovaisuuteen kehottaa ainakin se, että kaikissa järeissä mäntyrungoissa kuiva-tuoretiheys muuttuu voimakkaasti rungon pituussuunnassa, toisin kuin kuusella. Tämän vuoksi voi olettaa, että esim. tukkien painomittauksessa kuiva-tuoretiheyden vaihtelu on suurempaa männyllä kuin kuusella, ja tämän seurauksena myös tuoretiheyden vaihtelu.

26. **Oksien ja muiden vikojen vaikutus tuoretiheyteen**

261. *Rungon sisässä olevat oksat*

Tuoretiheyteen vaikuttavia tekijöitä on tähän saakka tarkasteltu ottamatta huomioon oksia ja muita puuaineessa olevia vikoja, jotka saattavat vaikuttaa tuore-

tiheyteen. Näiden vikojen merkityksen selvittämiseksi on toisaalta selvitettävä niiden tilavuus ja toisaalta niiden kuiva-tuoretiheys ja kosteus. Kirjallisuudesta löytyy jonkin verran tietoja siitä, kuinka suuren osan rungon tilavuudesta oksat muodostavat. Sen sijaan tietoja on jo vähemmän oksien kuiva-tuoretiheydestä ja erittäin vähän kosteudesta tai tuoretiheydestä.

Pelkästään tilavuusosuuden perusteella arvioiden oksien merkitys koko rungon tuoretiheyden muodostumisessa on vähäinen. Rungon järeässä alaosassa oksien suhteellinen osuus on luonnollisesti pienempi kuin yläosassa. Sekä kuusella että männyllä oksapuuta on eniten rungossa 80. . .90 % korkeudella (Nylinder 1959, s. 7). Oksaisimmat rungon osat jäävät näin ollen perinteellisen tukkipuuosuuden ulkopuolelle. Tästä huolimatta tyvi- ja latvatukkien ero on melkoinen. Esimerkiksi Klem (1933—1937, s. 237) totesi kuusta koskevassa tutkimuksessaan, että tietyllä tavalla luokitellen tyvitukkien oksaisuusprosentin tyypillinen arvo (moodi) oli 0.25 ja latvatukkien 0.74.

Myös monissa muissa tutkimuksissa oksien tilavuusosuudeksi on ilmoitettu Klemin tavoin alle 1 %. Niinpä Nylinder ja Hägglund (1955, s. 25) totesivat luonnonkuusikoita koskevassa tutkimuksessaan, että 25 % korkeudella oksien kuiva massa koko puun kuivasta massasta oli 0.62 %. Vastaava arvo 50 % korkeudella oli 0.74 % ja 75 % korkeudella 0.99 %. Kun oksien tiheys on suurempi kuin puuaineen tiheys, nämä massaprosentit ovat suurempia kuin vastaavat tilavuusprosentit.

Toisessa ruotsalaisessa tutkimuksessa puolestaan todettiin, että 45 vuotta vanhassa kuusikossa eri istutustiheyksillä oksien tilavuus vaihteli välillä 0.54. . .0.73 %. Likimain samanikäisessä männikössä vaihtelu oli vastaavasti välillä 0.44. . .0.92 % (Nylinder 1959, s. 7). — Tätä suuruusluokkaa olevia tuloksia on saatu myös suomalaisessa kuusta koskevassa tutkimuksessa. Tällöin nimittäin havaittiin, että oksapuuta oli tilavuudesta kuitupienpuussa 0.62 % ja kuitutukeissa 0.80 % (Hakkila ja Rikkonen 1970, s. 10). Oletettavasti yllättävän suuntainen ero johtui siitä, että kuitutukit ovat peräisin vallitsevista puista, kun taas perinteelliseksi kuitupienpuuksi tehdään vallitut, harvennuksissa poistettavat rungot.

Mainittakoon vielä, että puulajeja erottelematta Uusvaara (1972, s. 36) sai haketutkimuksessaan oksien osuudeksi sahanhakkeessa 1.5 % ja kuitupuuhakkeessa 4.5 %. Tällöin oksapuuhun laskettiin myös mukaan oksiin välittömästi liittyvä puuaine. Oksien osuus ilmoitettiin prosentteina tuoremassasta. Tämä tunnus lienee vain hiukan suurempi kuin tilavuusosuus, kuten jäljempänä tarkasteltavan oksapuun tuoretiheydestä voidaan päätellä. — Uusvaaran esittämät luvut ovat muihin tutkimuksiin verrattuna poikkeuksellisen korkeita ja viittaavat oksien ympäryspuun suureen osuuteen.

Kuten edellä olevasta on jo epäsuorasti käynyt ilmi, oksien tilavuusprosentti alenee metsän tiheyden lisääntyessä. Luultavaa vielä on, että erityisen ratkaisevaa tukkipuuosan oksaisuuden kannalta on metsikön nuoruuden kehitys. Tämän lisäksi oksien tilavuusprosenttiin vaikuttaa puiden ikä: Samoja puita tarkasteltaessa puiden

koon suurentuessa oksien suhteellinen osuus koko rungon tilavuudesta alenee. Sen sijaan, kuten edellä todettiin, pienten vallittujen ja suurten vallitsevien puiden tarkastelu voi antaa päinvastaisen tuloksen. — Oksaisuuden vähenemistä iän myötä osoittaa mm. seuraava jaotelma, joka kuvaa kuusen oksaisuutta eräässä norjalaisessa 1905—1909 perustetussa istutuskokeessa.

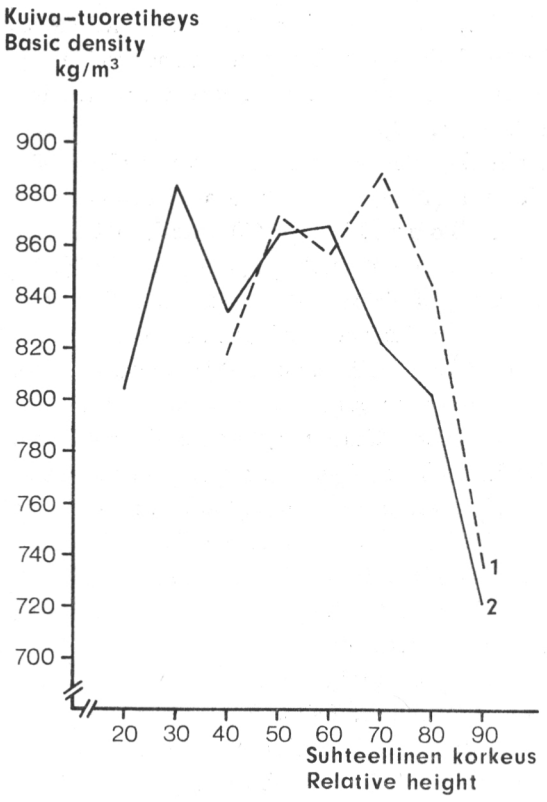
Istutustiheys m	Oksien tilavuus % rungon tilavuudesta 1940	1951
1.25 × 1.40	0.21	0.19
1.40 × 1.65	0.47	0.24
2.00 × 2.00	0.75	0.26
3.00 × 3.00	0.65	0.34
3.50 × 3.50	0.96	0.34

(Klem 1952, s. 482)

Edellä esitetyt tiedot oksien tilavuusosuudesta ovat jonkin verran epämääräisiä, koska laajoihin aineistoihin perustuvia tutkimuksia ei ole tehty. Ilmeiseltä kuitenkin näyttää, että oksien osuus koko rungon tilavuudesta on sahapuukokoisissa rungoissa vähäinen, selvästi alle 1 %.

Oksien tilavuusosuuden lisäksi on tarkasteltava oksien tiheyttä. Tuoretiheydestä ei tiettävästi ole lainkaan selvityksiä. Selvää kuitenkin on, että oksat lisäävät puuaineen tuoretiheyttä. Esimerkiksi Braathe ja Okstad (1964, s. 34) totesivat, että oksaisten kuusikiekkojen kuiva-ainepitoisuus oli 53.8 % ja oksattomien 51.2 %. Ero oli 2.6 %-yksikköä. Männyllä vastaavat arvot olivat 60.4 ja 55.4 % eli ero oli 5.0 %-yksikköä.

Jos oletetaan, että oksien tuoretiheys on todella suurempi kuin tavallisen puun, sen voi olettaa johtuvan kuiva-tuoretiheyden erosta. Vanhastaan jo tiedetään, että puuaineessa olevien oksien kuiva-tuoretiheys on huomattavasti suurempi kuin puuaineen. Siimes (1938, s. 152) totesi aineistossaan männystä leikattujen oksapalasten keskimääräiseksi kuiva-tuoretiheydeksi 836 kg/m³, mikä on noin kaksinkertainen arvo oksattomaan puuhun verrattuna. Kun palasten viikon kestäneen liotuksen jälkeen kosteussuhde oli 34.3 %, vastaavaksi tuoretiheydeksi saadaan 1 123 kg/m³. Wegelius (1939, s. 127) totesi, että kuusella puuaineessa olevien oksien yläpinnan kuivatiheys oli 680 kg/m³ ja alaosan 1 220 kg/m³. Nylinderin ja Hägglundin (1955, s. 25) aineistossa kuusen oksien kuivatiheys oli 1 019 kg/m³ elävissä oksissa ja 1 084 kuolleissa. Boutelje (1966) puolestaan totesi laajaan aineistoon perustuen, että kuusella puuaineessa olevan oksan yläpuolen kuivatiheys oli 1 070 kg/m³ ja alapuolen 1 080 kg/m³. Männyllä vastaavat arvot olivat 980 ja 990 kg/m³. Eräässä toisessa aineistossa Boutelje sai jonkin verran alhaisempia arvoja, jotka kuitenkin suuruusluokaltaan ovat samoja. Hakkila (1971, s. 48) puolestaan totesi esimerkinomaisesti, että puuaineessa olevien oksien kuivatuoretiheys oli kuusella 700. . .900 kg/m³ ja männyllä alempi, 600. . .700 kg/m³. — Kaiken kaikkiaan voidaan näin ollen sanoa, että oksien kuivatiheys tai kuiva-tuoretiheys on noin kaksinkertainen puuaineen tiheyteen verrattuna.



Kuva 11. Kuusen puuaineessa olevien oksien (sisäoksien) kuiva-tuoretiheys kahden rungon eri korkeuksilla.

Fig. 11. The basic density of knots in two spruce stems according to the height.

Tällaiseen kuiva-tuoretiheyden tasoon viittaavat myös ne tulokset, jotka ovat laskettavissa eräästä Metsäntutkimuslaitoksen julkaisemattomasta kuusta koskevasta aineistosta. Kun näytteet otettiin kahden tukkipuurungon eri korkeuksilta, kuiva-tuoretiheyden keskiarvot olivat 843 ja 831 kg/m³. Vastaavat standardipoikkeamat olivat 56 ja 60 kg/m³. Rungon tukkipuuosalla sisäoksien kuiva-tuoretiheyden keskiarvot olivat kuitenkin korkeammat, 858 ja 846 kg/m³. Vähäisen aineiston perusteella näytti ilmeiseltä, että sisäoksien kuiva-tuoretiheys on suurimmillaan keskirungossa ja selvästi pienimmillään latvassa (kuva 11). — Tämä ero ei vaikuttane tukkien painomittauksessa.

Jos oletetaan edellä olevan perusteella, että oksien puuaineen kuiva-tuoretiheys on kaksinkertainen oksattomaan puuhun verrattuna ja että oksien tilavuus on 1 % tilavuudesta, saadaan oksia sisältävän puuaineen tiheydeksi 1.01 R, jossa R on oksattoman puuaineen tiheys. Tämä arvo saadaan laskemalla $0.99 \cdot R$ (puu) $+ 0.01 \cdot 2$ R (oksat) $= 0.01$ R.

Jos oksia on 2 % tilavuudesta, saadaan $0.98 \cdot R + 0.02 \cdot 2\,R = 1.02\,R$. — Toisin sanoen oksien vaikutus kuiva-tuoretiheyteen on mainituilla edellytyksillä 1...2 %. Tähän tasoon viittaa myös kontortamännystä tehty tutkimus (Hakkila ja Panhelainen 1970, s. 29).

Selvää näyttää kuitenkin olevan, ettei ero tuoretiheydessä ole edes samaa suuruusluokkaa. Siimeksen (1938, s. 152) tuloksista saatava tuoretiheys 1 123 kg/m³ jo mainittiin. Samoin Bouteljе (1966) totesi, että pintapuussa olevan oksan kosteussuhde oli männyllä ainoastaan 21 % ja kuusella 31 %. Sydänpuussa vastaavat arvot olivat 18 ja 23 %. Julkaisemattomassa kahta kuusitukkipuuta koskevassa Metsäntutkimuslaitoksen aineistossa sisäoksien kosteussuhteen keskiarvot olivat 26.3 ja 25.8 sekä vastaavat standardipoikkeamat 3.8 ja 6.6 %. — Nämä luvut ovat erittäin alhaisia, vaikka otetaankin huomioon, että kuivatiheys on korkea ja näin ollen kuutiometrissä oksapuuta oleva vesimäärä on myös melkoinen. Näiden arvojen perusteella oksien tuoretiheys ei kuitenkaan ole kovin paljon puuaineen tuoretiheyttä suurempi.

Eräät muutkin tekijät vaikuttavat siihen, etteivät oksaiset tukit poikkea kovin paljoa oksattomista tukeista painomittausta ajatellen. Tunnettua nimittäin on, että voimakkaasti kapenevat tukit ovat oksaisia. Kun tarkastellaan tukkisumaa, jossa on rungon eri osista otettuja tukkeja, tämä johtuu oksaisten latvatukkien tyvi- ja etenkin välitukkeja suuremmasta kapenemisesta. Kapenemisen ja oksaisuuden välillä on kuitenkin riippuvuutta myös silloin, kun tarkastellaan vain esim. tyvitukkeja ja kutakin läpimittaluokkaa erikseen. Esim. Bonsdorf (1933, s. 376) totesi, että latvaläpimitaltaan samanlaisissa tyvitukeissa kapeneminen lisääntyi laatuluokan huonontuessa. Ero parhaimman (I) ja huonoimman (III) laatuluokan välillä kapenemisessa oli 1.3...2.9 cm latvaläpimitasta riippuen. Samoin Heiskanen (1954, s. 94) on todennut oksaisuuden ja kapenemisen korreloituvan männyn tyvitukeissa. Mainitussa tutkimuksessa kapenemisen vaikutus oli selvempi nuorissa kuin yli-ikäisissä metsiköissä. Myös lukuisissa norjalaisissa tutkimuksissa on havaittu kapenemisen ja oksaisuuden yhteys. Näitä tutkimuksia on siteerannut mm. Gislerud (1974). Samoin Ruotsissa on tehty vastaavia havaintoja (mm. Almqvist ja Hallmans 1947).

Toisaalta voimakkaaseen kapenemiseen liittyy usein myös alhainen puuaineen kuiva-tuoretiheys. Näin ollen oksaisuuden ja kuiva-tuoretiheyden välille saadaan vahva negatiivinen korrelaatio (esim. Klem 1933—1937, s. 237). Tällaisen tuloksen on saanut myös Vuoristo (1937). Oksaisiksi arvioiduissa kuitupuupölkyissä tiheys (ehkä kuiva-tuoretiheys) oli 359 kg/m³ ja oksattomissa 396 kg/m³. Puulaji oli kuusi. — Käytännössä tämä voi merkitä sitä, etteivät oksaiset tukit ole sen painavampia kuin oksattomat tukit, pikemminkin ehkä päinvastoin, koska oksat vaikuttavat huomattavasti puuaineen kuivumiseen (esim. Nylinder 1950, s. 190—192).

On vielä lopuksi korostettava, että myös oksapuun ympärillä oleva puuaine poikkeaa tavallisesta puuaineesta. Bouteljen (1966) mukaan tämän puuaineen ominaisuudet ovat oksapuun ja normaalin puuaineen välimailla. Tiettävästi Pohjoismaissa ei ole tehty selvityksiä, kuinka suuri osa puuaineesta oksien ympärillä on

tällaista poikkeuksellista solukkoa. Aiemmin siteeratut Uusvaaran (1972) tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että epänormaalia ympäryspuuta on enemmän kuin itse oksapuuta. Ilmeiseltä kuitenkin vaikuttaa, ettei edellä tehtyjä johtopäätöksiä oksien vähäisestä merkityksestä tuoretiheyden vaihtelun kannalta ole tarpeellista muuttaa oksien ympärillä olevan puuaineen poikkeavuuden vuoksi. Varovaisuuteen kehottaa kuitenkin se amerikkalainen tutkimus, jossa havaittiin rinnankorkeusläpimitaltaan 24 cm olevissa puissa, että oksien osuus oli rungosta 1.1 % ja lylyisen ympäryspuun osuus peräti 7.1 %. Puulaji oli loblolly-mänty (von Wedel ym. 1968).

262. *Lyly*

Tunnettua on, että havupuissa esiintyvä reaktiopuusolukko, lyly, lisää puuaineen kuiva-tuoretiheyttä. Oletettavasti vaikutus on samanlainen myös tuoretiheyteen, joskaan tästä ei ole käytettävissä empiirisiä tuloksia. Lylyn vaikutuksen arvioimiseksi on tiedettävä sen osuus havutukkien puuaineesta ja toisaalta sen tiheys. Kummastakin kysymyksestä on tietoja saatavissa vain niukasti.

Mitä ensinnäkin tulee reaktiopuusolukun yleisyyteen, voidaan olettaa, ettei sahojen raaka-aineeksi tarkoitetuissa tukeissa lylyä ole kovinkaan runsaasti. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että Suomen olosuhteissa lylyä esiintyy lähinnä kallistuneissa ja tämän vuoksi myöhemmin kenties käyristyneissä rungoissa, joista ainakin vakavimmat tapaukset ovat sahatavaran raaka-aineeksi kelpaamattomia. Epäsuorasti voidaan näin ollen päätellä, ettei lylyn merkitys voi olla kovin huomattava. Tähän viittaa myös Pohjois-Suomesta tehty tutkimus, jonka mukaan lylyä esiintyy eniten karuilla kangasmailla ja rämeillä (Tikka 1935, s. 203). Näillä kasvupaikoilla tukkipuiden osuus puustosta on vähäinen.

Lylysolukon tiheydestä on ristiriitaisia tietoja. Trendelenburg (1932) esittää eri lähteistä koottuja tietoja, joiden mukaan voidaan arvioida, että lylyn kuivatiheys on yleensä vain 10. . .20 % suurempi kuin normaalipuun tiheys. Ainoastaan poikkeuksellisesti lylyn tiheys saattaa olla 50 % suurempi kuin normaalin puuaineen tiheys. Samanlainen suuntaa antava arvio on esitetty myös uudemmassa saksalaisessa oppikirjassa (Trendelenburg ja Mayer-Wegelin 1955, s. 306). — Näiden tietojen mukaan lyly poikkeaa normaalista puuaineesta niin vähän, ettei se tavanomaisessa määrässä esiintyessään voi oleellisesti vaikuttaa esim. paino-painomittauksessa.

Ollinmaa (1959, s. 36) esittää kuitenkin tuloksia, joiden mukaan eräässä tutkimuksessa kuusen kuivatiheys oli normaalissa puuaineessa 470 ja lylypuussa 810 kg/m³. Tämän havainnon mukaan lyly vaikuttaisi kuivatiheyteen lähes yhtä paljon kuin oksien puuaine. — Kun kuitenkin Ollinmaan havainto on jäänyt kirjallisuuden perusteella yksittäiseksi, voidaan olettaa, ettei lylypuun esiintymistä tarvitse ottaa huomioon niinkin karkeassa toiminnassa kuin puutavaran painomittaus on.

263. *Laho*

Toisin kuin oksat tai reaktiopuu, laho pikemminkin alentaa kuin kohottaa tuoretiheyttä. Tämä johtuu siitä, että lahon vaikutuksesta kuiva-tuoretiheys alenee, mutta kosteussuhteessa ei tapahdu oleellisia muutoksia (Nylinder ja Rennerfelt 1955, s. 122). Tällainen havainto soveltuu kuitenkin ainoastaan uittamattomaan puutavaraan, koska lahoutunut puu imee huomattavasti enemmän vettä kuin terve puu (esim. Suolahti 1949).

Kaikesta huolimatta voidaan kuitenkin olettaa, ettei sahatukkien mittauksessa laholla ole oleellista merkitystä. Tämä johtuu siitä, että laho on tavallisesti katsottu niin pahaksi viaksi, ettei sitä sallita sahatavaran raaka-aineessa. Kuitutukkien osalta tilanne on toinen, koska lahoa sallitaan melkoisesti etenkin sulfaattiselluteollisuuden raaka-aineessa.

Selvää luonnollisesti on, että kuiva-tuoretiheyden aleneminen terveeseen puuhun verrattuna riippuu lahoamisasteesta. Esim. Björkman ym. (1949, s. 23) totesivat kuusella maannousemalahoa tarkoittaen, ettei värjäytyneessä puussa huomattavaa tiheyden alenemista tapahtunut. Vaaleaan, kiinteän lahon ollessa kyseessä aleneminen oli jo noin 50 kg/m³. Tumma, mutta kiinteä laho oli n. 100 kg/m³ vähemmän tiheää kuin terve puu. — Tätä suuruusluokkaa olevia tiheyden alenemisia on saatu myös eräillä männyn lahottajilla (Björkman ym. 1964, s. 33). — Yleensä voidaan kuitenkin olettaa, että tavallisissa tapauksissa tiheyden aleneminen on 10 % tai vähemmän (esim. Henningsson 1962—1963, Okstad 1971, s. 165). Ääritapauksissa, pehmeän lahon ollessa kyseessä, kuiva-tuoretiheyden aleneminen saattaa olla jopa lähes 200 kg/m³ (Björkman ym. 1949, s. 23). Ontoiksi lahonneissa puissa se voidaan tulkita alkuperäisen kuiva-tuoretiheyden suuruiseksi.

Yleisenä johtopäätöksenä voidaan todeta, ettei laholla oletettavasti ole mitään merkitystä sahatukkien painomittauksen kannalta. Sen sijaan kuitutukeissa laho alentanee jonkin verran keskimääräistä tuoretiheyttä. Keskimääräisiä lukuja ei voida esittää, koska laho on vikana erittäin paljon vaihteleva suure.

27. Kuoren vaikutus tuoretiheyteen

271. *Kuoren vaikutusta koskevia kaavoja*

Nykyisin havutukit saapuvat tehtaalle likimain poikkeuksetta kuorellisina. Kun saapunut puutavara punnitaan yleensä ennen kuorimoa, painomittauksessa joudutaan tarkastelemaan kuoren ja puuaineen yhteistä tuoretiheyttä. Periaatteessa tämä yhteinen tuoretiheys on kuoren ja puuaineen tiheyksien painotettu keskiarvo, jossa painoina käytetään vastaavasti kuoren ja puuaineen prosentuaalisia osuuksia koko tukin tai mitattavan erän tilavuudesta. Toisin sanoen puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys on kaavan (9) mukainen.

(9) $r_{(w+b)g} = (1-p_1)\, r_{wg} + p_1 r_{bg}$, jossa

$r_{(w+b)g}$ = puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys kg/m³

p_1 = kuoren osuus sadanneksena puun ja kuoren yhteisestä tilavuudesta ($p_1 = p/100$)

r_{wg} = puun tuoretiheys kg/m³

r_{bg} = kuoren tuoretiheys kg/m³

Kun kaava (9) kirjoitetaan hieman eri muotoon, saadaan kaava (10).

(10) $r_{(w+b)g} = r_{wg} - p_1 (r_{wg} - r_{bg})$, jossa merkinnät ovat kuten edellä.

Toisin sanoen puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys on puun tuoretiheys, josta on vähennetty kuoren osuudella kerrottu puun ja kuoren tuoretiheyksien erotus. Näin ollen kuoren vaikutus puun ja kuoren yhteiseen tuoretiheyteen on juuri jälkimmäinen, vähennettävä termi, joka on esitetty kaavassa (11).

(11) $r_{(w+b)g} - r_{wg} = -p_1 (r_{wg} - r_{bg})$, jossa

$r_{(w+b)g} - r_w$ = kuoren vaikutus tuoretiheyteen ja muut merkinnät kuten edellä.

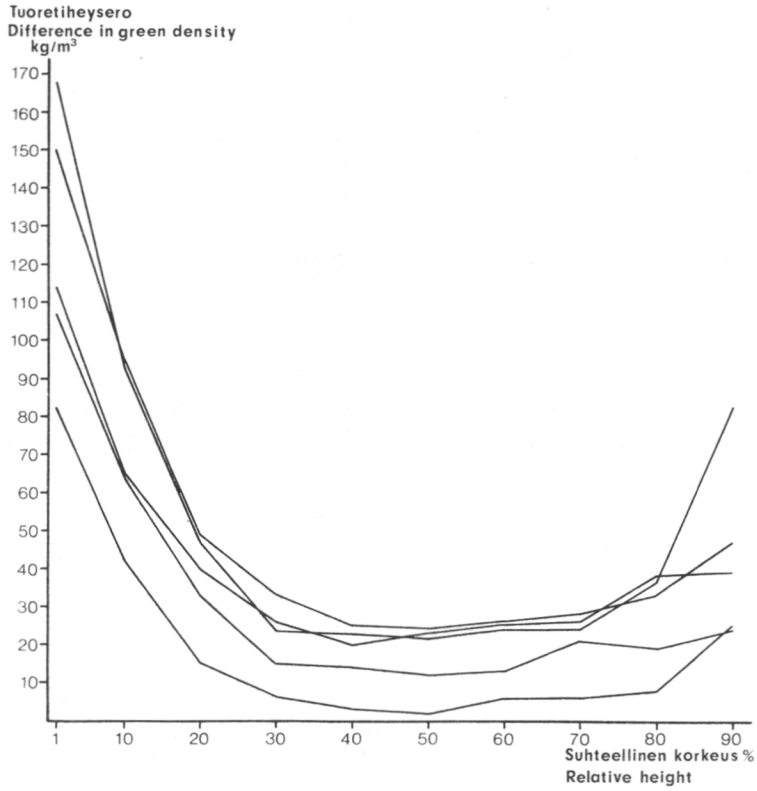
Mikäli kaavan (11) mukaan puun tuoretiheys on suurempi kuin kuoren tuoretiheys, kuoren vaikutus on negatiivinen eli tiheyttä vähentävä. Vaikutuksen kokonaissuuruus riippuu puun ja kuoren tuoretiheyksien erotuksesta sekä kuoriprosentista.

Kaavan (11) mukaista kuoren vaikutusta tuoretiheyteen on tutkittu vähän. Johtopäätösten tekoa hankaloittaa mm. se, että puuaineen ja kuoren tuoretiheydet muuttuvat eri tavalla siirryttäessä lepokaudesta kasvukauteen ja päin vastoin. Kuten aiemmin on todettu, puuaineen kosteus on suurimmillaan yleensä talven aikana. Sen sijaan kuoren kosteus ja niin muodoin myös sen tuoretiheys on suurimmillaan kasvukauden aikana, kuten jo 1800-luvulta alkaen on tiedetty (Srivastava 1964, s. 251, Sachsse 1969, 1971). — Ilmeistä tosin on, että ainakin sahatukkien hakkuun keskittyessä talvikauteen käytännön kannalta on riittävää tarkastella pelkästään lepokautta.

Lepokautta koskevia tuloksia ei kirjallisuudessa ole tiettävästi esitetty. Ainoat käytettävissä olevat tulokset ovat ruotsalaisen Tammisen (1962, 1964), mutta näiden tutkimusten materiaali on kaadettu kasvukautena. Tiedossa ei ole, kuinka paljon tulokset muuttuvat lepokauteen nähden.

Kuvassa 12 on esitetty, kuinka paljon kuori alensi puun ja kuoren yhteistä tiheyttä Tammisen (1962) tutkimuksen mäntyaineistossa. Luvut on laskettu vähentämällä kyseisen tutkimuksen taulukon 14 esittämistä luvuista saman tutkimuksen taulukon 16 esittämät luvut. Kuvaajat esittävät viittä paikkakuntaa. Kullakin paikkakunnalla on ollut useita tutkimusmetsiköitä.

Vastaavasti on kuvassa 13 esitetty, kuinka paljon kuusella kuori on vaikuttanut tuoretiheyteen. Luvut on laskettu vastaavalla tavalla Tammisen (1964) tutkimuksessa esitetyistä tiedoista lähtien.

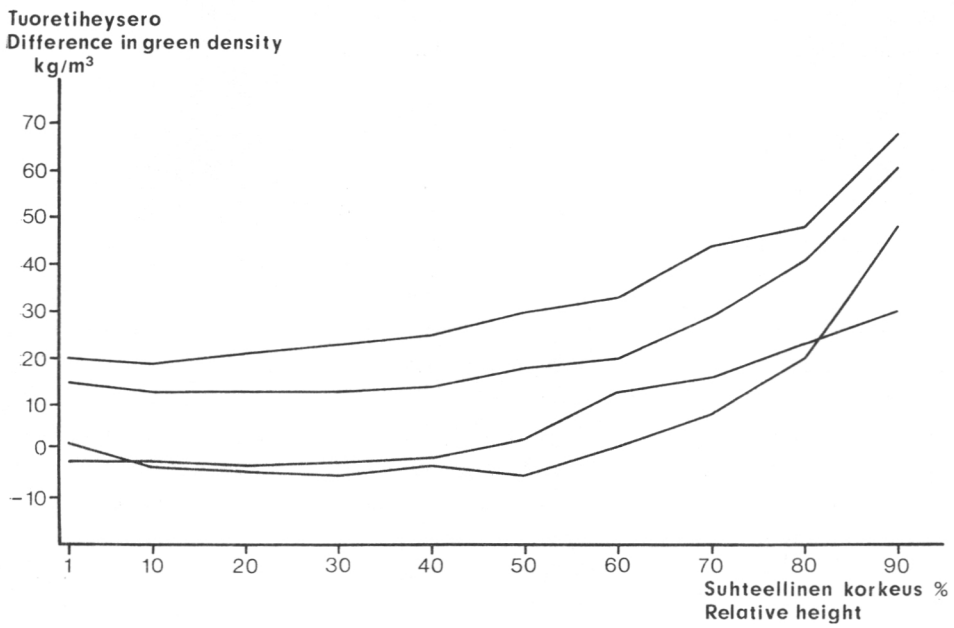


Kuva 12. Kuorettoman ja kuorellisen puun tuoretiheysero Tammisen (1962) mäntyä koskevassa aineistossa. Kuvaajat esittävät viittä metsikköä.
Fig. 12. Difference between the basic density of wood and wood with bark in the pine material of Tammınen (1962). The lines refer to 5 stands.

Mäntyä esittävän kuvan 12 mukaan kuoren tuoretiheyttä alentava vaikutus on suurimmillaan aivan rungon tyvellä, kesäaikana ilmeisesti yli 100 kg/m³. Tästä maksimiarvosta kuoren vaikutus alenee keskirunkoon päin, jolloin se on 10. . .30 kg/m³ luokkaa. Latvassa kuoren vaikutus on suurempi kuin keskirungossa, ilmeisesti useita kymmeniä kilogrammoja kuutiometriä kohti.

Kuusella kuoren vaikutus on kuvan 13 mukaan toinen. Ensinnäkin kuori alentaa puun ja kuoren yhteistä tuoretiheyttä huomattavasti vähemmän kuin männyllä. Eräissä tapauksissa rungon tyvellä kuori jopa lisää yhteistä tuoretiheyttä. Samoin kuvaajan muoto on erilainen. Yleensä kuoren vaikutus pysyy samanlaisena tyvellä ja keskirungossa kohoten sitten jatkuvasti latvaa kohti. Aivan latvassa kuusen kuoren tuoretiheyttä alentava vaikutus näyttää olevan samaa suuruusluokkaa kuin vastaava männyn kuoren vaikutus.

Edellä esiteltyjen ruotsalaisten tutkimustulosten mukaan näyttää siis siltä, että männyllä kaarnaiset tyvitukit poikkeavat tarkastellussa suhteessa väli- ja latvatukeista.



Kuva 13. Kuorettoman ja kuorellisen puun tuoretiheysero T a m m i s e n (1964) kuusta koskevassa aineistossa. Kuvaajat esittävät neljää metsikköä.

Fig. 13. Difference between the basic density of wood and wood with bark in the spruce material of T a m m i n e n (1964). The lines refer to 4 stands.

Sen sijaan kuusella tällaista ilmiötä ilmeisesti ei ole, ainakaan kovin selvänä. Männyn kaarnaisissa tyvitukeissa kuoren vaikutus yhteiseen tuoretiheyteen on tyvessä selvä, kenties keskimäärin yli 100 kg/m³, ja yleensä kaarnattomissa väli- ja latvatukeissa kenties muutamia kymmeniä kg/m³. Kuusella kuoren vaikutus on vähäinen, suuruusluokaltaan 10 kg/m³.

Kuten edellä olevasta on käynyt ilmi, tarkastelluista T a m m i s e n (1962, 1964) tutkimuksista ei selviä, millainen kuoren vaikutus on keskimäärin ja nimenomaan lepokautena. Joitakin suuntaa antavia tuloksia voidaan kuitenkin laskea kahdesta Metsäntutkimuslaitoksessa tehdystä tutkimuksesta (H e i s k a n e n ja R i k k o n e n 1976, K ä r k k ä i n e n 1976).

Voidaan ensinnäkin todeta, että kysymys kaarnaisen ja kaarnattoman kuoren aiheuttamasta tiheyserosta supistuu käytännössä männyn osalta tyvi- ja muiden tukkien eroksi. H e i s k a n e n ja R i k k o n e n (1976, s. 16) nimittäin toteavat, että eteläsuomalaisella männyllä tyvitukeissa kaarnaisten tukkien osuus on 89 % ja muissa tukeissa 16 %. Vastaavat pohjoissuomalaiset luvut ovat 79 ja 15 %. Kuusella ei tälläista eroa ole, esim. Etelä-Suomessa kuusen tyvitukeista oli tutkimuksessa kaarnaisia 30 % ja muista kuin tyvitukeista 7 %. Pohjoissuomalaiset luvut olivat vastaavasti 56 ja 23 %. — Näin ollen voidaan paremman tiedon puuttuessa katsoa, että kaarnaisten tukkien kuoriprosentti on sama kuin tyvitukkien kuoriprosentti ja

kaarnattomien tukkien kuoriprosentti on sama kuin keski- ja latvatukkien kuoriprosentti. Näin menetellen päädytään seuraavaan arvioon (vrt. Heiskanen ja Rikkonen 1976, s. 14).

	Etelä-Suomi		Pohjois-Suomi	
	Kaarnaiset tukit	Muut tukit	Kaarnaiset tukit	Muut tukit
	Kuoren tilavuusosuus %			
Mänty	16.5	6.2	14.3	6.2
Kuusi	9.9	9.9	13.2	12.4

Esitetystä jaotelmasta voidaan laskea, että kuoriprosenttien suhde on Etelä-Suomen männyssä 2.7 ja Pohjois-Suomen männyssä 2.3. Kuusella vastaava luku on Etelä-Suomessa 1.0 ja Pohjois-Suomessa 1.1. — Nämä suhteet ovat erittäin lähellä niitä arvoja, jotka Heiskanen ja Rikkonen (1976, s. 39) esittävät kaarnaisten ja kaarnattomien tukkien kuoriprosenttien suhteiksi. — Mainitussa tutkimuksessa tilavuuskuoriprosentteja ei ole esitetty absoluuttisina lukuina kaarnaisille ja kaarnattomille tukeille.

Kärkkäisen (1976) tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että männyn kaarnaisen kuoren tuoretiheys on lepokautena n. 580 kg/m³ ja kaarnattoman 740 kg/m³. Kuusella vastaaviksi arvoiksi voidaan olettaa 770 ja 810 kg/m³. Kun puuaineen tuoretiheydeksi oletetaan männyn tyvitukeilla 900 kg/m³ ja muilla tukeilla 950 kg/m³ sekä kuusella vastaavasti 850 ja 900 kg/m³, saadaan seuraavan jaotelman mukaiset luvut tuoretiheyden alenemisesta keskimääräisiä kuoriosuuksia ja kuoren tiheyksiä käytettäessä.

	Kuoren ja puun yhteisen tuoretiheyden aleneminen pelkkään puuhun verrattuna kg/m³			
	Etelä-Suomi		Pohjois-Suomi	
	Tyvet	Muut	Tyvet	Muut
Mänty	53	13	46	13
Kuusi	8	9	8	11

Edellä esitetyistä arvoista päästään muiden olosuhteiden tarkasteluun ottamalla huomioon, että kuoren tilavuusosuutta koskevassa jaotelmassa (s. *00*) esitetyt luvut tarkoittavat myös sitä, kuinka paljon kuoren vaikutus yhteiseen tuoretiheyteen kasvaa (kg/m³) puun ja kuoren tiheyseron suurentuessa 100 kg/m³. Esimerkiksi eteläsuomalaisilla kuusityvitukeilla yhteinen tuoretiheys alenee 9.9 kg/m³, kun puun ja kuoren tuoretiheysero kasvaa 100 kg/m³. — Vaikutukset eivät siis ole kovin suuria.

Metsäntutkimuslaitoksessa tehtyjen tutkimusten perusteella näyttää siis ilmeiseltä, että kuorella on merkitystä puun ja kuoren yhteistä tuoretiheyttä alentavana tekijänä ainoastaan kaarnaisissa mäntytukeissa. Kasvukauden ulkopuolella yhteinen tuoretiheys voi alentua 40. . .50 kg/m³. Muilla tukkilajeilla aleneminen lienee suuruusluokaltaan vain 10 kg/m³. Kaikilla muilla kuin männyn kaarnaisilla tyvitukeilla kuoren vaikutus on siis vähäinen muihin vaihtelua aiheuttaviin tekijöihin verrattuna.

Käytännöllisen puutavaran painomittauksen kannalta kuoren vaikutusta kannattaa kuitenkin tarkastella myös toisesta näkökulmasta. Punnituksessa halutaan nimittäin usein tietää, kuinka suuren osan kuorman tai nipun massasta aiheuttaa kuoren massa. Kun edellä olevan mukaisesti kuoren tuoretiheys on yleensä pienempi kuin pelkän puuaineen tuoretiheys, kuoren vaikutus massasta on pienempi kuin sen tavanomainen kuoriprosentti (tilavuusprosentti) osoittaa.

Selvää on, että kuoren massaprosentti eli kuoren osuus puun ja kuoren yhteisestä massasta voidaan laskea silloin, kun tunnetaan kuoren ja puuaineen tuoretiheys sekä kuoren osuus puun ja kuoren yhteisestä tilavuudesta. — Kaavaa johdettaessa käytetään seuraavia merkintöjä.

r_{wg} = puun tuoretiheys kg/m³
r_{bg} = kuoren tuoretiheys kg/m³
c = r_{bg}/r_{wg} = kuoren ja puun tuoretiheyden suhde
m_b = jossakin tukissa tai puutavaraerässä olevan kuoren massa kg
V_b = em. kuoren tilavuus m³
m_w = vastaava puuaineen massa kg
V_w = sen tilavuus m³

$$q = \text{kuoren massaprosentti} = \frac{100\ m_b}{m_w + m_b}$$

$$p = \text{kuoren tilavuusprosentti} = \frac{100\ V_b}{V_w + V_b}$$

Kun käytetään edellä esitettyjä merkintöjä, kuoren tuoretiheys voidaan kirjoittaa määritelmän mukaisesti kaavan (12) osoittamalla tavalla.

$$(12)\quad r_{bg} = cr_{wg}$$

Jossakin tukissa tai puutavaraerässä olevan kuoren massa yksikköä kohti voidaan esittää kaavan (13) osoittamalla tavalla.

$$(13)\quad m_b = \frac{pr_{bg}}{100} = \frac{pcr_{wg}}{100}$$

Vastaavasti puuaineen massa voidaan kirjoittaa, kuten kaava (14) osoittaa.

$$(14)\quad m_w = \frac{(100\text{-}p)r_{wg}}{100}$$

Kun kuoren massaprosentti on kuoren massa prosentteina puun ja kuoren yhteisestä massasta, saadaan kaavojen (13) ja (14) avulla kaava (15).

$$(15)\quad q = \frac{100\ m_b}{m_w + m_b} = \frac{100\ pc}{100 + p(c-1)}$$

Kuten kaavasta (15) käy ilmi, punnitustehtävissä tärkeä kuoren massaosuus saadaan lasketuksi pelkästään kuoren ja puuaineen tuoretiheyksien suhteen avulla sekä tuntemalla kuoren tilavuusosuus.

Esimerkiksi jos kuoren tuoretiheys on 770 kg/m³ ja puuaineen tuoretiheys 870 kg/m³ ja kuoren tilavuusosuus on 8.5 %, kaavaa (15) käyttäen kuoren massaosuudeksi saadaan 7.6 %.

272. *Käytännössä tehtyjen kuorimittausten hyödyntäminen*

Eräs mahdollisuus arvoida kuoren tiheyttä on käyttää hyväksi käytännön mittaustoiminnassa saatuja tuloksia. Tiettävästi on varsin runsaasti tapauksia, jolloin saman puutavaraerän massa ja tilavuus on mitattu sekä kuorineen että kuoretta. Kun kuorellisesta puutavaraerän massasta vähennetään kuorettoman puutavaraerän massa ja jaetaan näin saatu painoerotus kuorellisen ja kuorettoman tilavuuden erolla, saadaan lasketuksi kuoriaineksen tiheys.

Periaatteessa tällaisella laskentatavalla saadaan tarkkoja tuloksia. Käytännössä on kuitenkin vaikea löytää aineistoja, jotka täyttäisivät vaatimukset koejärjestelyjen suhteen. Tähän viittaavat mm. ne tulokset, jotka on laskettavissa Leinosen ja Heiskasen (1971) aineistosta. — Kyseissä tutkimuksessa mitattiin mänty- ja kuusitukkeja kuormina, joissa oli joko tyviä tai muita tukkeja. Aineiston määrä oli kaikkiaan 1 647 m³ kuoretta. Tutkimuksessa mitattiin autokuormittain kuormassa olevan puutavaran massa kuorineen ja kuoretta. Kun aineistosta poistetaan selvästi virheelliset havainnot, saadaan edellä kuvatulla tavalla laskien seuraavat tulokset eri puulajeilla ja tukkilajeille. Kuoren tuoretiheydestä on esitetty keskiarvo ja standardipoikkeama.

	Kuormia	Kuoren tuoretiheys kg/m³	
		$\bar{x}$	s
Mänty, tyvitukit ...	22	436	174
» , muut tukit .	20	259	211
Kuusi, tyvitukit ...	15	589	155
» , muut tukit .	10	389	257

Kuten jaotelmasta ilmenee, ainakin männyn muilla kuin tyvitukeilla ja mahdollisesti myös kuusen muilla kuin tyvitukeilla koko aineistossa vallitseva kuoren tuoretiheyden keskiarvo on liian alhainen voidakseen pitää paikkansa. Myös kuoren tiheyden vaihtelu on niin suuri, että sen täytyy heijastaa kuoren tiheyden vaihtelun lisäksi myös mittausvirheiden vaikutusta. Mittausvirheisiin viittaa myös kuormittainen tarkastelu. Pahimmillaan kuoren tuoretiheydeksi on saatu ainoastaan muutamia kymmeniä kilogrammoja kuutiometriä kohti. Peräti 22 % havainnoista on sellaisia, joissa tuoretiheys on alle 200 kg/m³. — Näin pienet tuoretiheydet eivät ole mahdollisia.

Periaatteessa käytännön mittaustoiminnassa käytettyjen mittalaitteiden tarkkuus riittää kuoren tiheyden määrittämiseen. Selitys lieneekin löydettävissä ennen kaikkea mittauksen suoritusjärjestyksestä. Tutkimusraportista tämä ei tosin käy selvästi ilmi, mutta voidaan olettaa, että puutavaran kuorellinen massa on mitattu puutavaran

ollessa kuivaa. Kun sitten kuorellisen tilavuuden määrittämiseksi puutavara on jouduttu upottamaan veteen, kuori ja myös puuaine ovat imeneet vettä. Kun kuorinnan jälkeen puutavaran kuoreton massa on mitattu punnitsemalla, ero kuorelliseen massaan on havaittu todellista vähäisemmäksi, koska puuaineen massa on veden imeytymisen vuoksi lisääntynyt. Tästä johtuen kuoren massa on arvioitu liian pieneksi, ja laskennassa jaettaessa kuoren liian pieneksi arvioitu massa kuoren tilavuudella (jonka mittauksessa on virhemahdollisuuksia) on päädytty liian alhaisiin tiheyslukuihin.

Väärinkäsityksien välttämiseksi on korostettava, että edellä kerrotuista virhemahdollisuuksista ei välttämättä tai edes luultavasti aiheudu oleellista haittaa tavanomaiselle puutavaran mittaukselle punnitsemalla ja upotusmittaria käyttäen. Kun kuoren osuus on ainoastaan 10. . .15 % koko puutavaraerän tilavuudesta, sen tiheyden arvioinnissa tapahtuneet virheellisyydet eivät oleellisesti vaikuta tavanomaisessa puutavaran mittauksessa tarkasteltaviin tunnuslukuihin. — Joka tapauksessa Leinosen ja Heiskasen (1971) aineistosta laskettavissa olevat luvut osoittavat, ettei kuoren tiheyden luotettavaan arviointiin ole ilman muuta mahdollisuuksia käytännön mittaustoiminnan yhteydessä. Siinä määrin kun siirrytään painomittaukseen, tämä edellyttää ilmeisesti laajoja selvityksiä mm. kuoren tuoretiheydestä, vaikka periaatteessa tuoretiheyden voisikin selvittää edellä kuvatulla menetelmällä.

3. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ EMPIIRISTEN PAINOMITTAUSTUTKIMUSTEN VALOSSA

Luvussa 2 esitellyn kirjallisuuden ja sen perustee'la laadittujen mallien pohjalta voidaan olettaa, että havutukkien painomittauksessa joudutaan yleensä tyytymään karkeisiin keskiarvoihin muunnettaessa tuoreena mitattu massa tilavuusyksiköiksi. Mainittakoon myös, ettei puutavaran mittaussääntö (S. As. k. 63/69) tunne lainkaan tällaista muuntotehtävää. Mittaussääntö tosin mainitsee tilavuusmittojen muuntamisen painomitoiksi käyttämällä vahvistettuja muuntolukuja, mutta näitäkin muuntolukuja saa käyttää vain silloin, kun asianosaiset siihen suostuvat. — Saattaa olla, että puutavaran mittaussäännön vaikeneminen voidaan tulkita epäsuoraksi kannanotoksi tätä muuntamistapaa vastaan sen suuren epävarmuuden vuoksi. Mahdollista on tietysti myös se, ettei puutavaran mittaussääntöä laadittaessa ole ollut käytännöllistä tarvetta muuntaa tuoreena mitattua massaa tilavuusyksiköiksi.

Pelkkien keskimääräisten muuntolukujen käyttämistä vastaan tosin puhuvat ne luvussa 2 esitetyt tiedot, joiden mukaan tuoretiheyden vaihtelua voidaan selittää lukuisten tekijöiden avulla. Toisaalta juuri tässä moninaisuudessa piilee syy siihen, ettei käytännössä tuoretiheyden vaihtelua voida helposti selittää yksinkertaisesti mitattavien puutavaraa kuvaavien tunnusten avulla. Monet tuoretiheyden vaihtelua selittävät tekijät vaikuttavat nimittäin eri suuntiin, ja tästä aiheutuu, että lienee vaikea löytää yhtä mitattavaa tunnusta, jolla keskimääräistä muuntolukua voitaisiin korjata. Useamman kuin yhden tällaisen tekijän mittaaminen tuskin tullee kysymykseen käytännössä.

Jos mitataan vain yksi muuntolukuun vaikuttava tekijä, se lienee tukin järeys. Kuten luvussa 2 on esitetty, käytännössä merkityksellisin tuoretiheyteen vaikuttava tekijä on sydänpuuosuus. Kun kuitenkin tämä on ainakin kuusitukeissa vaikeasti mitattavissa, sen sijasta kannattaa käyttää jotakin muuta tunnusta, joka korreloi selvästi sydänpuuosuuden kanssa. Juuri tukin järeys, esim. tilavuus tai latvaläpimitta, on tällainen tunnus.

Käytettävissä on eräitä painomittaustutkimuksia, joissa esitettyjen tulosten perusteella voidaan laskea tuoretiheyden riippuvuutta järeydestä. — Nämä aineistot on kuvattu parissa Metsäntutkimuslaitoksen monisteessa (Leinonen ja Heiskanen 1970, 1971). Aineistoa on käytetty eräisiin muuntolukuihin (Heiskanen ja Rikkonen 1971).

Taulukossa 2 on esitetty eräitä tunnuksia, jotka koskevat Pohjois-Suomesta kerättyä aineistoa. Kuten taulukosta ilmenee, kysymyksessä on autokuormamittaus, jolloin on selvitetty kunkin kuorman keskimääräinen tukin koko kuorineen ja kuoretta sekä vastaavat tuoretiheydet. Kaikki hajontaluvut ovat näin ollen kuormien välisiä.

Taulukko 2. Kemin aineiston tärkeimpiä tunnuksia
Table 2. Main characteristics of Kemi material

Muuttuja *Variable*	Mänty — *Pine*						Kuusi — *Spruce*					
	Tyvet — *Butt logs*			Muut — *Others*			Tyvet — *Butt logs*			Muut — *Others*		
	$\bar{x}$	n	s	$\bar{x}$	n	s	$\bar{x}$	n	s	$\bar{x}$	n	s
Tukin keskikoko — *Average log volume*												
Kuorineen — *With bark*, dm^3	249	74		177	38		201	27		163	17	
Kuoretta — *Without bark*, dm^3	200	69		165	35		181	25		148	13	
Tuoretiheys — *Green density*												
Kuorineen — *With bark*, kg/m^3	798	31		782	45		698	24		684	62	
Kuoretta — *Without bark*, kg/m^3	848	37		812	52		708	30		704	64	
Tukkeja — *Number of logs*	3 120			2 268			3 088			476		
Kuormia — *Number of loads*	23			23			16			11		

Taulukossa 3 on esitetty tämän pohjoissuomalaisen autokuormamittauksen perusteella tuoretiheyden ja tukin keskikoon korrelaatio. Taulukossa on tarkasteltu erikseen kuormia, joissa on ollut pelkästään mäntyä tai kuusta ja pelkästään tyvitukkeja tai muita tukkeja. Lisäksi on näiden tietojen perusteella laskettu mäntyä ja kuusta koskevat keskimääräiset tulokset sekä kokonaisaineistoa koskevat luvut.

Taulukko 3. Tuoretiheyden ja tukin keskikoon korrelaatio
Table 3. Correlation between green density and average log volume

Muuttujat — *Variables*
1 = Tuoretiheys kuorineen — *Green density, with bark*, kg/m^3
2 = Tuoretiheys kuoretta — *Green density, without bark*, kg/m^3
3 = Tukin keskikoko kuorineen — *Average log volume, with bark*, dm^3
4 = Tukin keskikoko kuoretta — *Average log volume, without bark*, dm^3

Aineiston osa *Part of material*		r (1.3)	r (1.4)	r (2.3)	r (2.4)
Mänty, tyvitukit — *Pine, butt logs*	(n = 23)	—0.133	—0.139	0.065	0.067
Mänty, muut tukit — *Pine, other logs*	(n = 23)	—0.175	—0.184	0.182	0.079
Kuusi, tyvitukit — *Spruce, butt logs*	(n = 16)	—0.158	—0.162	—0.203	—0.309
Kuusi, muut tukit — *Spruce, other logs*	(n = 11)	—0.599	—0.605 *	—0.430	—0.561
Männyt — *Pine*	(n = 46)	0.005	—0.027	0.279	0.226
Kuuset — *Spruce*	(n = 27)	—0.131	—0.116	—0.174	—0.236
Männyt ja kuuset — *Pine and spruce*	(n = 73)	0.156	0.150	0.286	0.261

Taulukon 3 perusteella voidaan todeta, että tarkasteltaessa homogeenisia kuormia on olemassa jonkinlaista tuoretiheyden korreloitumista tukin keskikoon kanssa. Kuitenkin vain yksi korrelaatiokerroin on tilastollisesti merkitsevä. Kun siirrytään tarkastelemaan puulajeittain autokuormista koostuvaa populaatiota, korrelaatiot yleensä heikkenevät lukuunottamatta kuorineen tarkasteltua mäntyä. Ainoakaan korrelaatio ei kuitenkaan ole muodollisesti merkitsevä. Samoin eivät ole merkitseviä ne korrelaatiot, jotka koskevat mänty- ja kuusikuormista koostuvaa perusjoukkoa.

Jossakin määrin toisenlaisia tuloksia voidaan tehdä siitä eteläsuomalaisesta materiaalista, jonka tärkeimmät tunnukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Lappeenrannan aineiston tärkeimpiä tunnuksia
Table 4. Main characteristics of Lappeenranta material

Muuttuja — *Variable*	Mänty — *Pine*						Kuusi — *Spruce*					
	Tyvet — *Butt logs*			Muut — *Others*			Tyvet — *Butt logs*			Muut — *Others*		
	$\bar{x}$	n	s	$\bar{x}$	n	s	$\bar{x}$	n	s	$\bar{x}$	n	s
Tukin keskikoko kuorineen *Average log volume with bark*, dm^3	239	38		165	27		227	33		177	25	
Tuoretiheys upotusmittauksessa — *Green density*, kg/m^3	878	26		836	45		827	37		824	30	
Tukkeja — Number of logs	1 820			2 837			2 696			2 403		
Kuormia — *Number of loads*	22			27			29			29		

Taulukko 5. Tuoretiheyden ja tukin keskikoon korrelaatio
Table 5. Correlation between green density and average log volume

Muuttujat — *Variables*

1 A = Tuoretiheys kuorineen, massa punnittu ennen kuin tilavuus on mitattu veteen upottamalla — *Green density with bark, the weight determined before the volume was measured by the water displacement method, kg/m³*

1 B = Tuoretiheys kuorineen, massa punnittu puun kosteuden lisäännyttyä tilavuuden mittauksen yhteydessä — *Green density with bark, the weight determined after the water content of wood had increased during the volume determination, kg/m³*

3 = Tukin keskikoko kuorineen — *Average log volume with bark, dm³*

Aineiston osa *Part of material*	r (1 A, 3)	r (1 B, 3)
Mänty, tyvitukit — *Pine, butt logs* (n = 22)	—0.504*	—0.521*
Mänty, muut tukit — *Pine, other logs* (n = 27)	—0.570*	—0.242
Kuusi, tyvitukit — *Spruce, butt logs* (n = 29)	—0.310	—0.475*
Kuusi, muut tukit — *Spruce, other logs* (n = 29)	—0.297	—0.413*
Männyt — *Pine* (n = 49)	—0.231	0.197
Kuuset — *Spruce* (n = 58)	—0.109	—0.314
Männyt ja kuuset — *Pine and spruce* (n = 107)	—0.163	—0.035

Taulukossa 5 on esitetty tulokset, jotka koskevat taulukossa 4 esitettyä aineistoa. — Tarkasteltaessa eri puulajeja ja tukkilajeja erikseen voidaan havaita tuoretiheyden korreloituvan järeyden kanssa negatiivisesti. Useissa tapauksissa korrelaatiot ovat myös tilastollisesti merkitseviä. Sen sijaan kun tarkastellaan ongelmaa puulajeittain, ainoakaan korrelaatio ei ole tilastollisesti merkitsevä. Sitä paitsi toinen mäntyä koskeva korrelaatio on tällöin epälooginen. Myös tarkasteltaessa puulajeja yhdessä korrelaatiot ovat alhaisia eivätkä tilastollisesti merkitseviä.

Kuormassa olevien tukkien keskimääräistä järeyttä voidaan ilmaista keskikoon lisäksi myös keskimääräisellä massalla. Painomittauksessa tällainen tunnus on kätevä, sillä se saadaan yksinkertaisesti jakamalla kuormassa olevien tukkien massa niiden lukumäärällä.

Taulukossa 6 on esitetty, millainen on tuoretiheyden ja tukin keskimääräisen massan korrelaatio eteläsuomalaisessa ja pohjoissuomalaisessa painomittaustutkimusaineistossa.

Taulukko 6. Tuoretiheyden ja tukin massan korrelaatio
Table 6. Correlation between green density and log weight

Aineiston osa *Part of material*	Kemi [1]		Lappeenranta [2]	
	n	r	n	r
Mänty, tyvitukit — *Pine, butt logs*	23	0.022	22	—0.341
Mänty, muut tukit — *Pine, other logs* ..	23	0.079	27	—0.389
Kuusi, tyvitukit — *Spruce, butt logs* ...	16	0.093	29	—0.014
Kuusi, muut tukit — *Spruce, other logs* .	11	0.226	29	—0.048
Männyt — *Pine*	46	—0.102	49	0.147
Kuuset — *Spruce*	27	0.109	58	0.200
Männyt ja kuuset — *Pine and spruce* ..	73	0.386	107	0.060

[1]) Muuttuja 1 (taulukko 3) ja kuorman paino jaettuna tukkiluvulla.
[1]) *Variable 1 (table 3) and the weight of load divided by the number of logs.*
[2]) Muuttuja 1 A (taulukko 5) ja ennen veteen upotusta mitattu kuorman paino jaettuna tukkiluvulla.
[2]) *Variable 1 A (table 5) and the weight of load, measured before the use of water displacement method, divided by the number of logs.*

Taulukosta 6 voidaan todeta, että pohjoissuomalaisessa aineistossa korrelaatio eri puulajeissa ja tukkilajeissa on positiivinen, joskaan ei tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan eteläsuomalaisessa aineistossa vastaava korrelaatio on negatiivinen, joskaan ei sekään tilastollisesti merkitsevä. Myöskään kaikkia mäntytukkeja ja kaikkia kuusitukkeja tai molempia puulajeja yhdessä koskevat korrelaatiot eivät ole tilastollisesti merkitseviä.

Taulukon 6 perusteella näyttää siltä, ettei tuoretiheyden muuntokertoimeen voida tehdä luotettavia korjauksia myöskään tukin keskimääräisenä massana ilmaistun järeyden perusteella. Pohjois- ja eteläsuomalaisen aineiston erilainen käyttäytyminen viittaa siihen, että tukin massana ilmaistu järeys on huonompi tunnus kuin sen tilavuus tarkasteltaessa tuoretiheyden vaihtelua.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Käsillä olevassa tutkimuksessa on kirjallisuudessa esitettyihin tietoihin ja julkaisemattomiin aineistoihin perustuen tarkasteltu mahdollisuutta muuntaa puutavarakuorman tai muun puutavaraerän mitattu massa tilavuusyksiköiksi. Erityistä huomiota on kiinnitetty niihin tekijöihin, jotka vaikuttavat muuntamistehtävissä käytettävän tuoretiheyden arvoon. Lisäksi on eräiden empiiristen aineistojen valossa tarkasteltu, millaisia mahdollisuuksia on hyödyntää aiemmin tehtyjä mittaustutkimuksia. Samoin on käytännössä tehtyjen painomittausten perusteella tarkasteltu, kuinka paljon tuoretiheyden vaihtelusta voidaan selittää yksinkertaisesti mitattavan järeyden avulla.

Johtopäätöksenä on voitu tutkimuksessa todeta, että tuoretiheyteen vaikuttavat käytännössä eniten tukkien sydänpuuosuus sekä vuodenaika, joka vaikuttaa huomattavasti puuaineen kosteuteen. Vuodenajan vaikutus ei kuitenkaan ole täsmällisesti ilmaistavissa, koska kulloisetkin sääsuhteet lopullisesti ratkaisevat puuaineen kosteuden. Näiden tekijöiden lisäksi on lukuisia muita tuoretiheyteen vaikuttavia tekijöitä, joiden vaikutuksesta tuoretiheyden varianssi on käytännön olosuhteissa huomattavasti suurempi kuin esim. kuiva-tuoretiheyden varianssi. Oksat, lyly ja laho vaikuttavat sahatukkien ollessa kyseessä ilmeisesti vain vähän, ja myös kuoren vaikutus on vähäinen männyn kaarnaisia tyvitukkeja lukuunottamatta.

Tutkimuksessa tehdyn kirjallisuustarkastelun mukaan tuoretiheyteen vaikuttavat niin monet tekijät ja niin monimutkaisella tavalla, että on vain vähäisiä mahdollisuuksia selittää tuoretiheyden varianssia helposti mitattavien muuttujien avulla. Esimerkkinä tuoretiheyteen vaikuttavien tekijöiden monimutkaisuudesta on seuraava jaotelma, jossa on tarkasteltu kuorellisen puun tuoretiheyden ja siihen vaikuttavien tekijöiden keskinäistä korreloitumista. Jaotelmassa on tarkasteltu yleensä kahden muuttujan välistä korrelaatiota silloin, kun muut tekijät pysyvät muuttumattomina. Eräissä tapauksissa, kun tällainen *ceteris paribus* -malli olisi ilmeisen epärealistinen, jaotelman selityksissä on ilmaistu, mitkä tekijät on oletettu muuttuviksi tarkasteltujen tekijöiden lisäksi.

Jaotelman perusteella tehty johtopäätös tuoretiheyden varianssin heikoista vähentämismahdollisuuksista on ilmeisen oikeutettu. Voidaan olettaa, että lukuisat tuoretiheyteen vaikuttavat tekijät jäävät lisäämään selittämätöntä tuoretiheyden vaihtelua. Tällaiseen tulokseen on tullut myös L e i n o n e n (1972 a, s. 24, 1972 b, s. 10) empiiristen aineistojen perusteella.

Muuttuja		Muuttuja B	C	D	E	F	G
Kuorellisen puun tuoretiheys	A	+ [1]	+ [1]	— [1]	— [2]	— [1]	+ [1]
Puuaineen kuiva-tuoretiheys	B		— [1]	+ [3]	+ [1]	— [1]	+ [1]
Pintapuun kosteussuhde	C			.. [4]	.. [4]	+ [5]	— [1]
Sydänpuuosuus	D				+ [1]	+ [1]	+ [6]
Ikä	E					— [7]	— [1]
Kasvunopeus	F						+ [1]
Oksaisuus	G						

[1]) *Ceteris paribus* (muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina).
[2]) Tämä edellyttää, että sydänpuuosuus kasvaa iän myötä. Jos tarkastellaan sydänpuuosuudeltaan samanlaisia ja iältään vaihtelevia puita, korrelaatio on positiivinen.
[3]) Korreloituminen perustuu siihen, että sekä tiheys että sydänpuuosuus kasvavat iän lisääntyessä.
[4]) Tammisen (1962, 1964) tutkimuksissa esitettyjen tietojen perusteella ei ole saatu merkitseviä korrelaatioita.
[5]) Korrelaatio perustuu kasvunopeuden ja kuiva-tuoretiheyden negatiiviseen korrelaatioon.
[6]) Korrelaatio perustuu oksaisuuden ja kasvunopeuden positiiviseen korrelaatioon.
[7]) Kun tarkasteltavana ovat tukkipuukokoiset rungot, kasvunopeus alenee iän kasvaessa.

Mikäli massan muuntamisessa tilavuusyksiköiksi ei haluta käyttää pelkästään karkeita keskiarvoisia muuntolukuja, ainoaksi mahdollisuudeksi jää selvittää otannalla tuoretiheyden kulloinenkin taso mitattavassa puutavaraerässä. Käytännössä tällainen menettelytapa voi tulla kysymykseen ainoastaan silloin, kun perusjoukko on suuri, kenties useita kymmeniä tai satoja autokuormia. Tällöin voidaan suhteellisen homogeenisesta populaatiosta poimia muutamia autokuormia kulloinkin pätevän muuntoluvun selvittämiseksi. Tällainen menettely on käytännössä eräissä pohjois-suomalaisissa metsäteollisuusyhtiöissä. Aiheellista on kuitenkin korostaa, että nykyisin käytössä olevilla laitteilla voidaan päästä vain varsin karkeisiin tuloksiin. Esim. kuoren määrän selvittäminen nykyisillä upotusmittauslaitteilla näyttää tuottavan huomattavia vaikeuksia, kuten luvussa 272 esitellyt tulokset osoittavat. Lisäksi on vielä huomattava, että upotusmittauksessa tulee otetuksi huomioon myös oksakyhmyt ja muut paksunnokset, joita stereometrisessä mittauksessa ei puutavaran mittaussäännön mukaan oteta huomioon. Huomattavin varauksin onkin suhtauduttava siihen, että käytännössä tehtyjen mittausten perusteella pyrittäisiin selvittämään esim. keskimääräisiä muuntolukuja, jotka voisivat palvella muunnettaessa mitattuja puutavaran massoja tilavuusyksiköiksi.

Kun tässä tutkimuksessa päädytään suosittelemaan otantamenetelmien käyttöä, on kuitenkin huomattava, että nykyisissä puunkorjuuoloissa vain poikkeuksellisesti on edullisia mahdollisuuksia otantaan. Keskimäärin puutavaraerät ovat pieniä ja jo tämä yksin voi olla esteenä tehokkaalle otannan käytölle. Voi tosin ajatella, että muuntolukuihin pyrkivässä otannassa yhdistetään eri omistajaryhmien ja puutavaran toimittajien puutavara samaksi perusjoukoksi, josta otos poimitaan. Periaatteessa tällaiseen menettelytapaan ei ole esteitä silloin, kun puutavara hakataan samaan aikaan ja jos puusto on keskimäärin samanlaista. Ainakin jälkimmäinen ehto lienee kuitenkin vaikeasti toteutettavissa.

KIRJALLISUUTTA

Almqvist, G. & Hallmans, G. 1947. Redogörelse för undersökning av volymviktens och kvistförekomstens samband med avsmalningen för massaved. Skogsstyrelsens expertkommitte för virkesmätning. S.D.A. Litt X_u 16. Moniste.

Baker, Gregory 1968. Effect of proximity to limb whorls on wood density. For. Prod. J. 18 (9): 112—113.

Björkman, Erik, Forsblad, Lars-Henrik, Malm, Erik, Regestad, Sixten Olof, Ringström, Erik & Rydholm, Sven 1964. The use of decayed wood from some conifers and broadleaved trees for chemical pulping purposes. Stud. For. Suec. 21.

Björkman, Erik, Samuelson, Olof, Ringström, Erik, Bergek, Tryggve & Malm, Erik 1949. Om rötskador i granskog och deras betydelse vid framställning av kemisk pappersmassa och silkemassa. Summary: Decay injuries in spruce forests and their importance for the production of chemical paper pulp and rayon pulp. Kungl. Skogshögskolans Skrifter 4.

Bonsdorf, A. J. 1933. Tukkipuiden laatuluokituksesta ja hinnoittelusta erinäisillä valtion asutustiloilla Kainuussa. Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 15 (9): 370—378, (10): 412—418.

Boutelje, Julius B. 1966. On the anatomical structure, moisture content, density, shrinkage, and resin content of the wood in and around knots in Swedish pine (*Pinus silvestris L.*), and in Swedish spruce (*Picea abies Karst.*). Svensk PappTidn. 69 (1): 1—10.

Braathe, Peder & Okstad, Torbjørn 1964. Omsetning av trevirke basert på veiing og torrstoffbestemmelser. Summary: Trade of pulpwood based on weighing and dry-matter samples. Medd. Norske Skogforsøksv. 72.

Ericson, Börje 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran. Summary: Effect of thinning on the basic density and content of latewood and heartwood in Scots pine and Norway spruce. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 10.

Gislerud, Olav 1974. En orienterende undersøkelse over sammenheng mellom skurlastkvalitet og avsmalning hos skurtømmer. Summary: A preliminary investigation on relation between lumber quality and taper of sawtimber. Medd. Norsk Inst. Skogforskn. 31.6.

Gjølberg, Rolf & Okstad, Torbjørn 1975. Verdiberegning av stammer av gran som enkeltstammer og i hele lass. Norsk Institutt for Skogforskning, Rapp. 5/75.

Hakkila, Pentti 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Commun. Inst. For. Fenn. 54.4.

—»— 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

—»— 1967. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattisellua valmistettaessa. Paperi ja Puu 49 (7): 461—464.

—»— 1971. Coniferous branches as a raw material source. Tiivistelmä: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Commun. Inst. For. Fenn. 75.1.

—»— & Panhelainen, Aria 1970. On the wood properties of *Pinus contorta* in Finland. Lyhennelmä: Suomessa kasvatetun *Pinus contortan* puuaineen ominaisuuksista. Commun. Inst. For. Fenn. 73.1.

—»— & Rikkonen, Pentti 1970. Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Summary: Spruce saw logs as a raw material of pulp. Folia For. Inst. For. Fenn. 92.

—»— & Uusvaara, Olli 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 66.6.

—»— & Winter, Arja 1973. On the properties of larch wood in Finland. Lyhennelmä: Suomessa kasvatetun lehtikuusipuun ominaisuuksista. Commun. Inst. For. Fenn. 79.7.

Heger, L. 1974. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsam fir, and lodgepole pine. Can. J. For. Res. 4 (3): 321—326.

Heiskanen, Veijo 1954. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Commun. Inst. For. Fenn. 44.1.

—»— & Rikkonen, Pentti 1971. Tukkien todellisen kiintomitan mittaamisessa käytettävät muunto- ja kuutioimisluvut. Folia For. Inst. For. Fenn. 115.

—»— & Rikkonen, Pentti 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. Folia For. Inst. For. Fenn. 250.

Hennigsson, Björn 1962—1963. Studies in fungal decomposition of pine, spruce and birch pulpwood. Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. 52.3.

—»— & Tamminen, Zachris 1961. Studier över torkning, lagringsskador mm. hos hand- och maskinbarkad tallmassaved. Summary: Studies of seasoning, storage defects and secondary water absorption in Scots pine pulpwood debarked manually or machine. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 34.

Jalava, Matti 1932. Puun kosteuspitoisuuden, koon ja muodon muutoksista. Summary: Changes in the moisture content, volume and form of wood. Commun. Inst. For. Fenn. 18.2.

—»— 1933. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. Summary: Strength properties of Finnish pine (*Pinus silvestris*). Commun. Inst. For. Fenn. 18.7.

—»— 1941. Rasiin kaadettujen puiden kuivumisesta. Metsät. Aikak. 58 (6): 173—176.

—»— 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Summary: Strength properties of Finnish pine, spruce, birch and aspen. Commun. Inst. For. Fenn. 33.3.

Johansson, Folke 1956. Studier över torkning, vattenupptagning och lagringsskador hos helbarkad sulfatved i Värmland. Rapp. Uppsats. Virkeslära Skogshögsk. 7.

—»— 1957. Studier över torkning, vattenupptagning och lagringsskador hos helbarkad sulfatved. II Jämtland. Rapp. Uppsats. Virkeslära Skogshögsk. 10.

Klem, Gustav G. 1933—1937. Undersøkelser av granvirkets kvalitet. Referat: Untersuchungen über die Qualität des Fichtenholzes. Medd. Norske Skogforsøksv. V: 197—348.

—»— 1944. Tørke- og lagringsforsøk med brenneved. Summary: Drying and storing investigations of fuel wood. Medd. Norske Skogforsøksv. 30.

—»— 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet. Summary: The influence of spacing on spruce quality. Medd. Norske Skogforsøksv. 40.

—»— 1965. Torrvolumvektsvariasjoner hos vanlig gran (*Picea abies (L.) Karst.*) i Norge. Norsk Skogind. 19 (9): 348—351.

Kärkkäinen, Matti 1971 a. Ehdotus puun tiheyttä koskevan terminologian yhdenmukaistamiseksi. Metsä ja Puu (6—7): 35—36.

—»— 1971 b. Puun rakenteesta ja ominaisuuksista. Julk. Ylioppilastuki r.y. Helsinki.

—»— 1972. Kuusen ja männyn sydänpuuosuudesta. Summary: On the proportion of heartwood in Norway spruce (*Picea abies (L.) Karst.*) and Scots pine (*Pinus silvestris L.*). Silva Fenn. 6 (3): 193—208.

—»— 1976. Havutukkien kuoren tiheys ja kosteus. Summary: Density and moisture content of bark in pine and spruce logs. Commun. Inst. For. Fenn. 87.5.

Lagerberg, T., Lundberg, G. & Melin, E. 1927. Biological and practical researches into blueing in pine and spruce. Svenska SkogsvFören. Tidskr. 25: 145—272, 561—739.

Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der sibirischen Lärche in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 12.

Lassila, I. 1930. Metsätyypin vaikutuksesta puun painoon. Summary: On influence of forest type on weight of wood. Acta For. Fenn. 36.

Leinonen, Esko 1972 a. Puutavaran mittaus kuorma- ja otantamenetelmillä. Summary: Measurement of timber by the load and sampling methods. Folia For. Inst. For. Fenn. 144.

—»— 1972 b. Tilavuuspaino-otanta sahatukkien mittauksessa. Summary: Green density sampling in sawlog scaling. Folia For. Inst. For. Fenn. 145.

—»— & Heiskanen, Veijo 1970. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus 1970. IV. Autokuormamittausten tuloksia. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste.

—»— & Heiskanen Veijo 1971. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus VII. Autokuormamittausten tuloksia Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste.

—»— & Pullinen, Kalevi 1971. Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa. Summary: Green density sampling in pulpwood scaling. Folia For. Inst. For. Fenn. 100.

Lundberg, Gustaf 1928. Torrvolymvikten hos tall- och granved. Zusammenfassung: Das Trockenvolumgewicht bei Kiefern- und Fichtenholz. Svenska SkogsvFören. Tidskr. 26: 564—588.

Nisula, Pentti 1974. Makroilmaston vaikutus varastoidun pinotavaran painoon. Summary: Effect of macroclimate on the weight of stored cordwood. Folia For. Inst. For. Fenn. 218.

Nylinder, Per 1950. Studier över barrundvirkets torkning och vattenupptagning. Norrlands SkogsvFörb. Tidskr.: 165—230.

—»— 1953. Volymviktsvariationer hos planterad gran. Summary: Variations in density of planted spruce. Medd. Stat. SkogsforsknInst. 43.3.

—»— 1956. Virkesfrågor vid flottning. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 2.

—»— 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. U 2.

—»— 1961 a. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flyttbarhet. I Tall. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. I Scots pine (*Pinus silvestris*). Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 35.

—»— 1961 b. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flyttbarhet. II Gran. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. II Norway spruce (*Picea abies*). Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 36.

—»— & Hägglund, Erik 1955. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. Summary: The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce (*Picea excelsa*). Medd. Stat. SkogsforsknInst. 44.11.

—»— & Rennerfelt, Erik 1955. Undersökningar över rötskador i den helbarkade sulfitveden under olika huggnings- och lagringsförhållanden. Summary: Investigations on decay damages in whole barked sulfite pulpwood under different cutting and storage conditions. Medd. Stat. SkogsforsknInst. 44.10.

Okstad, Torbjørn 1971. Bestemmelse av tørrstoffinnholdet i massevirke. Summary: Determination of the dry weight of pulpwood. Medd. Norske Skogforsøksv. 29 (3).

Ollinmaa, Paavo 1959. Reaktiopuututkimuksia. Summary: Study on reaction wood. Acta For. Fenn. 72.1.

Omeis, E. 1895. Untersuchung des Wachstumsganges und der Holzbeschaffenheit eines 110 jährigen Kiefernbestandes. Forstlich-naturwiss. Z. 4 (4): 137—170.

Sachsse, Hanno 1969. Über die jahreszeitlichen Feuchtigkeitsschwankungen in der Rinde lebender Robusta-Pappeln. Holz Roh- u. Werkstoff 27 (2): 55—66.

—»— 1971. Der Feuchtgehalt von Buchen-Industrieholz. Holz Roh- u. Werkstoff 29 (2): 56—66.

Saikku, Olavi 1975 a. The effect of fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus silvestris L.*). Lyhennelmä: Lannoituksen vaikutuksesta puuaineen tiheyteen. Commun. Inst. For. Fenn. 85.3.

—»— 1975 b. Typpilannoituksen vaikutuksesta männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheyteen. Summary: The effect of nitrogen fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus silvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and common birch (*Betula verrucosa*). Commun. Inst. For. Fenn. 85.5.

Siimes, F. E. 1938. Suomalaisen mäntypuun rakenteellisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. Väitöskirja Suomen Teknillisessä korkeakoulussa. Helsinki.

SI-mittayksikkösuoritus metsäteollisuudelle 1974. Paperi ja Puu 56 (10): 752—780.

Spurr, Stephen H. & Hsiung, Wen-Yeu 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. J. For. 52 (3): 191—200.

Srivastava, Lalit M. 1964. Anatomy, chemistry, and physiology of bark. Teoksessa: International Review of Forestry Research, toim. John A. Romberger & Peitsa Mikola, Vol. 1, s. 203—277.

Suomen asetuskokoelma 163/69. (Puutavaran mittaussääntö).

Suolahti, O. 1949. Lahon ja terveen puun kastuminen ja kuivuminen. Engl. summary. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos. Tiedoitus 65.

Tamminen, Zachris 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. I. Scots pine. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 41.

—»— 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. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 47.

Tischendorf, Wilhelm 1927. Lehrbuch der Holzmassenermittlung. Berlin.

Tikka, P. S. 1935. Puiden vikanaisuuksista Pohjois-Suomen metsissä. Referat: Über die Schadhaftigkeiten der Bäume in den Wäldern Nord-Suomis (-Finnlands). Acta For. Fenn. 41.1.

Trendelenburg, Reinhard 1932. Über die Eigenschaften des Rot- oder Druckholzes der Nadelhölzer. Allg. Forst- u. Jagdztg 108 (1): 1—14.

Trendelenburg, R. & Mayer-Wegelin, Hans 1955. Das Holz als Rohstoff. 2. Auflage. München.

Tuomola, Tuomas 1943. Über die Holztrocknung mit besonderer Berücksichtigung der Beziehungen zwischen der Trocknungsgeschwindigkeit des finnischen Kiefernholzes und den darauf einwirkenden verschiedenen Faktoren. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos, Julkaisu 1.

Uusvaara, Olli 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Keski- ja Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon perustuva tutkimus. Summary: On the properties of sawmill chips. Commun. Inst. For. Fenn. 75.4.

—»— 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80.2.

Velling, Pirkko 1974. Männyn (*Pinus silvestris L.*) puuaineen tiheyden fenotyyppisestä ja geneettisestä vaihtelusta. Summary: Phenotypic and genetic variation in the wood basic density of Scots pine (*Pinus silvestris L.*). Folia For. Inst. For. Fenn. 188.

—»— 1976. Mänty- ja kuusiprovenienssien puuaineen tiheyden vaihtelusta. Summary: The wood basic density variation of pine and spruce provenances. Folia For. Inst. For. Fenn. 257.

Vuoristo, I. 1937. Paperipuiden laatuluokituksesta. Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 19 (23): 968—972.

Wahlgren, Harold E., Hart, Arthur C. & Maeglin, Robert R. 1966. Estimating tree specific gravity of Maine conifers. U.S. For. Serv. Res. Pap. U.S. For. Prod. Lab. Madison FPL 61.

Wedel, K. W. von, Zobel, B. J. & Shelbourne, C. J. A. 1968. Prevalence and effects of knots in young loblolly pine. For. Prod. J. 18 (9): 97—103.

Wegelius, Th. 1939. The presence and properties of knots in Finnish spruce. Acta For. Fenn. 48.1.

Werberg, K. 1930. Lüli- ja matlspuu suhe männil. Zusammenfassung: Das Verhältnis von Kern- und Splintholz bei der Kiefer. Tartu Ülikooli Metsaosakonna Toimetused 17.
hältnis von Kern- und Splintholz bei der Kiefer. Tartu Ülikooli Metsaosakonna Toimetused 17.

Zobel, Bruce, Matthias, Martha, Roberds, James H. & Kellison, R. C. 1968. Moisture content of southern pine trees. Tech. Rep. Sch. For. Resour. N.C. St. Univ. 37.

SUMMARY

In this study the problems encountered in the conversion of wood weight to volume are discussed. The analysis is restricted to saw logs the moisture content of which is often the same as in the living tree. The study is based on the literature and unpublished material collected by the Finnish Forest Research Institute.

In the study the green density of saw logs is divided into three components: basic density of wood, heartwood content and the moisture content of the heartwood and sapwood. Besides these, the effect of knots, rot, and reaction wood is studied. The negative correlation between the moisture content and the basic density is taken into account, too.

According to the study, in Finnish conditions the heartwood content, season, and weather are the factors which have the greatest effect on the green density. The contribution of bark is pronounced only in the butt logs of pine (*Pinus silvestris L.*). The effect of knots and various defects is negligible in practice.

TRANSFER PRICING FOR LOG ALLOCATION IN A DECENTRALIZED FOREST PRODUCTS FIRM

KARI KEIPI

SELOSTE:
HAJAUTETUN METSÄTEOLLISUUSYRITYKSEN
SISÄINEN RAAKAPUUN SIIRTOHINNOITTELU

HELSINKI 1977

ISBN 951-40-0247-4
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This study results from my three year stay at Oregon State University, U.S.A. I am grateful to Dr. Norm Johnson, Dr. Bill McKillop, Dr. Dennis Dykstra and Tom Stoffle for the many discussions to initiate the research. I thank Dr. Beuter, my major professor, and Dr. Halter for their good counsel in every step. Greg Gimes, my collaborator for over half a year, developed the computer routines for the study. In Finland, my chief Dr. Jouko Hämäläinen, Dr. Risto Seppälä, and Dr. Matti Keltikangas, my major professor at Helsinki University, have read the manuscript.

Many practical men helped me first in developing the project framework and then provided data for the calculations. Of them I should especially mention Larry Chapman of Bohemia Inc., Ted Nelson of Weyerhaeuser Co., Adam Ferrie of McMillan Bloedel Ltd., and Don Baack of Crown Zellerbach Co. A generous scholarship of W. K. Kellogg Foundation and a research assistantship granted by the Oregon State University School of Forestry made the study financially possible. I thank the international friends in Oregon with whom I have shared my life starting with wilderness experiences and extending to every area of mind and spirit.

Helsinki, November 1976.

Kari Keipi

CONTENTS

Page

Preface 3

Abstract 6

1. Introduction 11
   11. Decentralization 11
   12. Divisional Dominance 11
   13. Log Allocation Problem 13
   14. Transfer Pricing Problem 13
   15. Objectives of the Study 16

2. Transfer Pricing Alternatives 17

3. Theoretically Optimal Transfer Price 20

   31. Optimal Transfer Price when there is no or a Noncompetitive Outside Log Market 20
      311. Derived Internal Demand 20
      312. Marginal Harvesting Cost 20
      313. Negotiated Transfer Price under Bilateral Monopoly 23
      314. Optimal Transfer Price when there is no Outside Log Market 24
      315. Optimal Transfer Price when there is a Noncompetitive Outside Log Market 25

   32. Optimal Transfer Price when there Is a Competitive Outside Log Market 26
      321. Optimal Solution in a Centralized Firm 26
      322. Mill Dominance 27
      323. Timber Dominance 28
      324. Mixed Dominance 30
      325. »Market Price Rule» of Transfer Pricing 31
      326. Optimal Transfer Price for a Firm with Several Milling Divisions 31
      327. Optimal Transfer Price for a Firm with Several Timber Divisions 32

   33. Optimal Transfer Prices for Several Log Classes 33
      331. Diagrams 33
      332. Calculus 35
      333. Mathematical Programming 35
      334. General Rule for Transfer Pricing? 37

4. Experiment for Testing the Hypothesis of the Theory 38

   41. Case Firm 38

   42. Problem Formulation 40
      421. Centralization 40
      422. Divisional Dominances 40
      423. Solution Techniques 45

43. Problem Solving 46
431. Objectives 46
432. Steps of Problem Solving 47
44. Results 49
441. General 49
442. Harvesting Decision 50
443. Optimal Types of Transfer Pricing 52
4431. Mill Dominance 52
4432. Timber Dominance 54
4433. Mixed Dominance 55
444. Best Levels of Transfer Prices 56
4441. Mill Dominance 56
4442. Timber Dominance 60
4443. Mixed Dominance 61
445. Best Divisional Dominance 62
446. Conclusion 63
5. Optimal Transfer Price Analysis under Price Uncertainty 65
51. Objectives of the Analysis 65
52. Stages of the Analysis 66
521. Actions 66
522. Sawntimber Price States and their Probabilities 67
523. Veneer and Log Market Price States and their Probabilities 67
53. Outcomes 68
531. Corporate Profit Outcomes 68
532. Utility Outcomes 71
6. Discussion 74
61. Practice, Theory and the Experiment 74
62. Uncertainty 75
63. Extension of the Results 76
Bibliography 79
Seloste 82
Appendix 1. Linear Program Formulations 87
11. Corporate Program 87
12. Divisional Programs under Dominance Organizations 90
121. Mill Dominance 90
122. Timber Dominance 93
123. Mixed Dominance 95
Appendix 2. Case Firm Data for the Linear Programs 98
21. Timber Data 98
22. Milling Data 100
23. User Cost Computations 105
Appendix 3. Computer Flowcharts for the Linear Programming Computations 111

ABSTRACT

The primary objective of this study is to test the hypothesis that the transfer prices of the corporate resource, logs, should be their competitive market prices. This is what economic theory suggests. The study tests it in short term log allocation decision making of a typical, decentralized U.S.A. and Canada Pacific Northwest forest products firm.

In a decentralized firm, the milling division and timber division are profit centers. The headquarters sets transfer prices and lets the milling and timber divisions determine the allocation of logs. The goal is to maximize the corporate profit which is the sum of the divisional profits. The transfer prices should be such that the corporate profit is as close as possible to the globally maximum corporate profit of a centralized firm under perfect knowledge. Three cases of decentralized organizations are studied:

1) *mill dominance* where the milling division dictates the quantity and quality of harvested logs to be delivered internally and has the right to purchase logs from the outside market; and the timber division harvests the required logs and has the right to sell harvested logs to the outside market;
2) *timber dominance* where the timber division dictates the quality and possibly the quantity of logs to be delivered internally and has the right to buy logs from and sell harvested logs to the outside market; and the milling division may determine their total log demands accepting the quality of supplied logs;
3) *mixed dominance* where the milling division dictates the quantity and quality of internally delivered logs; and the timber division either harvests the required logs or purchases them from the outside market, and has the right to sell harvested logs to the outside market.

The results of the case study show that the *hypothesis* of economic theory *does not always hold*. The best transfer price is not necessarily the market price. It depends primarily on the organizational structure. Under *timber dominance* the firm's best transfer prices always follow the harvesting costs, not market prices. Under mill and mixed dominances the best transfer prices are based on log market prices, with the transfer prices of individual log classes following their relative market prices. However, the best transfer price level may be equal to, above or below the market price depending on the amount of logs available through harvest. Under *mill dominance* the best transfer price is below market price when the firm has a good or fair amount

(above 80 per cent of the mills' total log need) of logs available from harvest. When the harvestable logs are particularly scarce the best transfer price is above the market price. Under *mixed dominance* the best transfer price is market price when the firm has a good or fair amount of logs available from harvest. When the harvestable logs are particularly scarce the best transfer price is above the market price. Mixed dominance is probably the most common of the three organizations among forest products firms. An average firm has good or fair amount (above 80 per cent of the mills' total log need) of logs available from harvest. Therefore, *for a typical* Pacific Northwest forest products *firm the hypothesis does hold.*

The above observations are valid when the transfer price decisions are made under certainty: the prices, costs and production functions are known to the decision makers. But the results of the case study linear programming calculations suggest that even under uncertainty market price-based transfer prices bring the highest expected corporate profit in a mixed or mill dominant firm and cost-based prices in a timber dominant firm. In a mixed dominance firm the expected market price, in a timber dominant firm the expected harvesting cost is probably the best transfer price level. In a mill dominant firm the best transfer price level may be above, equal to or less than the expected market price.

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on testata *hypoteesi, jonka mukaan* metsäteollisuusyrityksen välituotteen, raakapuun, sisäisten *siirtohintojen tulisi noudattaa yritysten välillä tapahtuvien toimituskauppojen markkinahintoja.* Talousteorian mukaan näin on asian laita. Hypoteesi testataan Pohjois-Amerikan länsirannikolle tyypillisessä hajautetussa yhtiössä. Yhtiön tehdas- ja metsäosasto ovat itsenäisiä tulosyksikköjä. Sen johto asettaa siirtohinnat ja jättää puun hankinnan ja käytön osastojen tehtäväksi. Päämääränä on maksimoida koko yrityksen voitto, joka on osastojen voittojen summa.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että talousteorian hypoteesi ei aina pidä paikkaansa. Sisäisen siirtohinnan valinta riippuu organisaatiosta: siitä, miten puun hankinnan ja käytön päätösvalta on tehdas- ja metsäosastolle jaettu. Vaihtoehtoja on kolme. (1) Tehdasosasto päättää onko sen käyttämä puu peräisin metsäosastolta vai muilta yrityksiltä ja ensisijaisesti käytetyn puun puutavaralajijakaumasta. (2) Metsäosasto ratkaisee, onko tehtaille toimitettava puu itse hankittua vai muilta yrityksiltä ostettua sekä ensisijaisesti päättää toimitetun puun puutavaralajijakaumasta. (3) Kun päätösvalta on jaettu tasan, metsäosasto ratkaisee mistä tehtaiden käyttämä puu on peräisin ja tehdasosasto puutavaralajijakauman.

Kun tehdasosasto on määräävä osapuoli, puutavaralajien optimaaliset sisäiset siirtohinnat voivat olla markkinahintojen alapuolella, niiden suuruiset tai niiden yläpuolella riippuen siitä, kuinka suuren osuuden tarvitsemastaan puusta yritys hankkii itse. Kun metsäosasto on päättävä osapuoli, puun optimaalinen siirtohinta on hankintakustannus. Kun päätösvalta on jaettu, optimaaliset puutavaralajien siirtohinnat yleensä noudattavat markkinahintoja. Ne ovat markkinahintojen yläpuolella silloin, kun yrityksen omat hankintamahdollisuudet ovat erityisen huonot.

Laskelmien mukaan kolmesta organisaatiovaihtoehdosta viimeksi mainittu maksimoi yrityksen voiton, kun siirtohinnat ovat markkinahintoja. Kyseinen organisaatio on myös tutkimusalueen metsäteollisuusyrityksissä kolmesta vaihtoehdosta tavallisin. Keskimäärin yritykset pystyvät hankkimaan suurimman osan tarvitsemastaan puusta itse. Johtopäätös on, että tyypillisessä Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyrityksessä *hypoteesi pitää paikkansa.*

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	Log allocation problem	14
2 a	Internal demand for logs	21
2 b	Marginal harvesting cost	21
3	Log allocation, upper and lower bounds of negotiated transfer prices under bilateral monopoly	23
4 a—c	Log allocation divisional profits when transfer price equals to, is greater than or smaller than the equilibrium price	25
5	Log allocation, internal and external log pricing when there is a noncompetitive outside log market, in a price discrimination situation	26
6 a—b	Log allocation and divisional profits under mill and mixed dominances when transfer price equals to market price and is greater or less than internal equilibrium price	27
7 a—b	Examples of log allocation and divisional profits under mill dominance when transfer price is greater or less than market price	28
8 a—b	Log allocation and divisional profits under timber dominance when transfer price equals to market price and is greater or less than internal equilibrium price	29
9 a—b	Examples of log allocation and divisional profits under timber dominance when transfer price is greater or less than market price	29
10 a—d	Examples of log allocations and divisional profits under mixed dominance when transfer price is greater or less than market price	30
11 a—c	Examples of log allocation and veneer, sawmill and timber division profits under mixed dominance when transfer price is equal to, greater or less than market price	32
12	Log allocation and divisional profits of milling divisions and two timber divisions under mixed dominance when transfer price is market price	33
13	Case firm log allocation problem	39
14 a—b	Information and log flows in centralized organization, under mill, timber and mixed dominance	41
14 c—d		42
15	Six divisional allocation problems and the data needed for solving them	44
16 a—c	Corporate profit losses from decentralization with alternative transfer pricing types under mill, timber and mixed dominance	53
17 a—c	Sensitivity of corporate profit losses from decentralization to changes in market-based transfer price levels under mill dominance and mixed dominance, and cost-based transfer price levels under timber dominance when total harvest exceeds mills' total log need	57

18 Sensitivity of corporate profit losses from decentralization to changes in market-based transfer price levels under mill dominance and mixed dominance, and cost-based transfer price levels under timber dominance when total harvest is much less than mills' total log need 59

19 Examples of utility functions of a risk averse and risk taking top management 71

20 Examples of two utility functions of a partially risk averse, partially risk taking top management 72

A. 1 User cost computations 106

A. 2 Flow chart of subroutine SWITCH of user cost computations 109

A. 3 Simplex input computer routines 111

A. 4 Flow chart of FORMAT PROGRAM for the milling division 113

A. 5 Flow chart of FORMAT PROGRAM for the timber division 114

LIST OF TABLES

Table Page

1 Results of the harvesting cost computations: choosing the nine tracts with the lowest harvesting costs to the linear programs 51

2 Profits with alternative transfer pricing types under mill dominance 52

3 Summary of log allocation to mills with alternative transfer prices under mill dominance .. 54

4 Profits with alternative transfer pricing types under timber dominance 55

5 Profits with alternative transfer pricing types under mixed dominance 56

6 Best range for transfer prices for the case firm as a function of harvest level and divisional dominance, and suggestion of economic theory for transfer prices 63

7 Derivation of a combined distribution from subjective and objective veneer price probabilities 69

8 Derivation of a combined distribution from subjective and objective log market price probabilities 69

9 Profits of two transfer price alternatives under price uncertainty in mill dominant organization 70

A. 1 End product prices 102

A. 2 End product recoveries 103

1. INTRODUCTION

11. Decentralization

Transfer pricing is a requirement that arises from interactions between decentralized firm, intermediate products are transferred from the supplier division to the user division. Management literature abounds with reasoning why the top management might want to choose decentralization (cf. Argyris 1965, p. 239; Arrow 1959, pp. 11—12 Arrow 1964, p. 400; Baron, 1972, pp. 163—5; Dopuch and Drake 1964, p. 1; Hirschleifer 1964, p. 29; Marschak 1959, p. 400; Martin 1967, p. 94; Morris 1968, pp. 18—22; Shillinglaw 1964, p. 149; Whinston 1964, p. 418). Horngren (1972, p. 693) summarizes the benefits of decentralization as improving division managers' incentives, innovations and motivation in better daily decisions; facilitating fast allocation adjustments to changes in market conditions; providing more time to top management for strategic planning; training the division managers in independent decision making. Decentralization facilitates meaningful corporate resource allocation even when the headquarters has at most sketchy knowledge about production technology. Correspondingly, the major disadvantage of decentralization is dysfunctional decision making due to lack of congruence between top management and divisional goals or due to lack of information. Another disadvantage is the increased costs of information gathering. (Horngren 1972, p. 694).

The divisions of a decentralized firm are profit centers — somewhat independent responsibility units. The top management faces two problems: (1) how to divide responsibilities and (2) how to coordinate the divisions. The delegation of responsibilities appears in the organizational structure of the firm. In this study, transfer prices serve for coordination of the allocation of the intermediate products. Total decentralization means minimum constraints and maximum freedom for the divisional decision making. Full centralization means maximum constraints and minimum freedom.

12. Divisional Dominance

In a decentralized firm it is of crucial importance for a division manager to know what level of managerial freedom he has. It affects immediately his divisional profit prospects and influences also in the long run his motivation to manage the division

well. In a forest products firm where the intermediate goods to be allocated are logs the freedom of purchasing external logs may be delegated either to the mills or to the timber division. If a division has this right it has prospects for better profits than if it does not have it. Naturally a division is the better off the more it can decide of the firm's log allocation. Some firms are market oriented (mills prevalently determine the allocation) others resource oriented (timber division leads the allocation). In the two-division forest products firm of this study there are three alternative decentralized organization patterns:

1) *mill dominance* where the milling division dictates the quantity and quality of harvested logs to be delivered internally and has the right to purchase logs from the outside market; and the timber division harvests the required logs and has the right to sell harvested logs to the outside market;
2) *timber dominance* where the timber division dictates the quality and possibly the quantity of logs to be delivered internally and has the right to buy logs from and sell harvested logs to the outside market; and the milling division may determine the mills' total log demands accepting the quality of supplied logs;
3) *mixed dominance* where the milling division dictates the quantity and quality of internally delivered logs; and the timber division either harvests the required logs or purchases them from the outside market, and has the right to sell harvested logs to the outside market.

In a centralized forest products firm the top management dictates all activities. It determines the quantities and qualities of internal deliveries and external sales, and external log purchases. There are no divisions but rather nonautonomous departments that are not profit centers.

Why have we chosen the dominance organization? Why not use some other structure of decentralization as transfer pricing framework where both divisions are true profit centers at the same time? We use divisional dominances because they have proved to be very common in practice according to forest products firms' executives (Baack[1]), Ferrie[2]), Liimatta[3]), Taylor[4]); personal interviews). Purely negotiated allocation after top management has announced transfer prices has the same disadvantage as negotiated transfer prices in Chapter 2: it leads to bargaining. Bargaining behavior is difficult to quantify. The best approach, game theory, has succeeded to produce workable solution techniques only for two-person zero-sum games under prefect knowledge. This is insufficient for most log allocation situations. Other possible approaches are: shadow price allocation, decomposition allocation and price adjustment allocation.

[1]) Don Baack, Crown Zellerbach Co., Portland, Ore.
[2]) Adam Ferrie, McMillan Bloedel Lts., Vancouver, B.C., Canada.
[3]) Into Liimatta, Hines Lumber Co., Hines, Ore.
[4]) Sam Taylor, Boise-Cascade Co., Medford, Ore.

Divisional dominance is superior to the three last named approaches. Their advantages and disadvantages are discussed by J e n n e r g r e n (1972) and K e i p i (1976, pp. 190—205). In this study the two first named approaches are touched in section 333.

13. Log Allocation Problem

Figure 1 shows the log allocation problem framework faced by the typical centralized or decentralized Pacific Northwest forest products firm of this study. The sources of logs are timber tracts through *harvest* and the competitive outside log market through *purchase*. The tracts are owned by the company or obtained from public timber sales. In a decentralized firm the purchaser can be either timber division (timber and mixed dominance) or milling division (mill dominance). The logs have three possible destinations: they are used internally by a *veneer plant*, *sawmill*, *or sold* to the outside market. It is always the timber division that sells logs externally. The mills process the logs and sell the end products. Log allocation comprises the decisions of what tracts to harvest, where to take the harvested logs, and what logs to purchase, where to use the purchased logs. It does not in this study include bidding for future public timber sales which is a long term decision. The *allocation decision* is made *for* three months — *one quarter* — but the mills consider also the following quarter: they have the option of producing veneer or sawntimber for inventory. Also in deciding about harvesting the timber tracts the opportunities lost from cutting them at various times, now and in the future, are considered. The longer a tract is available for harvest (in this study the maximum is five years — the length of the firm's assumed cutting plan) the greater is the opportunity cost of harvesting. This is discussed in section 3 12 and Appendix 23. The short term character of the log allocation problem of this study can be seen in the problem formulations of Appendix 1.

14. Transfer Pricing Problem

In this study the transfer prices are the only means by which the top management can control the divisional log allocations. The headquarters' goal is to choose the transfer price among a group of alternatives that maximizes the top management utility (cf. J ä ä s k e l ä i n e n 1971, p. 149). In a major part of this paper this is the same as maximizing the corporate profit.

Log allocation through transfer pricing consists of two parts (cf. J e n n e r g r e n 1972, p. 23): (1) finding the best transfer prices, (2) implementing the best transfer prices. The best transfer prices can be found through information exchange between

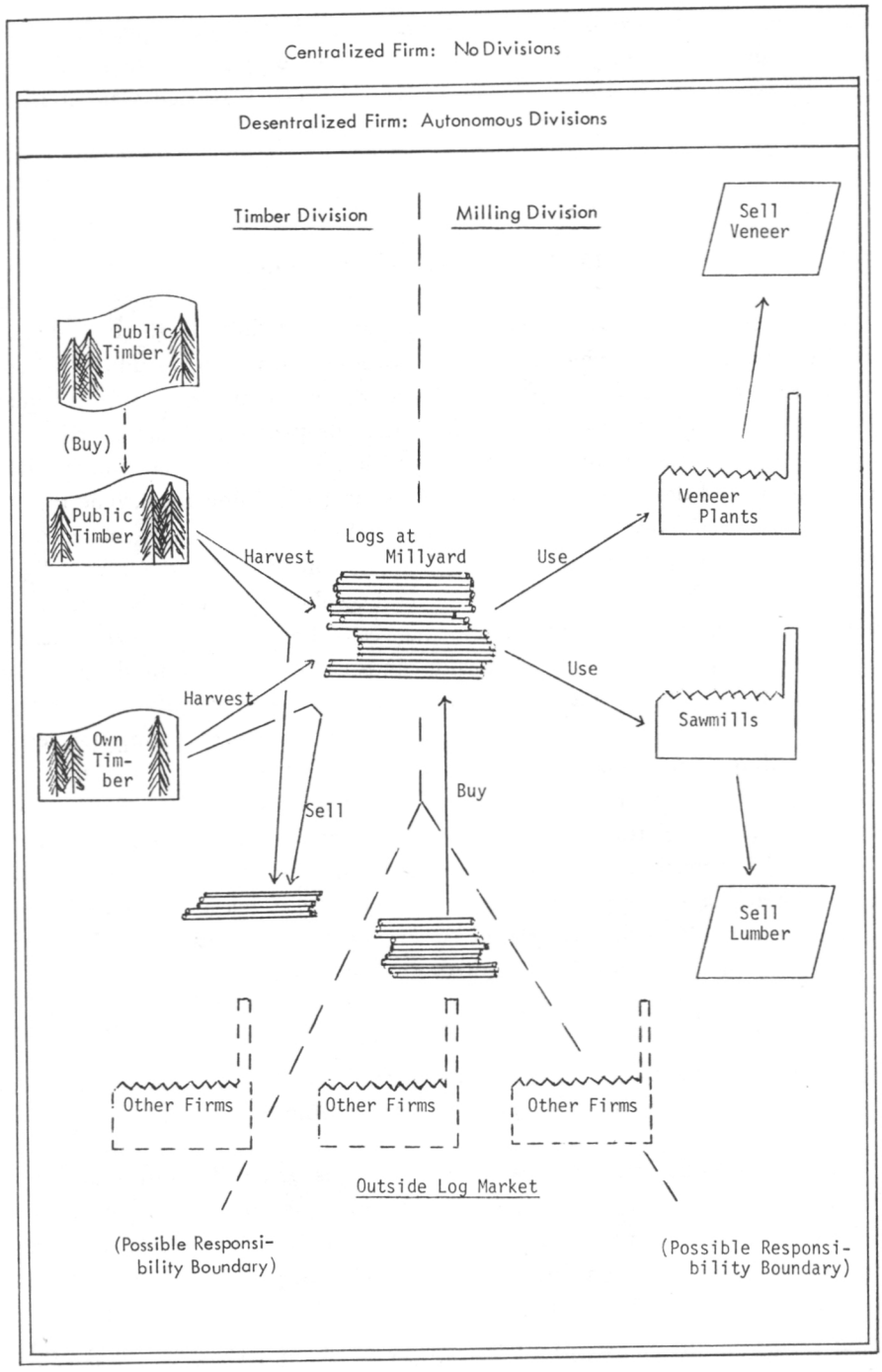


Figure 1. Log allocation problem.

headquarters and divisions and also between divisions themselves. The information exchange would have the following stages:

1) the top management announces a set of tentative transfer prices to both divisions
2) the dominant division solves its log allocation problem given these prices and some guiding restraints from the dominated division; the restraints prohibit technically infeasible allocation to the dominated division
3) the dominant division announces its log demand (milling division) or supply (timber division) to the dominated division
4) the dominated division solves its log allocation problem given the transfer prices from the headquarters and allocation enforcement from the dominant division
5) both divisions report their profits to the top management
6) the top management starts a new information exchange iteration by announcing a new set of transfer prices; the iterations end when all alternative transfer prices have been announced.

If the firm has mill or mixed dominance the information exchange starts in stage 1 by top management asking the milling division manager the following question:

»Assume you can get different classes of logs from the timber division at these transfer prices and you process them so that your divisional profits are maximized. What would your profit be?«

The question to the timber division is:

»Assume the log demand schedule by the milling division.
What would your best profit be?«

Under timber dominance top management would ask the timber division this question:

»Suppose you could deliver logs at these internal prices and want to select the procurement program which maximizes your divisional profit. What would your profit be?«

The question to the milling division is:

»Assume the log supply schedule by the timber division. What would your best profit be?«

The information exchange between the divisions themselves is for their mutual coordination. The dominated division delivers information on its technically feasible log flows to the dominant division. Submitting this information guarantees that any of the enforced allocations by the dominant division could be put into action by the dominated division. Thus any transfer price leads to allocation feasible to both divisions. Of the set of feasible transfer prices the top management would choose and implement the one that in its decision making situation maximizes its utility (corporate profit).

15. Objectives of the Study

The *primary objective* of this study is to *test the hypothesis* of economic theory *that the log transfer prices* of a profit maximizing firm *should be competitive log market prices.* The hypothesis is tested in a case study of a typical Pacific Northwest Douglas-fir region forest products firm. The log allocation problem is first solved given a centralized organization and under perfect knowledge. The resulting allocation is the globally optimal log allocation. This is the target of transfer pricing.

An experiment is set up to find the best transfer prices from a great many candidates. The experiment simulates the information exchange actually taking place in decentralized firms under mill, timber or mixed dominance. The transfer prices are based on log market price, harvesting cost or log mill value which are the types of transfer prices used in practice. The *secondary objectives* are:

1) to find the optimal transfer pricing types under all three divisional dominances;
2) to find the best levels of transfer prices of the optimal pricing types under all three divisional dominances;
3) to rank the divisional dominances.

The criterion used for measuring the »optimality» or »goodness» of transfer prices and the ranking of an organization is the corporate profit. The profit is compared with the corporate profit of the globally optimal allocation and their difference is computed. We wish to find the transfer price and the divisional dominance that minimize the profit difference represents the impact of dysfunctional decisions caused by the lack of goal congruence between the corporate and divisional managers on the corporate profit. We do not try to measure the effect of different transfer prices or organizations on other disadvantages or advanteges of decentralization. Their impact on the efficiency of a firm's information system and divisional managers' motivation are beyond the scope of this study unless it can be directly measured in the firm's profit.

The *tertiary objectives* are:

1) to discuss the transfer price analysis under uncertainty when top management either maximizes the expected corporate profit, or its expected utility when the utility is a nonlinear function of corporate profit;
2) to show the detailed formulations of the divisional log allocation problems for corporate profit or utility maximizing firms that wish to find the best transfer prices in their own, specific planning situations.

2. TRANSFER PRICING ALTERNATIVES

There is a great variety of internal pricing procedures in forest products firms today. The major types are *cost-based, market-based, value-based and negotiated* transfer prices. There are no comprehensive surveys of actual practices of transfer pricing in forest products firms. However, the discussions with executives have shown that the use of *cost pricing* is widespread in the Pacific Northwest forest industry, as in business firms in general (Baack, Ferrie, Fisher[1]) Liimatta, Nelson[2]); personal interviews; cf. Horngren 1972, p. 740). The most common of them are the variable harvesting costs as transfer prices. They can be historical or standard variable harvesting costs. Historical costs are actual costs of previous periods recorded in accounting books. Standard costs are target costs in the budget for the coming period. Standard costs are preferable for planning purposes because they are projections to the future (e.g. Schattke *et al.* 1974, p. 281). Historical cost pricing fails to provide incentive to control costs.

Both historical and standard cost pricing result in a very low timber division profit. Most or all of the firm's profit is transfered to the milling division. This easily causes timber division manager to feel as a »second class» executive in the firm. He may lose his incentives for good management. Cost pricing then can lead to poor decisions. The situation is not much better when the historical or standard costs as transfer prices include an allowance for timber division fixed cost and profit. Now the higher transfer prices result in a greater timber division profit. But this profit is a standard planned profit by the top management. The timber division manager still has poor incentives for good management. He feels that his divisional freedom is restricted because he cannot plan his profits independently. When there is an allowance for profit the question rises: What is a reasonable standard as a target of the divisional profit? Is it an estimated »good» or »satisfactory» or »average» profit of timber divisions in other firms? Should it be higher than, the same as or lower than the company's mills' profits?

Cost-based prices do not vary between different log classes because harvesting costs vary little as a function of log quality. Thus, cost-based transfer prices do not reflect the values of the logs at market or at mills. When a firm operates in a competitive log market it is tempting to use *market prices* to determine transfer prices. Unlike

[1]) R. Fisher, Bohemia Inc., Eugene, Ore.
[2]) Ted Nelson, Weyerhaeuser Co., North Bend, Ore.

cost-based prices they naturally vary from log class to log class. Under market pricing, decisions have to be made whether short term or long term, past or future estimated market prices should be applied. The length of the allocation planning horizon naturally determines whether to use short- or long-term market prices. Since the allocation decision is made for the future, some would argue that future prices should be used. But whose estimate is the best? Is it that of the analyst working at the headquarters or that of the divisional decision maker? The former's estimate is lacking the contribution of the »feel» at the market that makes a subjective estimate often superior. The divisional prediction, on the other hand, may be misguiding. To avoid these problems in practice, historical log market prices are used often as transfer prices (C h a p m a n[1]), personal interview).

Market prices establish a ceiling for transfer pricing when top management wishes the mills to buy predominantly internal logs. A lower price is justified when the timber division obtains economies of scale from large-sized internal deliveries (cf. C o o k 1955, p. 90). Transfer prices greater than market prices are seldom used in practice (B a a c k, personal interview), though they could be justified by the improved raw material availability the mills may obtain from the guaranteed steady flow of internal log deliveries.

As cost-based transfer prices favor the mills by being low compared to market prices, value-based prices favor timber division by being high. *Value pricing* is popular among oil companies (cf. D e a n 1955, p. 69). Due to the special structure of oil industry it helps to minimize their tax burden and maximize the corporate profit. The interviews with Pacific Northwest forest products firms showed that the computationally difficult mill value-based prices are nonexistent in forest industry. They would be computed by subtracting mills' direct processing costs from the log values at end product level or also subtracting allowances for mills' indirect fixed costs and profits. Allotting the allowances to different log classes is arbitrary and determining »reasonable» profits for the mills difficult. The value-based transfer prices naturally vary from log class to log class. They also vary from mill to mill.

Negotiated transfer prices without top management as an umpire and as the final decision maker have the disadvantages of bargaining. Bargaining increases the chances of misunderstanding and conflicts between the divisional managers. It causes the managers to present misguided, exaggerated and prejudiced pricing facts, and generates heat and bad temper. It rarely produces transfer prices that are not dysfunctional for the firm as a whole (cf. D e a n 1955, p. 72). The procedure also requires a great amount of the executives' time (C o o k 1955, p. 93). Discussions with top management as an umpire are, however, quite common to find feasible internal prices and allocations for both divisions. They help top management to narrow down the alternatives of cost-, market- or value-based transfer prices for the execution. Deeper analyses of negotiations in transfer pricing and log allocation is a matter of behavioral research and beyond the scope of this study.

[1]) Larry Chapman, Bohemia Inc., Eugene, Ore.

A great majority of forest products firms prefer simple pricing practices with the same prices for logs of a certain type for timber division as the supplier and the mills as the users. Cost-based transfer prices, might, however, vary between mills as a function of the log transportation costs. In value pricing the transfer prices vary from mill to mill as a function of end product prices and recoveries of each mill. Top management might want to apply different transfer prices for the seller and buyer. This *multiple pricing* could occur to encourage transactions of certain types of logs. The reason might be risk sharing between divisional managers. A risk averse timber division manager could receive a low cost-based transfer price plus a lump sum for his logs while a timber division manager as a risk taker pays the log market price. The harvesting costs vary little and thus cost-based transfer prices are subject to little risk. The coming period's log market prices are more uncertain and allocation based on them as transfer prices is risky.

Practice has shown that price discrimination is poor business within a firm (D e a n 1955, p. 66). It creates bad feelings between managers and friction in interdivisional relations. This study focuses on singular market-, cost- and value-based transfer prices set by top management. A price of the timber division as a supplier is the same as a price of the veneer plant or sawmill as a user of the internal logs.

3. THEORETICALLY OPTIMAL TRANSFER PRICE

31. Optimal Transfer Price when there is no or a Noncompetitive Outside Log Market

311. Derived Internal Demand

According to economic theory a firm will use each input in such a quantity as to maximize its profits. Profits will be maximized when the amount added to the revenue of the firm by an additional unit of the input equals the amount it adds to cost (S t i g l e r 1972, p. 239). To demonstrate this for logs as inputs we develop the concept of derived internal demand and marginal harvesting cost of logs in Figure 2. We discuss the intrafirm log market of a forest products company but the analysis is applicable in any firm with an intermediate product. We assume that the end products — veneer and lumber—in a forest products firm consist of two inputs: logs, and processing, which includes all other production factors such as labor and energy. Whether the end product markets are competitive or not does not change the analytical framework as long as they are independent (H i r s c h l e i f e r 1956, p. 176). Here we assume competitive market. We employ processing inputs as a function of log quantity. We assume both technological and demand independence in the operations between supplier and demander. Technological independence means that the operating costs of each division are independent of the level of operations by the other. Demand independence means that an additional external sale by either division does not reduce the external demand for the products of the other (H i r s c h l e i f e r 1956, p. 172). Internal log demand depicts the locus of points of the highest prices the mills can afford to pay for logs. It is the maximum value of logs before processing — the marginal *log values after processing minus the marginal* (variable) *processing costs* of the mills. The fixed processing costs will be relevant in deciding whether a process should be instituted or not, or whether it will be continued or not. They are irrelevant to short term allocation. That is why they are not considered in Figure 2.a. (cf. S o l o m o n s 1965, p. 213).

312. Marginal Harvesting Cost

In a forest products firm the marginal cost of the intermediate product — log — is named the marginal harvesting cost. In this study it is somewhat different from that normally found in economic text. In a forest products firm the technology requires

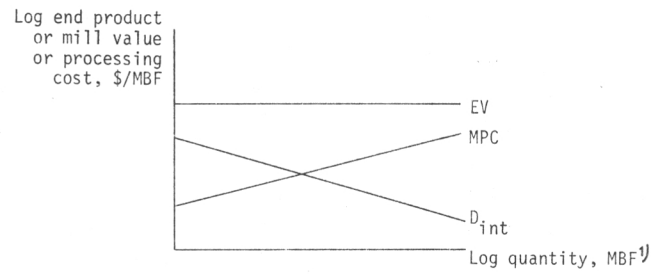


Figure 2.a. Internal demand for logs.

Note: EV = maximum value of logs after processing when the end product market is competive.
MPC = marginal processing cost.
D_{int} = derived internal demand = EV—MPC.
[1]) see footrote in seetion 331.

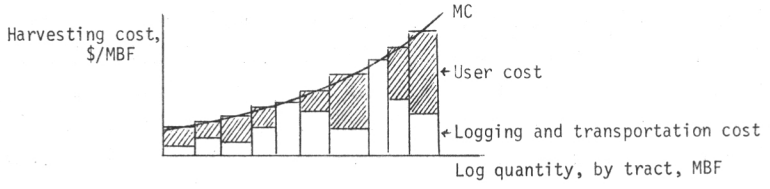


Figure 2.b. Marginal harvesting cost (MC).

that if a tract is cut it is cut as a whole. However, if several tracts would be felled *in a certain period* the last tract in that period could be felled partially. The periodic marginal harvesting cost function is thus discrete. Its each step is the average (direct) harvesting cost for all tracts available for cut, ordered from smallest to largest. Together the steps form the nondecreasing marginal harvesting cost function of the firm. Because the last tract in a harvesting program for a period could be felled partially the marginal havesting cost—supply—function MC of Figure 2b can be cut at any point.

The marginal harvesting cost is the locus of points of the minimum prices the timber division would accept for the logs. The harvesting cost of a tract consists of two parts: the logging and transportation cost, and the user cost which is the opportunities lost if the tract is cut in the coming quarter instead of in the future (S c o t t 1966, p. 6; N a u t i y a l 1966, p. 338; J o h n s o n 1970, p. 10; W a l k e r 1971, p. 31).

The logging and transportation cost of a tract is a common concept but the idea of *user cost* needs more explanation. In our log allocation framework the forest products firm has tracts to be harvested in three categories:

1. available tracts accessible for harvest
2. available tracts not accessible for harvest
3. tracts not available for harvest.

In this study of short, three month, time horizon we are only interested in category 1: purchased public timber tracts and company's own tracts with roads. The second category concerns purchased tracts and company tracts, with no accessibility on roads, included in the company's cutting plan for the next five years. The third group includes public timber sales to bid for within the coming five years and company timber to be harvested within the following five year period.

We assume that decisions of bidding and the five year cutting budget for company timber have been made by log range planning. The decisions regarding road building are intermediate time range decisions. Short-term log allocation determines only whether the available and accessible tracts should be harvested during the coming quarter when the alternative is to harvest the tracts during some later quarter. The public timber tracts are available for as many quarters as the sale contract states. The company timber is available for five years (= 20 three month periods).

In our log allocation framework of all the production decisions the timber harvesting decision is of longest term. Harvesting as an action is irreversible: once the trees of a tract have been felled the possibility of harvesting them later is gone. Timber deteriorates after cutting but can be held standing long periods without deterioration. In fact, standing timber may grow and increase in value. By harvesting just before the use the capital costs of logging and transportation are reduced. Thus we assume in this study that if logs are used in the future, harvesting will occur in the future also.

Following D u e r r (1960, p. 203) we list the advantages of keeping tracts unharvested:

1) the readiness to meet the mills' future log requirements,
2) the opportunity gain from future timber value increases,
3) the value increase of the stand due to volume growth.

The disadvantages of holding standing timber uncut are:

1) the costs of interest on the investment in wood stock, the risk of fire and deterioration of wood quality,
2) the opportunity loss from future timber value decreases.

Guaranteeing the mills' log demands for the future periods is a task of intermediate or long range planning. In this study we take advantages (2) and (3) and disadvantages (1) and (2) into consideration through the user cost of each tract. For every accessible tract we compute its discounted expected value after stumpage for all quarters the tract is available. To be able to compute them, estimates are needed for future prices of sawntimber, veneer and logs in the outside market. The costs of logging, transporting and processing are estimated. The tree growth is predicted. From these we compute the expected discounted value of each tract in the best uses of the logs in each period. The rate of interest applied in this study is six per cent. It is a relevant interest rate alternative in forest management decisions of small and intermediate size firms (cf. D u e r r 1960, p. 149 and W a l k e r 1971, p. 43). Tests have shown that the

interest rate choice has little effect in the results of the user cost computations. The user cost is computed by subtracting the estimated value of each tract in the best use of the logs in the *coming* quarter from its discounted value in the best use of the logs in the *best* quarter as shown in Appendix 23. The user cost is the temporal counterpart of the opportunity cost (W a l k e r 1971, p. 31).

313. Negotiated Transfer Price under Bilateral Monopoly

Bilateral monopoly exists in the intrafirm market when the timber division is the only source of logs and the milling division their only destination. They negotiate the transfer prices and log allocation among themselves without the headquarters acting as an umpire. Economic theory is unable to derive any »optimal» or »best» transfer price in this situation. The transfer pricing and allocation solution is based on the bargaining skills of the divisional managers. Figure 3 shows the derived internal demand for logs faced by the timber division. As a monopolist the timber division's marginal revenue is MRT and it would like to sell q_T logs at price p_T to the mills. As a monopsonist the milling division's marginal expense of logs is MEM and it would like to purchase q_M logs at price p_M from the timber division. The timber division can fulfill its desire only in case the milling division acts as if the log market were competitive. Correspondingly, the milling division can induce the transfer price and log allocation as a monopsonist only in case the timber division acts as if the log market is competitive.

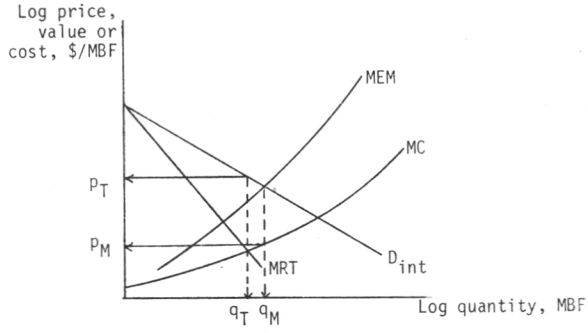


Figure 3. Log allocation, upper (P_T) and lower (P_M) bounds of negotiated transfer prices under bilateral monopoly.

Note: MC = marginal harvesting cost
MEM = marginal expense of logs as inputs of a monopsonistic milling division
D_{int} = derived internal demand
MRT = marginal revenue of a monopolistic timber division.

Since neither of the divisions can induce the transfer price and log allocation the price may be any value between p_M and p_T and the allocation any value between q_T and q_M (F e r g u s o n 1966, pp. 281—282). Only by accident the price and quantity would be one desired by the top management. Negotiated transfer prices under bilateral monopoly lead easily to serious dysfunctional log allocations.

314. Optimal Transfer Price when there is no Outside Log Market

When there is no outside log market and the headquarters determines the transfer prices some of the dysfunctional log allocation of the bilateral monopoly is avoided. Top management considers the derived internal demand as its marginal revenue curve. Its marginal cost curve is the marginal harvesting cost. It maximizes its profit by choosing a transfer price such that in the resulting log allocation marginal cost equals to marginal revenue. Since the top management sets the transfer price the timber division has to accept D_{int} as its marginal revenue curve. The milling division cannot exploit the timber division by applying the marginal expense of logs-curve in the log allocation, either. Marginal cost equals to marginal revenue at equilibrium point D in Figure 4.a. The corporate profit maximizing transfer price (TP) is the ordinate of this point, p_e — the equilibrium price. With this optimal transfer price $q_M = q_T$ is the quantity of logs delivered from timber division to milling division. Quantity q_M represents the amount of logs the milling division desires to receive and q_T the quantity of logs the timber division wishes to deliver. Area ABD is the milling division profit and area BCD the timber division profit. The sum of these, ADC, is the corporare profit.

In Figure 4. b, *transfer price* TP *is greater than equilibrium price* p_e. A conflict occurs between the divisions: milling division wishes to acquire q_M logs and timber division supply q_T logs. If the *milling division's desire* comes through its profit will be BCDE and milling division's profit ABD. The corporate profit is ACED which is *less than the maximum profit* by DEF. If the *timber division's desire* comes through its profit will be BCG and milling division's profit ABD and profit loss DGH. The corporate net profit is ACF—FGH which is *less than the maximum* corporate p r o f i t by FHG.

When *transfer price* TP is *less than equilibrium price* p_e the firm again incurs profits *less than the maximum profit*. This is shown in Figure 4.c. Assuming that the timber division has to deliver the logs the *milling division wishes* to aquire the corporate profit loss is FGH. Assuming that the milling division has to accept the logs *timber division wishes* to deliver the corporate loss corresponds to area DEF.

The corporate profit losses from poor transfer pricing may diminish through divisional negotiations. Quantites q_M and q_T may become closer to the optimal allocation. But they may not because the final solution depends rather on the division managers' bargaining skills than economic theory. Analyses of divisional bargaining behavior are, however, beyond the scope of this study. Here we examine the optimal transfer prices assuming log allocation according to wishes of only milling division or only timber division. According to the terminology of Chapter 1 we call the first organizational structure *mill dominance* and the second *timber dominance*. In the absence of an outside log market mill dominance is equivalent to mixed dominance. The analyses indicate that under either divisional dominance *the optimal transfer price is the equilibrium price*. At the equilibrium price the corporate marginal revenue (D_{int}) equals to the corporate marginal cost (MC). There are no corporate losses from decentralizing the allocation if the equilibrium price prevails.

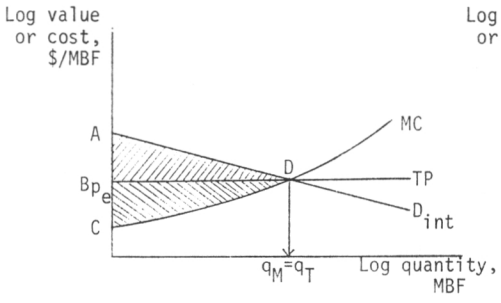


Figure 4.a.

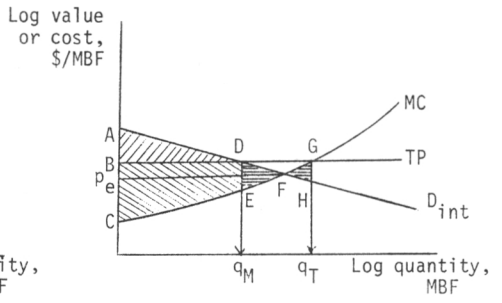


Figure 4.b.

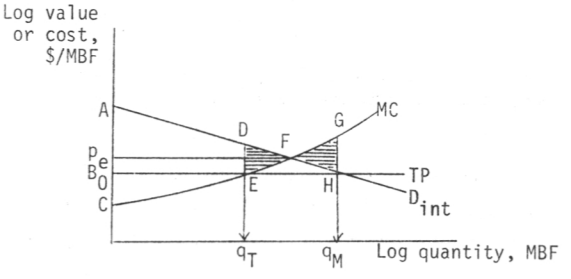


Figure 4.c.

Figures 4. a—c. Log allocation and divisional profits when transfer price (TP) equals to (Fig. a), is greater than (Fig. b) or smaller than (Fig. c) the equilibrium price (p_e).
Note: MC = marginal harvesting cost; D_{int} = derived internal demand.

315. Optimal Transfer Price when there is a Noncompetitive Outside Log Market

The marginal cost-marginal revenue rule of transfer pricing and log allocation holds also when there is a noncompetitive outside log market. Figure 5 shows this. There MC is the corporate marginal cost curve. But there are two corporate marginal revenue curves, one for the internal logs (D_{int}) and one for logs to be sold to the outside market (MR_{out}) which is derived from the outside log demand (D_{out}). In economic theory this situation of several markets with differently shaped demand and marginal revenue curves is called price discrimination (S t i g l e r 1972, p. 209; L e f t w i c h 1961, p. 216). The total marginal revenue (MR_{tot}) is the sum of the two marginal revenue curves. The optimum total log quantity procured is determined by *equating the total marginal revenue and the (total) marginal harvesting cost*, at point X. The abscissa of this point is the total harvest q. Economic theory says that the firm will maximize its profit by allocating logs among the submarkets so as to equate its marginal revenue in each submarket with total marginal revenue at point X. Price in each submarket is determined directly from the submarket demand curve, given the submarket log allocation (F e r g u s o n 1966, pp. 280—281). Thus the optimal

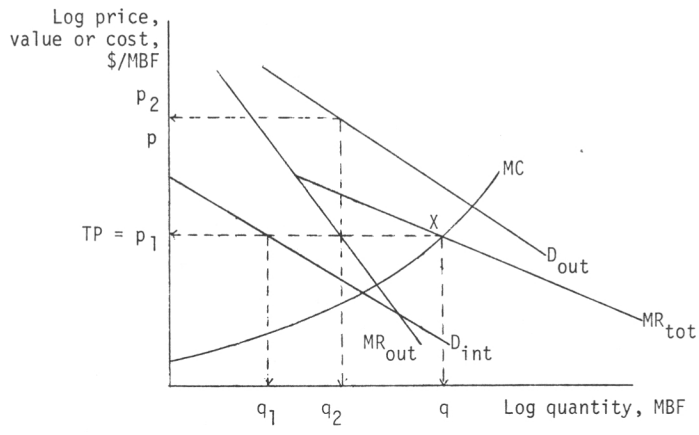


Figure 5. Log allocation, internal and external log pricing when there is a noncompetive outside log market, in a price discrimination situation (Johnson 1970, p. 5a).

internal log delivery will be q_1 and the external log sales q_2. The optimal monopolistic outside market price is p_2. The optimal transfer price, p_1, is determined by the quantity allocated from internal deliveries q_1, and the internal demand curve, D_{int}, which happens to be also the marginal revenue of internal log deliveries. The optimal transfer price is always the ordinate of point X.

Price p_1 is the optimal transfer price under both mill, timber and mixed dominance. It produces the same corporate profit in all of them as in a centralized organization. Using it prevents dysfunctional decisions and causes the profit losses of decentralization to be zero. We will show this in the next section, dealing with transfer pricing when there is a competitive outside log market. Whether the outside log market is competitive or not, the basis for log allocation and transfer pricing is the economic theory of price discrimination.

32. Optimal Transfer Price when there is a Competitive Outside Log Market

321. Optimal Solution in a Centralized Firm

The marginal cost-marginal revenue rule of transfer pricing and log allocation holds when there is a competitive outside log market. In this section we will see that this rule causes market price to be the optimal transfer price. For showing it we apply again the economic theory of price discrimination. Market pricing may result in the allocation and maximum profit of a centralized organization. There may be no corporate profit losses from decentralization.

First we wish to find the optimal allocation under *centralization;* this allocation is the target of transfer pricing. The log market price can be either a marginal cost or a marginal revenue for the firm as a whole. It is marginal cost when logs are purchased

from, and marginal revenue when logs are sold to the outside market. When the firm is a net seller of logs its total marginal revenue is the maximum of derived internal demand and market price: max [D_{int}, MP]. Its total marginal cost is MC. If Figure 6.a depicts the profits and log allocation of a *centralized* firm, the firm's total marginal revenue curve of logs would be ADE→MP, and marginal cost curve MC. When the firm is a net buyer of logs its total marginal revenue is D_{int} and total marginal cost the minimum of the marginal cost and market price; min [MC; MP]. If Figure 6.b depicts the profits and the log allocation of a *centralized* firm, the firm's total marginal revenue curve would be D_{int} and the total marginal cost curve CD→MP. The profit maximizing centralized firm's total wood procurement would be the abscissa of the intersection of total marginal revenue curve and total marginal cost curve. This intersection is point X in Figures 6.a and b. According to price discrimation theory the firm determines its optimal log allocation between the internal and external markets by equating the marginal revenue in each market with the total marginal revenue at point X. (cf. F e r g u s o n 1966, pp. 280—281). This would result in a flow of q_M logs to the mills and $q_T - q_M$ logs to the outside market in Figure 6.a. In Figure 6.b it would cause a flow of q_M logs to the mills of which q_T are internal logs. This would then be the optimal allocation of centralization. The corresponding maximum profits of the firm would be ADEC and AEDC. These are the target allocation and profit to aim at in setting transfer prices.

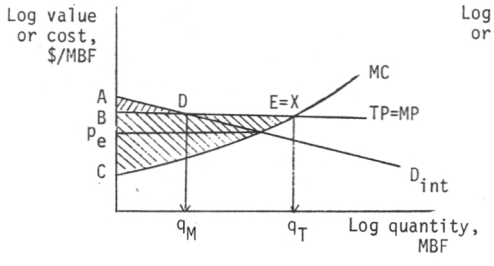


Figure 6a.

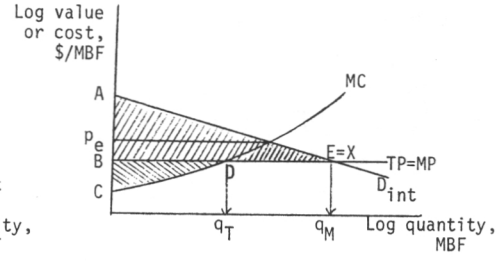


Figure 6.b.

Figures 6.a—b. Log allocation and divisional profits under *mill and mixed dominances* when transfer price (TP) equals to market price (MP) and is greater than (Fig. a) or less than (Fig. b) internal equilibrium price (p_e).

322. Mill Dominance

When *transfer price equals market price* under mill dominance the log allocation and corporate profit are the same as those of the optimal solution in a centralized firm. There are *no corporate profit losses from decentralization.* This is shown in Figure 6.a when the market price (= transfer price) is greater than the internal equilibrium price (p_e). The mills get all their logs internally (q_M) and timber division sells part of the harvest (q_T) to the outside market (q_T—q_M). There are no log purchases.

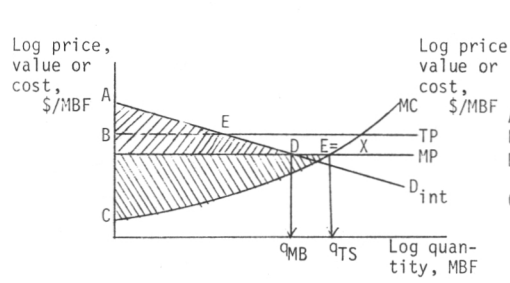


Figure 7.a.

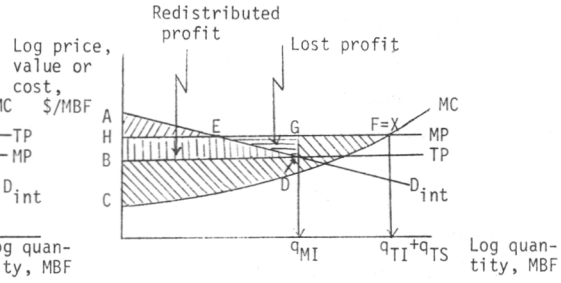


Figure 7.b.

Figures 7.a—b. Examples of log allocation and divisional profits under *mill dominance* (TP) when transfer price (TP) is greater than (Fig. a) or less than (Fig. b) market price (MP).

Timber division profit is area BCE and milling division profit area ABD. The corporate profit is their sum ADEC. When the market price (= transfer price) is less than the internal equilibrium price (p_e), in Figure 6.b, the mills get only part of their logs from the timber division harvest (q_T) and the rest is purchased from the outside market. The timber division profit is area BCD and the mills' profit area ABE. The corporate profit is their sum AECD. This is the same as the maximum profit of a centralized firm. When the market price (= transfer price) is the internal equilibrium price (p_e) the allocation and profits are the same as for Figure 4.a.

Under mill dominance with *transfer price above market price* the divisional and corporate profits are the same as with *transfer price equalling market price* in Figure 6: there are *no corporate profit losses from decentralization.* The log allocations, however, differ: milling division buys all its logs from the market (q_{MB}) and timber division sells all harvested logs to the market (q_{TS}). No internal log transactions take place. This is shown in Figure 7.a. But when *transfer price is below market price* the firm experiences *profit losses.* In Figure 7.b the corporate profit loss is DEG. This is the lost profit to timber division when milling division forces it to deliver a total of q_{MI} logs internally at the low transfer price. It would be more economical for the timber division and for the firm to sell part of their logs to the outside market. Area HBDE is the redistributed profit from timber division to milling division caused by the reduction of transfer price below market price.

323. Timber Dominance

When *transfer price equals market price* under timber dominance a firm *may or may not be* facing *corporate profit losses from decentralization.* This is shown in Figure 8.a when market price (= transfer price) is greater then the internal equilibrium price(p_e). The timber division wants to harvest q_T logs and the milling division wishes to acquire q_M logs. The timber division is indifferent between delivering logs to the mills or selling them to the outside market. If the organization is flexible enough

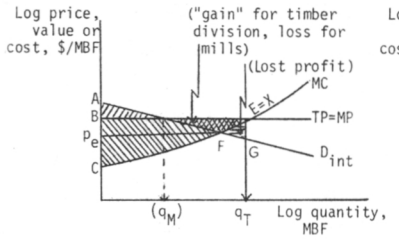


Figure 8.a.

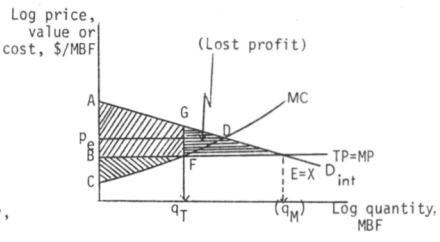


Figure 8.b

Figure 8. a—a. Log allocation and divisional profits under *timber dominance* when transfer price (TP) equals to market price (MP) and is greater than (Fig. a) or than (Fig. b) internal equilibrium price p_e).

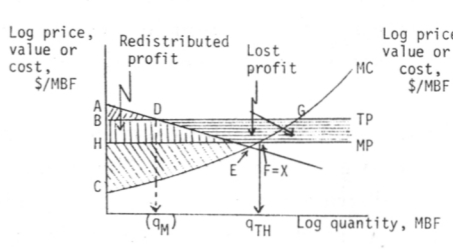


Figure 9.a.

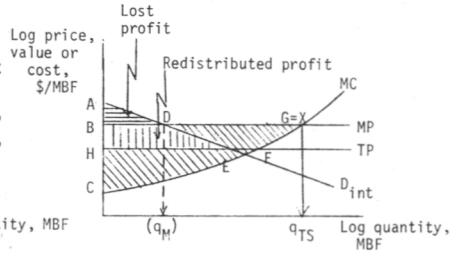


Figure 9.b.

Figures 9. a—b. Examples of log allocation and divisional profits under *timber dominance* when transfer price (TP) is greater than (Fig. a) or less than (Fig. b) market price (MP).

to let the milling division inform the timber division about its log acquisition desire, the allocation and corporate profit are the same as in the optimal solution of a centralized organization: there are no corporate profit losses from decentralization. But if this information flow between the divisions does not occur the lost corporate profit corresponds area EFG.

When market price (= transfer price) is less than the internal equilibrium price (p_e) there again *may or may not be a corporate profit loss.* This is shown in Figure 8.b. The timber division is indifferent between delivering quantity q_M—q_T of logs to the mills. If it does not know about the mills' desire to acquire these logs the corporate profit loss is area EFG.

When *transfer price is above market price* the profit losses from decentralization are substantial. Figure 9.a shows that the timber division wishes to deliver q_{TH} harvested logs to the mills. But it would also like to deliver an infinite amount of bought logs to them because for each unit delivered it makes a constant (TP—MP) net revenue. The mills would like to acquire only q_M logs which would give them a profit of area ABD. But the dominant timber division forces the milling division and the whole firm to incur an infinite profit loss which *will cause the firm to go out of business.*

Any *transfer price below market price* is also disastrous for the firm as we can see in Figure 9.b. Now the timber division wants to sell all harvestable logs to the outside market leaving the mills without raw material. *The mills go out of business.*

We can conclude that timber dominance without clear minimum and maximum log requirements by the mills, enforced to the timber division, does not work unless transfer price is market price. Even if transfer price is market price timber division has to know desired allocations by the mills. Otherwise corporate profit losses from decentralization occur.

324. Mixed Dominance

When *transfer price equals market price* under mixed dominance the log allocation corporate profit are the same as those of the optimal solution in a centralized and mill dominant firm. They are shown in Figure 6.a and b. There are *no corporate profit losses from decentralization.*

With *transfer price above market price* the firm faces *lost* corporate *profits* from decentralization. Figure 10.a and b show two examples of this. The profit loss in both cases is marked by area DEG. The redistributed profit from milling division to timber division caused by the increase of transfer price above market price is BDEH. The mills are going to use q_M logs and the timber division harvest amounts to q_T. When *transfer price is below market price* as in Figures 10.c and d corporate *profit losses* incur. In the figures their area is DEG.

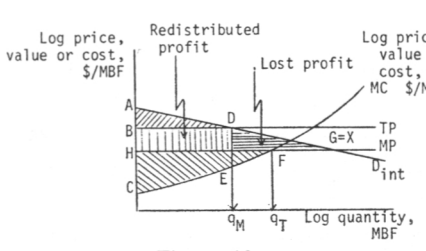


Figure 10.a.

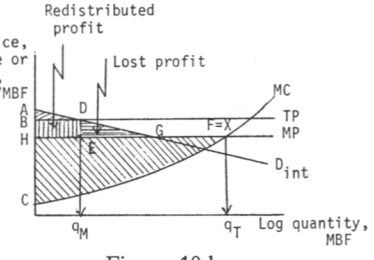


Figure 10.b.

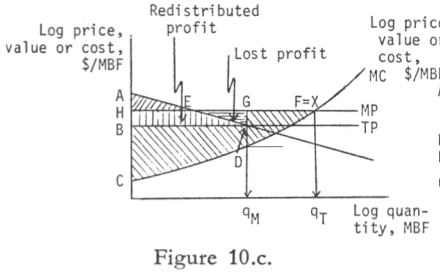


Figure 10.c.

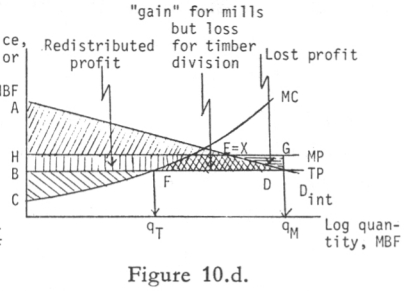


Figure 10.d.

Figures 10.a—d. Examples of log allocations and divisional profits under *mixed dominance* when transfer price (TP) is greater than (Figs. a, b) or less than (Figs. c, d) market price (MP).

325. »Market Price Rule« of Transfer Pricing

We have been using the price discrimination theory to find optimal transfer prices both when the outside log market is competitive and noncompetitive. According to that theory the optimal transfer price is the ordinate of the intersection of the total marginal revenue function and total marginal cost function. This intersection is point X in figures 6—10. In the figures it always lies in the horizontal line depicting the competitive market price. It has to lie on the market price line because that line is at its whole length part of either firm's total marginal revenue curve or total marginal cost curve. The marginal revenues result from selling logs to the outside market, the marginal costs from buying them from the outside market. But because the market price line is horizontal the ordinate of X is always the market price. Thus market price is the optimal transfer price. We have named the procedure of setting the optimal transfer price as the ordinate of the intersection of total marginal cost and total marginal revenue the »marginal cost — marginal revenue« rule of transfer pricing. Hirschleifer (1956, p. 176; 1957, p. 108; 1964, p. 34) calls it »marginal cost« rule. In this section we have seen that when there is a competitive outside log market, optimal transfer price equals the market price according to this rule. It is optimal because it produces the same allocation and corporate profit as the optimal solution of a centralized firm. Through market pricing the corporate profit losses of decentralization are avoided under any of the three divisional dominance structures. The »marginal cost« rule becomes »market price« rule.

The log market price reflects the opportunity cost of the intrafirm transaction to the divisions. The timber division will not be ready to sell logs to the mills at a price lower than the market price (TP < MP). Voluntary internal log deliveries occur only when TP $\geq$ MP. Voluntary internal log acquisitions by the milling division occur when TP $\leq$ MP. The union of two sets of feasible solutions is TP = MP. Transfer price should then equal market price in order to avoid uneconomic allocations from both one of the divisions' and corporate point of view.

326. Optimal Transfer Price for a Firm with Several Milling Divisions

The market price-marginal cost-rules of price discrimination hold for the cases where we have several milling or timber divisions (Ferguson 1966, pp. 281, 272). We restrict our attention only to the organization of mixed dominance. The reasonings we are going to present apply also to the other two discussed organizations. We assume two independent internal users — veneer and sawmill divisions. Areas ABC and DEF represent the milling divisions' profits in Figures 11. a—c. The summed mill profits are GHK. The timber division profit is HIJ in Figure 11.a, HIJMK in Figure 11.b and HIJ+LKM in Figure 11.c. Symbols q_v and q_s represent veneer and sawmill divisions' internal demands for log, and q_{TI} and q_{TS} timber division's internal and external supplies of logs. The corporate profit = summed divisional profits are at their maximum when *transfer price is market price:* There are *no profit losses from decentralization.* The analysis is similar for more than two milling divisions.

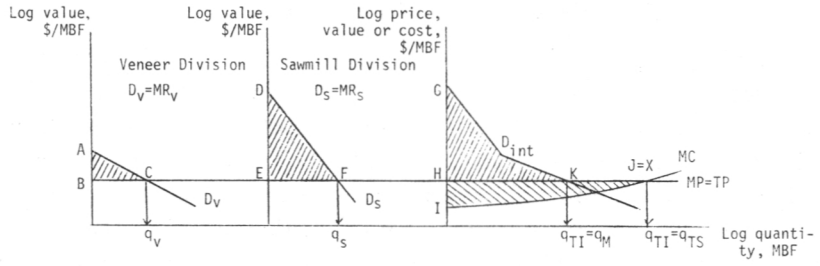


Figure 11.a.

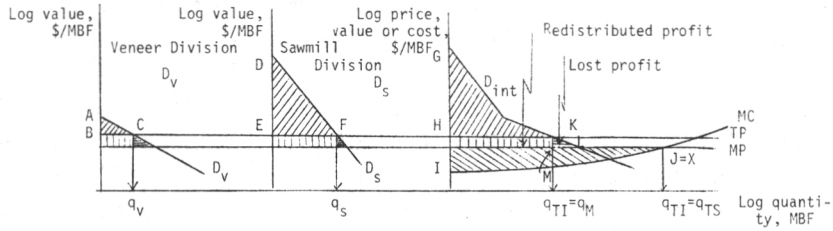


Figure 11.b.

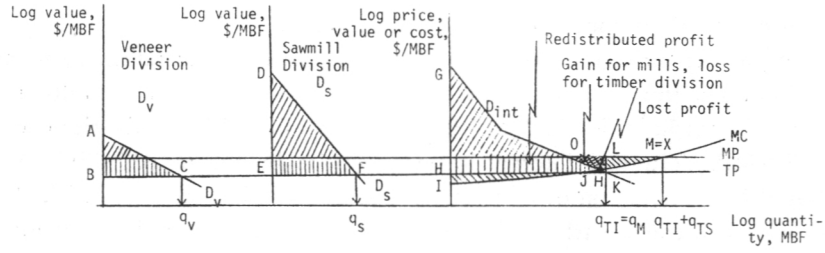


Figure 11.c.

Figures 11.a—c. Examples of log allocation and veneer, sawmill and timber division profits under *mixed dominance* when transfer price (TP) is equal to (Fig. a), greater than (Fig. b) or less than (Fig. c) market price (MP).

327. Optimal Transfer Price for a Firm with Several Timber Divisions

When the company has several log sources the analytical allocation solution resembles a solution to a multiplant monopoly. Again, the firm maximizes profit by equating the total marginal cost to the total marginal revenue. This point is X in Figure 12. The abscissa of X is the total optimal procurement of logs by the timber divisions. Optimal allotment of log procurement among the different timber divisions requires each of them to procure that amount of logs for which the divisional marginal cost is equal to the ordinate of point X (cf. F e r g u s o n 1966, p. 272). Figure 12

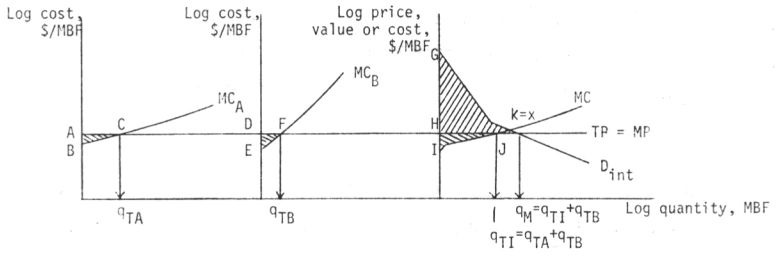


Figure 12. Log allocation and divisional profits of milling divisions and two timber divisions (A, B) under *mixed dominance* when transfer price (TP) is market price (MP).

presents an example of log allocation and profits of a mixed dominant firm with two timber divisions when transfer price is log market price. Timber divisions A and B deliver q_{TA} and q_{TB} logs internally. In the example the mills' log demand (q_M) exceeds the total supply from harvest (q_{TI}) and amount $q_M - q_{TI}$ is purchased from the log market. This allocation produces a total profit of area GHK for the mills and area HIJ = ABC+DEF for the timber divisions. The corporate profit is the sum of these areas. The allocation is such that each timber divisional marginal cost is equal to the ordinate of X and point X lies on the competitive market price line. But according to price discrimination theory the ordinate of X is also the optimal transfer price. Thus, *market price* is the optimal *transfer price*. It produces an allocation equivalent to a firm with a centralized organization. There are *no corporate profit losses from decentralization*. The analyses and results are the same for a mill or a timber dominant firm.

33. Optimal Transfer Prices for Several Log Classes

331. Diagrams

According to economic theory the rule of equalling marginal revenues and marginal costs of logs holds also for profit maximizing firms with several log classes. Each class is employed to a point where its marginal mill revenue equals to its marginal procurement cost. When the end product market is competitive the following equalities must hold (cf. F r i e d m a n 1972, p. 176):

$$MR_i = (EP \cdot MLP_i - MPC_i) = MC_i; \qquad i = 1, \ldots, I$$

where

MR_i = marginal net revenue at mill of class i logs, \$/MBF[1])

EP = end product price, \$/MBM[2])

[1]) MBF = thousand board feet. The number of board feet of a log is an estimate of the actual quantity of solid pieces of sawntimber of 12 inches wide, 12 inches long and 1 inch thick that could be produced from it. Over fifty board foot log rules have been devised and put into use in the U.S.A. and Canada. In this study the Scribner Decimal C rule is used which is the most common rule in the Pacific Northwest. (D i l w o r t h 1971, pp. 11, 19—20).

[2]) MBM = thousand board measure. In this study it is used as a short form of thousand board feet of sawntimber and thousand square feet of veneer on 3/8 inch basis (cf. B e u t e r 1966, p. 130.)

MLP_i = marginal productivity of class i logs, MBM/MBF
MPC_i = marginal processing cost of class i logs, $/MBF
MC_i = marginal harvesting cost of class i logs, $/MBF

Following the same reasoning as for the one log class allocation we would like to prove that if in a decentralized firm any class i logs are sold to the market or purchased from the market and delivered internally then class i optimal transfer price must equal to its market price. Could this hold for all i = 1, . . . ,I log classes? We try to answer this question by discussing three means of finding optimal transfer prices for several log classes: diagram (as in the previous section), calculus and mathematical programming.

In order to use diagrams for finding the »optimal» or »best» transfer prices we wish to use the same internal demand-marginal cost framework as for the one log class situation. If we can show that the marginal log revenue MR_i for each log class is its derived internal demand D_{int} and if the marginal harvesting cost MC_i for each log class i is comparable with the MC in the one log class situation we can solve the problem for each class graphically as we did before (cf. A l c h i a n and A l l e n 1969, p. 452; F e r g u s o n 1966, p. 366; F r i e d m a n 1972, p. 177; S t i g l e r 1972, p. 240; etc.). But this requires that all MR_i for i = 1, . . .,I are independent and all MC_i for i = 1, . . . ,I are also independent. MR_i for i = 1, . . . ,I are independent only if their components: marginal log productivities MLP_i, and marginal log processing costs MPC_i for i = 1, . . . ,I, are all independent. Productivity—recovery—of each class should be independent on the levels of other log classes employed. Log processing costs are functions of processing times. The time a log class spends in the process is independent of the amounts of other log classes processed (B a a c k, C h a p m a n, N e l s o n; personal interviews). In short run the total processing time of a mill — its capacity — is limited. After the maximum capacity has been reached the marginal processing cost (of the next log unit) is infinity. The marginal cost of the log class of this unit is not independent on the quantities of other log classes employed. We can conclude that the marginal log revenue MR_i of each log class is not its derived internal demand.

The marginal harvesting costs of the log classes are not independent, either. Each tract now comprises several log classes. Every log class or none is subject to harvest because in a tract the felling of only one log class is not technically possible. Due to these interdependencies MC does not represent the internal supply of log class i by the timber division. The solving of the log allocation problems through internal pricing by using diagrams is impossible because of the resulting multidimensionality.

332. Calculus

Finding the optimal allocation and transfer prices by solving the simultaneous equations

$$MR_i = MC_i; \quad i = 1, \ldots, I$$

is difficult. The solution becomes even more bothersome when there are many mills with many end products as in our log allocation problem.

This is one of the main reasons why practical men in forest products firms believe that economic theory has little relevance for log allocation. The theory's elementary assumption is usually that a firm has a single input and a single output (cf. H a d l e y 1963, p. 481). Where the theory proves the multi-input case in full generality, the analysis is frequently too complex or too empty for use (cf. H i r s c h l e i f e r 1957, p. 96). The statement, said about 20 years ago, is still valid despite the advances of calculus for solving multi-input, multi-output production problems. Unconstrained profit maximization is unable to solve complex allocation problems. Even constrained optimization may be impossible through the traditional means—calculus. A good example of the deficiency of calculus is its inability to solve constrained or unconstrained log allocation problems with linear or piecewise linear harvesting or processing functions (cf. H e n d e r s o n and Q u a n d t 1972, p. 334).

333. Mathematical Programming

Mathematical programming techniques have proved to be applicable for solving complex constrained resource allocation problems. Since this discovery economists have been mapping the similarities and dissimilarities of the traditional marginal, and mathematical programming analyses in profit maximization. D o r f m a n *et al.* (1958, pp. 183—184) have come to the conclusion that the optimal resource allocation through linear programming, for example, is equivalent to that through the marginal economic analysis. For every mathematical programming problem, which we call a primal, there is a dual problem. The dual variable values of basic feasible primal solutions can be interpreted as »*shadow prices*». A positive shadow price in a primal maximization problem indicates a revenue to be gained through adding one unit of a scarce resource. A linear or nonlinear log allocation problem for a forest products firm with constrained log availabilities of log classes produces shadow prices for the log classes. The shadow prices indicate the marginal values of the different log classes as limited inputs. The shadow prices of the log availability constraints would then be announced as transfer prices by the headquarters to the decentralized divisions (A r r o w 1959, pp. 13; A r r o w 1964, p. 405; D o w d l e 1965, p. 93; K o o p m a n s 1951, p. 73; etc.). This idea has originated from the theory of resource allocation of

a decentralized socialist national economy. The theory has produced the following so-called Lange-Lerner rule:

> »To attain maximum social welfare in a decentralized socialist society, the state planning agency should solve the constrained maximization problem and obtain the shadow prices of all inputs and outputs. Publish this price list and distribute it to all members of the society. Instruct all consumers and all plant managers to behave as though they were satisfaction or profit maximizers operating in perfectly competitive markets.» (Ferguson 1966, p. 447; cf. Gordon 1964, p. 20).

The use of shadow prices as transfer prices has met criticism. Solomons (1965, p. 187) does not recommend their use in short term allocation. But when used, the *transfer price should equal to the sum of shadow price and procurement variable cost* (Solomons 1965, p. 191). According to him a mathematical programming dual solution tells that the intermediate products (logs) are worth their shadow prices over their variable costs. When shadow prices are zero, transfer prices are equal to procurement costs.

The application of shadow prices in practical problems may be difficult. Jääskeläinen (1971, pp. 155—157) shows through an example an application of shadow prices may lead to double transfer pricing. Keipi (1976, pp. 190—192) states that in a log allocation problem of the type in this study shadow prices, meaningful for transfer prices are hard to find. Shadow prices are connected with mathematical programming constraints. There should be as many constraints as there are shadow prices. This is not the case in this study where there are many sources of each log class but only one transfer price for each class. No theoretically correct way has yet been presented in the management science literature for taking an »average» or a »representative» transfer price for a log class from its many shadow prices.

Dopuch and Drake (1964, p. 345) state that announcing shadow prices as transfer prices would lead the divisional managers » . . . to select the types of outputs» (logs by timber division; end-products by mills) »which should be produced, but the exact levels of outputs must be determined in alternative means».

Even if the problem of identifying shadow prices as transfer prices was solved their implementation would cause problems. A division manager might not agree about the outside market prices, costs, capacities, etc., with the top management's »perfect knowledge». He would then allocate logs differently from what optimal centralized solution suggests. An outward sign of the resulting allocational disharmony between divisions is the inequality of internal log supply and demand. This disharmony causes the shadow price allocation to fail. The disequilibrium of internal demand and supply of logs could be overcome by applying iterative procedures like the *decomposition approaches* of Dantzig and Wolfe (1961), Balas (1966), Hass (1968), Whinston (1964) and others. They are discussed by Jennergren (1972, pp. 58—69) and further by Keipi (1976, pp. 193—202). The best of these, the

Dantzig-Wolfe decomposition algorithm does not provide the divisional managers freedom to execute the allocation (B a u m o l and F a b i a n 1964, p. 14). It involves a great number of information exchange iterations between headquarters and divisions which is time consuming and expensive. The other iterative procedures are not much more appealing (J e n n e r g r e n 1972, pp. 81—84). In this study the problem of disequilibrium is overcome by applying the divisional dominance organization. In this organization the internal log supply always equals the internal demand. Still, the question remains whether there is a general rule for optimal transfer pricing.

334. General Rule for Transfer Pricing?

The disagreement between the men of theory (A r r o w 1964, p. 405; D o w d l e 1965, p. 93; K o o p m a n s 1951, p. 73), and S o l o m o n s (1965, p. 191) confirms the nonexistence of an all-pervasive rule for transfer pricing in the great variety of conditions where the forest products firms work today. D o p u c h and D r a k e (1964, p. 341) stress that transfer prices should »reflect the opportunity costs of the intrafirm transactions». The executives could consider the following general rule as the first step in the allocation analysis: *The transfer prices should be equal to additional variable log procurement costs plus opportunity costs of internal deliveries for the firm as a whole.* (cf. H o r n g r e n 1972, p. 733). The shadow price of Solomons obviously is equivalent to the opportunity cost of internal deliveries. The shadow prices of Arrow, Dowdle and Koopmans have another meaning.

When there is a competitive log market the opportunity cost of each log class is its market price less its harvesting cost (cf. A n t h o n y *et al.* 1972, p. 274). This is in accordance with the axiom of Solomons and the general rule of Horngren. K o o p m a n s (1951, p. 93) is the first economist to elaborate the result that for one or several intermediate goods the *transfer price should* always *equal the market price* if a competitive market price exists. Most decentralization theorists have agreed with this result although there are few formal proofs (A n t h o n y *et al.* 1972, p. 274; A r r o w 1964, p. 404; C o o k 1955, p. 88; D o p u c h and D r a k e 1964, p. 341; H i r s c h l e i f e r 1957, p. 32; S o l o m o n s 1965. p, 199).

Practical men do not always agree with the market price rule. Many of the Pacific Northwest forest products firms applying market-based transfer pricing use slightly lower than log market prices. Most companies apply cost-based transfer pricing. The theorists usually assume few interdependencies between the divisions and a log market with infinite demand and supply at a constant price. In forest products firms these interdependencies between timber division and mills are great and neither in the short nor in the long run the competitive log market can supply or receive infinite amounts of logs. Market prices may in many cases be the most desirable transfer prices when competitive log market exists. In the following chapter we wish to see whether this is true for a typical forest products firm.

4. EXPERIMENT FOR TESTING THE HYPOTHESIS OF THE THEORY

41. Case Firm

The hypothesis of this study is that the economic theory of transfer pricing hold for a typical, decentralized, corporate profit maximizing forest products firm in the Pacific Northwest Douglas-fir region in North America. The theory suggest that the optimal log transfer prices should equal market prices if a competitive market exists. The experiment for testing the hypothesis consists of three parts: constructing a case firm with its production and market functions, formulating the log allocation problems, and solving the problems for alternative transfer prices. The corporate profit maximizing case firm has been constructed with Mr. Larry C h a p m a n' s cooperation using Bohemia Inc.'s veneer plant and sawmill in Coburg, Willamette Valley, Oregon, as a basis. The case firm's milling division consists of these two plants with their capacities, approximate recoveries, variable and fixed processing costs, and taxes. The case firm's timber division consists of the types of the firm's own and public timber sale tracts which are available for the Coburg unit's use. Examples of the actual numbers and sources of physical tract qualities, and logging and transportation costs are listed in the appendices.

Figure 13 shows that we now have a more complex problem than economic theory could easily handle. It consists of five old-growth Douglas-fir log classes: four usable by the mills and one pulpwood class. They correspond to the new United States Department of Agriculture Pacific Norwest Forest and Range Experiment Station grading rules (L a n e *et al.* 1973 (a), pp. 3—5). There are 21 public timber sale tracts and nine company-owned forest tracts ready for harvest in the quarter. The destinations of these logs are the company's veneer plant, sawmill or outside log market. There are four veneer and three residue grades of the veneer plant products. The sawmill produces four sawntimber and two residue grades. There are three veneer and lumber markets, as a function of time:

- — unfilled orders for which exact prices and quantities are known
- — anticipated orders with estimated prices, and known minimum quantities
- — future market: producing for inventory with estimated prices, and inventory capacity as maximum total quantity.

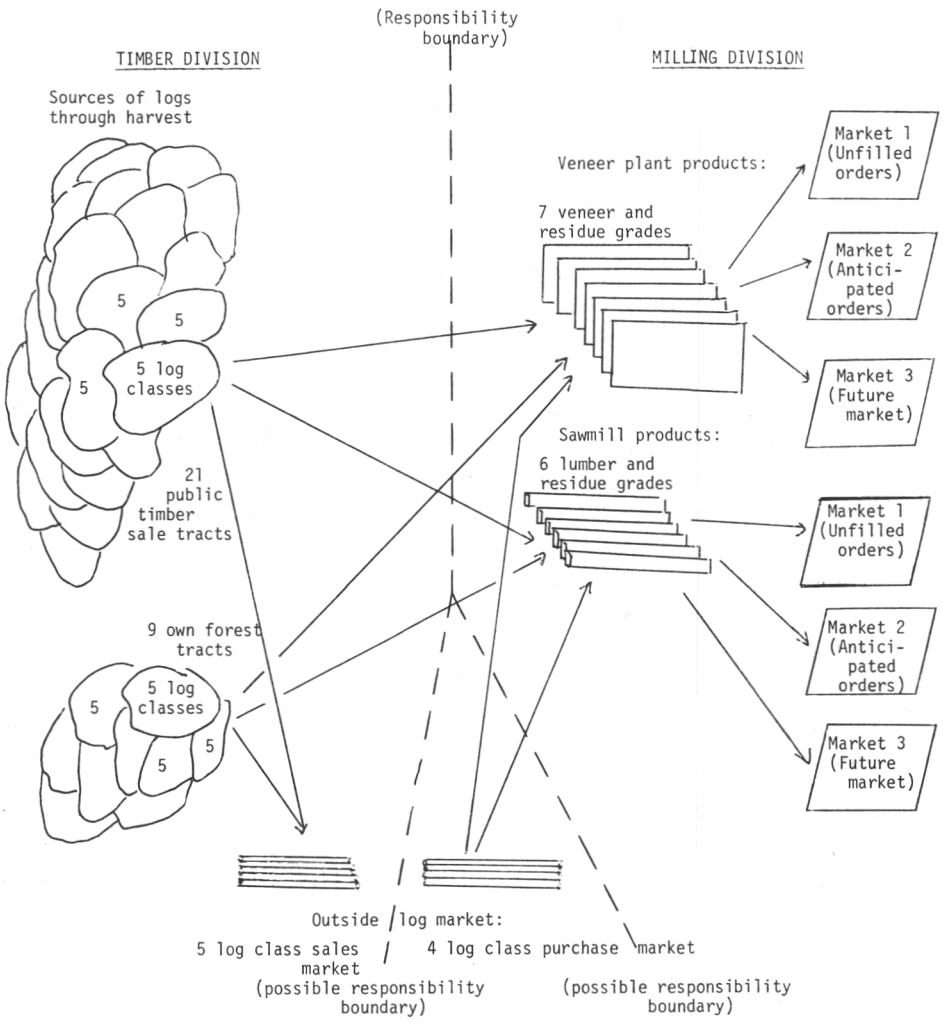


Figure 13. Case firm log allocation problem.

The log allocation decision is made for one quarter while for the longer term harvesting decisions a maximum period of five years is considered in order to estimate the possible opportunity losses of harvesting tracts during the coming quarter instead of later in the future. The computations are carried out with historical 1967—71 prices and costs instead of 1976—80 prices in order to avoid making price predictions. Predicting prices could be an objective for a separate, comprehensive study. 1967 has been chosen as the basis year because we want to avoid the market irregularities of the 1972 government price controls.

42. Problem Formulation

421. Centralization

The ideal transfer prices of logs result in the same allocation and corporate profit as the globally optimal solution of the log allocation problem for a centralized firm under perfect knowledge. Thus we have to formulate and solve a corporate log allocation problem given centralization. This produces a target for allocation and corporate profit through transfer pricing given divisional dominances.

In a centralized firm there is one log allocation problem for the firm, formulated and solved by the top management to maximize the corporate profit. The top management's log allocation decisions are executed by the nonautonomous timber and mill departments. As Figure 14.a shows little internal information exchange is needed within the firm because top management is the only decision maker. Transfer prices are not necessary because there are no internal log transactions between profit centers. The information »exchange» contains only the one way flow of commands to the cost center departments dictating the quantity and quality of logs to be allocated from different sources to different destinations. A centralized firm's log allocation problem can be divided into three parts:

1) availability and employment of internal logs
2) availability and employment of external logs
3) availability and employment of other inputs; processing and marketing of end products; selling of internal logs.

This partitioning emphasizes the separation of logs as a special »corporate resource» from all other resources of the firm (cf. J e n n e r g r e n 1972, p. 21). It is the approach used for developing the corporate log allocation model for the case firm in Appendix 11. Another possible partitioning is:

1) intrafirm part: internal allocation functions
2) external part: log market conditions.

The internal part deals with hiring and employing all inputs except external logs for harvesting and milling activities. The outcome of the firm's processes — the sales of end products — belongs to this part also. The external part describes the prices of logs to be sold to or purchased from the competitive outside log market and the quantities of logs in the market available for purchase. This type of partitioning draws our attention to the firm's self-sufficiency or dependence as a decision unit on the external world in its log allocation decisions. It is especially useful in formulating log allocation problems for decentralized organizations.

422. Divisional Dominances

Log allocation in a decentralized firm requires *information exchange* between the decision units. An information exchange iteration starts with the announcing of (1)

the tentative transfer prices by the top management. At the same the dominated division delivers (2) information of the bounds of its technically feasible log transaction solution set to the dominant division. These bounds appear as allocation guidelines or restrictions to the dominant division. They relate to the pre-emptive goals of Charnes, Clover and Kortanek (1967, pp. 309—315) and Kortanek (1972, pp. 77—78). They guarantee that every allocation decided by the dominant division is feasible to the dominated division. The dominant division solves its log allocation problem given the transfer prices and the log guidelines by the dominated division. It announces (3) the enforcement of its decisions to the dominated division. The dominated division solves its log allocation problems given the transfer prices and the log enforcements by the dominant division. The iteration ends by the divisions reporting their (4) divisional profits to the headquarters. The next iteration starts by the announcement of another set of tentative transfer prices for logs. Steps (3) and (4), guidance and enforcement of allocation, follow. Step (2) is not affected by the transfer price levels and does not need to be repeated. The iterations continue until the top management has announced all its alternative transfer price sets. At the implementation the top management chooses the set that gives the highest sum of the divisional profits. This sum is the highest corporate profit. The top management enforces the transfer price set to the divisions. Finally, the divisions execute their allocations, optimal with respect to the transfer prices.

Figures 14. b—d show all four types of *information flows* under mill, timber and mixed dominances. They also show the *log flows* at the implementation of log allocation through transfer pricing.

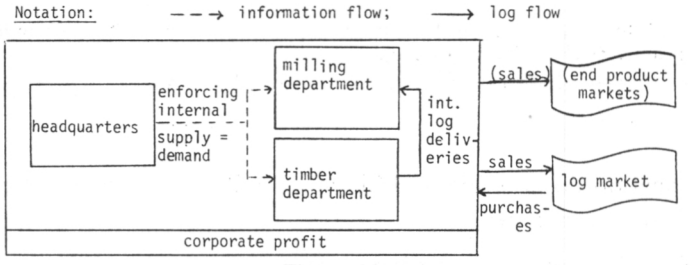


Figure 14.a.

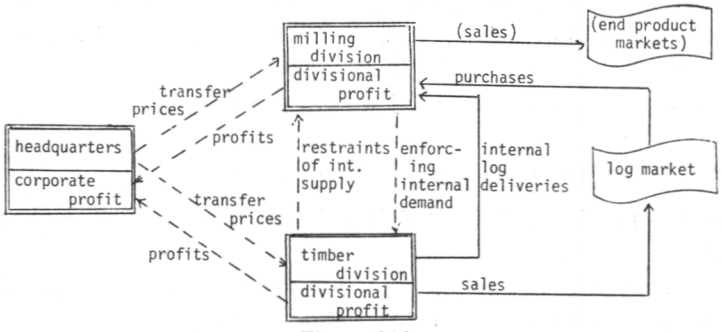


Figure 14.b.

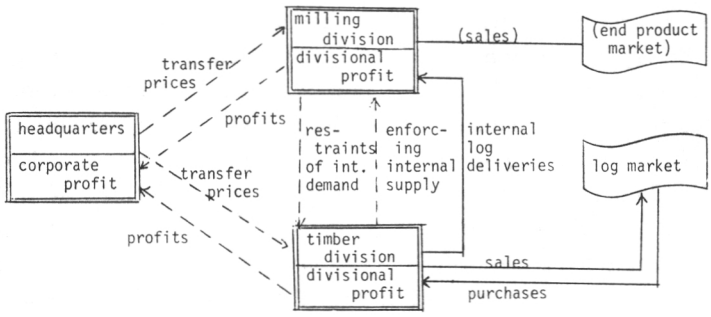


Figure 14.c.

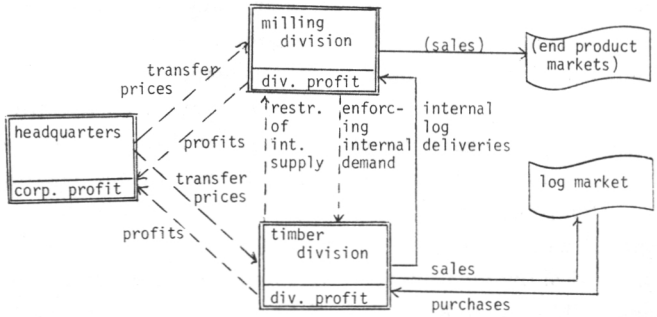


Figure 14.d.

Figures 14.a—d. Information and log flows in centralized organization (Fig. a); under *mill* (Fig. b), *timber* (Fig. c) and *mixed dominance* (Fig. d).
Notation: ----→ information flow; ——→ log flow

The information flows of Figure 14.b under mill dominance in the chronological order of their occurrence are:

1) transfer prices by the top management
2) restraints of internal log supply by the timber division to the milling division
3) enforcement of internal log demand by the milling division to the timber division
4) divisional profits from the divisions to the headquarters.

Correspondingly, the log flows under mill dominance are:

1) internal deliveries of harvested logs by the timber division to the milling division
2) sales of harvested logs by the timber division to the outside market
3) purchases of external logs by the milling division.

The information flows of Figure 14.c under timber dominance in the chronological order of their occurrence are:

1) transfer prices by the top management to the divisions
2) restraints of internal log demand by the milling division to the timber division
3) enforcement of internal log supply by the timber division to the milling division
4) divisional profits from the divisions to the headquarters.

Correspondingly, the log flows under timber dominance are:

1) internal deliveries of harvested logs by the timber division to the milling division
2) sales of harvested logs by the timber division to the outside market
3) purchases of external logs by the timber division

The information flows of Figure 14.d, under mixed dominance, are the same as those under mill dominance; correspondingly, the log flows under mixed dominance are the same as those under timber dominance. (This is the reason for naming this organization »mixed dominance».)

Every divisional log allocation problem can be divided into four parts according to the division's self sufficiency or dependence on the outside world in its log allocation decisions. Accordingly, there are four sources of data to a divisional allocation problem:

1) intradivisional part: internal allocation functions
2) interdivisional part:
   — allocation guidance received by the dominant division from the dominated division or
   — allocation enforcement received by the dominated division from the dominant division
3) external part: log market conditions
4) control part: transfer prices

Figure 15 shows the six divisional allocation problems of this study and the data needed for them. Purely divisional data to be used in the milling divison allocation problem are end product market prices, milling costs, end product recoveries and processing times, productivities of different classes of logs and outstanding end product orders. Purely timber division data are harvesting costs and log class availabilities in different tracts, smallest and largest wanted total harvest during the period and log selling costs.

Guidelines to the mills under mill and mixed dominances are the restrictions of minimum and maximum total harvest and maximum log class availabilities in tracts through harvest. Under mixed dominance the mills have also to know the approximate maximum log class availabilities to timber division of logs in the outside market. For the dominant timber division the guideline restraints consist of minimum log class requirement to complete the unfilled end product orders and mill total log requirement

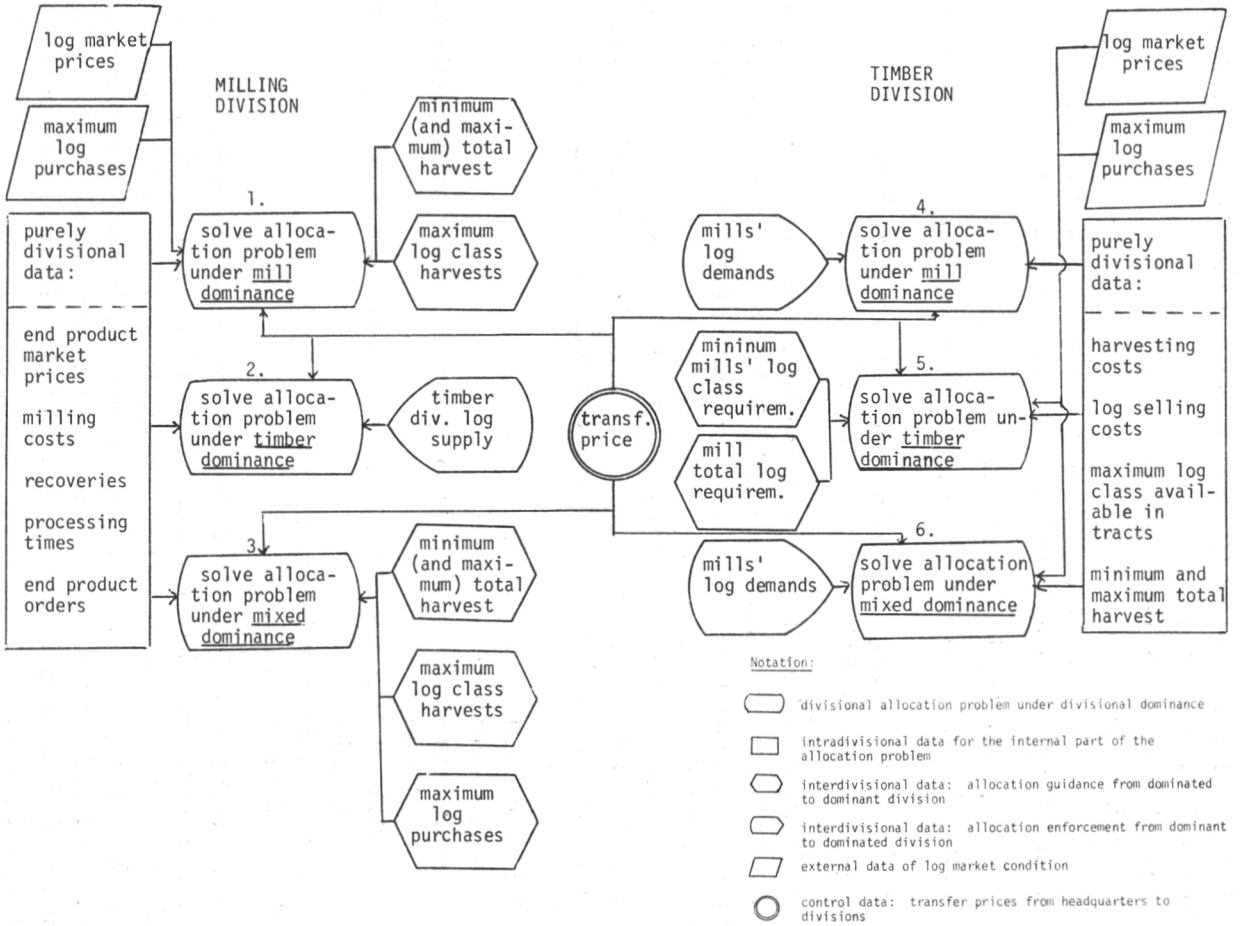


Figure 15. Six divisional allocation problems and the data needed for solving them.

by the dominant division may lead to infeasible solutions in the dominated division. Any allocation infeasible to a division is undesirable for the firm as a whole because it, if implemented, forces the division out of business.

Enforcement restraints are mills' log demands under mill and mixed dominances and timber division log supply under timber dominance which the other party has to accept. Market conditions appear in the allocation problem formulation of the division that has the right to purchase logs. They are the log market prices and maximum log class availabilities of purchased logs.

In a decentralized firm, given a divisional dominance, log allocation consists of two problems for the two divisions and the corporate »mini» problem of adding divisional profits to find a corporate profit corresponding to a transfer price. Headquarters might choose only one transfer price and the corresponding allocation would be implemented. Headquarters might announce several tentative transfer prices, choose the one which produces the highest sum of the divisional profits, and the allocation corresponding to it is implemented. This is the procedure in this study. In order to find the optimal transfer prices among those in use in today's forest products firms we compute the corporate profit for each of them using the divisional log allocation problem formulations of Appendix 12.

423. Solution Techniques

Linear programming has been used to formulate and solve each of the allocation problems. The detailed formulations for the firm as a whole under centralization and for both divisions under decentralization appear in Appendices 11 and 12. For our log allocation problem the underlying assumptions of linear programming either hold or can be worked around by special formulations. The well-known assumptions of linearity, additivity, divisibility and determinism are not restrictive in our case firm (H i l l i e r and L i e b e r m a n 1972, pp. 136—138). Both in milling and harvesting the functional relationships are *linear*. The author has particularly asked the practical men: Don B a a c k of Crown-Zellerbach Co., Adam F e r r i e of McMillan Bloedel, Ltd., and Ted N e l s o n of Weyerhaeuser Co, whether there are serious nonlinearities in short term log allocation problems as ours. They said they have not found any. The *additivity* assumption seems according to them hold to a satisfactory degree. For example in milling all combinations of labor and logs have constant marginal productivities: one unit of labor and logs results in one unit of end products, hundred units of labor and logs result in hundred units of end products, etc. *Divisibility* assumption causes a difficulty in harvesting decisions because from a tract no amount of a certain type of logs can be cut without cutting a portion of other log classes. This problem is removed by adding a set of tract log class structure constraints as in Appendix 1. The *deterministic* nature of linear programs can be overcome through repetitive »sensitivity» computations. Studying log allocation under uncertainty in this way

to help mills run at desired capacity. Without these guidelines an allocation suggestion is expensive. For every particular allocation problem we know, however, that if formulated properly and if the other three assumptions hold the resulting best basic feasible solution is optimal. In the pilot study for this paper Fortran discrete computer simulation was used to create a log allocation model. The task in this study is to apply optimization technique including systematic procedures for finding the best solution. Attempts to use simulation showed that the inclusion of optimization routines would make the model overly complex. The simulation approach was rejected.

Linear programming is a systematic optimization procedure. Its qualities have been well tested in practical applications. Due to its qualities it has been the major operations research tool for solving allocation problems in general and especially log allocation problems (cf. B a r e 1971, pp. 9—28). Therefore, linear programming is used also in this study for solving both the corporate and divisional programs of Appendix 1.

43. Problem Solving

431. Objectives

In this section we assert the amount and type of computations that are necessary to reach the objectives set for the case study. The main objective of our experiment is to test the hypohtesis whether transfer prices should equal to market prices under certainty in a typical corporate profit maximizing forest products firm. For the three divisional dominances we first find the *optimal transfer pricing type:* market, cost, value, or distorted market pricing. We call the corporate profit maximizing pricing type »optimal» because we exhaustively study all the types of transfer pricing (except the negotiated pricing) appearing in the literature and in the practice in the forest products firms today. We will have plenty of observations to find that, in varying situations, some pricing type is always the very best — optimal — for a divisional dominance.

After finding the optimal transfer pricing types we study the sensitivity of the corporate profit to the changes in the *transfer price levels* of the optimal pricing types under the three dominance organization. We call the corporate profit maximizing transfer price level »best» because this level changes when log allocation conditions vary and there is no »optimal» level for all situations. The best transfer price level is especially sensitive to the amount of internal logs available through harvest. Comparing the corporate profits of the best levels of the optimal transfer pricing types in the three organization we find the *ranking of the divisional dominances.* Observing whether the best transfer price level of the optimal transfer pricing type within the highest ranking organization is equivalent to log market price or not we finally conclude whether our hypothesis holds or not.

432. Steps of Problem Solving

The *first step* in arriving at the objectives of this study is to *generate the data* for the allocation problems. They are the same for the corporate linear programming problem under centralization of Appendix 11 and the divisional linear programming problems under divisional dominances of Appendix 12. The data come from several sources as Appendix 2 shows. The computationally most complex of these data are the user costs of tracts. When summed with the logging and transportation costs they are used for deciding which tracts to include in the linear programs as shown in Appendix 23 and in the beginning of the next chapter.

The *second step* is *solving* the *corporate* linear *program* under centralization. It produces the target allocation and corporate profit for the transfer pricing. This target is called the globally optimal solution.

The *third step* is to name the transfer prices to be used in the divisional log allocation problems under decentralization. They are chosen so that for each divisional dominance the optimal *transfer pricing type* can be found. Since the study uses 1967 prices and costs the 11 transfer price sets for the four log classes are 1967 values also.

These represent all major transfer pricing types currently used by Pacific Northwest forest products companies. All types show unit prices ($/MBF) for four log classes[1]):

A. Log market price-based transfer prices:

TP_1 = log market prices ($100, 90, 68, 58)
TP_2 = 10 per cent higher than market prices ($110, 99, 75, 64)
TP_3 = 10 per cent lower than market prices ($90, 81, 61, 52)
TP_4 = $6 lower than market prices ($94, 84, 62, 52)

B. Harvesting cost-based transfer prices:

TP_5 = logging and transportation cost[2]) ($36.5,36.5,36.5,36.5)
TP_6 = logging and transportation cost plus allowance for timber division fixed costs and profits[3]) ($64, 64, 64, 64)

C. Combined harvesting cost and market price-based transfer prices:

TP_7 = logging and transportation cost plus allowance for timber division fixed costs and profits in market price ratios[4]) ($94, 85, 64, 54)

---

[1]) The log classes vary by size and quality according to the grading of L a n e *et. al.* (1973 (a), pp. 3—5). Their average diameters in the smaller log end are 37, 31, 22 and 22 inches. The two first named, »better» classes are used primarily for veneer, the last two classes for sawntimber.

[2]) Standard cost for the period.

[3]) Standard timber division fixed cost and taxes are $15 100 and the minimum timber division profit allowance before stumpage costs for the coming quarter is $265 400. The anticipated log deliveries to the mills are 10 200 MBF.

[4]) Log class 3 price $64/MBF is used as a basis because in the past its portion of the total harvest has been over 55 per cent.

D. Log mill value-based transfer prices:

TP_8 = log gross mill values[1]):
veneer plant log values ($114, 94, 76, 70)
sawmill log values ($111, 107, 84, 82)

TP_9 = log net mill values [2])
veneer plant log values ($96, 76, 58, 52)
sawmill log values ($91, 87, 64, 62)

E. Transfer prices with distorted relative market prices:

TP_{10} = 10 per cent higher for the two best and 10 per cent lower than market prices for the two poorest log classes ($110, 99, 61, 52)

TP_{11} = 10 per cent lower for the two best and 10 per cent higher than market prices for the two poorest log classes ($90, 81, 75, 64)

The transfer price alternatives have the following characteristics:

TP_1 The listed four prices represent the log market prices of the first quarter of 1967 for the four log classes usable by the mills.

TP_2, TP_3 A resource oriented top management may argue that transfer prices somewhat higher (TP_2) than market prices should be used because milling division is gaining from having a secure, steady flow of logs coming from timber division. Correspondingly, a market oriented top management may defend transfer prices somewhat lower (TP_3) than market prices because timber division is gaining from having milling division as its permanent customer. In both cases the top management considers it important to maintain the relative market prices of the different classes of logs in the transfer prices.

TP_4 A very common practice is setting transfer prices less than log market prices by a constant.

TP_5, TP_6 The most common pricing practice of forest products firms favoring mills in decision making is setting transfer prices to equal to the average harvesting cost. Harvesting costs do not significantly vary from log class to log class thus also their transfer prices are equal.

TP_7 One pricing possibility is to combine cost- and market-based transfer prices. The transfer price of the average log class (class 3) would be the average harvesting cost but for other log classes the transfer price would follow its relative log market price.

---

[1]) Log gross mill values are the log end product values minus the variable milling costs for the last quarter of 1966.

[2]) Log net mill values are the log gross mill values minus allowances for the mills' fixed costs and profits. The standard fixed costs and taxes for the coming quarter are $25 200 for the veneer plant and $37 800 for the sawmill. The minimum profit allowances are $36 000 and $84 600. The estimated mill usages are 3 400 MBF and 6 800 MBF.

TP_8, TP_9 The log mill value-based transfer prices, used by firms that favor timber division in decision making, are difficult to determine. Their accurate computation requires advanced knowledge of end product prices, end product shipments, recoveries, and processing costs. That is why historical data, not future projections, are usually used for computing them.

TP_{10}, TP_{11} A »radical» top management may want to exaggerate the market price difference between high and low quality logs. This is done in the transfer prices of the log classes in TP_{10}. A »conservative» top management may wish to even out the market price differences between log classes, as is done in TP_{11}.

The *fourth step* is to *solve the divisional* linear *programs* for the 11 transfer prices. Appendix 3 shows the procedures for creating inputs for these programs. Examples of the linear program inputs and outputs are available from the author. Based on the resulting corporate profits the optimal transfer pricing type is found for each divisional dominance.

The *fifth step* is to name a range of price levels of the optimal transfer price types. The *divisional* linear *programs* are *solved* for them and the *best transfer price level is found* for each divisional dominance. From the results above we can decide which of the three *divisional dominance* types *ranks highest.*

Finally, we conclude whether the *hypothesis* of economic theory *holds* for the case firm or not: should the transfer price be market price or not. This is done in the *sixth step* of our transfer price analysis under certainty.

44. Results

441. General

The log allocation computations have been carried out in the order mentioned in the previous section. The results of this section follow the same order. All the outcomes of the transfer pricing analyses are recorded as the differences between the log allocation corporate profits of the globally optimal solution and the summed divisional profits of the allocations through transfer pricing. We recall that the globally optimal solution is the target produced by the centralized firm's optimal allocation under perfect knowledge.

The allocations through transfer pricing are the allocations produced by the alternative transfer prices in the decentralized case firm under mill, timber or mixed dominance. The outcomes then depict the corporate profit losses from decentralization. More specifically, they represent the impact of dysfunctional decisions made by the division managers. They are caused by the lack of goal congruence between the division managers and top management. Other advantages or disadvantages of decentralization do not appear in the results of this study. They belong to the sphere of psychology and are hard to measure.

The task here is to find the transfer prices that minimize the measurable profit losses of decentralization under the three dominances. A summary of the globally optimal log allocation is presented in the last column of Table 3 and the globally maximum profit in the last row of Table 2.

442. Harvesting Decision

The first step in the log allocation computations is to estimate the user cost of each tract. It shows the opportunities lost in the future periods if a tract is harvested in the coming quarter. The computational details are presented in Appendix 23. Adding user cost to the tract logging and transportation cost produces the harvesting cost of a tract. Column 5 of Table 1 shows the unit harvesting cost of all 30 tracts under consideration. The tracts are ranked according to rising unit harvesting cost. The harvesting costs are used for two purposes:

1) for narrowing down the number of tracts to be considered for harvest in the linear programs
2) as objective function cost coefficients of the harvestable logs in each tract in the linear programs.

Pilot computations have indicated that in the linear programs the *harvesting of a tract depends greatly on its harvesting cost.* They have shown that at any alternative log transfer or market price used in this study at most the nine tracts with the lowest average harvesting costs of the 30 may be cut in the next quarter. Thus in the linear programs only these nine tracts or less are included to reduce the costs of computations. In Table 1 a line separates the nine tracts from others. The tract harvesting revenue consists of three components: log class transfer prices, market prices and volumes. The results of the linear programming computations show that the *harvesting* schedule *is*, indeed, very *insensitive to* changes in *log transfer and market prices*, and rather insensitive to changes in tract *log class composition.* The 11 transfer prices produce, at most, two kinds of harvesting schedules for each divisional dominance. The more common schedule includes the tracts with the lowest harvesting costs. The other schedule differs from it by only one tract, by the marginal tract which is accepted for harvest last, and thus may be only partially cut.

The form of the timber division linear programs guarantees that whole tracts are harvested except the marginal tract. The tract log class structure constraints (e.g. constrains (2) of Appendix 12 (B)) secure that the log classes even of the marginal tract are felled in proportion to their volume. It is economically infeasible to cut only one log class from a tract with several classes.

The company's own and public timber sales tracts are treated equally in the computations. The company tracts are, however, available for harvest for a total of 20 periods because the assumed company's cutting plan is for five years. The public

Table 1. Results of the harvesting cost computations: choosing the nine tracts with the lowest harvesting costs for the linear programs.

Tract number	Logging and transportation cost, $/MBF	User** cost, $/MBF	Quarter with highest disc. tract value	Harvesting cost, $/MBF	Tract rank (i) acc. to incr. harv. cost
6	28.00	0	1	28.00	1
1	29.00	0	1	29.00	2
10	22.00	9.17	5	31.17	3
5	31.00	2.69	3	33.69	4
4	28.00	8.33	5	36.33	5
18	34.00	2.68	3	36.68	6
23	26.00	11.47	6	37.47	7
13*	19.00	23.56	8	42.56	8
11	21.00	22.88	7	43.88	9
17*	28.00	16.26	19	44.26	10
14	31.00	13.55	6	44.55	11
9	25.00	19.84	7	44.84	12
12	23.00	22.31	7	45.31	13
3	36.00	10.54	5	46.54	14
20	39.00	8.33	5	47.33	15
25	24.00	24.55	8	48.55	16
28	30.00	18.70	8	48.70	17
22*	35.00	14.63	6	49.63	18
19	34.00	19.78	7	53.78	19
2*	33.00	22.96	8	55.96	20
27*	31.00	25.30	10	56.30	21
24*	34.00	24.49	10	58.49	22
8	33.00	27.85	8	60.85	23
21*	38.00	24.62	10	62.62	24
30	38.00	26.04	8	64.04	25
29	38.00	27.03	10	65.03	26
16	38.00	27.91	7	65.91	27
26*	36.00	42.90	9	78.90	28
7	24.00	56.23	9	80.23	29
15*	36.00	80.47	9	116.47	30

Note: *Company- owned tracts.
**Highest discounted tract value over 20 quarters less the highest value in quarter 1.

timber is only available for harvest from between three to nine quarters. The user cost tends then to be higher for the company's own timber tract than for the public tract, lowering the company's tracts' ranking for harvest. There is one company tract among the ten highest ranking tracts for harvest of Table 1. Tracts available only during the coming quarter and the partly cut marginal tracts from the previous quarter would always be harvested. Our case firm does not, however, have such tracts.

In the short term log allocation of the case firm the (sunk) stumpage costs are excluded from the harvesting costs. Due to this exclusion, the procurement costs of internal logs tend then to be lower than those of external logs which are purchased at the market price. This causes internal logs to be preferred to external logs. The *maximum harvest constraint* (e.g. (3a) of Appendix 12. (C)) is for every run of the experiment at the upper limit, indicating that it *is the most efficient element in determining how many tracts are cut.*

443. Optimal Types of Transfer Pricing

4431. Mill Dominance

Under mill dominance *market-based transfer prices* minimize the corporate profit losses from decentralization. This we can see from Table 2 and Figure 16.a. In the table, column 3 presents the summary of the linear program outputs: the before fixed cost, tax and stumpage corporate profit as a sum the divisional profits. In column 5 the transfer prices are ranked according to these profits. Transfer prices that follow the relative market prices for the log classes obtain ranks 1—5. Cost pricing gets the lowest ranks. The ranking of the transfer prices according to profits would not change from the above after fixed costs and taxes because they are the same for each alternative. Neither does it change after stumpage, because including different stumpage prices cause only minor deviations in the harvest pattern. Calculations indicate that under mill dominance the corporate profit is quite sensitive to the availability of internal and external logs. The table and figure concern a situation where total har-

Table 2. Profits with alternative transfer pricing types under mill dominance, dollars.

Transfer price and type		Profits before stumpage, fixed costs and taxes			Profit loss from decentralization*	Rank
		Mill division	Timber division	Firm		
		1	2	3	4	5
Market pricing	TP_1	191 682	389 981	581 663	— 2 625	4
	TP_2	156 341	424 169	580 510	— 3 778	5
	TP_3	233 573	349 749	583 322	— 966	3
	TP_4	226 255	357 068	583 323	— 965	2
Cost pricing	TP_5	501 333	53 820	555 153	—39 135	11
	TP_6	254 101	309 819	563 920	—20 368	10
Cost/market pricing	TP_7	215 806	367 520	583 326	— 962	1
Value pricing	TP_8	132 270	444 947	577 217	— 7 071	8
	TP_9	222 179	358 062	580 241	— 4 047	6
Distorted market pricing	TP_{10} ...	210 756	355 573	566 329	—17 959	9
	TP_{11} ...	200 915	378 027	578 942	— 5 344	7
Centralized allocation = global optimum		..	..	(X) 584 288	0	..

**Note:* = difference between column (3) profit and the globally optimal profit (x) of centralization.

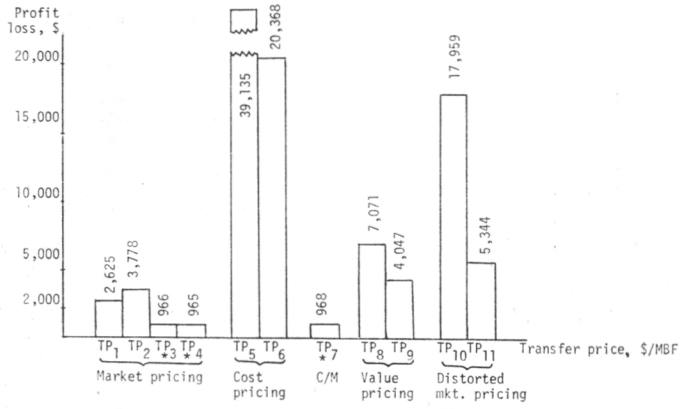


Figure 16.a.

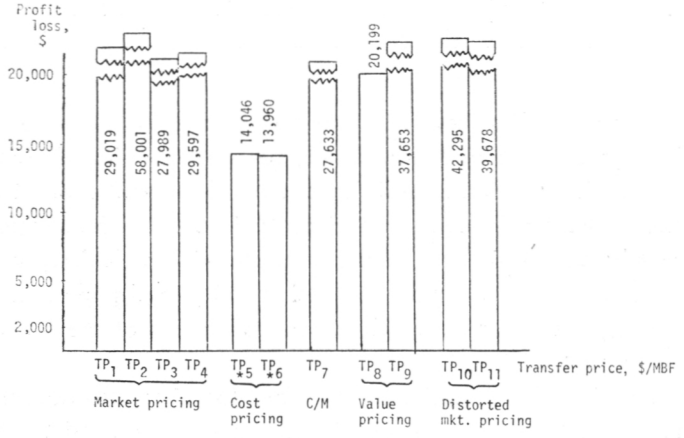


Figure 16.b.

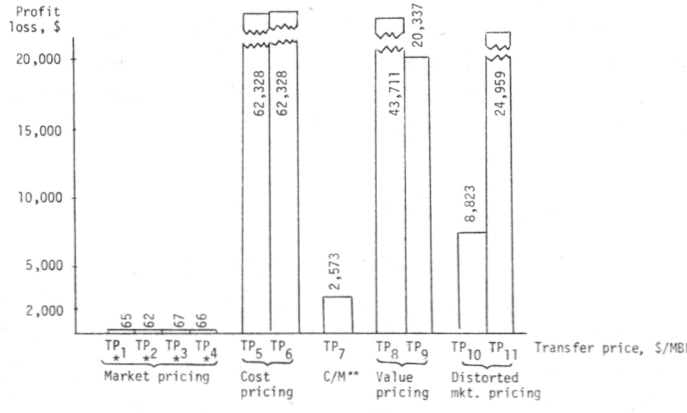


Figure 16.c.

Figures 16.a—c. Corporate profit losses from decentralization with alternative transfer pricing types under mill (Fig. a), timber (Fig. b) and mixed (Fig. c) dominance.

Note: *shows the best transfer prices.

**C/M = cost based average transfer price for all log classes following the relative market prices of the classes.

Table 3. Summary of log allocation to mills, with alternative transfer prices, under mill dominance, MBF.

Allocation, X_{jk} j = log class k = mill		Transfer price											Centr. alloc. = global opt.
		TP_7	TP_4	TP_3	TP_1	TP_2	TP_9	TP_{11}	TP_8	TP_{10}	TP_6	TP_5	
		Rank according to corporate profit											
		1	2	3	4		6	7	8	9	10	11	
Veneer logs	X_{11}	339	339	339	339	339	0	339	0	339	339	104	339
	X_{21}	0	0	0	0	0	334	0	334	0	0	0	0
	X_{31}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	911	0
	X_{41}	3 072	3 072	3 072	3 072	3 072	3 066	3 072	2 421	3 072	3 072	2 363	3 073
Saw-logs	X_{12}	331	331	331	0	0	670	331	670	0	331	808	0
	X_{22}	2 101	2 101	2 101	2 577	2 577	1 614	2 101	1 714	2 801	2 284	1 780	2 578
	X_{32}	0	0	0	0	0	0	0	0	2 512	0	4 245	0
	X_{42}	4 411	4 411	4 411	4 273	4 273	4 553	4 411	4 553	1 542	2 181	0	4 272

vest exceeds the mills' total log needs. The computations have shown that the optimal transfer pricing type, under mill dominance, for our case firm is always market pricing. Figure 16.a illustrates the profit losses from decentralization of column 4 in the table. It shows that profit losses from decentralization can be insignificant when choosing market-based transfer prices but very substantial particularly when based on cost pricing. The combined cost/market pricing, TP_7, ranks highest. In TP_7 the average harvesting cost follows the relative market prices of the log classes. It is a special case of market pricing.

Table 3 summarizes the allocations of the four log classes to the mills. The last column is the target: the globally optimal allocation of a centralized organization under perfect knowledge. The other columns show the transfer prices according to their corporate profit ranking in Table 2. The farther away is the allocation from the global optimum the poorer is the corporate profit. This rule generally holds for the table, although it only shows *summaries* of the allocation, not the *exact* sources (tracts) and destinations (mills or outside market) of the logs moved.

4432. Timber Dominance

Under timber dominance *cost-based transfer prices* minimize the corporate profit losses from decentralization. Table 4 and Figure 16.b show this. In the table, column 3 again presents the summary of the linear program outputs: the before fixed cost, tax and stumpage corporate profit as a sum of the divisional profits. Cost-based transfer prices obtain the highest ranking according to these profits in column 5. The other transfer pricing types perform considerably poorer.

The rankings hold for profits after fixed costs, taxes and stumpage. Figure 16.b illustrates the profit losses from decentralization of column 4 in the table. It shows

Table 4. Profits with alternative transfer pricing types under timber dominance, dollars.

Transfer price and type		Profit before stumpage, fixed costs and taxes			Profit loss from decentralization*	Rank
		Mill division	Timber division	Firm		
		1	2	3	4	5
Market pricing	TP_1	149 355	405 914	555 269	—29 019	6
	TP_2	40 492	485 795	526 287	—58 001	11
	TP_3	224 571	331 728	556 299	—27 989	5
	TP_4	210 697	343 994	554 691	—29 597	7
Cost pricing	TP_5	486 883	83 359	570 242	—14 046	2
	TP_6	206 451	363 877	570 328	—13 960	1
Cost/market pricing	TP_7	195 154	361 501	556 655	—27 633	4
Value pricing	TP_8	— 23 848	587 937	564 089	—20 199	3
	TP_9	170 286	376 349	546 635	—37 663	8
Distorted market pricing	TP_{10} ...	121 103	435 230	541 993	—42 295	10
	TP_{11} ...	106 776	437 834	554 610	—39 678	9
Centralized allocation = global optimum		..	..	(X) 584 288	0	..

**Note:* = difference between column (3) profit and the global optimal profit (x) of centralization.

that profit losses from decentralization can be significant with cost-based transfer prices and very significant with the other pricing types. The table and figure deal with a situation where total harvest exceeds the mills' total log needs. The computations have shown that cost pricing is always the optimal transfer pricing type for our case firm under timber dominance.

4433. Mixed Dominance

Under mixed dominance *market-based transfer prices* minimize the corporate profit loss from decentralization. Table 5 and Figure 16.c show this. In the table, the corporate profits of the first four transfer price allocations approximately reach the globally maximum profit. The cost-based transfer prices rank poorest but also the value- and distorted market price-based transfer prices perform very poorly. The rankings hold

Table 5. Profits with alternative transfer pricing types under mixed dominance, dollars.

Transfer price and type		Profit before stumpage, fixed costs and taxes			Profit loss from decentralization*	Rank
		Mill Division	Timber Division	Firm		
		1	2	3	4	5
Market pricing	TP_1	191 612	392 611	584 223	—65	2
	TP_2	118 385	465 841	584 226	—62	1
	TP_3	262 263	321 958	584 221	—67	4
	TP_4	253 177	331 045	584 222	—66	3
Cost pricing	TP_5	629 263	—107 303	521 960	—62 328	10
	TP_6	335 893	186 067	521 960	—62 328	
Cost/market pricing	TP_7	235 980	345 735	581 698	— 2 575	5
Value pricing	TP_8	12 280	538 297	540 577	—43 711	9
	TP_9	209 977	353 974	563 971	—20 337	7
Distorted market pricing	TP_{10} ...	211 229	364 236	575 465	— 8 823	6
	TP_{11} ...	197 559	361 779	559 338	—24 950	8
Centralized allocation = global optimum		..	..	(X) 584 288	0	..

**Note:* = difference between column (3) profit and the globally optimal profit (x) of centralization.

for profits after fixed costs, taxes and stumpage. Figure 16.c illustrates the profit losses from decentralization of column 4 in the table. The table and figure deal with a situation where total harvest exceeds the mills' total log needs. The computations have shown, however, that market pricing is always the optimal pricing type for our case firm under mixed dominance.

444. Best Levels of Transfer Prices

4441. Mill Dominance

Extensive computations have helped to analyze the sensitivity of the corporate profit losses from decentralization to the transfer price levels of the optimal pricing types in the three organizations. Under mill dominance usually *a transfer price* slightly *below market price* minimizes the corporate profit loss from decentralization. Figure 17.a shows this. In the figure, the profit loss is at its minimum when transfer price is

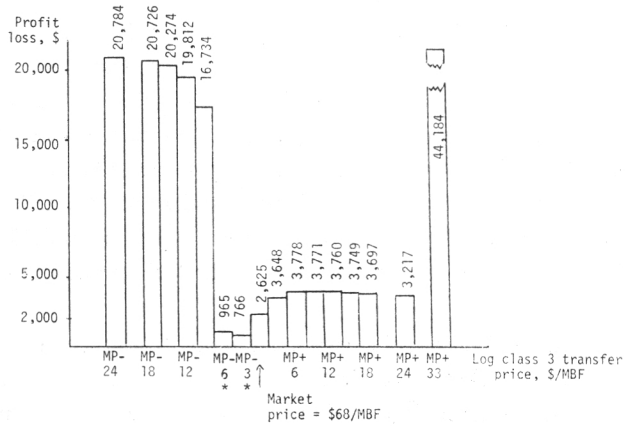


Figure 17.a.

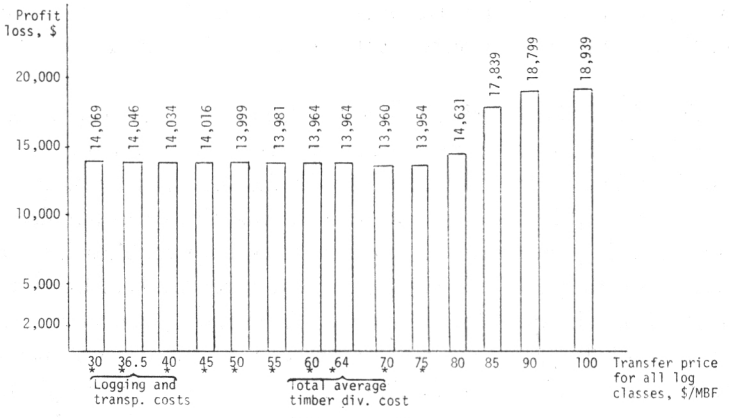


Figure 17.b.

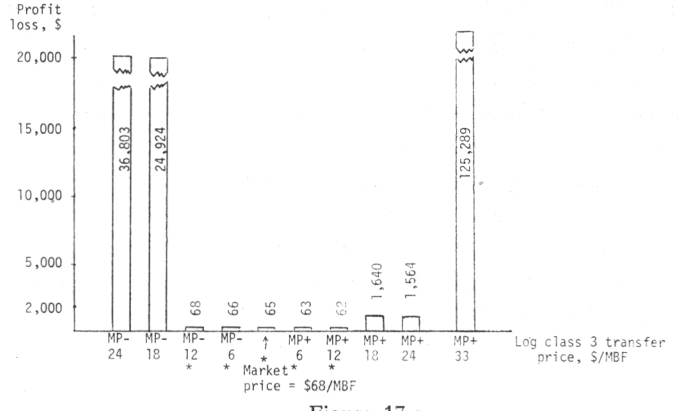


Figure 17.c.

Figures 17. a—c. Sensitivity of corporate profit losses from decentralization to changes in market-based transfer price levels under *mill dominance* (Fig. a) and *mixed dominance* (Fig. c), and cost-based transfer price levels under *timber dominance* (Fig. b) when total harvest exceeds mills' total log need.

Note: *shows the best transfer prices.

lowered below that best level. When transfer price is greater than market price, only moderate profit losses occur until it is raised to a level where the mills are forced to curtail their production. The transfer prices of the four log classes follow the *relative* market prices in Figure 17.a. Computations have also been carried out with transfer prices of all log classes differing from market prices by a *constant* (for example TP_4). They result in higher corporate profit losses of decentralization than the procedure of maintaining the relative market prices of the log classes (for example TP_3). Therefore, in all the sensitivity analyses the transfer prices follow the relative market prices of the log classes.

If the log market price is known, the top management would choose a transfer price slightly less than the market price. But if there is any market price *uncertainty* the decision becomes more difficult. It is evident that a conservative top management might choose a transfer price equal to or even greater than the expected market price. It does so in order to avoid the risk of high profit losses resulting from a possible underestimation of the market price level. The next chapter discusses this phenomenon.

The results of the pilot sensitivity computations have shown that except on the market price levels the transfer price decision may depend on the amount of logs available to the mills. It depends especially on the *level of* the maximum allowable *harvest*, because internal logs are preferred to external timber in our firm with lower average log harvesting costs than average log market prices. That is why an experiment was set up to study the best transfer prices at three levels of harvest. The maximum amount that can be spent for external logs is $350 000, a constant. At an average log market price of $68/MBF external purchases correspond to 50 per cent of the mills' total log need of 10 200 MBF. Thus, the purchase-need ratio (P/N) is .50. The three harvest levels, chosen for the experiment, are 15 000 MBF, 9 500 MBF and 7 500 MBF including the pulp logs, not utilized by the mills. Without the pulp logs (= 16 per cent of total volume) the harvest levels are about 12 600 MBF, 8 100 MBF and 6 300 MBF. Thus the harvest-need ratios of usable logs to the mills (H/N) are 1.25, .80 and .60 .Figure 17.a shows the corporate profit losses of decentralization with varying transfer prices at the highest harvest level, when total harvest exceeds the mills' total log harvest by 25 per cent. Results for the next harvest level, when the total harvest is 20 per cent less than mills' total log need, are very similar to those of the first harvest level: transfer price slightly less than market price is the best one. But with $H/N = .60$, when the mills' total log needs are 40 per cent greater than total harvest, the best transfer price level is different. With a purchase-need ratio of only .50 there are only ten per cent ($.60 + .50 - 1.00 = .10$) of the total logs in excess of the mills' needs. The change in the best transfer price level for our case firm then occurs for $P/N = .50$ when $.60 \leq H/N \leq .80$. In this situation — *when logs are particularly scarce — transfer price* slightly *above market price* minimizes the corporate profit loss from decentralization. Figure 18.a shows this. In the figure, profit loss is at its minimum when the transfer price is ten per cent higher than the log market price.

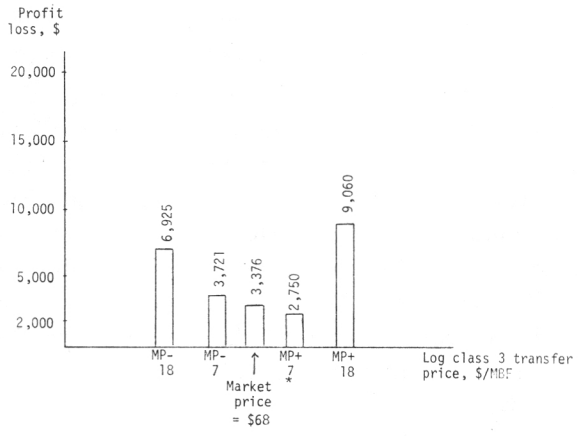


Figure 18.a.

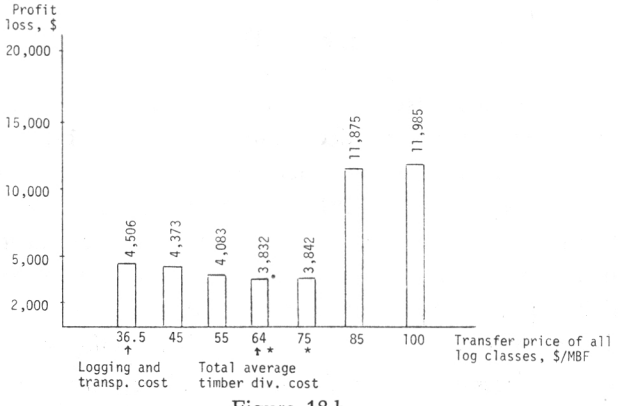


Figure 18.b.

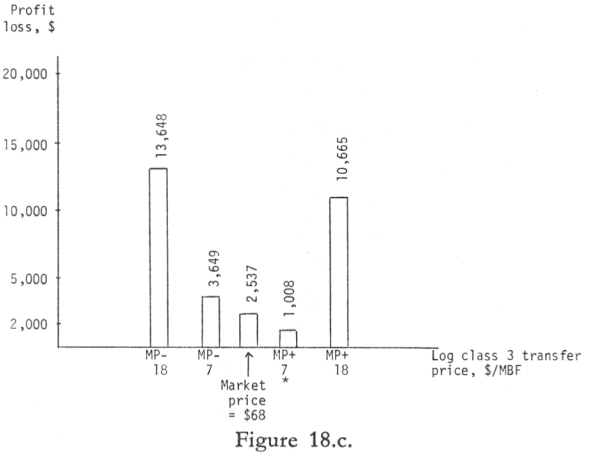


Figure 18.c.

Figures 18.a—c. Sensitivity of corporate profit losses from decentralization to changes in market-based transfer price levels under *mill dominance* (Fig. a) and *mixed dominance* (Fig. c), and cost-based transfer price levels under *timber dominance* (Fig. b), when total harvest is much less than mills' total log need.

Note: * shows the best transfer prices.

It becomes substantial when transfer price exceeds this best level. When transfer price is equal to or somewhat less than market price only moderate profit losses occur.

To summarize the best transfer prices of mill dominance at different harvest levels (Table 6 in section 446.): When harvest exceeds or is somewhat less than mills' total log needs, transfer price should be five to ten per cent below market price. When harvest is much less than the mills' total log needs, causing extreme scarcity of internal logs, transfer price should be about ten per cent higher than market price. For the two lowest harvest levels all the log purchasing possibilities (about 50 per cent of the mills' total log need) are exhausted. Therefore the »best» transfer prices above may not hold for these levels with a higher purchasing possibility. The computations indicate that with it, the best transfer prices may be greater than the above recommendations.

4442. Timber Dominance

Under timber dominance, usually *a wide range of cost-based transfer price levels* minimizes the corporate profit loss from decentralization. Figure 17.b shows this. In the figure, the profit loss is at its minimum when transfer price varies between the smallest average harvesting cost (\$28—30/MBF) of a tract and the highest transfer price (\$75/MBF) the mills can afford to pay before starting to work at less than capacity. The latter transfer price is greater than the total average timber division cost (\$64), which is the highest possible »harvesting cost» of the case firm. Thus any cost-based transfer price is the »best» transfer price under timber dominance.

The choice of the cost-based transfer price is independent of the fluctuating log market prices, and also changes in harvesting costs. This insensitivity is a good property in a world of price and cost *uncertainty*. The choice of the transfer price level is somewhat sensitive to changes in the amount of logs available, especially in the *amount of* internal logs available through *harvest*. A similar experiment to that of mill dominance has been set up to find the best transfer price at three levels of the maximum harvest. Thus the harvest-need ratios (H/N) of usable logs to the mills are 1.25, .80 and .60. At the same time the purchase-need ratio (P/N) is a constant .50. Figure 17.b, discussed above, shows the corporate profit losses from decentralization at $H/N = 1.25$. The result for $H/N = .80$ is the same: any harvesting cost level is the »best» transfer price. But with $H/N = .60$, when the mills' total log need is 40 per cent greater than total harvest, the result is different. The change from a range of »best» transfer prices to a single best price then occurs for $P/N = .50$ when $.60 \leq H/N \leq .80$. In this situation — *when logs are particularly scarce — transfer price just below the highest price the mills can afford to pay for the logs before starting to operate at less than capacity* minimizes the corporate profit loss from decentralization. Figure 18.b shows this. In the figure, profit loss deceases slowly with the rise of the transfer price to its best level. It becomes substantial when transfer price exceeds this best level.

To summarize the best transfer prices of timber dominance at different harvest levels (Table 6 in section 446): With harvest exceeding or being somewhat less than the mills' total log needs, the transfer price can be any average harvest cost between the lowest harvesting cost of a tract and the maximum transfer price the mills can afford to pay for the logs before starting to work at less than capacity (MAX). This price ($75) is higher than the total average timber division cost ($64) which includes the (variable) harvesting costs, fixed costs and an allowance for timber division profit. With a harvest much less than the mills' total log need, causing particular scarcity of internal logs, transfer price approaches MAX. For the lowest harvest level all the log purchasing possibilities (about 50 per cent of the mills' total log need) are exhausted. Therefore the »best» transfer price above may not hold with a higher purchasing possibility.

4443. Mixed Dominance

Under mixed dominance, *usually a range of market-based transfer prices* minimizes the corporate profit loss from decentralization. Figure 17.c shows this. In the figure, the profit loss is at its minimum when transfer price varies from twenty per cent below to twenty per cent above the market price. It becomes very substantial when the transfer price is lowered below the best range. When transfer price is greater than market price only moderate profit losses occur until transfer price reaches a level where the mills are forced to shut down.

The transfer prices of the four log classes follow the *relative* market prices in Figure 17.c. Pilot computations have been also carried out with transfer prices of all log classes differing from market prices by a *constant*. They result in higher corporate profit losses from decentralization than the procedure of maintaining the relative market prices of the log classes. Therefore, all the sensitivity analyses of transfer price levels are done following the relative market prices of log classes.

Log market price *uncertainty* does not affect the choice of a transfer price because of the insensitivity of the »best» transfer price to the exact market price level. However, if there is extreme uncertainty about the market prices, a conservative top management might choose transfer prices slightly above the expected market price. It does so because a possibly too low (for example, market price minus $18) transfer price, results in greater profit losses than a possibly too high (for example, market price plus $18) transfer price.

The choice of the transfer price level is somewhat sensitive to changes in the amount of logs available, especially to the *amount of* internal logs available through *harvest*. A similar experiment to that of mill and timber dominances has been set up to find the best transfer price at three levels of the maximum harvest. Thus the harvest-need ratios (H/N) of usable logs to the mills are 1.25, .80 and .60. At the same time the purchase-need ratio (P/N) is a constant .50.

Figure 17.c, discussed above, shows the corporate profit losses of decentralization at H/N = 1.25. With H/N = .80 the result is similar: any transfer price within a range around the log market price is the »best». But with H/N = .60, when the mills' total log need is 40 per cent greater than total harvest, the result is different. In this situation — *when logs are particularly scarce — transfer price* slightly *above market price* minimizes the corporate profit loss from decentralization. The change from a range of »best» transfer prices to a single best price then occurs when $.60 \leq H/N \leq .80$. Figure 18.c shows this. In the figure, profit loss is at its minimum when the transfer price is ten per cent higher than the log market price. It becomes substantial when the transfer price exceeds this best level. When the transfer price is equal to or somewhat less than the market price only moderate profit losses occur.

To summarize the best transfer prices of mixed dominance at different harvest levels (Table 6 in section 446): With harvest exceeding the mills' total log need the transfer price should be within a 20 per cent range from the market price. With harvest being somewhat less than mills' total log need the range is ten per cent. With harvest being much less than mills' total log need, causing extreme scarcity of internal logs, transfer price should be about ten per cent higher than market price.

445. Best Divisional Dominance

The most common of the three divisional dominance structures in practice is probably the *mixed dominance*. It is also the best of them according to our measurements of goodness. The measurements are based on (1) the corporate profit loss from decentralization of the best transfer price level of the optimal pricing type and (2) the insensitivity of this profit loss to changes in the transfer price level.

The criteria are then the height of the shortest bar and the difference between its height and the height of the bars surrounding it in Figures 17. a—c and 18. a—c. According to both criteria mixed dominance (with market pricing) is the most preferable organization. It brings the lowest corporate profit losses from decentralization. Under conditions of certainty it is better than the other two organizations. The low level of corporate profit losses is maintained at a wide range of transfer prices. It then performs well also when the log market prices are known only with uncertainty. According to the first criterion, mill dominance (with market pricing) performs better than timber dominance (with cost pricing). We rate it the second best divisional dominance. Timber dominance offers low but steady corporate profits at a very wide range of cost-based transfer prices that can be determined accurately. At best mill dominance can offer high corporate profit. But the profit is sensitive to the transfer price level. The transfer price is based on market price that can usually be estimated only imprecisely.

The results are valid for a firm with good or fair amount of internal logs available from harvest (above 80 per cent of the mills' total log need). Many firms belong to this category. When the internal logs become more scarce, however, there is less and

Table 6. Best range for transfer prices for the case firm as a function of harvest level and divisional dominance, and suggestion of economic theory for transfer prices.*

Harvest level	Organization and its optimal transfer pricing type		
	Mill dominance market pricing	Timber dominance; cost pricing	Mixed dominance; market pricing
Harvest exceeds mills' need by 25 per cent ..	$0.90 \cdot MP \leq TP \leq 0.95 \cdot MP$	$HC_{min} \leq TP \leq MAX$	$0.80 \cdot MP \leq TP \leq 1.20 \cdot MP$
Harvest is 20 per cent less than mills' need ..	$0.90 \cdot MP \leq TP$ ** $\leq 0.95 \cdot MP$	$HC_{min} \leq TP \leq MAX$	$0.90 \cdot MP \leq TP \leq 1.10 \cdot MP$
Harvest is 40 per cent less than mills' need ..	$TP \doteq 1.10 \cdot MP$**	$0.80 \cdot MAX \leq TP$ ** $\leq MAX$	$TP \doteq 1.10 \cdot MP$

Suggestion of economic theory for all harvest levels and every dominance: TP = MP

Note: *TP = transfer price.
MP = market price (average of \$68/MBF for four log classes).
HC_{min} = lowest unit harvesting cost among all tracts.
MAX = the highest costt based transfer price the mills can afford to pay before starting to operate at less than capacity (this was \$75/MBF for our case firm which is above the over-all average timber division cost of \$64/MBF that includes average variable cost over all available tracts, fixed costs and profit allowance for timber division).

**For these entries the log purchasing constraint (about 50 per cent of the mills' total log need) is limiting; therefore these »best» transfer prices may not apply to a situation with a higher constraint, for example, with an infinite log purchasing possibility.

less difference between the corporate profits of the three divisional dominances. But only at an extremely low level of self sufficiency of logs would the top management be indifferent in its choice of a divisional dominance.

446. Conclusion

The results of the case study show that the *hypothesis* of economic theory *does not always hold.* The best log *transfer price is not necessarily the market price* in a corporate profit maximizing forest products firm. It depends on the organizational structure, and on the amount of harvestable logs available. This is shown in Table 6 which summarizes the results of the case firm transfer price analyses.

Under timber dominance (col. 2) the firm's best transfer prices follow harvesting costs, *not market prices.* Under mill dominance (col. 1) the best transfer prices are based on log market prices, with the transfer prices of individual log classes following their relative market prices. However, in our experiment the best transfer price level is slightly *below or above the market price.* Under mixed dominance (col. 3) the best transfer prices are based on log market prices, with the transfer prices of individual log classes following their relative market prices. When the internal logs are particularly scarce the best transfer price is *above market price.*

The best *transfer price is* the *market price* when the firm applies mixed dominance, the best of the three organizations studied here, and the logs are not particularly scarce. Mixed dominance is probably the most common of the three organizations among forest products firms. An average forest products firm has a good or fair amount of internal logs available from harvest (above 80 per cent of the mills' total log need). Therefore, for a typical forest products firm *the hypothesis does hold.*

5. OPTIMAL TRANSFER PRICE ANALYSIS UNDER PRICE UNCERTAINTY

51. Objectives of the Analysis

In the previous chapters of this study we have assumed that all the prices, costs and production functions are known to the decision makers. In practice, a firm's management is facing uncertainty in log allocation. Its knowledge of log and end product market price, in particular, is imperfect. The purpose of this chapter is to show that the *top management's transfer price choice under price uncertainty is not necessarily its choice under price certainty even when the expected market prices are the actual »uncertainty« prices.* We wish to show that the corporate profit ($\overline{R}$) of the expected market prices may not be the expected profit (E(R)) of the market prices. This phenomenon is well known in the literature of decision making under uncertainty. We can state this fact for our example as follows:

$$\overline{R} = f\,(E(mp),\ E(sp),\ E(vp)) \neq E(R) = E\,(f\,(mp,\ sp,\ vp))$$

where mp, sp and vp are log, sawntimber and veneer market prices; E(mp), E(sp), E(vp) are their expected values.

The hypothesis that

$$\overline{R} = E(R)$$

holds is quite common among the forest products firms' managers. It only holds if the corporate profit is very insensitive to changes in market prices. When it does not hold, choosing a transfer price becomes an elaborate task. The log allocation problem has to be solved and corporate profit obtained for all alternative transfer prices and every possible long and end product market price level that might occur.

Obviously, log market price uncertainty will have a very significant effect on corporate profits in organizations where transfer prices are based on the log market prices: in mill or mixed dominance firms. Of the two, corporate profit is more sensitive to changes in the market-based transfer prices under mill dominance. Market price uncertainty thus may affect the transfer price choice most in a mill dominant and least in a timber dominant firm. It clearly also affect the choice of the organization.

We construct an example of two transfer price alternatives, TP_1 (transfer price is log market price) and TP_3 (transfer price is 10 per cent less than log market price), under mill dominance. From Table 2 and Figure 16.a we see that under price certainty TP_3 is preferred to TP_1. In the previous chapter we stated that under log market price uncertainty a »conservative« top management might choose a transfer price equal to

or greater than the expected market price. We suggested this because the possible profit losses are smaller for transfer prices above the expected log market price than for transfer prices below it.

In this chapter, we show formally that the suggestion is justified even for a top management indifferent to risk—not necessarily conservative. Moreover, even a top management, ready to take risks, would prefer TP_1 to TP_3 which is contrary to the transfer pricing analysis under certainty of Table 2 and Figure 16.a.

52. Stages of the Analysis

521. Actions

The stages of choosing transfer prices under market price uncertainty for a *profit maximizing* top management are (R a i f f a 1970):

1. Choosing transfer price actions
2. Naming market price states
3. Deriving state probabilities
4. Computing the corporate profit outcomes for all state-action combinations
5. Computing the expected corporate profit for each transfer price action
6. Choosing the action with the highest expected corporate profit.

When the top management chooses transfer prices that maximize the expected corporate profit it is indifferent to risk of achieving profit. But top management may not be indifferent to risk. It may be risk averse which means that the increase of satisfaction of an increase in profit is greater for small profit levels than a similar increase for high profit levels: the top management's utility function for corporate profit is concave. Correspondingly, a risk taking top management's utility function is convex. The stages of choosing transfer prices under market price uncertainty for a top management whose utility to corporate profit is nonlinear are below. Top management now *maximizes* expected *utility*, not *expected corporate profit* in choosing a transfer price as follows:

1—4. (As for a profit maximizing top management)
5. Deriving the top management's utility function to corporate profit
6. Computing utility of the corporate profit outcome of each state-action combination
7. Computing the expected utility of each transfer price action
8. Choosing the action with the highest expected utility.

Our example of optimal transfer price analysis under uncertainty concerns two alternative transfer price *actions*, TP_1 and TP_3 in a mill dominant organization. According to economic theory, TP_1 (market price) is the optimal price. According to our experim-

ent (Table 2 and Figure 16.a), TP_3 (transfer price less than market price) is better than TP_1. We have chosen mill dominance as the organization because under it the corporate profits are most sensitive to changes especially in log market prices.

522. Sawntimber Price States and their Probabilities

We assume uncertainty in sawntimber, veneer and log market prices. Sawntimber price states and their probabilities result from the sawntimber marketing manager's *subjective* valuation. Veneer and log price states and their probabilities are derived from the veneer marketing manager's and the log sale manager's *subjective* market assessments, and »*objective*» predictions, carried out by the top management, conditional to the subjective sawntimber prices. Sawntimber prices are taken as the basis because they best predict the forest industry market situations. The price states are discrete because typically subjective price evaluations are discrete. A continuous state space would theoretically give more precise results but it would excessively increase the computational burden.

Top management receives the subjective *sawntimber* price states and their probabilities from the sawntimber marketing manager — the best expert on these prices in the firm. Top management does not believe costly regression analyses would improve the price estimates significantly. The sawntimber marketing manager is convinced that the relative sawntimber grade[1]) prices (sp) will remain stable.[2]) We assume that within each state the prices are uniformaly distributed. Class 3 *subjective* sawntimber price states and their probablities are:

Sawntimber price, $/MBM	State name[3])	Subj. probab.
—61.5	C'	.003
61.6—68.5	C	.232
68.6—75.5	B	.560
75.6—82.5	A	.183
82.6+	A'	.022
Expected price = $72 =	B	1.000

523. Veneer and Log Market Price States and their Probabilities

Top management has also acquired knowledge of *subjective* veneer and log price states and probabilities from veneer marketing department and timber division log sales manager. The headquarters has carried out regression analyses for quarterly veneer and log market prices with sawntimber price as the independent variable. As an outcome of the regression analyses we obtain *objective* veneer and log market price

[1]) For the sawntimber grades, see Appendix 22.
[2]) Sawntimber grade price ratios are: $sp_1 = 1.84\ sp_3$, $sp_2 = .98\ sp_3$, $sp_4 = .50\ sp_3$.
[3]) C = low price, B = intermediate price, A = high price.

probability distributions. It is believed that the historically stable relative veneer grade (vp) and the log class (mp) prices remain unchanged for the coming period[1]). The following linear regressions give the best fits of veneer and log prices for quarters of 1950—66 and 1961—66, respectively:

$vp_3\ (t) = .413\ sp_3\ (t)$ $\qquad$ $mp_3\ (t) = .873\ sp_3\ (t\text{-}l)$

$R^2 = .98$ $\qquad$ $R^2 = .97$

Corresponding to the five sawntimber price states we get the following objective t-distributed predictions and standard deviations of veneer and log market prices:

Sawntimber price (sp_3), \$/MBM	Veneer price prediction (vp_3), \$/MBM	Log market price prediction (mp_3), \$/MBM
C' = 58	24.0	50.6
C = 68	26.9	56.7
B = 72	29.8	62.8
A = 79	32.7	68.9
A' = 86	35.5	75.1
Std. dev. of prediction	3.72	7.19

The top management wishes to give weights of half and half to the subjective and objective price probability distributions of the regression analyses. The combined subjective and objective veneer and log prices probability distributions are derived in Tables 7 and 8. Each objective probability has been computed from the t-distributed veneer and log price prediction (cf. E i d m a n *et al.* 1968, p. 191).)

From the tabulation of sawntimber price probability distribution above we see that the expected sawntimber price is \$72/MBM, corresponding to state B. In Tables 7 and 8 expected veneer and log market prices are \$33/MBM, corresponding to state M, and \$68/MBF, corresponding to state I, respectively. The joint state space includes the five sawntimber market price, five veneer market price and four log market price states with positive probabilities. Thus, we have a total of $5 \times 5 \times 4 = 100$ states. A *joint state* probability is computed by multiplying the probabilities of the individual sawntimber, veneer and log market price states forming the joint state. Some of the joint states and their probabilities are listed in Table 9. Due to the symmetry of the state probability distributions the expected joint log price is \$68/MBF, sawntimber price \$72/MBM and veneer price \$33/MBF. The »expected joint state» then is IBM.

53. Outcomes

531. Corporate Profit Outcomes

The divisional before fixed cost, tax and stumpage profits of the 15 joint state-transfer price action combinations of Table 9 have been computed with the linear programs of Appendix 12. (A—B). The rest — 85 outcomes for the two transfer

[1]) Veneer grade price ratios are: $vp_1 = 1.77\ vp_3, vp_2 = 1.14\ vp_3, vp_4 = .73\ vp_3$.
Log class price ratios are: $mp_1 = 1.47 mp_3, mp_2 = 1.33 mp_3$, $mp_4 = .85 mp_3$.

Table 7. Derivation of a combined distribution from subjective and objective veneer price probabilities.

Veneer price intervals, $/MBM	State name*	Subjective prob. disn.	Objective prob. disn.	Combined distrib.	Normalized combined distribution
—19.5		0	.010	0	0
19.6—22.5		0	.029	0	0
22.6—25.5		0	.107	0	0
25.6—28.5	S'	.007	.216	.0015	.008
28.6—31.5	S	.106	.276	.0293	.164
31.6—34.5	M	.542	.216	.1169	.656
34.6—37.5	G	.285	.107	.0305	.171
37.6—40.5	G'	.060	.029	.0002	.001
40.6+		0	.010	.0	0
Total	Expected price = 33 = M	1.000	1.000	.1784	1.000

**Note:* S = small, M = medium, G = great.

Table 8. Derivation of a combined distribution from subjective and objective log market price probabilities.

Log Market price intervals, $/MBF	State name*	Subjective prob. disn.	Objective prob. disn.	Combined distrib.	Normalized combined distribution
—43.5		0	.013	0	0
43.6—50.5		0	.068	.0	0
50.6—57.5		0	.209	0	0
57.6—64.5	L	.086	.420	.6361	.366
64.6—71.5	I	.149	.209	.0313	.317
71.6—78.5	H	.380	.068	.0258	.262
78.6—85.5	O	.395	.013	.0054	.055
Total	Expected price = 68 = I	1.000	1.000	.0986	1.000

**Note:* L = low, I = intermediate, H = high, O = very high.

price actions and states with a probability $\leq .02$ of occurrence — are interpolations of the 15 outcomes. The corporate before fixed cost, tax and stumpage profits are computed by summing the corresponding two divisional profits. For intermediate and long term decisions the headquarters is accustomed to work with after fixed cost, tax stumpage corporate profit. These profits have significance in the utility analysis of the following section. Therefore, they are also calculated in Table 9 although fixed cost and taxes are constant for the two transfer price alternatives and stumpage paid is a sunk cost.

The corporate profit outcomes of each action and joint state, and each corresponding state probability are the ingredients in calculating the expected corporate profits. From the last row of Table 9, we see that an expected profit maximizing *top*

Table 9. Profits of two transfer price alternatives under price uncertainty in mill dominant organization, $ 1 000.

State*	Transfer price								State probability
	TP_1 = log market price ($ 100, 90 68, 58)				TP_3 = log market price less 10 & ($ 90, 81, 61, 52)				
	Profit before fixed cost, taxes and stumpage			Firm profit after fixed cost, taxes & stumpage paid**	Profit before fixed cost, taxes and stumpage			Firm profit after fixed cost, taxes & stumpage paid**	
	Mill. div.	Timber div.	Firm		Mill. div.	Timber div.	Firm		
OBM	154.7	459.9	614.6	105.0	225.4	387.8	613.2	103.6	.020
HAM	221.1	439.3	660.3	150.7	286.6	352.9	639.5	129.9	.031
HBG	183.1	439.3	622.4	112.8	246.9	352.9	599.8	90.2	.025
HBM	163.4	439.3	602.7	93.1	227.4	352.1	579.6	70.7	.096
HCM	105.8	439.3	545.1	35.5	168.3	352.9	521.2	11.6	.040
IAM	249.6	390.0	639.5	129.9	291.5	349.7	641.2	131.6	.038
IBG	211.3	390.0	601.3	91.7	253.2	349.7	603.0	93.4	.030
IBM	*191.7*	*390.0*	*581.7*	*72.1*	*233.6*	*349.7*	*583.3*	*73.7*	*.148*
IBS	172.0	390.0	562.0	52.4	213.9	349.7	563.7	54.0	.037
ICM	133.8	390.0	523.8	14.2	176.0	349.7	525.7	16.1	.048
LAM	289.4	329.4	618.8	109.1	319.7	299.0	618.7	109.1	.044
LBG	251.2	329.4	580.6	70.9	281.5	299.0	580.5	70.9	.025
LBM	231.5	329.4	560.9	51.3	261.9	299.0	560.9	51.3	.134
LBS	211.8	329.4	541.2	31.6	242.2	299.0	541.2	31.6	.034
LCM	173.6	329.4	503.0	— 6.5	204.0	299.0	503.0	— 6.5	.056
	Expected profit		576.5	71.1	Expected profit		575.9	65.7	1.000

Note: *Only states with probability 0. 02 or greater of all 100 states are presented here. All states are included in calculating the expected profits. The states are:

Log market price:	O = very high H = high I = intermediate L = low	Sawntimber price:	A = high B = intermediate C = low	Veneer price:	G = high M = intermediate S = low

**Anticipated fixed costs and taxes are:

milling division	$63 000
timber division	$15 100
headquarters	$16 200
total	$94 300

Stumpage paid varies from tract to tract. In an average it is $34/MBF for the about 10 200 MBF of logs the mills use quarterly.

management prefers TP_1 to TP_3. This result is contrary to that of the expected state IBM where top management would choose TP_3 instead of TP_1. Thus the headquarters should be careful in making transfer price decisions based only on the expected price information. It should rather analyze the profit outcomes of all essential price states and calculate the expected corporate profits for all transfer price actions. It would choose the transfer price alternative *maximizing the expected corporate profit.* This type of uncertainty analysis is important under mill dominance but less important under mixed and timber dominance where the corporate profit is rather insensitive to changes in market prices.

532. Utility Outcomes

Maximizing expected corporate profit means that the top management is indifferent to risk. It has a linear utility function for profit (H a l t e r and D e a n 1971, p. 45). If the top management maximizes its utility and the utility function for money is nonlinear it might or might not choose TP_1 as the transfer price. The amount of literature on the consept of utility is immense. For example, J o h n s e n (1968, pp. 344—362), M o s t e l l e r and N o g e e (1967, pp. 141—146) and D a v i d s o n *et al.* (1967, pp. 191—193) have elaborated it. It is beyond the scope of this study to explain how to construct utility functions of decision makers through interviews. H a l t e r and D e a n (1971, pp. 32—53) and H a l t e r *et al.* (1969, pp. 54—61) describe well how to find utility function for decision situations under uncertainty. Figure 19 shows

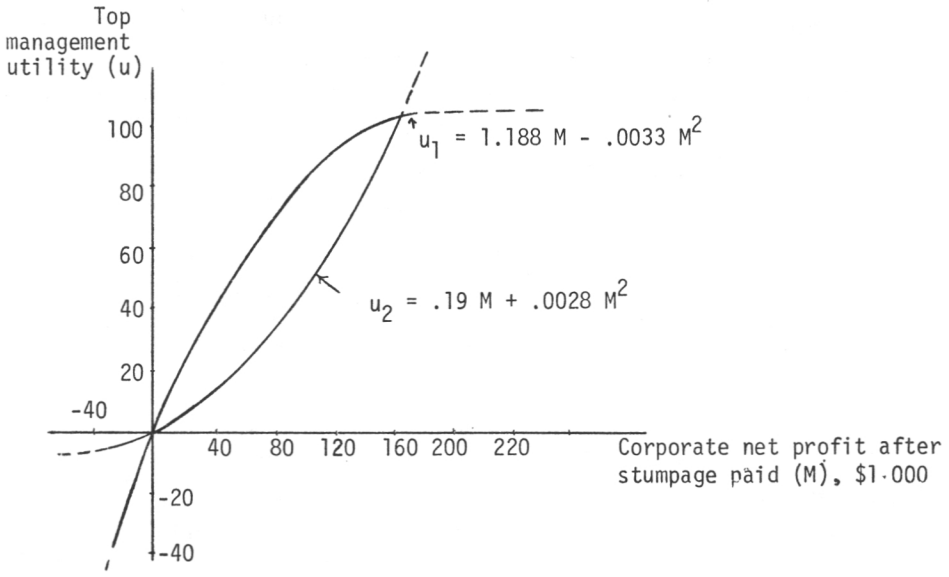


Figure 19. Examples of utility functions of a risk averse (u_1) and risk taking (u_2) top management.

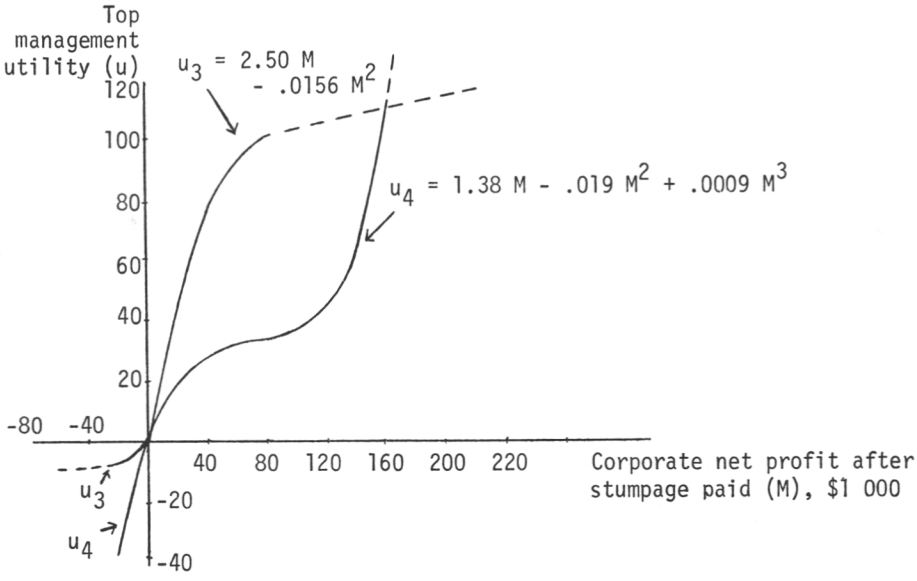


Figure 20. Examples of two utility functions of a partially risk averse, partially risk taking top management.

examples of a concave utility function (u_1) of a risk averse and a convex utility function (u_2) of a risk searching top management. Correspondingly, Figure 20 presents examples of two utility functions of *combined* risk aversion and risk preference (u_3, u_4) to the after fixed cost, tax and stumpage corporate profit. The utility outcomes are computed by inserting the corporate profit outcomes (of Table 9) to the utility functions. The expected utilities of the alternative transfer price actions are calculated from utility outcomes and joint state probabilities (of Table 9). The transfer price is chosen that *maximizes the expected utility*. The functions produce the following expected utilities for the two transfer price actions:

Utility function	Expected utility for TP_1	Expected utility for TP_3	
u_1	57.90	57.60	— choose TP_1
u_2	30.95	30.55	— choose TP_1
u_3	66.56	66.46	— choose TP_1
u_4	244.84	242.88	— choose TP_1

In this case the form of the utility function does not affect the choice of the transfer price: *TP_1 is always preferred to TP_3*. Several other types of utility functions tested gave the same result. It does not change even when the state probability distribution is greatly distorted. Although the form of the utility function does not, in this example, affect the tranfer price choice, it would be easy to costruct situations where it might (cf. H a l t e r and D e a n 1971, p. 47; R a i f f a 1970, p. 68).

We can therefore conclude that under price uncertainty the headquarters should be careful in making transfer price decisions based only on the expected price information. It should rather analyze the profit or utility outcomes of all essential price states and calculate the expected corporate profit or utility for all transfer price actions. It would *choose the transfer price alternative maximizing the expected corporate profit or utility*. The management may feel that there are other sources of uncertainty in log allocation: log class distributions in the tracts, recoveries, harvesting or milling costs, etc. The states, their probabilities, and profit and utility payoffs for each transfer price action should be determined in a fashion similar to that we have used under price uncertainty. The expected corporate profits or top management utilities are compared and the transfer price action is chosen that gives the highest expected profit or utility.

6. DISCUSSION

61. Practice, Theory and the Experiment

In practice most Pacific Northwest forest products firms use harvesting cost-based transfer prices for their internal log transactions. Market-based transfer prices are also quite common. *The cost-based transfer price level varies greatly from firm to firm.* In some firms it can be the average logging and transportation cost, in others the average total timber division cost including an allowance for a »normal» timber division profit, etc. The *market-based transfer prices are* generally *slightly below or at the market price level.* Discussions with the executives have also indicated that of the three decentralized organizations studied, *mixed dominance* is the most common. The log allocation is hardly ever totally based on transfer prices. Usually, the top management does not only set the transfer prices but some quantitative restrictions on internal log transactions as well. These firms call themselves decentralized and the divisions bear the name »profit center.» In many cases they are not truly decentralized.

According to economic theory of a corporate profit maximizing firm, log market price is always the optimal transfer price. Applying any other pricing types, such as cost or value pricing, leads to corporate profit losses. Setting a *market-based transfer price* exactly *at the* true *market price level* maximizes the corporate profit. The theory suggests that the *mill and mixed dominances* are equally acceptable organizations. Timber dominance is inferior to the two. These recommendations are based on many simplifying assumptions. The theory operates with a single input-single output firm or with a firm where the inputs or the outputs have little or no interdependence. The decision markers are assumed to have perfect knowledge about the allocation situation. In practice, the managers make decisions in multi-input multi-output firms under conditions of uncertainty.

The transfer pricing experiments for the corporate profit maximizing case firm of this study show that market pricing is the optimal transfer pricing type. *The best transfer price* level *is equal to or slightly lower than* the log *market price.* The best organization is that of *mixed dominance.* The case firm log allocation is a multi-input multi-output analysis. The linear programs used to formulate and solve the log allocation problem of this study reflect the author's best knowledge of the existing input and output dependencies. The log allocation decisions are assumed to be made under certainty.

The results of the experiment agree fairly well with the recommendations of the theory: the optimal transfer pricing type is that of market pricing, the best organization mixed dominance. The greatest disagreement concerns transfer prices under timber dominance: the experiment proposes cost pricing, the theory market pricing.[1]) Why does the experiment prefer cost pricing only for the timber dominance organization? Of the three organizations, it is the only one where the timber division has the right to determine the firm's log allocation. The harvesting decision is a major factor of log allocation decision making. Section 442 indicates that the harvesting schedule depends mostly on timber harvesting costs but not on the log prices or log class composition. In its log allocation decisions, the timber division manager is mostly interested in the harvesting costs. It tends to relate even the log prices to the harvesting costs. Therefore under timber dominance, the optimal transfer pricing type is cost pricing.

In practice, in forest products firms, the most common transfer pricing-organization combination is cost pricing under mixed dominance. Closer examination in these firms has shown, however, that they are not truly decentralized but the log allocation quantities are somewhat enforced directly by the top management. Obviously, the top management does not want to delegate decision making to the divisions in fear of great profit losses from decentralization due to dysfunctional decisions. The case study has shown that the fear is justified. Cost-based transfer pricing under mixed dominance leads to great profit losses. In these firms either the organization should be changed to timber dominance while maintaining the cost pricing of internal logs; or preferably, the cost pricing should be changed to market pricing while maintaining mixed dominance. After these changes, true decentralization can be reinforced without great risk of dysfunctional log allocation.

62. Uncertainty

The results of the case study of Chapter 4 apply in log allocation through transfer pricing under certainty. In practice, the decisions are always made under conditions of uncertainty. It is evident from the results of case study sensitivity analyses that, even under uncertainty, market pricing produces the highest corporate profit in a mixed or mill dominant firm, and cost pricing in a timber dominant firm.

A major advantage of using cost-based transfer prices and applying timber dominance is a high level of accuracy in the corporate profit estimation in changing price and cost conditions. A major disadvantage is a low expected (average) profit. On the

[1]) For an average *one log class* timber dominant firm, the experiment and the theory may not contradict. This can be seen in Figure 8. There market price equals marginal harvesting cost at point X. This cost is the average harvesting cost of the most expensive tract to be harvested (cf. Figure 2.b). It is the highest average tract harvesting cost. For an average profit maximizing firm it would be somewhat below the highest transfer price the mills can afford to pay before starting to go out of business (MAX in Table 6). For an average efficiency one log class firm the market price would then be within the recommended cost-based transfer range of Table 6.

other hand, a great advantage of using market-based transfer prices and applying mixed or mill dominance is a high expected profit but with a great disadvantage, especially under mill dominance, of a low level of accuracy in the corporate profit estimation.

The transfer price-organization choice depends on the top management's preference to the expected corporate profit and to the risk involved in its acquisition. According to interviews, the managers rate highly the certainty connected with obtaining a profit. But a high expected profit is usually a more important requirement. If the top management is indifferent to risk — its utility is a linear function of profit — it chooses the transfer price-organization combination that maximizes the expected corporate profit. If it does not appear to be indifferent to risk — its utility is a non-linear function of profit — first the exact form of the utility function must be found. Then the top management chooses the transfer price-organization combination that maximizes its expected utility. Whether the top management is indifferent to risk or not, extensive sensitivity analyses become necessary to aid decision making under uncertainty, as the examples of Chapter 5 show.

63. Extension of the Results

The literature on transfer pricing is quite rich. Most of the studies are, however, theoretical in nature. The alternative transfer prices have not been compared in computational experiments for real organizations as we have done in this study. The postulates of economic theory have not been tested. This piece of short term transfer pricing research is experimental. To reduce costs it is restricted to only one case, a forest products firm. How much can we generalize from its results?

This question will be answered in three parts; (1) concerning forest products firms in the U.S. and Canadian Pacific Northwest, (2) concerning forest product firms in general, and (3) concerning firms in general. The case firm is a typical Pacific Northwest forest products company being a good representative of the small and intermediate size forestry enterprises in that area. These firms outnumber the large companies. The results *are therefore applicable to most firms in category* (1).

The log allocation problem of the case firm resembles that of forest products companies all over the world, Figure 13. There are several areas from which the firms may cut timber of different grades. The timber may be purchased, or cut in the company's own forest. The harvested logs are transported to the one or several mills of the company, or sold to other firms. Logs can be also purchased directly from other firms. The logs are processed to several end products in the mill(s). There are probably differences in the price, cost and productivity conditions between firms in different parts of the world. It is not so much the absolute but the relative price, cost and productivity differences of the firms in other parts of the world from those of the case firm that determine how much the optimal transfer pricing policies in them will deviate from those in this study.

If the managers of forest products firms consider it necessary they will study the optimal transfer pricing policies for their companies themselves. They are likely to use similar analyses to those employed in this study. To aid comparability this publication therefore includes detailed formulations of the allocation problem. It is, however, the belief of the author that the outcomes of their experiments will be similar to those in this study. Thus, the main results of the study will *probably be applicable to firms in category* (2), above.

The resource allocation problem of the case firm is common in the industrial world. Every vertically integrated company has intermediate products, like logs, that must be allocated from one or several internal sources to one or several internal destinations. The intermediate products usually include many product assortments like log classes. There is likely to be a competitive market for the intermediate products. The intermediate product allocation problem is analogous to the problem of this study. The theoretical analysis in Chapter 3 is fully applicable to any firm. In every diagram the words »log allocation» can be changed to »intermediate product allocation» or »corporate resource allocation», »timber division» to »supplies division», and »milling division» to »user division». The results of the theoretical analysis is also applicable to any firm, not only a forest products firm. The optimal transfer price of the intermediate product is its market price. To test this statement of economic theory the managers would have to conduct experiments similar to those in this study. The detailed formulations presented in appendices 1 and 3 would be useful. The cost, price and productivity conditions may differ so much from those of the case firm that the results of the experiments could or could not be the same as those presented in in this study. Then, the main results of the study will *possibly* be applicable to firms in category (3), above.

The decentralized organization of a company might differ from the three dominance structures of the case firm: possibly top management wishes the divisions to have equal rights in log allocation after the announcement of transfer prices. There are three approaches to find optimal transfer prices in that case: decomposition methods, divisional trading, or price adjustment procedures. They are discussed by J e n n e r g r e n (1972) and K e i p i (1976, pp. 193—205). The current decomposition algorithms are more decentralized information gathering than decentralized decision making tools because in the execution of decisions corporate headquarters enforces the log allocation. We have not based the allocation on divisional trading to avoid the disadvantages from bargaining. Game theory, which would create the best trading model framework, is not developed far enough today to solve complex non-zero sum games. Price adjustment procedure is the most promising of the three approaches. It has the disadvantage of alternative optima which may increase the cost of the information exchange within the firm. Besides that, it does not guarantee an optimal solution. Its objective is rather to equate internal supply and demand than to maximize the corporate profit. Despite these shortcomings the divisional trading and price adjustment methods are promising procedures which might apply to other kinds

of log allocation problems than those discussed in this study. Price adjustment is an especially attractive method to problems with nonlinear utility functions of the decision makers.

Top management may be best conceived as a group of division managers. Then group decision theory could be applied for choosing transfer prices. K e i p i (1976, pp. 214—217) presents a special case of group decisions under uncertainty. Choosing transfer prices under uncertainty is a challenging topic for further studies. The same applies for group decision making in general. K e i p i (1977) compares different mathematical programming approaches of decentralized annual wood procurement planning. He considers the timber division manager and his assistants: the purchasing, logging and transportation managers as a team. That study is part of an on-going and more comprehensive research into the area of decentralized decision making in forest products firms.

BIBLIOGRAPHY

1. Adams, T. C. 1974. Log Prices in Western Washington and Northwestern Oregon, 1963 — 1973. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Research Note PNW-235, Portland, Ore.
2. Alchian, A. A., and Allen, W. R. 1969. Exchange and Production, Theory in Use. Wadsworth, Belmont, Ca.
3. Anthony, R. N., Dearden, J. and Vancil, R. F. 1972. Management Control Systems. Text, Cases, and Readings. Irwin, Homewood, Ill.
4. Argyris, C. 1965. Organization and Innovation. Irwin and Dorsey, Homewood, Ill.
5. Arrow, K. J. 1959. Optimization, Decentralization and Internal Pricing in Business Firms. In Contributions to Scientific Research in Management. UCLA Press, Los Angeles.
6. —»— 1964. Control in Large Organizations. Management Science, Vol. 10, No. 3, April 1964.
7. Balas, E. 1966. An Infeasibility - pricing Decomposition Method for Linear Program. Operations Research, Vol. 14, No. 5, Sept.—Oct. 1966.
8. Bare, B. B. 1971. Application of Operations Research in Forest Management: A Survey. Quantitative Science Paper No. 26. University of Washington, Seattle.
9. Baron, D. P. 1972. Joint Decision Technologies with a Production-Marketing Example. In Tuite, M. F., Chisholm, R. K. and Radnor, M. (editors): Interorganizational Decision Making. Aldine, Chicago, Ill.
10. Baumol, W. J. and Fabian, T. 1964. Decomposition, Pricing for Decentralization and External Economies. Management Science, Vol. 11, No 1, Sept. 1964.
11. Beuter, J. H. 1966. Stumpage Appraisal Under Several Assumptions of Log Use: A Case Study in the Douglas-fir Subregion. Unpublished dissertation. Iowa State University, Ames.
12. Charnes, A., Clower, R. W. and Kortanek, K. O. 1967. Effective Control through Coherent Decentralization with Preemptive Goals. Econometrica, Vol. 35, No. 2, April 1967.
13. Cook, P. W. 1955. Decentralization and the Transfer Price Problem. Journal of Business, Vol. 28, April 1955.
14. Dantzig, G. B. 1963. Linear Programming and Extensions. Princeton University Press, Princeton, N. J.
15. —»— and Wolfe, P. 1961. Decomposition Algorithm for Linear Programs. Econometrica, Vol. 29, No. 4, Oct. 1961.
16. Davidson, D., Supper, P. and Siegel, S. 1967. Decision Making: An Experimental Approach. In Edwards, W. and Tversky. A. (editors): Decision Making. Penguin Modern Psychology Readings. Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, England.
17. Dean, J. 1955. Decentralization and Intracompany Pricing. Harvard Business Review, Vol. 33, July—August 1955.
18. Dilworth, J. R. 1971. Log Scaling and Timber Cruising. O.S.U. Bookstores, Corvallis, Ore.
19. Dobie, J. 1971. Economies of Scale in Sawmilling in British Columbia. Unpublished dissertation. Oregon State University, Corvallis.
20. Dopuch, N. and Drake, D. F. 1964. Accounting Implications of a Mathematical Programming Approach to the Transfer Price Problem. Journal of Accounting Research, Vol. 2, No. 1, spring 1964.

21. Dorfman, R., Samuelson, P. A. and Solow, R. M. 1958. Linear Programming and Economic Analysis. McGraw-Hill, New York.
22. Dowdle, B. 1965. Log Allocation Decision Making. In Proceedings of the IBM Seminar in Operations Research in Forest Products Industry. Mimeographed. San Francisco.
23. Duerr, W. A. 1960. Fundamentals of Forestry Economics. McGraw-Hill, New York.
24. Eidman, V. R., Carter, H. O. and Dean, G. W. 1968. Decision Models for California Turkey Growers. Giannini Foundation Monograph No. 21. University of California, Berkeley.
25. Ferguson, D. E. 1966. Microeconomic Theory. Irwin, Homewood, Ill.
26. Friedman, M. A. 1972. Price Theory, A Provisional Text. Aldine, Chicago, Ill.
27. Gordon, M. 1964. The Use of Administered Price Systems to Control Large Organizations. In Bonini, C. P., Jaedicke, R. K. and Wagner, H. M. (editors): Management Controls. McGraw-Hill, New York.
28. Hadley, G. 1963. Linear Programming. Addison-Wesley, Reading, Mass.
29. Halter, A. N. and Dean, G. W. 1971. Decisions Under Uncertainty with Research Applications. Southwestern Publishing Co., Cincinnati, Ohio.
30. —»— Dillon, J. L. and Makeham, J. P. 1969. Best Bet Farm Decisions. Professional Farm Management Guide Book. No. 6. Farm Management Service Center. Southwood Press Pty., Sydney, Australia.
31. Hamilton, T. E. 1964—1967. Production, Prices, Employment and Trade in Pacific Northwest Forest Industries [quarterly]. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. USDA Forest Service.
32. Hass, J. E. 1968. Transfer Pricing in a Decentralized Firm. Management Science, Vol. 14, No. 6, February, 1968.
33. Henderson, J. M. and Quandt, R. E. 1972. Microeconomic Theory, A Mathematical Approach. McGraw-Hill, New York.
34. Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. 1972. Introduction to Operations Research. Holden-Day, San Francisco.
35. Hirshleifer, J. 1956. On the Economics of Transfer Pricing. Journal of Business, Vol. 29, No. 3, July 1956.
36. —»— 1957. Economics of the Divisionalized Firm. Journal of Business, Vol. 30, No. 2, April 1957.
37. —»— 1964. Internal Pricing and Decentralized Decisions. In Bonini, C. P., Jaedicke, R. K. and Wagner, H. M. (editors): Management Controls. McGraw-Hill, New York.
38. Horngren, C. T. 1972. Cost Accounting, A Managerial Emphasis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1972.
39. Jennergen, L—P. 1972. Studies in the Mathematical Theory of Decentralized Resource Allocation. The Economic Research Institute of the Stockholm School of Economics, Stockholm.
40. Johnsen, E. 1968. Studies in Multiobjective Decision Models. Economic Research Center in Lund, Monograph No. 1, Studentlitteratur, Lund, Sweden.
41. Johnson, K. N. 1970. Market Structures, Firm Structures, and the Sale of Standing Timber. Unpublished research paper. Oregon State University, Corvallis.
42. Jääskeläinen, V. I. 1971. Liikkenjohto ja kvantitatiivinen suunnittelu, (Management and Quantitative Planning). Ekonomia-sarja 11. Weilin & Göös, Helsinki.
43. Keipi, K. J. 1976. Transfer Pricing Alternatives for Allocating Logs in a Forest Products Firm. Unpublished dissertation, Oregon State University, Corvallis.
44. —»— 1977. Decentralized Wood Procurement Planning in a Forest Products Firm. Manuscript, Finnish Forest Research Institute, Helsinki.

45. Koopmans, T. C. 1951. Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In Koopmans, T. C. (editor): Activity Analysis of Production and Allocation. Cowles Commission for Research in Economics. Monograph No. 13, Wiley, New York.
46. Kortanek, K. O. 1972. Effective Control through Coherent Decentralization in Separably and Non-Separably Structured Organizations. In Tuite, M. F., Chrisholm, R. K. and Radnor, M. (editors): Interorganizational Decision Making. Aldine, Chicago, Ill.
47. Lane, P. H., Woodfin Jr., R. O., Healey, J. W. and Plank, M. E. 1973 (a). New Timber Cruising Grades for Coast Douglas-fir. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Research Paper PNW-151, Portland, Ore.
48. —»— 1973 (b): Lumber Recovery from Old-Growth Coast Douglas-fir. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Research Paper PNW-154, Portland, Ore.
49. —»— 1973 (c): Veneer Recovery from Old-Growth Coast Douglas-fir. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Research Paper PNW-162, Portland, Ore.
50. Leftwich, R. H. 1961. The Price System and Resource Allocation. Holt, Rinehart and Winston, New York.
51. Marschak, T. 1959. Centralization and Decentralization in Economic Organizations. Econometrica, Vol. 27, No. 3, July 1959.
52. Martin, G. R. 1967. Accounting Data and their Decision Use: An Empirical Study of Transfer Prices and their Use in Management Decisions. Unpublished dissertation. University of California, Berkeley.
53. Morris, W. 1968. Decentralization in Management Systems: An Introduction to Design. Ohio State University Press. Athens.
54. Mosteller, F. and Nogee, P. 1967. An Experimental Measurement of utility. In Edwards, W. and Tversky, A. (editors): Decision Making. Penguin Modern Psychology Readings. Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, England.
55. Nautiyal, J. C. 1966. Optimum Rate of Forest Harvesting. Forestry Chronicle, Vol. 42, Dec. 1966.
56. Oregon State University and USDA Cooperative Extension Service, Farm Forest Products Market Review 1961—1967. (Published monthly under supervision of Marks, S. C., and Krygier, J. T.) Corvallis, Ore.
57. Raiffa, H. 1970. Decision Analysis, Introductory Lectures on Choices under Uncertainty. Addison-Wesley, Reading, Mass.
58. Schattke, R. W., Jensen, G. and Bean, W. L. 1974. Managerial Accounting, Concepts and Uses. Allyn and Bacon, Boston.
59. Scott, A. 1966. Natural Resources: The Economics of Conservation. University of Toronto Press, Toronto.
60. Shillinglaw, G. 1964. Divisional Performance Review: An Extension of Budgetary Control. In Bonini, C. P., Jaedicke, R. K. and Wagner, H. M. (editors): Management Controls. McGraw-Hill, New York.
61. Solomons, E. 1965. Divisional Performance, Measurement and Control Irwin Homewood, Ill.
62. Stigler, G. J. 1972. The Theory of Price MacMillan, New York, 1972.
63. U. S. Department of Labor. Bureau of Labor Statistics. Wholesale Prices and Price Indices [monthly], 1952—1971. Washington D. C.
64. Walker, J L. 1971. An Economic Model for Optimizing the Rate of Timber Harvesting. Unpublished dissertation University of Washington, Seattle.
65. Whinston, A. 1964. Price Guides in Decentralizations. In Cooper, W. W., Leavitt, H. and Shelly, M. W. (editors): New Perspectives in Organization Research. Wiley, New York.

HAJAUTETUN METSÄTEOLLISUUSYRITYKSEN SISÄINEN RAAKAPUUN SIIRTOHINNOITTELU

Seloste

Tutkimuksen tavoitteet

Tämä tutkimus on kvantitatiivinen organisaatioanalyysi, joka keskittyy sisäisen siirtohinnoittelun ongelmaan hajautetussa metsäteollisuusyrityksessä. Yritys koostuu itsenäisistä tulos- ja päätäntäyksiköistä, metsä- ja tehdasosastosta. Keskusjohto koordinoi niiden toimintaa asettamalla metsäosastosta tehdasosastolle siirtyvälle puulle siirtohinnat. Koordinoinnin tavoitteena on puun allokointi metsästä tehtaille siten, että osastojen yhteenlaskettu voitto maksimoituu.

Tutkimuksen *päätavoitteena on testata* talousteorian *hypoteesi, jonka mukaan* voittoa maksimoivassa yrityksessä välituotteiden *sisäisten siirtohintojen tulisi noudattaa* niiden *markkinahintoja.* Testaus tapahtuu tyypillisessä Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyrityksessä. Sen välituote on metsäosastolta tehdasosastolle siirtyvä puu. Markkinahinta on tässä tapauksessa toisilta yrityksiltä toimitusostoina saatavan tai niille toimitusmyyntinä luovutettavan puun hinta.

Laskentajakson pituus on vuosineljännes. Hakkuita koskevissa päätöksissä otetaan kuitenkin huomioon viiden vuoden ajanjakso. Ensin ratkaistaan keskitetyn yrityksen puun hankinnan ongelma. Keskitetyssä organisaatiossa täydellisen tietämyksen vallitessa syntyvä, suurin mahdollinen voitto on globaalinen optimi, johon sisäisellä siirtohinnoittelulla pyritään.

Tietokoneella suoritetuissa kokeissa tutkitaan siirtohintavaihtoehtoja kolmessa erilaisessa hajautetussa organisaatiossa. Siirtohinnat noudattavat joko toimituskauppojen markkinahintoja, puun hankintakustannuksia tai lopputuotteista johdettua puun arvoa tehtaille. Nämä kolme hinnoitustyyppiä ovat käytössä yleisimmät. (1) Ensimmäisessä organisaatiossa tehdasosasto valitsee. Se pääasiassa määrää, onko sen käyttämä puu peräisin metsäosastolta vai muilta yrityksiltä. Se päättää metsäosastolta tulevan puun puutavaralajijakaumasta. (2) Toisessa organisaatiossa metsäosasto on vallitseva. Se ratkaisee, onko tehtaille toimitettava puu hankittava itse vai ostettava muilta yrityksiltä. Se myös ensikädessä päättää toimitettavan puun puutavaralajijakaumasta. (3) Kolmannessa organisaatiossa metsäosasto määrää mistä tehtaiden käyttämä puu tulee, kun taas tehdasosasto päättää puutavaralajijakaumasta. Tutkimuksen *sivutavoitteet* ovat:

1) optimaalisten siirtohinnoittelutyyppien löytäminen kaikille kolmelle organisaatiolle varmuuden vallitessa
2) optimaalisten siirtohinnoittelutyyppien parhaiden tasojen löytäminen kaikille kolmelle organisaatiolle varmuuden vallitessa
3) kyseisten organisaatioiden asettaminen hyvyysjärjestykseen varmuuden vallitessa
4) analysoida sisäistä siirtohinnoittelua epävarmuuden vallitessa, kun yrityksen johto maksimoi voiton odotusarvoa, tai utiliteetin olessa epälineaarinen voiton funktio, utiliteetin odotusarvoa
5) esittää puun hankintaongelman yksityiskohtainen matemaattinen muotoilu niitä voittoa tai utiliteettia maksimoivia yrityksiä varten, jotka haluavat itse löytää optimaaliset sisäiset siirtohinnat omia laskentatilanteitaan varten.

»Optimaalisuuden» tai »hyvyyden» kriteerinä sivutavoitteissa 1—3 on osastojen yhteenlaskettu voitto. Sen ja globaalisesti optimaalisen voiton erotus lasketaan. Tarkoituksena on löytää sellainen siirtohinta ja organisaatio, jotka minimoivat kyseisen erotuksen. Erotus aiheutuu epätoiminnallisista päätöksistä, jotka johtuvat yrityksen johdon ja osastopäälliköiden tavoitteiden ristiriitaisuuksista. Vaihtoehtoisten siirtohintojen ja organisaatioiden vaikutus yrityksen henkilökunnan käyttäytymiseen yleensä ei kuulu tämän selvityksen piiriin. Se on laaja tutkimusaihe sinänsä.

Sivutavoitteet 4 ja 5 liittyvät tätä julkaisua seuraaviin jatkotutkimuksiin. Siirtohinta-analyysiä epävarmuuden vallitessa käsitellään esimerkinomaisesti. Tarkoituksena on osoittaa epävarmuusanalyysin tekemisen tärkeys ja esitellä laskelmien kulku. Koska tämän tutkimuksen tulokset liittyvät vain yhdenlaatuiseen metsäteollisuusyritykseen, on kaikki laskelmat esitetty yksityiskohtaisesti, jotta yritykset voisivat itse tarpeen vaatiessa tehdä omat siirtohinta-analyysinsä.

Tutkimuksen kulku

Käytäntö

Tutkimuksen luvussa 2 esitetään yritysmaailmassa yleensä ja erityisesti Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyrityksissä käytössä olevia siirtohintavaihtoehtoja. (1) Ylivoimaisesti yleisin näistä on hankintakustannusarvon mukainen hinnoittelu. Joskus tätä arvoa kutsutaan (virheellisesti) puun tehdashinnaksi. (2) Seuraavaksi yleisin on toimituskauppojen perusteella tapahtuva markkinahinnoittelu. Tällöin siirtohinnat eivät tavallisesti noudata tarkasti markkinahintatasoa, vaan ovat hieman niiden alapuolella. (3) Öljy-yhtiöt soveltavat jakeluasemille toimitettavan öljyn siirtohinnoittelussa arvoa, joka saadaan vähentämällä asiakkaan maksamasta hinnasta jakeluaseman kustannukset. Metsäteollisuusyrityksissä tämä vastaa puun tehdasarvoa. Tehdasarvo lasketaan vähentämällä puun lopputuotteiden myyntihinta-arvosta tehdasjalostuksen muuttuvat kustannukset tai muuttuvat ja kokonaiskustannukset.

Joissain yrityksissä siirtohinnat voivat syntyä osastopäällikköjen neuvottelujen tuloksena. Tällaiset kaupanhieronnan tuloksena syntyvät siirtohinnat johtavat helposti epätaloudelliseen puunhankintaan koko yrityksen kannalta. Yrityksen johto voi joissain tapauksissa soveltaa eri hintaa metsä- ja tehdasosastolle. Kysymyksessä saattaa olla pyrkimys lisätä tai vähentää jonkin puutavaralajin sisäistä kysyntää tai tarjontaa koko yrityksen edun mukaisesti. Käytäntö on osoittanut, että tällainen hintadiskriminaatio johtaa osastopäällikköjen välien huonontumiseen ja vaikeuttaa puun hankinnan kitkatonta toteutumista. Tässä tutkimuksessa keskitytään kolmen ensinmainitun hinnoittelun, *markkina-*, *kustannus-* ja *tehdasarvohinnoittelun* vertailuun.

Teoria

Siirtohintojen teoriaa tarkastellaan luvussa 3. Aluksi johdetaan puun sisäisen kysynnän ja tarjonnan käyrät, kun ostajana on yksi tehdasosasto ja myyjänä yksi metsäosasto. Yhden puutavaralajin optimaalisia sisäisiä siirtohintoja tarkastellaan tilanteessa, jossa toimituskauppamarkkinoita ei ole tai markkinoilla on epätäydellinen kilpailu. Sen jälkeen siirrytään analysoimaan optimaalisia sisäisiä siirtohintoja, kun markkinoilla on täydellinen kilpailu. Markkinahinnoittelu osoittautuu parhaaksi hinnoittelun muodoksi. Jos siitä poiketaan, yritys menettää tuloja. Sama johtopäätös seuraa myös silloin, kun tehdas- tai metsäosastoja on useampia kuin yksi. Yhden puutavaralajin siirtohinta-analyysi suoritetaan graafisesti. Mutta kun puutavaralajeja on useampia, graafinen esitystapa kaksiulotteisena on riittämätön. Riittämätön on myös differentiaali- ja integraalilaskenta siirtohintojen analysoimiseksi. Matemaattisen ohjelmoinnin varjohinta-analyysiä on usein vaikea toteuttaa ja varjohintoja käytännössä hankala käyttää hyväksi.

Talousteoria ei ole pystynyt täysin aukottomasti osoittamaan, mitkä ovat metsäteollisuusyrityksen optimaaliset sisäiset siirtohinnat silloin, kun allokoitavia puutavaralajeja on monta. Kirjallisuuden perusteella tullaan kuitenkin seuraavaan ehdotukseen sisäisen siirtohinnoittelun yleissäännöksi:

puutavaran siirtohinnan tulisi olla sen hankintakustannusten ja puun sisäisestä siirrosta koko yritykselle aiheutuvien vaihtoehtoiskustannusten summa. Vaihtoehtoiskustannus aiheutuu siitä, että puun myymisestä toimituskauppoina toisille yrityksille pidättäydytään. Se on myynti- eli markkinahinnan ja puunhankintakustannusten ero. Puun hankintakustannusten ja vaihtoehtoiskustannusten summa on siten markkinahinta. Talousteorian hypoteesinä voidaan siis esittää, että voittoa maksimoivan metsäteollisuusyrityksen *paras sisäinen siirtohinta on* sen *markkinahinta.*

Koe

Hypoteesi testataan tyypillisessä Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyrityksessä. Tämä tapahtuu luvussa 4. Esimerkiksi on otettu Bohemia-yhtiö, jolla on saha ja vaneritehdas Coburgissa, Oregonissa. Tehtaiden ja metsäosaston kapasiteetit, tuottavuudet, sekä muuttuvat ja kiinteät tuotantokustannukset ja verot ovat peräisin pääasiassa yhtiön kirjanpidosta. Tietoja kerätessä on käynyt ilmi, miten vähän kyseisellä yrityksellä on tietoja kustannuksista ja tuottavuuksista, vaikka alueen oloissa sen sisäinen kirjanpito on erinomainen. Siksi yksityiskohtaisia puutavaralajeittaisia kustannustietoja on jouduttu kokoamaan muilta vastaavanlaisilta yhtiöiltä sekä hinta- ja tuottavuustietoja aluetta koskevista julkaistuista tutkimuksista. Kaiken kaikkiaan esimerkkiyritys edustaa hyvin keskisuuria Douglas-kuusta raaka-aineena käytettäviä länsirannikon metsäteollisuusyrityksiä.

Kuva 13 esittää puun hankinta- ja käyttöongelman. Metsäosaston käytössä on 21 ostoleimikkoa ja 9 omien metsien leimikkoa. Näistä saadaan viisi puutavaralajia, jotka voidaan toimittaa joko sahalle, vaneritehtaalle tai myydä toimituskauppoina muille yrityksille. Paperipuu on joka tapauksessa myytävä. Puuta myös ostetaan suoraan tehtaille toimitettuna muilta yrityksiltä. Saha tuottaa neljää sahatavara- ja vaneritehdas neljää vanerilaatua. Lisäksi prosessissa syntyy jätettä. Lopputuotteet markkinoidaan siten, että ensisijassa pyritään toimittamaan asiakkaiden jo tekemät tilaukset, joiden määrät ja hinnat on tarkkaan määritelty. Seuraavaksi varaudutaan odotettavissa oleviin tilauksiin. Niistä tiedetään minimimäärät ja hinta-arviot. Lisäksi tavaraa valmistetaan varastoon. Varastoon valmistamista säätelevät säilytystilojen suuruus ja arvioidut myyntihinnat. Suunnittelun aikahorisontti on kolme kuukautta. Hakkuupäätökset tehdään yleensä pitemmällä tähtäyksellä. Hakkuiden vaihtoehtokustannuksia laskettaessa tarkastellaankin viiden vuoden jaksoa lukujen 312 ja 442 sekä liitteen 23 osoittamalla tavalla. Laskelmissa käytetään historiallisia, vuosien 1967-71 hintoja, eikä 1976—80 hintoja, jotta vältyttäisiin hintaennusteiden tekemiseltä. Hintojen ennustaminen on oma tutkimusongelmansa. Perusvuodeksi valittiin 1967, koska haluttiin välttää vuoden 1972 hintasäännöstelyn aiheuttamat markkinahintojen epäsäännöllisyydet.

Laskelmat on tehty käyttämällä lineaarista ohjelmointia. Lineaarisen ohjelmoinnin menetelmälliset rajoitukset havaittiin käytännön ammattimiesten kanssa käydyissä keskusteluissa vähäisiksi sen tarjoamien etujen rinnalla. Sen ratkaisut ovat optimaalisia, kun esimerkiksi simuloinnin ratkaisut ovat pelkästään käypiä. Esitutkimuksessa Fortran-simulointi osoitti, että optimointirutiinin sisällyttäminen laskentamalliin tekee siitä suuren ja käytössä kalliin. Lineaarisen ohjelmoinnin ilmeisistä eduista johtuen se on ollut pääasiallinen operaatiotutkimuksen menetelmä resurssien allokointiongelmien ratkaisussa. Lineaarinen ohjelmointi on havaittu myös metsäteollisuusyrityksissä käyttökelpoiseksi puun allokoinnin ratkaisumenetelmäksi. Siksi sitä on sovellettu tässä tutkimuksessa.

Tulokset

Tulokset varmuuden vallitessa

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että hajautettua päätöksentekoa soveltavassa metsäteollisuusyrityksessä *optimaalinen sisäinen siirtohinta ei ole aina* yritysten välillä tapahtuvien toimituskauppojen *markkinahinta.* Talousteorian hypoteesi, jonka testaaminen on tämän tutkimuksen päätavoite, ei siten välttämättä pidä paikkaansa. Optimaalinen sisäinen siirtohinta riippuu organisaatiosta ja yri-

tyksen mahdollisuuksista hankkia tarvitsemansa puu itse. Tämä nähdään luvun 446 taulukosta 6, joka sisältää laskelmien yhteenvedon varmuuden vallitessa.

Kun tehdasosasto vallitsee puun allokointia, optimaaliset *puutavaran siirtohinnat voivat olla markkinahintoja pienemmät tai suuremmat* riippuen siitä, ovatko yrityksen mahdollisuudet hankkia tarvitsemansa puu itse hyvät vai huonot (sarake 1). Kun metsäosasto on vallitseva osapuoli, *puun siirtohinnan tulisi olla sen hankintakustannus*. Optimaalisen siirtohinnan vaihteluväli on tällöin suuri. Optimaalinen siirtohinta on sitä suurempi, mitä niukemmat ovat yrityksen omat puunhankintamahdollisuudet (sarake 2). Kun puun allokoinnin päätösvalta on jaettu osastojen kesken, *puuravaralajien siirtohintojen tulisi noudattaa niiden markkinahintoja*. Optimaalisten siirtohintojen vaihteluväli on suuri erityisesti silloin, kun yrityksen omat puunhankintamahdollisuudet ovat hyvät. Kun omat hankintamahdollisuudet ovat erityisen huonot, sisäisten *siirtohintojen tulisi olla markkinahintoja korkeammat* (sarake 3).

Tuloksista ilmenee, että ensiksi- ja viimeksimainitussa organisaatiossa puutavaralajien siirtohintojen on noudatettava niiden suhteellisia markkinahintoja. Siirtohinnat voivat tasoltaan jonkin verran poiketa markkinahinnoista. Kun metsäosasto on vallitseva, siirtohintojen on oltava samat kaikille puutavaralajeille. Lopputuotteiden myyntihintojen ja puun jalostuskustannusten perusteella lasketut tehdasarvosiirtohinnat tuottavat organisaatiosta riippumatta yritykselle huomattavasti pienemmän voiton kuin yllämainittu optimaalinen siirtohinnoittelu.

Laskelmat osoittavat, että mitä niukemmin yrityksellä itsellään on puuta käytettävissä, sitä vähemmän tärkeätä on pitäytyä sisäisen siirtohinnoittelun optimitasossa. Myöskään hinnoittelutyypin valinnalla ei ole suurta merkitystä, kun yrityksellä on puute itse hankittavasta puusta ja se joutuu turvautumaan toimitusostoihin. Organisaatioiden välinen vertailu osoittaa, että *paras* niistä *on jaetun päätösvallan organisaatio*, kun sen siirtohinnat ovat markkinahintoja. Yrityksen voitto saattaa tällöin olla hyvin lähellä globaalista optimia. Kyseisessä tilanteessa osastopäälliköiden tavoitteet ovat vähiten ristiriidassa yrityksen johdon tavoitteiden kanssa. Hajautuksesta aiheutuu hyvin pieniä voiton menetyksiä. Jaetun päätösvallan organisaatio on tutkimusalueen metsäteollisuusyrityksissä kolmesta vaihtoehdosta tavallisin. Keskimäärin yritykset pystyvät hankkimaan suurimman osan tarvitsemastaan puusta itse. Yhteenvetona voidaan siten todeta, että tyypillisessä Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyrityksessä talousteorian *hypoteesi pitää paikkansa* varmuuden vallitessa.

Tulokset epävarmuuden vallitessa

Edellä esitetyt tulokset koskevat siirtohinnoittelua, kun puun allokointiin liittyvät kustannukset, hinnat ja tuottavuudet oletetaan varmuudella tunnetuiksi. Laskelmiin liittyy runsaasti herkkyysanalyysejä. Niiden perustella voidaan päätellä, että myös epävarmuuden vallitessa markkinahinnat ovat optimaaliset puun sisäiset siirtohinnat, kun tehdasosasto määrää puun allokoinnista. Kun taas metsäosasto määrää puun allokoinnista parhaan tuloksen antaa hankintakustannushinnoittelu. Suurin hankinnan epävarmuustekijä on puun ja lopputuotteiden markkinahintataso. Odotettavissa oleva yrityksen voitto voidaan arvioida tarkasti muuttuvissa hintaolosuhteissa, kun siirtohinnat ovat puunhankintakustannuksia ja metsäosasto on vallitseva puun allokoinnin osapuoli. Tämä odotettavissa oleva voitto on suhteellisen pieni. Toisaalta kun päätösvalta on jaettu ja erityisesti kun tehdasosasto on vallitseva osapuoli ja siirtohinnat noudattavat markkinahintoja, yrityksen odotettavissa oleva voitto on arvioitavissa epätarkasti. Tämä odotettavissa oleva voitto on suhteellisen suuri.

Siirtohinnan ja organisaation valinta riippuu yrityksen johdon suhtautumisesta toisaalta voiton odotusarvoon ja toisaalta riskiin, joka liittyy voiton saavuttamiseen. Tehtyjen haastattelujen perusteella metsäteollisuusyritysten johto pyrkii välttämään riskiä. Vielä tärkeämpänä se pitää odotettavissa olevan voiton korkeutta. Luvussa 5 on käyty siirtohinta-analyysin vaiheet lävitse esimerkin valossa. Siinä todetaan herkkyyslaskelmien tärkeys siirtohintojen määrittämiseksi. Yhteenvetona voidaan todeta, että ilmeisesti myös epävarmuuden vallitessa suurin osa Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyritysten johtoa valitsisi *markkinahintojen mukaisen siirtohinnoittelun ja jaetun päätösvallan organisaation*, jos se soveltaisi hajautettua päätöksentekoa.

Tulosten yleistettävyys

Sisäistä siirtohinnoittelua koskeva kirjallisuus on luonteeltaan teoreettista. Talousteorian hypoteeseja ei ole testattu käytännön yrityksissä. Kokeellisten tutkimusten tekeminen on vaikeata jo yksin sen vuoksi, että testauksen kohteena ovat laajat systeemit, joiden osien väliset riippuvuudet ovat monimutkaiset. Tämä tutkimus on kokeellinen, mutta kustannusten säästämiseksi se on jouduttu rajoittamaan vain yhteen esimerkkiin. Ratkaisematta jää, missä määrin sen tulokset ovat, yleistettävissä. Luvussa 6 on pyritty vastaamaan tähän kysymykseen kolmessa osassa, selvittäen tulosten soveltuvuutta (1) Pohjois-Amerikan länsirannikon metsäteollisuusyrityksiin (2) metsäteollisuusyrityksiin yleensä ja (3) yrityksiin yleensä.

Esimerkkiyritys on tyypillinen Pohjois-Amerikan länsirannikon yhtiö, joka edustaa pientä ja keskisuurta metsäteollisuutta. Sen kaltaisia yrityksiä on paljon runsaammin kuin suuria yhtiöitä, joilla on omat, niille ominaiset ongelmansa. Kirjoittajan kanta on, että tutkimuksen *tulokset pitävät paikkansa* useimpiin ryhmän (1) yrityksiin nähden. Kuvan 13 allokointiongelma on pääpiirteittäin sama metsäteollisuusyrityksillä yleensä. Puuta on saatavissa useilta alueilta joko ostamalla tai hakkaamalla omia metsiä. Puu korjataan ja kuljetetaan yrityksen omiin tehtaisiin tai myydään muille yhtiöille. Puuta saadaan suoraan tehtaille myös toimitusostoina. Tutkimuksen tulosten sovellettavuus riippuu siitä suhtautuvatko muiden yritysten kustannus-, hinta- ja tuottavuusluvut toisiinsa samalla tavalla kuin esimerkkiyrityksen vastaavat luvut. Kirjoittajan käsitys on, että esimerkkiyrityksen tyyppisissä yhtiöissä tulokset ovat saman suuntaiset kuin tässä tutkimuksessa niiden sijainnista riippumatta. *Pääpiirteittäin* tutkimuksen *tulokset pitänevät paikkansa* useimpiin ryhmän (2) yrityksiin nähden.

Tämän tutkimuksen puun allokointiongelma muistuttaa minkä tahansa vertikaalisesti integroituneen yrityksen välituotteiden kohdentamisongelmaa. Luvun 3 teoreettisessa analyysissä käytetyt sanat »metsäosasto» ja »tehdasosasto» voidaan korvata sanoilla »hankkijaosasto» ja käyttäjäosasto». Kyseiset analyysit ovat yleistettävissä kaikkiin hajautettua päätöksentekoa soveltaviin yrityksiin. Testatakseen talousteorian hypoteesin yritysten johto joutuisi suorittamaan samantapaisia kokeita kuin tässä tutkimuksessa on tehty. Kokeissa ilmeisesti käytettäisiin samanlaisia ratkaisumenetelmiä kuin tässä julkaisussa, koska ongelmatkin ovat yhtenevät. Liitteissä 1 ja 3 esitetyt mallit ovat epäilemättä ongelmien matemaattisessa muotoilussa hyödyksi. Riippuen yritysten tuotantofunktion rakenteesta tämän tutkimuksen *päätulokset saattavat pitää tai olla pitämättä paikkaansa* ryhmän (3) yrityksissä. Yritysten johdon päätettäväksi jää toteuttavatko ne siirtohinta-analyysinsä itse, vai pitäytyvätkö tämän tutkimuksen tuloksiin.

Appendix 1. LINEAR PROGRAM FORMULATIONS

Appendix 11. Corporate Program

The classical mathematical log allocation problem for a centralized firm is of the following general form (cf. J e n n e r g r e n 1972, p. 1).:

(A) Maximize

$$(0) \quad \sum_{k=0}^{K} t_k (x_k)$$

subject to

$$(1) \quad x_k \in X_k, \text{ for } k = 0, \ldots, K$$

$$(2) \quad \sum_{k=1}^{K} g_k (x_k) \leq a$$

where

x_k = vector of the (j = l, . . . ,J) classes of logs to be allocated from the timber department (k = O) to the milling departments (k = l, . . . ,K)
$t_k (x_k)$ = profit function of department k
X_k = the set of feasible log allocations of department k
$g_k (x_k)$ = log requirement vector for classes j = l, . . . ,J of the (k = l, . . . ,K) milling departments
a = vector of the (j =l, . . . ,J) log classes available

The corporate profit is the sum of the departmental net revenues which can be linear or nonlinear functions of the logs allocated. Constraints (1) indicate the feasible log allocations to the timber department and mill departments. Constraints (2) show the availabilities of logs.

When the objective function and constraints are linear the problem becomes (cf. D a n t z i g 1963, p. 448):

(B) Maximize

$$(0) \quad \sum_{k=0}^{K} p_k x_k$$

subject to

$$(1) \quad B_k x_k \leq b_k \quad \text{for } k = 0, \ldots, K$$

$$(2) \quad \sum_{k=1}^{K} A_k x_k \leq a$$

where

p_k = vector of department k net revenues for the (j = l, . . . ,J) classes of logs x_k, k = O, . . .,K

B_k = department k requirement coefficient matrix for the departmental resources, k = O,. . .,K

b_k = vector of department k resources, k = O, . . . ,K

A_k = milling department k log requirement coefficient matrix, k = l, . . . ,K

x_k, a = as for problem (A)

Coefficients p_k for the mills ($k = 1,\ldots,K$) indicate the net revenue per log unit from processing logs and selling end products. For timber department ($k = 0$) they denote the wood procurement costs for internal deliveries and net revenues for purchasing logs. The first constraint set shows again the departmental resource (labor, machine capacity, etc.) availabilities, and the second constraints the availabilities of the scarce corporate resource, logs.

The corporate program for the centralized case firm log allocation is based on the general structure of formulation (*B*) but much more detailed:

(C) Maximize

$$\text{(0)}\quad \overbrace{\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} ep_{kmn}\, e_{kmn}}^{\text{end product sales revenues}}$$

$$-\overbrace{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (pc_{jk} + hc_{ijk})\, x_{ijk}}^{\text{processing and acquisition costs of internal logs}}$$

$$-\overbrace{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (pc_{jk} + mp_j)\, x_{ojk}}^{\text{processing and acquisition costs of external logs}}$$

$$+\overbrace{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} (mp_j - sc_j - hc_{ijo})\, x_{ijo}}^{\text{net revenues from external sales of harvested logs}}$$

subject to

$$\left.\begin{aligned}\text{(1a)}\quad &\sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \leq EU_{mn}\\ \text{(1b)}\quad &\sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \geq EL_{mn}\end{aligned}\right\} \text{ for } m = 1,\ldots,M;\ n = 1,\ldots,N \qquad \text{end product orders}$$

$$\text{(2)}\quad \sum_{n=1}^{N} e_{kmn} - \sum_{j=1}^{J} r_{jkm} \sum_{i=0}^{I} x_{ijk} = 0 \qquad \text{recoveries}$$

$$\text{for } k = 1,\ldots,K;\ m = 1,\ldots,M$$

$$(3)\quad \sum_{j=1}^{J} t_{jk} \sum_{i=0}^{I} x_{ijk} \leq T_k \text{ for } k = 1, \ldots, K \qquad \text{processing times}$$

$$(4)\quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq X_{ij} \text{ for } i = 1, \ldots, I;\ j = 1, \ldots, J \qquad \text{log availability on tracts}$$

$$(5)\quad \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} mp_j\, x_{0jk} \leq F \qquad \text{external log availabilities}$$

$$(6)\quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} - d_{ij} \sum_{k=0}^{K} x_{ij+1k} = 0 \qquad \text{tract log class structure}$$

$$\text{for } i = 1, \ldots, I;\ j = 1, \ldots, J-1$$

$$(7a)\quad \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq XU$$

$$(7b)\quad \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \geq XL$$

maximum and minimum harvest

where the variables are:

e_{kmn} = processing of end product m at mill k for market n, MBM — k = l, . . . ,K; m = l. . . .M n = l, . . . ,N; (K = no. of mills)

x_{ijk} = harvesting of class j logs in tract i (i = l ,. . . ,I) for mill k (k = l, . . . ,K), or purchasing of class j logs from outside market (i = O) ,for mill k (k = l, . . .,K), or harvesting of class j logs in tract i (i = l, . . . ,I) for outside market (k = O), MBF — i = O, . . . ,I; j = l, . . . ,J; k = O, . . . ,K

where the objective function coefficients are:

ep_{kmn} = net selling price of end product m at mill k for market n, $/MBM
pc_{jk} = log class j processing cost at mill k, $/MBF
hc_{ijk} = log class j harvesting cost in tract i for destination k, $/MBF
mp_j = log class j market price, $/MBF
sc_j = cost of selling class j logs to outside market, $/MBF

where the constraint coefficients are:

r_{jkm} = recovery of end product m from class j logs at mill k, MBM/MBF
t_{jk} = log class j processing time at mill k, shifts/MBF
d_{ij} = ratio of log class quantity to log class j + l quantity in tract i (= X_{ij}/X_{ij+1})

where the constraint right-hand-side constants are:

EU_{mn} = maximum demand of end product m in market n, MBM
EL_{mn} = minimum demand of product m in market n, MBM
T_k = total number of eight-hour shifts available during the planning period at mill k
X_{ij} = amount of class j logs available in tract i, MBF
F = total amount of money at which outside market logs can be purchased, $
XU = maximum desired total harvest, MBF
XL = minimum desired total harvest, MBF

The objective function in this formulation is more complex than that of problem (*B*). The firm's revenues result from end product sales (first term) and log sales to other firms (fourth term). The possibility of log sales was missing from the classical resource allocation formulations of (*A*) and (*B*). The costs consist of harvesting and processing costs and costs of purchasing logs from the outside market (second and third terms). The first, »divisional», constraint set for the mills of problem (*B*) is represented by constraints (1a)-(3). It is hard to make a distinction between timber division and »corporate» constraints. Closest to »corporate» constraints of log availability as we saw them in the first constraint set of problem (*B*) are constraints (4), (5) and (7b). Constraints (6) and (7a) would then be wood procurement »divisional» constraints. Constraints (6) guarantee that all log classes of the tracts are cut in their existing proportions. None of the log classes can be cut without cutting others. In centralized log allocation problem (*C*) is solved and the allotments are announced by the headquarters.

Appendix 12. Divisional Programs under Dominance Organizations

Appendix 121. Mill Dominance

When the mills are dominant they determine their internal log demand given transfer prices. Timber division has to deliver the logs demanded through harvesting of timber tracts. Mills buy logs from the outside market. Under mill dominance, the *milling division* has the following log allocation linear program:

(A) Maximize

$$\text{(0)} \quad \overbrace{\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} ep_{kmn}\, e_{kmn}}^{\text{sales revenues}}$$

$$- \overbrace{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (pc_{jk} + tp_{jk})\, x_{ijk}}^{\text{processing and acquisition costs of internal logs}}$$

$$- \overbrace{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (pc_{jk} + mp_j)\, x_{ojk}}^{\text{processing and acquisition costs of external logs}}$$

subject to

$$\left.\begin{aligned} &\text{(1a)} \quad \sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \leq EU_{mn} \quad \text{for } m = 1, \ldots, M; \\ &n = 1, \ldots, N \\ &\text{(1b)} \quad \sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \geq EL_{mn} \quad \text{for } m = 1, \ldots, M; \\ &n = 1, \ldots, N \end{aligned}\right\} \text{end product orders}$$

$$(2)\quad \sum_{n=1}^{N} e_{kmn} - \sum_{j=1}^{J} r_{jkm}\,(x_{1jk} + x_{ojk}) = 0 \qquad \text{recoveries}$$

$$for\ k = 1, \ldots, K;\ m = 1, \ldots, M$$

$$(3)\quad \sum_{j=1}^{J} t_{jk}\,(x_{1jk} + x_{ojk}) \leq T_k \quad for\ k = 1, \ldots, K \qquad \text{processing times}$$

$$(4)\quad \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} mp_j\, x_{ojk} \leq F \qquad \text{external log availability}$$

$$(5)\quad \sum_{k=1}^{K} x_{1jk} \leq X_j \quad for\ j = 1, \ldots, J \qquad \text{internal log availability}$$

$$(6)\quad \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{1jk} \geq XL \qquad \text{minimum harvest}$$

where the variables are:

e_{kmn} = processing of end product m at mill k for market n, MBM — k = 1, . . . ,K; m = 1, . . ., M; n = 1, . . . ,N
x_{1jk} = class j logs delivered internally for mill k, MBF — j = 1, . . . ,J; k = 1, . . . ,K
x_{0jk} = class j logs purchased from outside market for mill k, MBF — j = 1, . . . ,J; k = 1, . . . ,K

where the constants are:

ep_{kmn}, pc_{jk}, r_{jkn}, t_{jk} as in the corporate program, Appendix ll. (C)
tp_{jk} = log class j transfer price for mill k, $/MBF
mp_j = log class j market price, $/MBF
EU_{mn}, EL_{mn}, T_k, F, XL as in the corporate program, Appendix 11. (C)
X_j = maximum amount of class j logs available through harvest, MBF

In this formulation the objective function lacks the detailed tract-by-tract log class variables of the corporate program. Milling division revenues and costs result from sales of end products and purchases of internal or external logs. All the internally delivered logs are gathered under x_1. .-variables. The cost of buying these logs equals to transfer prices tp. . . The externally purchased logs are denoted by variables x_0. . and their prices by mp. as in the corporate program of Appendix 11. (C). Constraints (1a)-(3) are the same as milling constraints (1a)-(3). Constraint (4) here shows the availability of outside market logs as (5). Restraints (5) and (6) are guidelines to wood acquisition which guarantee feasible harvesting by the timber division.

Under mill dominance the *timber division* has the following log allocation linear program:

(B) Maximize

net revenues from internal deliveries of harvested logs

$$(0)\quad \overbrace{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}(tp_{jk}-hc_{ijk})\,x_{ijk}}$$

net revenues from external sales of harvested logs

$$+\overbrace{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(mp_j-sc_j-hc_{ijo})\,x_{ijo}}$$

subject to

$$(1)\quad \sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \leq X_{ij} \text{ for } i=1,\ldots,I;\ j=1,\ldots,J$$

log availability in tracts

$$(2)\quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} - d_{ij}\sum_{k=0}^{K} x_{ij+1k} = 0 \text{ for } i=1,\ldots,I;\ j=1,\ldots,J-1$$

tract log class structure

$$(3a)\quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq XU$$

$$(3b)\quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \geq XL$$

maximum and minimum harvest

$$(4)\quad \sum_{i=1}^{I} x_{ijk} = X_{jk} \text{ for } j=1,\ldots,J;\ k=1,\ldots,K$$

mills' demand

where the variables are:

x_{ijk} = harvesting of class j logs in tract i for mill k (k = 1, . . . ,K), or harvesting of class j logs in tract i for outside market (k = O), MBF — i = 1, . . . ,I; j = 1, . . . ,J; k = O, . . . ,K

where the constants are:

tp_{jk} = log class j transfer price for mill k deliveries, $/MBF
mp_j, hc_{ijk}, sc_j, d_{ij} as in the corporate program, Appendix 11. (C)
X_{ij}, XU, XL as in the corporate program, Appendix 11. (C)
x_{jk} = log class j internal demand by mills [comes from the optimal solution of program (A)], MBF

Timber division revenues and costs result from internal deliveries and sales to the outside market of harvested logs. Restraints (1)-(3b) are wood procurement constraints (4), (6), (7a), (7b) of the corporate program in Appendix 11. (C). Restraints (4) are the internal log demands enforced by the mills.

Appendix 122. Timber Dominance

When the timber division is dominant it determines the internal log supply. Its sources of logs are timber tracts and outside market. Mills have to use the logs supplied. The *timber division* has the following log allocation linear program:

(C) Maximize

net revenues from internal deliveries of harvested logs

$$(0)\quad \overbrace{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}(tp_{jk}-hc_{ijk})\,x_{ijk}}$$

net revenues from internal deliveries of purchased logs

$$+\overbrace{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}(tp_{jk}-mp_{j})\,x_{oik}}$$

net revenues from external sales of harvested logs

$$+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(mp_{j}-sc_{j}-hc_{ijo})\,x_{ijo}$$

subject to

$$(1)\quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq X_{ij} \text{ for } i=1,\ldots,I;\ j=1,\ldots,J$$

log availavility in tracts

$$(2)\quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} - d_{ij}\sum_{k=0}^{K} x_{ij+1k} = 0$$

$$\text{for } i=1,\ldots,I;\ j=1,\ldots,J\text{-}1$$

tract log class structure

$$(3a)\quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq XU$$

$$(3b)\quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \geq XL$$

maximum and minimum harvest

$$(4)\quad \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} mp_{j}\,x_{ojk} \leq F$$

external log availability

$$(5)\quad \sum_{i=0}^{I}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} = X_{k} \text{ for } k=1,\ldots,K$$

mill capacity

$$(6)\quad \sum_{i=1}^{I} x_{ijk} \geq X_{jk} \text{ for } j=1,\ldots,J;\ k=1,\ldots,K$$

mill minimum log requirements

where the variables are:

x_{ijk} = harvesting of class j logs in tract i (i = l, . . .,I) for mill k (k = l, . . . ,K), or purchasing of class j logs from outside market i (i = l, . . . ,I) for mill k (k = l, . . .,K), or harvesting of class j logs in tract i (i = l, . . . ,I) for outside market k (k = O), MBF — i = O, . . . ,I; j = l, . . .,J; k = O, . . . ,K

where the constants are:

tp_{jk}, mp_j, hc_{ijk}, sc_j as in (B)
d_{ij} as in (B)
X_{ij}, XU, XL, X_k as in (B)
X_{jk} = amount of class j logs needed by mill k to satisfy the unfilled end product orders, MBF
F as in (A)
X_k = amount of logs needed to fill mill k capacity, MBF

Timber division revenues and costs result from internal deliveries of harvested or purchased logs, and outside market sales of harvested logs. Restraints (1)-(3b) are the same wood procurement constraints as in program (B). Constraint (4) shows the availability of outside market logs as (4) in program (A). Restraints (5) and (6) are guideline constraints of milling which guarantee that enough logs are available to fill the existing end product orders, and that mills' current capacities are fully utilized.

Under timber dominance the *milling division* has the following log allocation linear program:

(D) Maximize

$$\text{(0)} \quad \overbrace{\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} ep_{kmn}\, e_{kmn}}^{\text{sales revenues}} - \overbrace{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (pc_{jk} + tp_{jk})\, x_{jk}}^{\text{processing and acquisition costs of logs}}$$

subject to

$$\text{(1a)} \quad \sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \leq EU \text{ for } m = 1,\ldots,M;\ n = 1,\ldots,N$$

$$\text{(1b)} \quad \sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \geq EL \text{ for } m = 1,\ldots,M;\ n = 1,\ldots,N$$

} end product orders

$$\text{(2)} \quad \sum_{n=1}^{N} e_{kmn} - \sum_{j=1}^{J} r_{jkm}\, x_{jk} = 0 \qquad \text{recoveries}$$

$$\text{for } k = 1,\ldots,K;\ m = 1,\ldots,M$$

$$\text{(3)} \quad \sum_{j=1}^{J} t_{jk}\, x_{jk} \leq T_k \text{ for } k = 1,\ldots,K \qquad \text{processing time}$$

$$\text{(4)} \quad x_{jk} \leq X_{jk} \text{ for } j = 1,\ldots,J;\ k = 1,\ldots,K \qquad \text{timber division supply}$$

where the variables are:

e_{kmn} = processing of end product m at mill k for market n, MBM — k = 1, . . . ,K; m = 1, . . . ,N
x_{jk} = class j logs, all delivered by the timber division for mill k, MBF — j = 1, . . . ,J; k = 1, . . . ,K

where the constants are:

ep_{kmn}, pc_{jk}, tp_{jk}, r_{jkm}, t_{jk} as in (A)
EU_{mn}, EL_{mn}, T_k as in (A)
X_{jk} = log class j internal supply by the timber division to mill k [comes from the optimal solution of program (C)], MBF

Milling division revenues and costs result from end product sales and internal log purchases. Constraints (1a)-(3) are the same as in mill problem under mill dominance (A). Constraints (4) are the internal log supply enforcements by the timber division.

Appendix 123. Mixed Dominance

Under mixed dominance the milling division determines the mills' total log needs. The timber division has to fill mill needs by procuring logs internally or externally. Only the timber division buys logs. Under mixed dominance, the *milling division* has the following log allocation linear program:

(E) Maximize

$$\text{(0)} \quad \overbrace{\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} ep_{kmn}\, e_{kmn}}^{\text{sales revenues}} - \overbrace{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} (pc_{jk} + tp_{jk})\, x_{jk}}^{\text{processing and acquisition costs of logs}}$$

subject to

$$\text{(1a)} \quad \sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \leq EU_{mn} \text{ for } m = 1, \ldots, M;\ n = 1, \ldots, N$$

$$\text{(1b)} \quad \sum_{k=1}^{K} e_{kmn} \geq EL_{mn} \text{ for } m = 1, \ldots, M;\ n = 1, \ldots, N$$

end product orders

$$\text{(2)} \quad \sum_{n=1}^{N} e_{kmn} - \sum_{j=1}^{J} r_{jkm}\, x_{jk} = 0 \qquad \text{recoveries}$$

$$\text{for } k = 1, \ldots, K;\ m = 1, \ldots, M$$

$$\text{(3)} \quad \sum_{j=1}^{J} t_{jk}\, x_{jk} \leq T_k \text{ for } k = 1, \ldots, K \qquad \text{processing times}$$

$$\text{(4)} \quad \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} mp_j\, x_{cjk} \leq F \qquad \text{external log availability}$$

$$\text{(5)} \quad \sum_{k=1}^{K} x_{1jk} \leq X_j \text{ for } j = 1, \ldots, J \qquad \text{internal log availability}$$

$$\text{(6)} \quad \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{1jk} \geq XL \qquad \text{minimum harvest}$$

$$\text{(7)} \quad x_{1jk} + x_{ojk} - x_{jk} = 0 \text{ for } j = 1, \ldots, J;\ k = 1, \ldots, K \qquad \text{one log source: timber division}$$

where the variables are:

e_{kmn} = processing of end product m at mill k for market n, MBM—k = 1, . . . ,K; m = 1, . . . ,M; n = 1, . . . ,N

x_{jk} = class j logs all delivered by timber division for mill k [= $x_{0jk} + x_{1jk}$ as shown in constraint (7)]

where the contants are:

ep_{kmn}, pc_{jk}, t_{pjk}, r_{jkm} as in (A) and (D)
EU_{mn}, EL_{mn}, T_k as in (A) and (D)
F, X_j, XL as in (A)

Milling division revenues and costs result from end product sales and internal log purchases as in (*D*). Constraints (1)-(3) are the same as those of programs (*A*) and (*D*). Constraints (4), (5), (6) and (7) are guideline constraints of wood procurement which guarantee that the timber division will be able to deliver enough internal (x_1..) and external (x_o..) logs to the mills.

Under mixed dominance the *timber division* has the following log allocation linear program:

(F) Maximize

net revenues from internal deliveries of harvested logs

$$(0) \quad \sum_{i=1}^{I} \overbrace{\sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} (tp_{jk} - hc_{ijk})}\ x_{ijk}$$

net revenues from internal deliveries of purchased logs

$$+ \sum_{j=1}^{J} \overbrace{\sum_{k=1}^{K} (tp_{jk} - mp_j)}\ x_{ojk}$$

net revenues from external sales of harvested logs

$$+ \sum_{i=1}^{I} \overbrace{\sum_{j=1}^{J} (mp_j - sc_j - hc_{ijo})}\ x_{ijo}$$

subject to

$$(1) \quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq X_{ij} \text{ for } i = 1, \ldots, I;\ j = 1, \ldots, J$$

log availability in tracts

$$(2) \quad \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} - d_{ij} \sum_{k=0}^{K} x_{ij+1k} = 0$$

tract log class structure

for $i = 1, \ldots, I;\ j = 1, \ldots, J\text{-}1$

$$\text{(3a)} \quad \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \leq XU \qquad \text{maximum and minimum harvest}$$

$$\text{(3b)} \quad \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=0}^{K} x_{ijk} \geq XL$$

$$\text{(4)} \quad \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} mp_j \, x_{ojk} \leq F \qquad \text{external log availability}$$

$$\text{(5)} \quad \sum_{i=0}^{I} x_{ijk} = X_{jk} \text{ for } j = 1, \ldots, J; \; k = 1, \ldots, K \qquad \text{mills' demand}$$

where the variables are:

x_{jik} = harvesting of class j logs in tract i (i = l, . . . ,I) for mill k (k = l, . . . ,K), or purchasing of class j logs from outside market (i = O) for mill k (k = l, . . . ,K), or harvesting of class j logs in tract i (i = l, . . . ,I) for outside market (k = O), MBF — i = O, . . . ,I; j = l, . . . ,J; k = O, . . . ,K

where the contants are:

tp_{jk}, mp_j ,bc_{ijk}, sc_j, d_{ij} as in (B) and (C)
X_{ij}, XU, XL as in (*B*) and (*C*)
X_{jk} as in (*B*)
F as in (*A*) and (*C*)

Timber division revenues and costs result from internal deliveries of harvested or purchased logs, and outside market sales of harvested logs as in (*C*). Constraints show log availabilities through harvest as those of programs (*B*) and (*C*). Constraint (4) shows the availability of outside market logs as (4) in programs (*A*) and (*C*). Restraints (5) are the internal log demands enforced by the mills.

Appendix 2. CASE FIRM DATA FOR THE LINEAR PROGRAMS

Appendix 21. Timber Data

The timber price data come from the Oregon State University Extension Service for 1967. Timber cost and quantity data come from Bohemia Company's Coburg unit's bookkeeping, the cost data are for 1967, and the quantity data for 1967 and later periods. The timber division log allocation problems are in two parts in this study. The main part consists of the timber division linear programs of this section. The other part contains the user cost computations of Appendix 23. It serves for creating the harvesting cost data. These are used for reducing the number of alternative tracts for harvest in the linear programs from a total of 30 to nine as shown in Table 1. The following is a short discussion of the wood procurement data used in the case firm linear programs. The study concerns five old-growth Douglas-fir log classes which correspond to the new United States Department of Agriculture Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station grading rules (L a n e *et al.* 1973 (a), pp. 3—5). We follow the notation of timber division linear program formulation (*C*) of Appendix 12 for logs of class j, x_j. The symbol for logs from tract i is x_i. The size of the tracts varies from 610 to 5 200 MBF. The log volumes (that are in thousands of board feet, MBF) of the nine tracts with the lowest harvesting cost, used in the linear programs are:

	Tract								
Log class	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_1	10	9	288	199	10	150	10	218	10
x_2	56	54	480	527	10	216	348	437	761
x_3	333	369	2 304	527	267	138	2 263	1 529	571
x_4	167	153	672	857	326	24	871	2 186	2 473
x_5	44	315	1 056	290	107	72	418	830	495
Total	610	900	4 800	2 400	720	600	3 910	5 200	4 310

mp_j The *log market prices* of the first quarter of 1967 for Benton County in Oregon, used in the linear programs, are (O r e g o n . . . 1967):

Log Class	Log Grade	mp_j, $/MBF	Relative Price
x_1	No. 2 Peeler	100	1.47
x_2	No. 3 Peeler	90	1.33
x_3	No. 2 Sawlog	68	1.00
x_4	No. 3 Sawlog	58	.85
x_5	Pulp Log	22	.33

To simplify the computations, log class 3 observed market price is used as an »indicator» price and those for others are generated by multiplying it by the relative prices. The relative prices above follow well those of the whole area of Western Washington and Northwestern Oregon (A d a m s 1974, p. 5).

sc We assume that the net log selling price is not the same as its purchasing price. The above figures are FOB at the purchasing mill. The log *selling costs* are \$3/MBF for all log classes. Pulp logs (x_5) cannot be used by the mills and are always sold to the outside market.

hc_i The *harvesting costs* for tract i consist of two components: logging and transportation, and user costs. Stumpage prices in short term log allocation of our study are sunk costs. For public timber tracts they have been paid at the time of purchase. For including the firm's own tracts in the five year cutting plan from where they have been taken to the log allocation problem their stumpage values have been already considered. The average Douglas-fir stumpage paid for the tracts is \$34/MBF. The first quarter of 1967 average stumpage price is \$52/MBF (H a m i l t o n 1967).

Logging and transportation costs are assumed to be \$19/MBF to \$39/MBF per tract as shown in Table 1. Tracts which cannot be harvested in winter have infinite logging and transportation costs and are not included in the harvestable tracts of this study. User cost computations are discussed in Appendix 23 and their outcome is shown in Table 1. The harvesting costs are the same for all log classes in a tract. One log class cannot be harvested separately from the others.

XU, XL The dependence of the best transfer prices on the harvest level has been studied by setting the *maximum harvest* (XU) to 15 000 MBF, 9 500 MBF or 7 500 MBF. Because the amount of pulp logs is about 16 per cent of the timber volume on tracts the maximum harvest of logs, usable to the mills is 12 600 MBF, 8 100 MBF or 6 300 MBF. This means that the total harvest is 25 per cent above, 20 per cent less or 40 per cent less than the mills' total log need (about 10 200 MBF).

The *minimum harvest* is dictated by the need of keeping the company's loggers employed. It varies from 2 500 MBF to 8 500 MBF. It does not have any significance in the allocation decisions, however. The harvesting cost is usually much lower than the log market price. This causes harvested, internal logs to be preferred to be bought, external logs. In the linear program solutions the harvest incurs always on its upper limit, XU, and XL-constraints are degenerate.

F The upper limit of periodic external *log purchases* is \$350 000.
It is the minimum of

1) the highest possible exchange of logs for money in the market at market prices or

2) the maximum amount of money allowed by the headquarters for log purchases because of the firm's marketing strategy.

At the average log market price of \$68/MBF the \$350 000 corresponds 50 per cent of the mills' approximate total log need of 10 200 MBF.

X_k, X_{jk} The desire of keeping the mills running at capacity requires that they are provided a certain amount of logs. The Bohemia Inc.'s Coburg veneer plant is working in one shift and sawmill in two shifts. Given their average productivities the maximum quarterly capacity of the veneer plant is about 3 420 MBF and that of the sawmill 6 900 MBF. These capacities are used for our case firm. The timber division faces these volumes under timber dominance in the log delivery guiding constraints. It has to deliver those amounts of logs in order to *fill the mills' capacities* (X_k).

The timber division also has to deliver certain amounts of certain classes of logs to the mills so that these can through conversion *satisfy the quarterly unfilled orders* (e_{kml}) of end products. It faces these volumes under timber dominance in the guiding constraints. The log requirements depend on the amount of unfilled orders and the log recoveries. The approximate requirements (X_{jk}) are:

Log class	Veneer logs, MBF	Sawlogs, MBF
x_1	300	400
x_2	500	900
x_3	300	700
x_4	150	900

Under mill or mixed dominance the timber division must deliver the *logs demanded* by the mills. Symbol X_{jk} represents also these demands in the right hand sides of the log enforcement constraints. Table 3 consists of some X_{jk} values which also represent the summaries of the log allocation under mill dominance.

In this short term, one quarter, log allocation analysis we assume that the mills' log starting and ending inventories are kept constant. That is why the linear programs do not have any symbols for log inventories.

Anticipated fixed costs and taxes of wood procurement do not appear in the linear programs because they are the same for every organization and transfer price alternative at the corporate level. Timber division quarterly expected fixed cost and taxes are \$15 100. The reason for the low figure is the non-existence of the firm's own harvesting machinery. We assume that logging is contracted to other firms.

Appendix 22. Milling Data

The end product prices and recoveries come from several studies done recently in the Pacific Northwest forest products firms. The processing cost, processing time, capacity and end product demand information comes primarily from Bohemia Inc.

The logs are committed to four veneer grades ($e_{11} \ldots, e_{14}$) on 3/8-inch basis and four sawntimber grades ($e_{21}, \ldots, e_{24}$). Veneer quantity unit is thousand square feet and sawntimber unit thousand board feet. In this study symbol MBM (thousand board measure) is used for both of them. These have been adopted from Forest Service studies (L a n e *et al.* 1973 (a), p. 7) and Larry C h a p m a n of Bohemia Company (personal interview). Veneer plant produces three types (e_{15}, e_{16}, e_{17}) and sawmill two types (e_{25}, e_{26}) of residues.

End Product		Grade
Veeneer	e_{11}	A Veneer
	e_{21}	B Veneer
	e_{31}	C Veneer
	e_{41}	D Veneer
Veneer residues	e_{15}	Undergrade Veneer
	e_{16}	Peeling Cores
	e_{17}	Pulp Chips

End Product		Grade
Sawntimber	e_{21}	Select: B, C and D Select
	e_{22}	Shop: Factory Select, No. 1 Shop, No. 2 Shop, No. 3 Shop Moulding
	e_{23}	Dimension: Select Structural, Construction, Standard
	e_{24}	Utility and Economy
Sawntimber residues	e_{25}	Sawdust
	e_{26}	Pulp Chips

The veneer and sawntimber grades are produced for three markets. These markets are not functions of place but time in this study. Market 1 contains the unfilled orders (from last quarter of 1966), market 2 anticipated orders (of first quarter of 1967) and market 3 production for inventory (for second quarter of 1967). The following is a short discussion of the milling data used in the case firm linear programs.

ep_{kmn} The sources of *veneer* ($k = 1$) *and sawntimber* ($k = 2$) *prices* are the price indices of the Bureau of Labor Statistics for 1967. (U. S. D e p a r t m e n t . . ., 1967—71). The quarterly veneer prices (ep_{11}.*to* ep_{14}.) have been computed as functions of these indices from the regression equations of B e u t e r's dissertation (1966 pp. 137—138). The sawntimber prices (ep_{21}. *to* ep_{24}.) come from the same source. Beuter, however, has thirteen regression equations that produce as many sawntimber prices. Our four sawntimber prices are weighted averages of the prices of the thirteen grades. The weights are approximate shipment volumes. They have also been adapted from B e u t e r (1966 p. 121). Regression analyses show that the relative veneer and sawntimber prices vary little from quarter to quarter. Therefore, for all three markets (m is one to three) veneer grade three and sawntimber grade three prices are chosen as »indicator end product prices». From market three end product prices a storing cost, \$5/MBM per period, is

subtracted to get the net selling price. The cost is in this study rather the sum of the inventory space cost and handling cost than an interest cost. The prices for other grades are computed by multiplying grade three prices for the first quarter of 1967 by the observed 1952—66 relative prices. The veneer and sawntimber relative prices come from regression analyses with very high r-squared (over .95) values. The end product prices are presented in Table A.1. The residue costs have been obtained from several firms.

Table A.1. End product prices.

End product		Price, $/MBM			Relative price
		Market 1	Market 2	Market 3	
Veneer grades	e_{11}	47.8	58.4	55.5	1.77
	e_{21}	30.6	37.6	35.4	1.14
	e_{31}	27.0	33.0	30.9	1.00
	e_{41}	19.7	24.1	22.2	.73
Veneer residues	e_{51}	..	$.32/cu.ft	..	..
	e_{61}	..	$.20/cu.ft	..	..
	e_{71}	..	$.13/cu.ft	..	..
Sawn-timber grades	e_{12}	128.8	132.5	131.1	1.84
	e_{22}	68.6	70.6	67.9	.98
	e_{32}	70.0	72.0	69.4	1.00
	e_{42}	35.0	36.0	32.7	.50
Sawn-timber residues	e_{52}	..	$.09/cu.ft.	..	..
	e_{62}	..	$.13/cu.ft.	..	..

pc_{jk} We assume that the variable processing costs are direct functions of processing time and log class (C h a p m a n, personal interview). By multiplying the processing time requirements (t_{jk}) of the log classes (j) at mills (k) by the following constants we get the processing costs:

Veneer logs	Sawlogs
$1\,540 \cdot t_{11} = \$26/MBF$	$1\,460 \cdot t_{12} = \$28/MBF$
$1\,315 \cdot t_{21} = \$23/MBF$	$1\,370 \cdot t_{22} = \$26/MBF$
$970 \cdot t_{31} = \$19/MBF$	$1\,235 \cdot t_{23} = \$24/MBF$
$1\,020 \cdot t_{41} = \$20/MBF$	$1\,285 \cdot t_{42} = \$25/MBF$

r_{jkm} The recoveries have been recorded as functions of log class and log top diameter. However, for this study only the recoveries of the average diameter have been used for each log class. They are weighted averages of United States Department of Agriculture Forest Service recovery studies for old growth Douglas-fir in western Oregon and Washington, and northwestern California (L a n e *et al.* 1973 (b), (c)). The weights are the end product grade log volumes of these studies. The end product recoveries appear in Table A.2.

Table A.2. End product recoveries.

End Product		Log Class							
		Log Class 1, X_1		Log Class 2, X_2		Log Class 3, X_3		Log Class 4, X_4	
		MBM/MBF	Per Cent	MBM/MBF	Per Cent	MBM/MBF	Per Cent	MBM/MBF	Per Cent
Veneer grades	e_{11} ...	.82	26.1	.56	18.8	.08	2.7	.06	2.3
	e_{21} ...	.66	21.0	.67	22.5	.24	8.3	.09	3.4
	e_{31} ...	.94	30.0	.91	30.5	.73	25.2	.20	7.5
	e_{41} ...	.72	22.9	.84	28.2	1.85	63.8	2.31	86.8
	Total	3.13	100.0	2.98	100.0	2.90	100.0	2.60	100.0
Veneer residues	e_{51} ...	2.40	cu.ft./MBF	2.56	cu.ft./MBF	10.24	cu.ft./MBF	23.60	cu.ft./MBF
	e_{61} ...	9.57	cu.ft./MBF	10.88	cu.ft./MBF	15.00	cu.ft./MBF	21.99	cu.ft./MBF
	e_{71} ...	47.60	cu.ft./MBF	44.95	cu.ft./MBF	46.41	cu.ft./MBF	66.41	cu.ft./MBF
Sawn-timber grades	e_{12} ...	.59	42.1	.48	33.8	.08	5.5	.03	1.9
	e_{22} ...	.25	17.9	.20	14.1	.08	5.5	.09	5.6
	e_{32} ...	.42	30.0	.58	40.8	1.10	75.9	.97	60.2
	e_{42} ...	.14	10.0	.16	11.3	.19	13.1	.52	32.3
	Total	1.40	100.0	1.42	100.0	1.45	100.0	1.61	100.0
Sawn-timber residues	e_{52} ...	14.34	cu.ft./MBF	14.42	cu.ft./MBF	17.15	cu.ft./MBF	18.87	cu.ft./MBF
	e_{62} ...	43.40	cu.ft./MBF	44.78	cu.ft./MBF	34.20	cu.ft./MBF	46.22	cu.ft./MBF

t_{jk} Based on discussions with the supervisors of the Bohemia Company Coburg mills, Ted Nelson of Weyerhaeuser Company and Dobie's dissertation (1971 pp. 60—69) the following *processing time* functions have been developed:

Veneer logs

$$t_{j1} = .00346 \sqrt{D_j} + \frac{.154}{\sqrt{D_j} - .0217}$$

Sawlogs

$$t_{j2} = .000156\ D_j + \frac{.143}{D_j + .0074121}$$

where t_j = log class j processing time, shifts/MBF

D_j = class j log's top diameter

The period of time a log needs to be processed thus only depends on the log diameter. The average diameters and the resulting processing time requirement (eight-hour shifts per MBF) of the four log classes are:

Log class	Diameter, inches	Veneer log processing time, shifts/MBF	Sawlog processing time, shifts/MBF
x_1	37	.01692	.01916
x_2	31	.01748	.01817
x_3	22	.01962	.01945
x_4	22	.01962	.01945

T_k Following the example of the veneer plant and sawmill of Bohemia Inc. in Coburg, the veneer plant and sawmill of our case firm work in one shift and two shifts, respectively. In an average there are 22 work days per month. In the veneer plant there are then 66 and in the sawmill 132 *shifts available* in the coming quarter.

EU_{mn}, EL_{mn} We assume that the end products (m) may be sold to three markets (n) which are a function of time. EU_{mn} depicts the upper and EL_{mn} the lower limit of these sales. Market 1 ($n = 1$) comprises the *unfilled orders* of end products that must be promptly satisfied: $EU_{m1} = EL_{m1}$. Market 2 ($n = 2$) includes the *anticipated orders*. Some of them are from old customers and their lower limit is known: EL_{m2}. Market 3 ($n = 3$) includes *production for inventory*. The inventory capacity has an upper limit: EU_{m3}. The following summarizes the end product sales limits:

		Unfilled orders, $EU_{m1} = EL_{m1}$, MBM	Anticipated orders, EL_{m2}, MBM	Production for inventory, EU_{m3}, MBM	
veneer	e_{11}	300	0	800
	e_{12}	300	200	
	e_{13}	200	100	
	e_{14}	100	70	
sawntimber	e_{21}	300	100	1 900
	e_{22}	700	200	
	e_{23}	600	100	
	e_{24}	500	400	

XL The desire to keep the loggers employed requires certain minimum harvest activities. These requirements are included in the guiding constraints to the mills under mill dominance. In the calculations they vary from 2 500 MBF to 8 500 MBF. They did not have significance in calculations. These constraints seldom were effective.

X_j Under mill or mixed dominance the milling division has to consider the limited volumes of the different log classes available through harvest before dictating its internal log demands to the timber division. These maximum volumes (X_j) are included in milling division guiding constraints. The internal log availability to the mills depends directly on the log class distribution of the tracts and the total maximum harvest by the timber division. The following volumes were used at the two extreme maximum harvest levels as the X_j values for the four log classes usable to the mills:

Log class	Harvest = 15 000 MBF	Harvest = 7 500 MBF
x_1	670	500
x_2	1 780	1 100
x_3	6 340	2 600
x_4	3 510	1 400

These figures were found through pilot calculations. They were given as high values as possible when at the same time maintaining feasibility in the timber division's log allocations.

Under timber dominance the mills receive log supply announcements (X_j) from the timber division. These are included in the enforcement constraints to the milling division. Their function corresponds to that of the enforcement constraints (sums of log allocation) to the timber division under mill dominance presented in Table 3.

Anticipated fixed costs and taxes of milling do not appear in the linear programs because they are at the corporate level the same for every organization and transfer price alternative. The milling division quarterly expected fixed costs and taxes are $63 000.

Appendix 23. User Cost Computations

The opportunity cost of harvesting a tract — its user cost — is the difference between the current estimated average tract value and the future expected discounted value with the harvested logs to be delivered to their highest value use. For company-owned tracts a total period of five years (20 quarters) is considered, for public timber tracts a period as long as the sales contract is valid before expiration. The sum of the average logging and transportation cost for a tract in a quarter and its user cost is the tract harvesting cost in that quarter. Figure A. 1 depicts the general user cost computation process. For the case study a more specific Tract Opportunity Cost Program (TOC) has been written. The program first arranges data for computations: log and end product market prices, log volumes, recoveries, growth rates, logging and transportation, and milling costs. These data are used for computing discounted tract unit values for each quarter which are the basis for determining the best harvest schedule. The tracts are scheduled for harvest in the quarter having the highest discounted value while cutting at most the maximum allowable harvest.

The assumed allowable periodic maximum harvest is 14 000 MBF. Since the average pulp log portion in the tracts is 16 per cent this means about 11 800 MBF of logs usable to the mills — 15 per cent above the average mills' capacity of 10 200 MBF. We thus assume that the case firm is a net log seller. The following is a short comment on the other assumptions about the inputs to the user cost computations of Figure A.1:

TC_{io}^t, TC_{ik}^t, LC_i^t The logging and transportation costs for quarter 1 are the same for each tract and destination as those of Appendix 21. Their yearly increase is assumed to be 5.8 per cent — an estimate made in Bohemia Inc.

MP_j^t The log market price for the »indicator» log class 3 is the same for quarter 1 as those of Appendix 21. For the other 19 quarters they are the recorded prices of Benton County, Oregon, with a minimum of $69/MBF in quarter 2 and a maximum of $103/MBF in quarter 10 (O r e g o n . . . 1967—71). For quarters 2—9

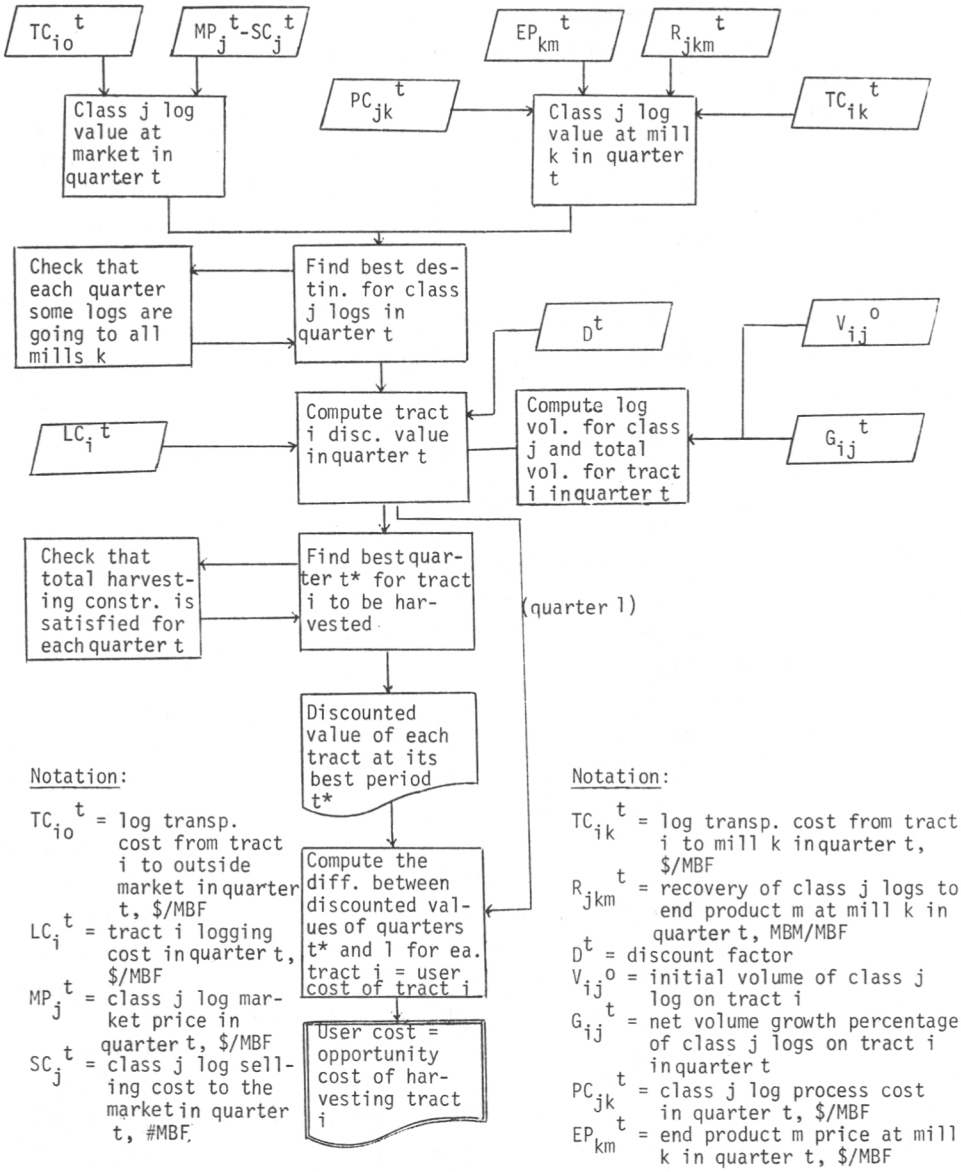


Figure A.1. User cost computations.

the prices of other classes follow those of quarter 1. For quarters 10—20 they are assumed to follow the relative prices:

Log class	Relative price
x_1	1.35
x_2	1.28
x_3	1.00
x_4	.88
x_5	.45

These relative prices mirror a slight decrease in the differences between the recorded prices of the log classes from 1967 to 1971.

SC_kt The *log selling costs* are supposed to remain constant \$3 for all log classes and all 20 quarters.

$PC_{jk}t$ The *log processing costs* are assumed to increase 5.5 per cent per year from those of the first quarter 1967 in Appendix 21.

$EP_{km}t$ The relative *end product prices* remain those of Appendix 21 through the 20 quarters. The recorded veneer grade 3 prices vary from a low \$32/MBM in quarter 2 to a high \$68/MBM in quarter 9. The recorded sawntimber grade 3 prices vary from a low \$74 in quarter 2 to a high \$117/MBM in quarter 9.

$R_{jkm}t$ The *recoveries* are assumed to remain unchanged at the levels of Appendix 21 through the 20 quarters.

Dt The rate of interest in the *discount factor* is assumed to be six per cent per year. This is an interest rate commonly used in harvesting decisions in the North American Pacific Northwest (cf. W a l k e r 1971, p. 43).

$V_{ij}0$ The quarter 1 *volumes* of log classes for some tracts are listed in Appendix 21.

$G_{ij}t$ In the high volume Douglas-fir old growth tracts the percentage volume *growth* is small. The trees are also susceptible to rot. The tracts are divided into six groups with respect to their assumed yearly net growth percentages:

	Tract group					
Log class	1	2	3	4	5	6
1	.46	.70	2.22	1.70	.31	.67
2	.61	.50	1.75	1.59	.44	.51
3	.27	.38	.69	1.40	.58	.49
4	.26	.31	.12	.96	.76	.62
5	.05	.09	.03	.10	.11	.16

Based on Oregon State University studies on tree growth it is assumed that 70 per cent of the yearly growth incurs by the end of the spring (2nd, 6th,. . ., 18th) quarter and 30 per cent by the end of the summer (3rd, 7th, . . ., 19th) quarter (E m m i n g h a m[1]), personal interview). The company tracts are available the whole five year period (20 quarters).

[1]) Dr. Bill Emmingham, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.

t The public timber sale tracts are available from three to nine quarters, as an average seven quarters. Table 1 shows the periods when the tract values are at their highest.

After finding the optimal timing of the harvest of all tracts the difference between the value of each tract in the best quarter and quarter 1 is computed. The difference is divided by the tract volume of quarter 1. This is the unit loss from cutting a tract the first quarter instead of later in the future — it is the user cost. The sum of quarter 1 logging and transportation costs and user cost is its harvesting cost, used in the log allocation linear programs. The tracts are ordered according to the harvesting costs from smallest to greatest as Table 1 shows. The rank of each tract indicates its number (i) in the log allocation linear program.

Pilot timber division linear program computations have shown that for the case firm, a tract with a lower harvesting cost is almost always preferred to be cut for one with a higher cost. Therefore, of the 30 tracts available only the nine tracts with the lowest harvesting costs have been chosen for the linear programming computations. The Tract Opportunity Cost program then serves for computing harvesting costs for each tract and reducing the costs of the linear programming calculations by decreasing the number of alternative tracts to be cut. The program routines follow. The most complex of these, subroutine SWITCH is flow-charted in Figure A.1. The program's available from the author.

PROGRAM TOC

Computes discount factors, logging and transportation costs, and processing costs. Coordinates user cost computations and produce output.

SUBROUTINE PRICESET

Reads prices of indicator log class (class 3) and indicator end products (veneer and sawntimber grades 3), and generates price tables, given the relative log class and end product market prices. Originally designed for uncertainty studies.

SUBROUTINE VOLUME

Sets up recovery tables.

SUBROUTINE TREES

Sets up log volume tables for 20 quarters (periods) simulating tree growth from quarter 1 log volumes.

SUBROUTINE COMPUTE

Computes log values at mills and at outside market for each log class and each quarter. Selects the best log uses for all 20 quarters.

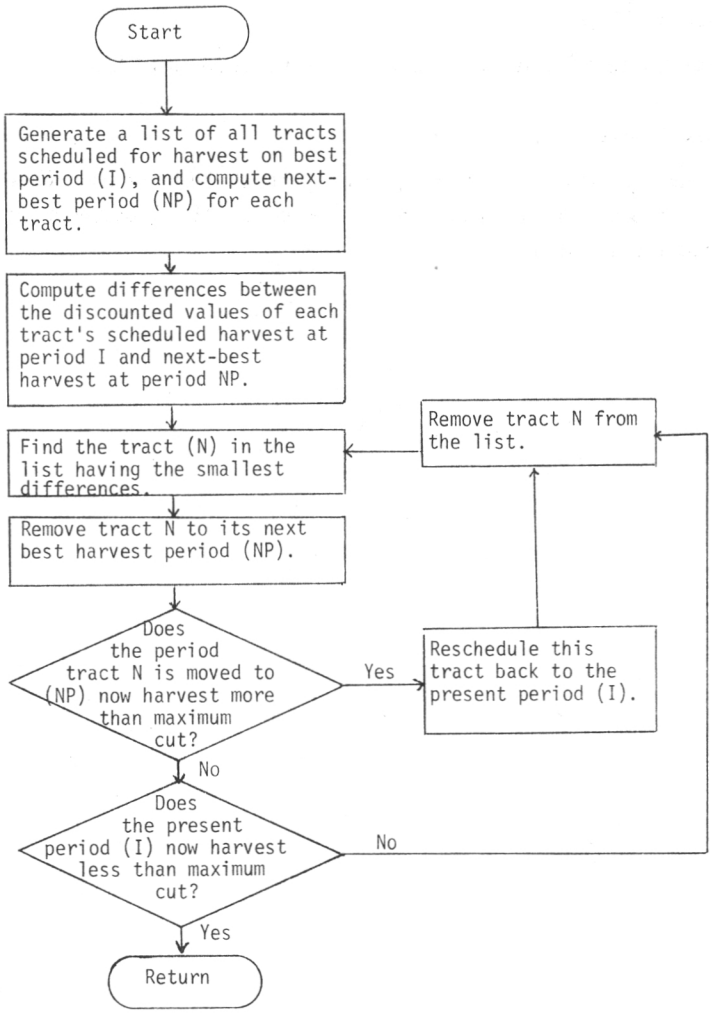


Figure A.2. Flow chart of subroutine SWITCH of user cost computations.

SUBROUTINE MAXCHECK

Computes discounted tract unit values for each quarter each tract is available for harvesting. Records the period with the highest discounted value to be the quarter of harvest. Checks that total harvest is less than maximum cut (14 000 MBF) for each quarter and computes the user cost and harvesting cost of period 1.

SUBROUTINE SWITCH (*I*)

Determines tract(s) to be removed to next best harvest quarter to reduce harvest quantity on quarter I below the maximum cut (14 000 MBF).

FUNCTION SUM (*I*)

Computes the total quantity of harvest on quarter (period) I.

FUNCTION XMIZE (*K*, *I*, *NQ*)

Determines the next best harvest quarter (period), NQ, for tract K, scheduled to be harvested on period I. Computes the difference (XMIZE) between the discounted values for quarters I and NQ.

Appendix 3. COMPUTER FLOWCHARTS FOR THE LINEAR PROGRAMMING COMPUTATIONS

The simplex program of the Oregon State University CDC 3300 computer, under direction of a control deck, receives the linear programs' inputs, optimizes the problem and outputs the results. Due to the large size of the problems, simplex program inputs are created by computer, as is shown in Figure A.3. Parametric cost, price and right-hand-side data are in the CONSTANTS deck or in function definitions associated with the FORMAT PROGRAM. The actual parameter changes are, however, made

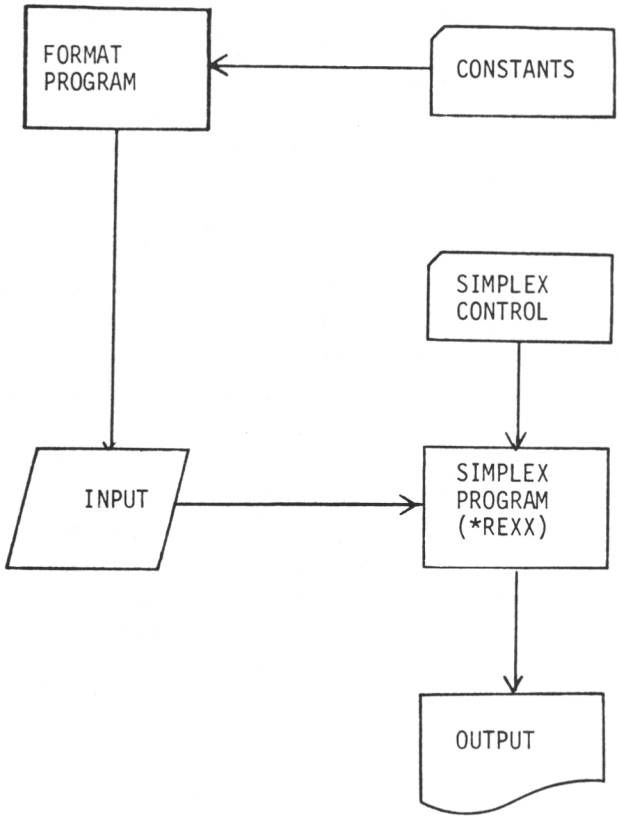


Figure A.3. Simplex input computer routines.

by the SIMPLEX CONTROL deck directing the SIMPLEX PROGRAM how to process the INPUT. Constraints may be added or deleted by changing the Fortran FORMAT PROGRAMS.

In order to optimize the parametric linear programs as economically as possible, two characteristics of the SIMPLEX PROGRAM are used. First, it has the ability to declare more than one objective function, and chooses one of them for the optimization process at the time of program execution. This is usable as long as the constraint coefficients and right-hand-sides remain the same in iterations. Second, names are defined for constraint coefficients and right-hand-side constants. These names are assigned numeric values which may be changed between parametric runs. In all milling division runs, the names are defined, but we have not needed to reassign their values for this study.

Figure A.4. is a flow diagram of the FORMAT PROGRAM used in developing simplex input for the *milling division* problems. Procedure 1 generates the DEFINE statements for the end product recovery and processing time constraint coefficients. These could be redefined at some additional points 9 . . . as many times as required, but that has not been necessary for this study. Point 2 shows the guiding restrictions by the timber division under mill or mixed dominance. It shows enforced allocations by the timber division under timber dominance. Procedure 4 uses end product price defining functions and end product demand requirements to produce coefficients for the end product column vectors. Procedure 6 uses transfer price and processing cost functions, and recovery and processing time definitions from procedure 1 to compute coefficients for the log column vectors. In mill dominance calculations the market prices of purchased logs are inserted using a text editor.

Figure A.5 is a flow diagram of the FORMAT PROGRAM for generating *timber division* simplex input. First, data are read from the CONSTANTS deck. These are used in procedure 2 to generate DEFINE statements for the linear programs' coefficients. These are changed in later DEFINE statements (procedure 7 . . .) for the parametric runs. Procedure 4 uses data for log availabilities on tracts from point 1. It computes coefficients for constraints which insure that in harvested tracts all log classes are cut in their existing volume proportions. Points 3, 5, and 6 generate the actual simplex input that uses the defined names from procedure 2.

The simplex input for both milling and timber divisions are created using FORMAT PROGRAMS. The final adjustments to fit them to the individual organizations are made using a text editor. The corporate and divisional Fortran input programs, simplex controls and examples of outputs are available from the author.

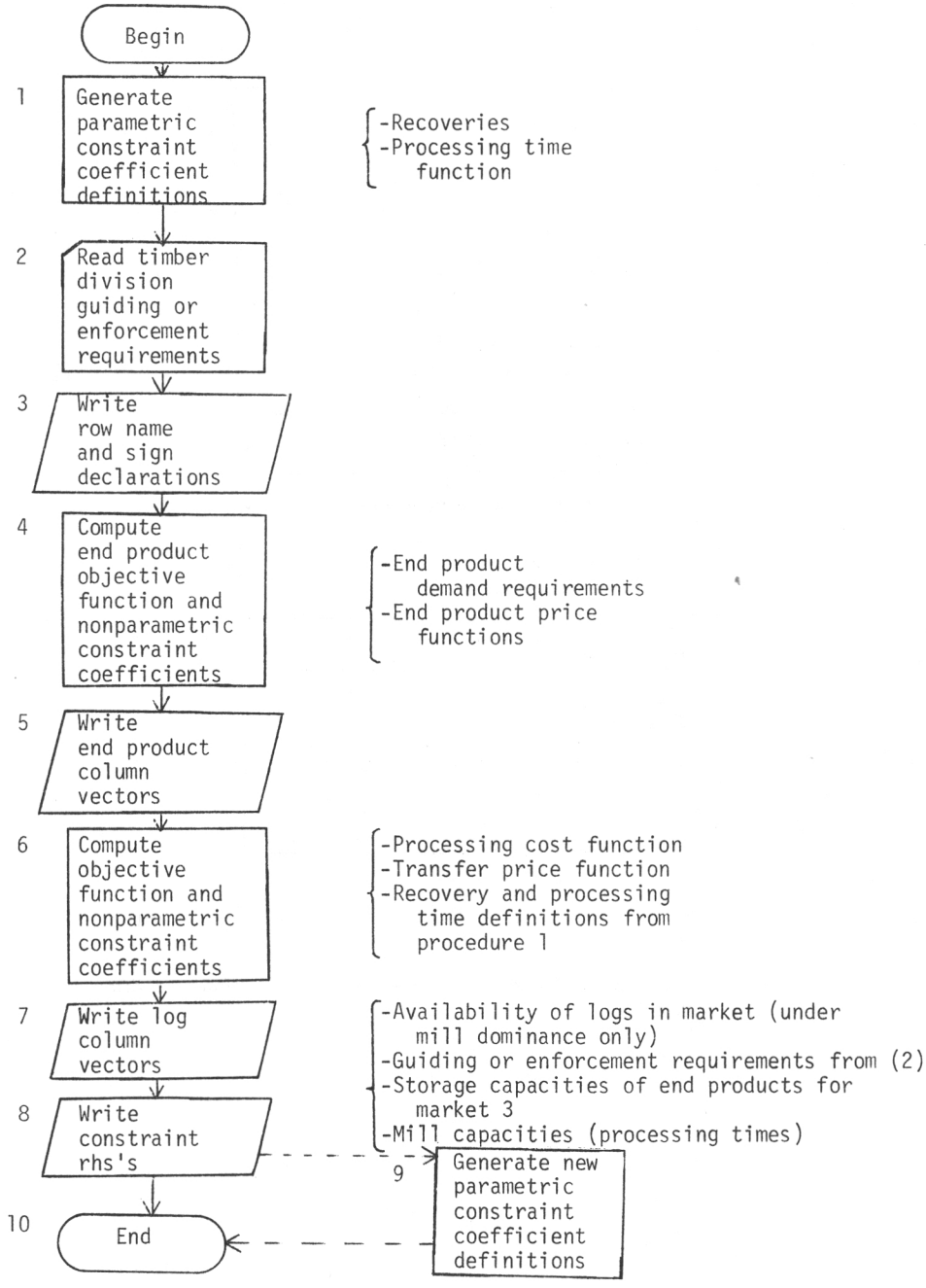


Figure A.4. Flow chart of FORMAT PROGRAM for the milling division.

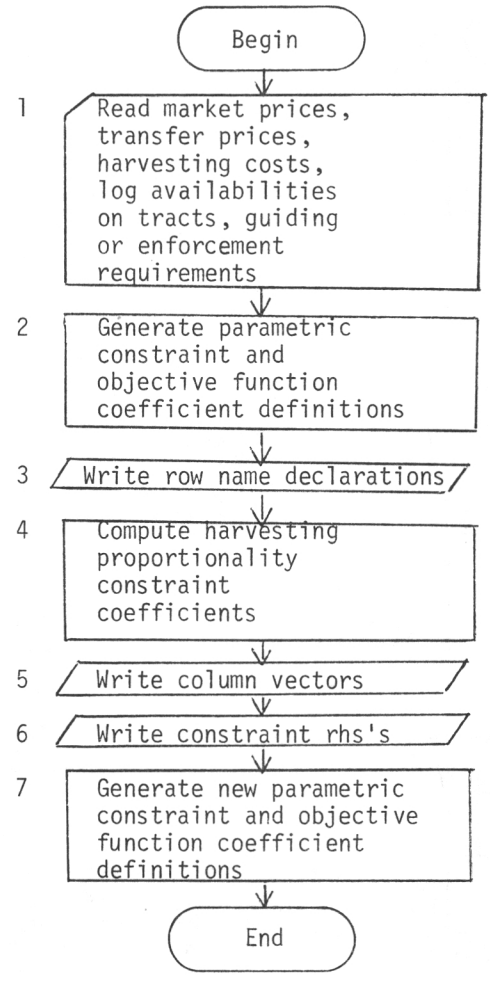


Figure A.5. Flow chart of FORMAT PROGRAM for the timber division.

ODC
443:
453

THE EFFECT OF INJURIES CAUSED BY SUMMER STORAGE OF SAWLOGS ON THE QUALITY AND VALUE OF SAWN TIMBER

OLLI UUSVAARA and KARI LÖYTTYNIEMI

Seloste

SAHAPUUN KESÄVARASTOINNISTA AIHEUTUVIEN VARASTOVIKOJEN VAIKUTUS SAHATAVARAN LAATUUN JA ARVOON

HELSINKI 1977

ISBN 951-40-0265-2
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

ODC 443-453
ISBN 951-40-0265-2
ISSN 0026-1610

UUSVAARA O. & LÖYTTYNIEMI K. 1977. The effect of injuries caused by summer storage of sawlogs on the quality and value of sawn timber. Seloste: Sahapuun kesävarastoinnista aiheutuvien varastovikojen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (3): 1—61.

The purpose of the study was to examine the effect of the time of felling and the duration of the log storage time on the quality and value of sawn timber when the trees are felled during the growing season. The role of factors causing storing injuries and lowering the sawn goods quality was also studied.

Sawlogs and sawn goods displayed during April and May only occasional blue staining that had spread chiefly through insect galleries. The logs were preserved practically undamaged also after the end of August/beginning of September in South Finland and after the end of July/beginning of August in North Finland. Blue staining was abundant during June and July and spread through insect galleries, cut surfaces and bark breaks. Blueing was still abundant in August, but was then caused only by airborne fungi.

Also at the time of worst damage of midsummer scantlings kept well when logs were stored two weeks, and only occasional defects were seen in side boards. Storing of four weeks caused already remarkable injuries, but 6 weeks' storage reduced almost half the side boards in several storage lots to sixths and produced considerable defects also in scatlings.

After 2 weeks' storage the value loss was under one per cent in July—August but rose on average to approx. 3, 6 and 23 per cent of the value of the log after storage for 4 and 6 weeks and over the growing season.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää puiden kaatoajankohdan ja tukkien varastointiajan pituuden vaikutusta sahatavaran laatuun ja arvoon kaadettaessa puut kasvukauden aikana. Lisäksi tarkastellaan varastovikoja aiheuttavien tekijöiden osuutta pilaantumisessa ja sahatavaran laadun alenemisessa.

Tukeissa ja sahatavarassa esiintyi huhti- ja toukokuun aikana vain satunnaisesti pääasiassa hyönteisten syömäkuvioiden kautta levinnyttä sinistymää. Etelä-Suomessa tukit säilyivät käytännöllisesti katsoen ilman vikoja myös elo—syyskuun ja Pohjois-Suomessa heinä—elokuun vaihteen jälkeen. Kesä—heinäkuussa sinistymä oli runsasta ja levisi sekä hyönteisten syömäkuvioiden että paljaiden puupintojen kautta. Elokuussa sinistymä oli edelleen runsasta, mutta aiheutui vain ilmalevintäisistä sienistä.

Keskikesän pahimpana pilaantumisaikanakin sydäntavara säilyi hyvin kun tukkeja varastoitiin kaksi viikkoa ja sivu- ja pintalaudoissakin tavattiin vain satunnaisia vikoja. Neljän viikon varastointi aiheutti jo merkittäviä vahinkoja, mutta kuuden viikon varastointi laski useissa varastoerissä lähes puolet pintatavarasta sekstaluokkaan ja aiheutti myös sydäntavaraan huomattavia vikoja.

Kahden viikon varastoinnissa tukin arvotappiot jäävät heinä—elokuun aikana keskimäärin alle yhden prosenttiyksikön, mutta nousivat neljän ja kuuden viikon sekä yli kasvukauden käytetyssä varastoinnissa keskimäärin noin kolmeen, kuuteen ja 23 prosenttiyksikköön tukin arvosta laskettuna.

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5

2. INVESTIGATION METHOD AND MATERIAL 6

21. Investigation method 6

22. Investigation material 10

3. RESULTS OF THE INVESTIGATION 13

31. Occurrence of storing injuries 13

32. Quality of sawn timber 19

33. Value of sawn timber 21

4. DISCUSSION 22

SUMMARY 26

REFERENCES 29

SELOSTE 33

TABLES 35

1. INTRODUCTION

It was customary earlier to perform timber felling, harvesting and storage operations chiefly during the winter and early spring. However, timber harvesting activity has gradually changed of late into a year-round process and the barking formerly done in the forest and at forest landings is now performed at the sawmills and pulp mills.

As the result of the development in the handling of timber there are continuously during the summer great quantities of unbarked timber in the forests and at landings. This wood is exposed to deterioration caused by injurious insects and micro-organisms and, especially as regards sawlogs, the result is steadily growing quantitative and qualitative losses.

Storing injuries of unbarked timber are attributable chiefly to insects and fungi. Blueing fungi cause detrimental changes of colour, especially in sawlogs, but do not damage the structure of the cell walls to any appreciable extent. The blue stain spreads into the wood via the cut surfaces and breaks in the bark, and carried by insects that penetrate both below the bark and into the wood (e.g. **Mathiesen-Käärik** 1953). The larval tunnels made by insects in the wood damage sawlogs also technically.

Decay fungi feed on substances of the cell walls of wood and are disseminated mainly by means of airborne spores. The effect on the strength properties and pulp yield of wood is small in the initial phase of the decay, but it increases fast as the decay progresses (**Björkman** 1958, **Cowling** 1961, **Henningsson** 1962, 1967, **Wilcox** 1970).

In addition to deterioration caused by biotic factors, splitting due to drying damages the logs during storage.

The deterioration of unbarked timber during storage and its prevention have been studied in the Nordic countries by e.g. **Björkman** (1946, 1958, 1963), **Lekander** and **Rennerfelt** (1955), **Butovitsch** (1961), **Tuovinen** (1956, 1959, 1961), **Nylinder** (1957), **Kangas** and **Salonen** (1960), **Wilhelmsen** (1963), **Rummukainen** (1964), **Henningsson** (1965), **Pistohlkors** and **Henningsson** (1966), and **Löyttyniemi** and **Uusvaara** (1972). The effect of the deterioration of sawlogs on their quality

and value has also been investigated in some degree (**Hakkila** 1964, **Karlsen** 1967, **Wilhelmsen** and **Foslie** 1968, **Uusvaara** and **Löyttyniemi** 1975).

Most of these studies on deterioration due to summer storage of sawlogs deal with timber felled during the previous autumn or winter. On the other hand, the effect of summer felling, which is becoming more general, on deterioration-induced value losses and the rate of deterioration has attracted relatively little attention (**Hakkila** 1964).

The purpose of the present study was to examine the effect of the felling time and the duration of sawlog storage time on the deterioration of sawlogs and the quality and value of sawn timber obtained from trees felled in the course of the growing season. The role of insects in the deterioration process will be discussed in greater detail in another publication that forms part of the same investigation series.

The study was carried out by the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute, in cooperation with the Department of Forest Protection. It is published in two parts. The part dealing with the role of insects in the deterioration will appear in the same research series later. The various phases of the present work and the writing were the responsibility mainly of **Olli Uusvaara**. The second part of the study is mainly the work of **Kari Löyttyniemi** who is also responsible for the writing.

Forest technicians **Pertti Laakso** and **Tauno Oittinen** led the field work of the study. The authors wish to express the best thanks to them and to all those who helped in the various phases of the research project.

2. INVESTIGATION METHOD AND MATERIAL

21. Investigation method

Preparation and handling of test logs. The studies were conducted mainly in two localities, Ruotsinkylä in Tuusula and Solböle in Bromarv. The first pine (*Pinus silvestris* L.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) logs used in the tests were prepared and stored at the end of March/beginning of April, and the following lots through the summer at the turn of every month up to the last felling at the beginning of September. From each felling lot 20 logs were stored in the forest for 2, 4 and 6 weeks and over the summer until the beginning of October, with the exception of the first and last felling in which the 2- and 6-week storage was omitted. One half of 20-log lot. i.e., 5 pine and 5 spruce logs, were stored in an open sunny landing and the other half in a shady landing in the forest. Hence, 40 logs were placed normally in each type of storage at the turn of the month.

Before felling, the crown layer and stem defects of the test trees were recorded. After felling, the stems were measured and made into logs. The heartwood zone at the log ends was recorded immediately after felling on the basis of the moisture differences of heartwood and sapwood.

In Bromarv, the logs were transported to the landing by a tractor equipped with a hydraulic grapple loader and a trailer. In Tuusula, the logs were tied to a notched beam at

the rear of the tractor and skidded. Thus a part of the log dragged along the ground. This mode of transport caused somewhat more frequent bark damage especially in the early part of the summer. The point is analysed in Table 1 which shows the shares of breakage in the log shell and of bruised places in the bark in Bromarv and Tuusula in 1973. Pruning scars together with bruised places constitute main cause of bark injury. The effect of the method of moving the logs on the origination of injuries and the number of bruised places is obvious. Hence, it can be assumed that the handling of logs in the Tuusula district furthered somewhat the increase in blue staining and decay.

The length to the nearest 30 cm thickness and diameter of the heartwood part at the butt and top were measured for all logs transported to the landing and the quality class was determined. The amount of bark was measured on every third log and a sample was taken from every fifth log for the thickness of the annual ring and latewood content. A running number was given to all logs to be sawn.

The sunny landing was a typical roadside landing in a small clear-cutting area where the sun and wind were given free play all day long. The shady landing was sited alongside the road with the logs in the stand. In Bromarv, however, the shady landing was partly exposed to light in the first investigation year; in the second year the shade provided by the surrounding spruce stand was complete. In Tuusula, the shady landing was either in a spruce or pine stand, with the stacks exposed to the sun for a part of the day. The logs were stored on foundation timber in 1-storey piles (Fig. 1). This method was necessary because of the nature and implementation of the work, though in practice larger storage formations are used.

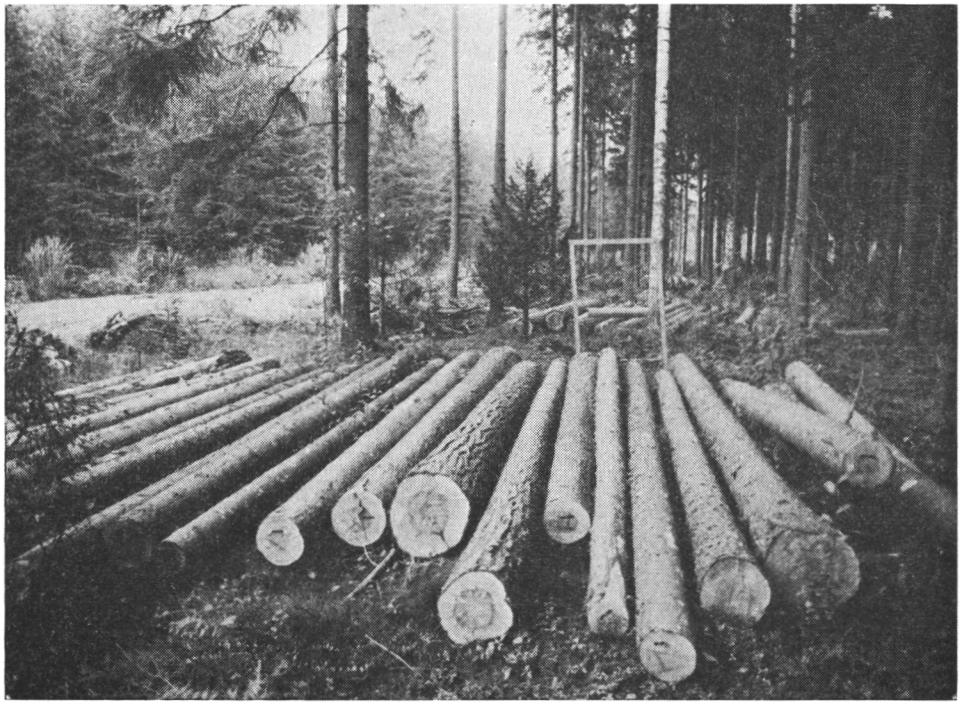


Fig. 1. Test logs in a forest landing in Tuusula in 1973.
Kuva 1. Koetukkeja metsävarastossa Tuusulassa vuonna 1973.

In addition to the principal investigation in Tuusula and Bromarv, comparative experiments were established in Punkaharju, Kivalo and Laanila. Five pine logs were prepared in Punkaharju at the turn of each month from the end of March to the end of August, in Kivalo 5 pine and spruce logs were prepared between the end of April and the end of July, and in Laanila only 5 pine logs were placed in storage monthly during the same period. The trees of each felling lot were left at the landing until approximately the middle of September in North Finland and until the end of September in Punkaharju. The test sawings were then performed.

The percentages indicating the heartwood content were an estimated 2—3 per cent units higher than the true value for pine logs in Bromarv and Tuusula. The error arises from the method employed because the heartwood zone had not yet got the red colour typical of pine.

As the amount of bark was not measured until 1—2 weeks after felling in Bromarv and Tuusula, and not until the autumn at the other sites the bark percentage was considerably below the mean percentage (p. 13). According to **Heiskanen** and **Rikkonen** (1976), the mean bark percentage for pine and spruce is 12,2 and 10,1 per cent, respectively, in South Finland and 12,0 and 13,2 per cent in Lapland.

Inspection of the logs for deterioration. The logs were examined 1—2 days prior to sawing to detect the degree of damage and the reason for it. They were then barked completely or partly and the presence of insect galleries and larval tunnels, blue staining and signs of decay visible on the surface were noted. The insects encountered and their larvae were identified on the spot or from samples in the laboratory. The insect species present at the landing and the time of their flight were studied with the assistance of window traps (see **Chapman** and **Kinghorn** 1955, **Annila** et al. 1972).

Test sawings and quality grading of sawn timber. The test sawings were done with a mobile circular saw in Tuusula and Bromarv halfway through and at the end of each month from the turn of April. The last sawing was at the beginning of October. The logs stored all through the summer and prepared at the turn of each month were sawn in these sawings. Only the last-mentioned lots were sawn in Punkaharju, Kivalo and Laanila. Side boards were separated from scantlings and the goods were trimmed. However, the sawyer was permitted to differ from this sawing scheme if he considered it necessary for the sawing yield. Hence, only boards were sawn in some cases, and sometimes, especially with small-sized logs, scantlings alone were sawn from the whole log. In 1972, which was the first investigation year, the sawing was done as far as possible to give the best and most individual sawing yield for the log. The resulting range of dimensions, however, complicated the practical performance of the work. In the second summer, therefore, a couple of the most common sizes were concentrated on: the thickness of the pieces were 50 and 22 mm and widths 100, 125 and 150 mm. However, the change of the sawing method did not affect the comparability of the results obtained during different years.

The sole criterion for grading the sawn timber was the storage damage. In accordance with the export sawn goods grading instructions, the goods were graded into u/s, fifths and sixths. The pieces were shortened if this made it possible to raise the quality class to u/s. The agent causing the storage injury, its location at the ends or in the middle of the board, and the quality class of each board were noted. The boards were grouped into storage lots on the basis of the felling and storage time and each piece was assigned the number of the log.

The lowering effect of the storing injuries seen in sawlogs on the value of the wood depends on the nature, extent and location of the injuries (Vientisahatavaran lajitteluohjeet 1960). Larval tunnels constitute the most serious group of storing injuries; even a single large-diameter hole or several small-diameter holes leads to rejection of the sawn timber piece. In sawn timber grading, large-diameter holes are bored by *Siricidae* and *Cerambycidae* larvae. In Finnish conditions, small-diameter holes are practically speaking bored only by *Trypodendron lineatum* Oliv.

A small number of small-diameter holes in a few pieces per lot of goods are permitted in fifths and sixths. The quality requirements regarding decay are also quite strict; no decay is permitted

in the u/s quality and even in fifths decay may be present only in firm form as narrow strips. Firm decay is permissible without limitation in sixths and soft decay only in narrow strips. No decay of the soft type originated during six months. The presence of decay and its extent in the sawn timber pieces were estimated by the naked eye on the basis of discoloration (cf. **Hintikka** and **Laine** 1970).

A small number of slender pale log blue stripes and spots are permitted in pieces that otherwise qualify for higher u/s quality classes. In the fifth quality a small amount of log blue and in sixths an unlimited amount is permitted.

Cracks are permitted in the u/s grade with certain provisos and restrictions. They must not extend right across the piece. In fifths, on the other hand, even cracks that extend partly across are permissible provided that the piece holds very well. In sixths, cracks are placed in the same group as some similar injuries and are permitted provided that they do not endanger the firmness of the goods.

Following the moisture content of logs and growing trees. The seasoning of the logs was studied at various times during storage. A pine and spruce moisture log was placed for each sawing lot and in each landing. Before sawing, samples were taken 30 cm from each end of the logs, at 1/4 length and from the middle, as shown in Fig. 2. Moisture changes were followed only in the sapwood as that is where most insect injuries and deterioration occur.

In addition to the test trees two pine and spruce stems were felled at the turn of the month at each investigation site. The variations in the moisture of growing trees was followed in these stems. In the same way as from the moisture logs, samples were taken from the sapwood of the test trees at two meter intervals from the 0 height of the tree up to the approx. 3 cm thick top part.

Calculation of the value of sawn timber. The volume of all the sawn timber pieces obtained from the logs was calculated both unshortened and shortened. It was possible in this way to calculate the shares of the quality classes from the volume of the log or the sawn timber obtained from it. The slabs and endings which are not sawn goods proper were taken as chips. The chip price used was 52 marks/m^3 (loose measure), applying 40 % to convert solid measure to loose measure. The quantity of sawdust was estimated to be 10 per cent of the sawlog volume, but because of its relatively small importance sawdust was disregarded in calculating the value of the log.

Sawn timber prices were calculated according to the retail sale prices in 1975 for export sawn goods, separately for full-edged and waney sawn goods. Fifths and sixths were not separated in

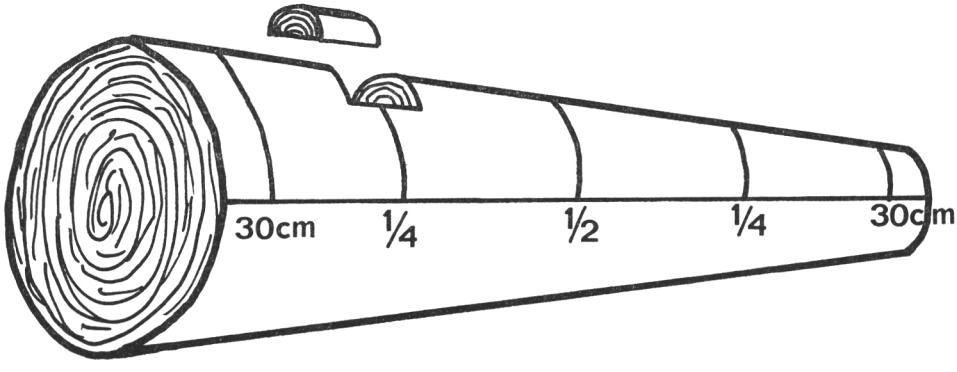


Fig. 2. The method of sampling log moisture content.
Kuva 2. Tukkien kosteusnäytteiden näytteenottomenetelmä.

the pricing. Each species was priced on the same bases, also for waney sawn goods. In calculating the price of the sawn timber from the sawlogs only the storing injuries were taken into consideration and this price was compared with that of faultless goods (cf. **Uusvaara** and **Löyttyniemi** 1975).

Protective spraying test. The effect of chemical protective agents against insects and blue staining was studied by spraying one 5-log lot of spruce and pine logs felled on April 1. The spraying was done in both the sunny and the shady storages before the swarming of the insects, in the middle of April in 1972 and 1973 in Tuusula and in 1972 in Bromarv. The insecticide used was lindane and the anti-bluestaining agent was pentachlorphenol which are the only substances used today in Finland for the protection of unbarked softwood.

The concentration of the agent in the spraying solution was lindane 0,4 % and pentachlorphenol 0,6 %. An average of about 1 litre of the aqueous emulsion spray was used per log. The thick-barked butt parts were treated with almost double the quantity needed for the smooth-barked parts.

The logs were kept in storage to the end of September when they were examined for deterioration and then sawn together with the other lots.

Weather conditions. The summers of 1972 and 1973 were warmer than average and in the middle of summer 1973 there was less rain than normally. Summer 1974 was cooler and the precipitation greater than the long-term mean. In summer 1975, May and September were warmer than usual but it was very cool and rainy around the end of May/beginning of June (cf. **Kolkki** 1966, **Helimäki** 1967). The 24-hour temperature summations (d.d. +5°C) during the growing season were as follows:

Bromarv	1972	1 498	Punkaharju	1973	1 388
»	1973	1 384	»	1975	1 417
Tuusula	1972	1 432	Kivalo	1973	937
»	1973	1 339	»	1975	826
»	1974	1 192	Laanila	1973	833
			»	1975	587

The 24-hour mean temperature and precipitation at the experimental localities are presented in Fig. 3.

22. Investigation material

The studies were carried out chiefly in South Finland in two localities: Ruotsinkylä in Tuusula and Solböle in Bromarv. Partly the same investigation methods were used in Punkaharju, Kivalo and Laanila. Storing experiments were conducted in Bromarv in 1972—1973, Tuusula in 1972—1974 and Punkaharju, Kivalo and Laanila in 1973 and 1975. All these investigation sites are in experimental areas of the Finnish Forest Research Institute.

Tuusula and Bromarv can be considered to represent primarily the deterioration conditions of South and Central Finland, whereas Punkaharju is illustrative of the special conditions in East Finland, especially as far as the insect population is concerned. Kivalo and Laanila represent the Lapland area where the growing season is shorter than in the rest of Finland.

The coordinates for the investigation sites are:

Tuusula	N 60°21′; E 24°59′
Bromarv	N 60° 2′; E 23° 2′
Punkaharju	N 61°46′; E 29°18′
Kivalo	N 66°20′; E 26°43′
Laanila	N 68°24′; E 27°22′

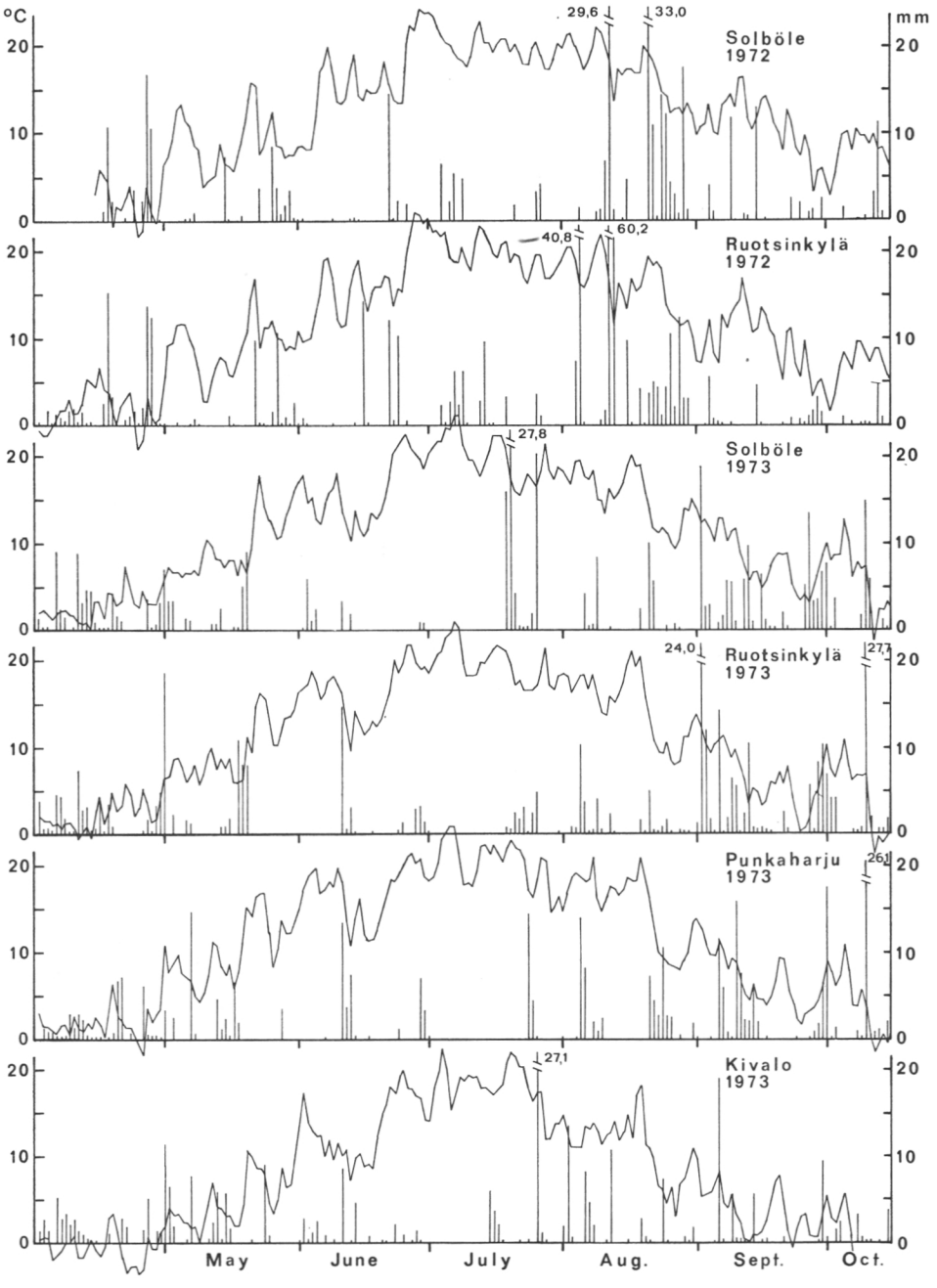


Fig. 3. Temperature and precipitation at the investigation localities, by year (Columns = precipitation, unbroken line: mean 24-hour temperature).

Kuva 3. Lämpötila ja sademäärä tutkimuspaikkakunnilla vuosittain (Pylväät = sademäärä, yhtenäinen viiva = vuorokauden keskilämpötila)

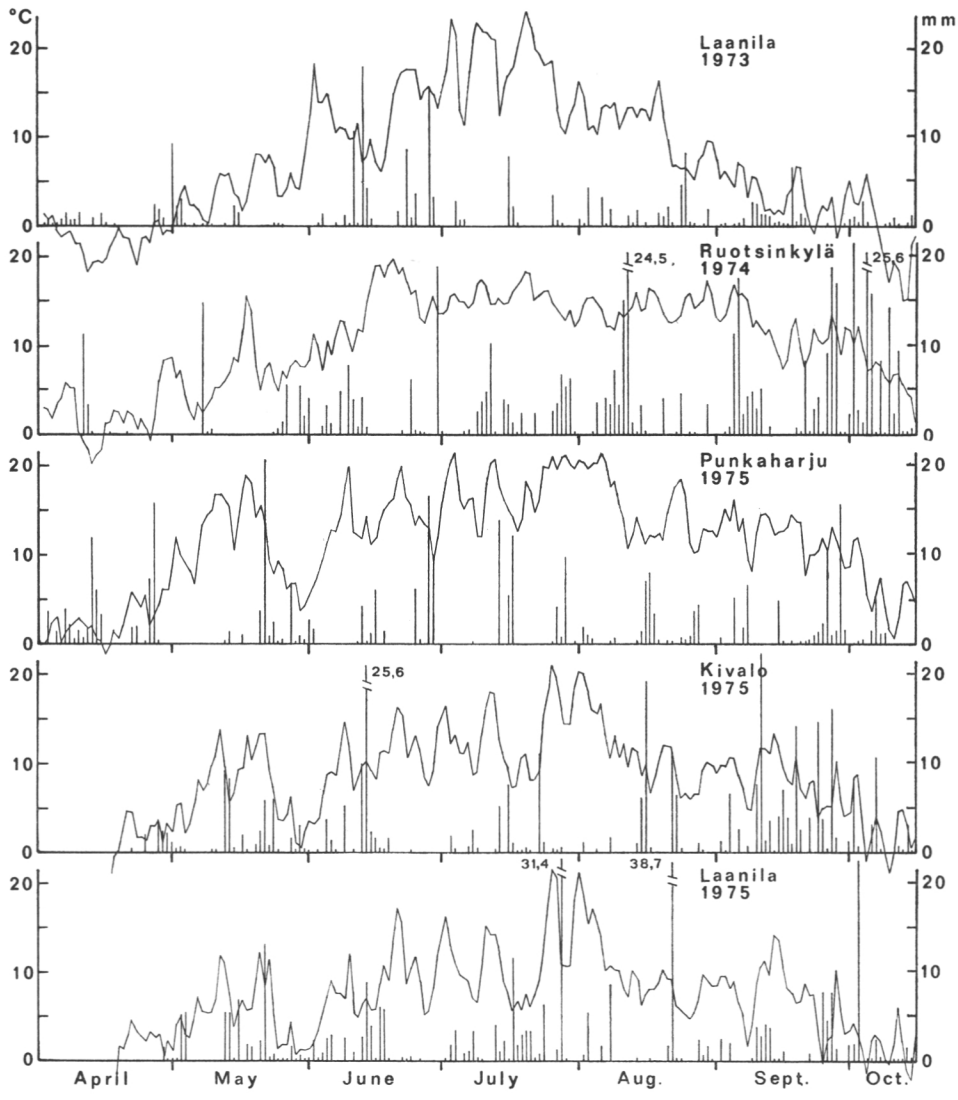


Fig. 3. Cont.
Kuva 3. Jatkoa

In Bromarv, the test logs were prepared from stands of Myrtillus type (MT) treated by clear cutting in 1972—1973. In Tuusula, the test logs made in 1972—1974 all came from the same stand which was also of Myrtillus type (MT) and a final cutting area.

The following general information can be given about the stands.

Locality	Composition of tree species	Basal area	Volume, solid cu.m per hectare
Bromarv 1972	Pine 70 % Spruce 30 %	28	265
» 1973	Pine 25 % Spruce 75 %	25	240
Tuusula 1972—1974 .	Pine 30 % Spruce 60 % Birch 10 %	17	170

The test stand at Kivalo was of Empetrum-Myrtillus type (EMT) and its growing stock consisted chiefly of pines. The mean age of the stand was 150 years. Laanila's test logs came from a virgin forest comprising solely pines. The age of the growing stock varied considerably, but the mean age was about 250 years. The trees were thus slow-growing which was the reason for the narrow annual rings and the high percentage of latewood (Table 3). The district belonged to the forest vegetation zone of Forest-Lapland and the forest site type was Myrtillus-Calluna-Cladonia (MCCLT).

The following number of logs prepared in each locality was:

Locality	No. of logs For test sawing	For moisture experiments
Bromarv	860	170
Tuusula	1 280	255
Punkaharju	51	10
Kivalo	100	20
Laanila	51	10
Total	2 342	465

The volume was calculated and quality graded of approx. 20 000 sawn goods pieces yielded by the test sawings. As five moisture samples were taken from each moisture log the total of the moisture samples was 2 325. For basic data on the test trees and logs of the investigation material, see Tables 2 and 3.

The bark percentage of the test logs by log and tree species was as follows:

	Bark, %			
	Butt end		Top end	
	Pine	Spruce	Pine	Spruce
Butt logs	21,2	10,4	8,2	9,1
Middle logs	8,2	9,1	5,8	9,2
Top logs	6,2	9,1	6,1	10,3

3. RESULTS OF THE INVESTIGATION

31. Occurrence of storing injuries

Tables 4—8 show the occurrence of different storing injuries in the sawn goods pieces.

Blue staining was the commonest injury in the sawn timber and the logs (Tables 4—8). Up to and including the sawn timber lot at the end of May/beginning of June, the sawn goods pieces in Tuusula and Bromarv contained blue staining only occasionally, but the damage increased markedly during June (Tables 4—8). Blueing in the early part of the summer, including the lots felled on June 1 and sawn on July 1, had spread mainly via the galleries of bark beetles (Table 30). The principal causative agent of blue staining in pine butt logs was *Blastophagus piniperda* (L.) and in thin-barked pine logs *Blastophagus minor* (Hartig). The blue staining caused by insects which was encountered in the early part of the summer was in spruce logs due to the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv.).

Logs felled at the beginning of June and stored for 6 weeks and those felled at the beginning of July and stored for 4 and 6 weeks contained abundant blue staining

which had spread through insect galleries, bark breaks and cut surfaces. A typical feature of these lots was abundant blue staining also in the centre goods of sawlogs in which up to that time the blueing had mostly been only occasional. As already mentioned, the heartwood zone does not become bluestained. The part of the log called centre goods and made chiefly into large sized sawn goods which is obtained from the heartwood zone often extends, however, to the part of the living sapwood zone that is prone to blueing. The most noteworthy insects causing blue staining in the June—July log lots were *Ips typographus* (L.) and *Orthotomicus proximus* (Eichh.) in spruce logs, *Ips typographus* in thick-barked pine logs and *Orthotomicus proximus* in the thin-barked part of pine logs.

The lots felled at the beginning of August in Bromarv and Tuusula again displayed abundant blue staining, but insects were not important in its spread for practically all the blueing that occured at the end of the summer had spread via bark breaks and cutting surface. The slight blue staining which occured in September mainly through the cut ends was no longer of economic significance.

Judging by the survey carried out in Punkaharju at the end of September, the blue staining of the logs had occured in roughly the same manner as in Bromarv and Tuusula, except that *Ips acuminatus* (Gyll.) was also a harmful blue-staining agent in thin-barked pine logs in the April and May felling lots. Blueing was in fact more complete in Punkaharju than at the other investigation sites. The main agent causing blue staining of thick-barked pine logs in Kivalo was *Blastophagus piniperda* for the two earliest felling lots and *Ips typographus* and *Ips sexdentatus* (Börner) for the felling at the beginning of the summer. Blueing of thin-barked pine logs had been caused above all by *Orthotomicus proximus* in the three earliest felling lots and, more occasionally, by *Ips acuminatus*. The spruce log felling lots of the spring and the beginning of the summer were badly blue stained by *Ips typographus*, *Ips sexdentatus* and *Orthotomicus proximus*. Bark beetles were no longer encountered in the felling lot of early August and all the discoloration seen had spread through breaks and cut surfaces.

In Laanila, the thick-barked pine logs of the April and May felling lots were badly blue stained because of the spread of the discoloration through the galleries made by *Blastophagus piniperda*. *Ips sexdentatus* which was met with frequently also in the logs felled on June 1 was also common in the same logs. Blue staining in thin-barked logs was due primarily to the insect galleries of *Ips acuminatus* and *Orthotomicus proximus* in the three oldest log lots and partly even in the lot felled on July 1. However, the discoloration that had spread in the felling lot of the beginning of July via breaks and cut surfaces was more pronounced than the discoloration which had spread through insect galleries, and all the blue staining in the felling lot of early August had spread without the agency of insects (cf. Table 30).

In addition to the insect species already mentioned, there were numerous other bark beetle species in the logs; the commonest of them in both pine and spruce logs were the *Pityogenes* species. Their role in the deterioration of the logs was small, however, either because of the random nature of occurrence or because the blue

staining spread relatively slowly through the galleries of these insects and remained superficial.

Tables 4—7 show that the blue-staining discoloration was on the whole somewhat more common in Tuusula than in Bromarv. This was due partly to the higher prevalence of bark-damaging bark beetles in Tuusula (Table 30), but especially to the drag skidding method of harvesting in Tuusula which caused more numerous and more extensive bark breaks than the crane-trailer transport employed in Bromarv (Table 1). Because of this the test sawings in Tuusula, especially in the early part of the summer, showed blue-stain blots in the middle of the sawn goods pieces; these are more harmful than injuries at the ends of the pieces. Comparison of the tree species showed that pine was distinctly more badly blue-stained than spruce at least in the two principal investigation areas.

The lots felled at the beginning of June and July displayed black mould at all the storage points in South Finland and in Kivalo, too, in 1973 in the sapwood of the cross-cut surfaces. The discoloration was particularly dark and penetrated deep into the wood near the black mould.

The areas of the logs with intact bark and no insect galleries remained undamaged and clear in thick-barked logs in South Finland throughout the summer beginning with the felling lot of the beginning of June and in North Finland in all the felling lots. Nor was any noteworthy discoloration seen in the area of thin bark in the shady storages in South Finland, and the discoloration was minimal even in the sunny storage sites.

A characteristic of the occurrence of blue staining was that it was judged to be smaller at the preliminary pre-sawing examination of the logs than at the grading after sawing, especially when the blue staining was slight. No significant blueing was thus observed at any of the sites in the logs stored for 2 and 4 weeks, although it was sometimes encountered quite generally in the sawn timber lots made from them (cf. Tables 4—8).

Larval tunnels. There were larval tunnels in the pine and spruce logs at all the investigation localities and in all the felling lots with the exception of those of the beginning of August and September. *Trypodendron lineatum* holes were common in the April and May felling lots. In Laanila and Kivalo holes were still observed occasionally in the lot felled on June 1, and in Tuusula in 1974 in a spruce log felled at the beginning of July. The tunnels were sometimes harmfully deep in South Finland already two weeks after the beginning of swarming, that is in the middle of May, but it was not until a month later that blue stain had spread through the holes to the log. *Trypodendron lineatum* spoilt a considerable part of the side boards of spruce logs felled in spring, whereas scantlings were almost unaffected everywhere. Although numerous attacks by *Trypodendron lineatum* were detected in the logs at the preliminary examination, the sawn goods generally remained intact in the course of 6 weeks apart from a few occasional cases of damage. There were more tunnels of *Trypodendron lineatum* in spruce than in pine logs, although the highest hole densities

were seen in pine logs in Laanila. *Trypodendron lineatum* occured in Tuusula and Bromarv solely in logs that were stored in the shade.

In all the logs of the spring and early summer felling lots, including the lots felled on July 1, tunnels bored by *Cerambycidae* larvae were common. However, these holes occured in sawn goods exclusively in the last sawing at the end of September, for *Cerambycidae* larvae begin to bore from below the bark deeper into the wood only after the middle of August. *Cerambycidae* tunnels were observed in Laanila only in summer 1973, for in the cooler summer of 1975 (Fig. 3) larvae did not manage to bore their way from below the bark into the wood before the arrival of winter. All the *Cerambycidae* tunnels in pine logs were bored by larvae of the *Monochamus* species, of which the commonest was evidently *Monochamus galloprovincialis* Oliv. Holes bored by *Monochamus* larvae were found solely in the thin-barked area of the logs and more common in Bromarv and Tuusula in sunny storages (Fig. 4). The tunnels seen in spruce logs were all bored by larvae of the *Tetropium* species, obviously

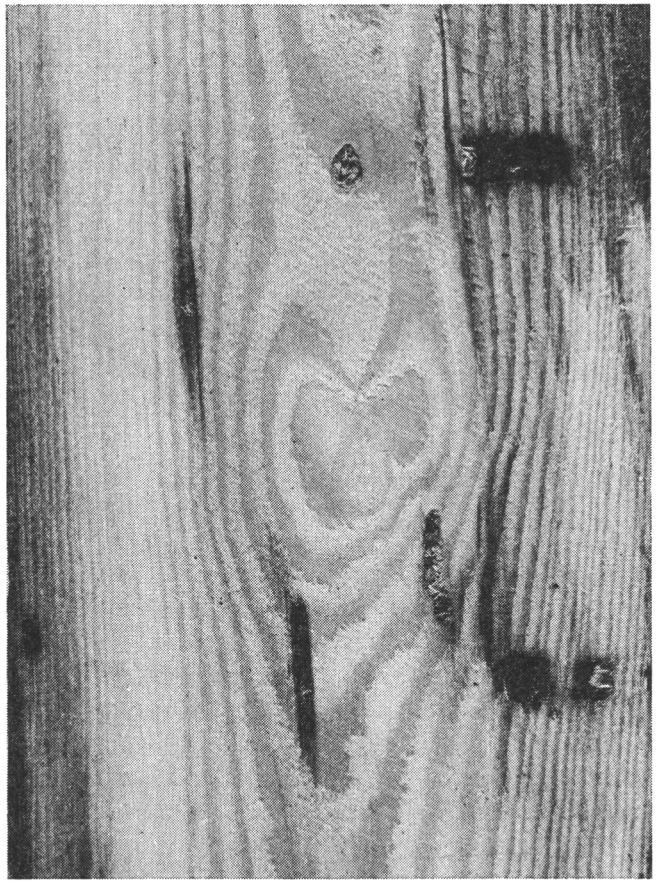


Fig. 4. Pine sawn timber damaged by *Monochamus* larvae.
Kuva 4. Monochamus-toukkien vahingoittamaa mäntysahatavaraa.

first and foremost *Tetropium castaneum* (L.). Holes produced by *Tetropium* larvae were seen throughout the stem area of spruce logs, but were most abundant in the thick-barked butt end of butt logs. The defect was sometimes possible to remove by shortening the sawn goods piece. *Tetropium* larvae tunnels were more abundant in shady than in sunny storages.

No defects caused by *Siricidae* larvae were detected in the sawn goods although small-sized larval stages of wood wasps were seen occasionally near the wood surface in South Finland at the examination performed at the end of September.

The larval tunnels were confined to the side board area during the 6 weeks' storage in Tuusula and Bromarv. No holes were seen in the sawn goods of the August and subsequent felling lots, but larval tunnels placed a considerable role in the quality deterioration of also centre goods pieces in the July 1 and older felling lots which had been stored over the summer.

D e c a y. Decay, defined according to the discoloration of the wood, occured on a small scale in South Finland already in the middle of the summer in logs stored for 6 weeks (Tables 4—8), but in North Finland only after 12 weeks' storage. The colour of the decay was then generally light brown, yellowish and red, and disappeared when the sawn goods were seasoned. Logs felled in the spring and early summer and stored to the end of September revealed decay frequently at all the experimental localities, usually brown in color. It was most profuse at the log ends and spread from there into the inner parts of the wood. Decay in the middle of a log was especially in places that were seriously injured by insects. The decay encountered even in the logs stored longest was hard in all cases. Sporophores of the *Stereum sanguinolentum* (A. & S.) fungus were common in the log ends of the lots stored longest in autumn 1972 and 1973 in South Finland; this was true especially of shady storages (Fig. 5).

C r a c k s. Since the logs were unbarked cracks due to seasoning appeared in the log ends around the heart part of the log while the sapwood part was generally intact. However, when there were large tears in the bark small cracks were sometimes seen even in the middle of the log. No cracks were seen in the May sawings, but there were already some in the lots sawn at the beginning of June (Tables 4—8). The number of cracks increased steeply in the felling lots of the beginning of June and July as the temperature rose. The number of cracks decreased again in the late summer fellings as the seasoning of the logs slowed when the temperatures dropped and the relative air humidity increased. However, the number of cracks does not always decrease evenly when the storage time is shorter, for precipitation and changes in humidity cause variations in this respect. Crack defects caused chiefly quantitative sawn goods losses for the crack had generally to be removed by shortening the piece by 30—60 cm.

D e t e r i o r a t i o n o f p r o t e c t e d l o g s. Table 9 (cf. Tables 4—7) shows the occurrence of storing injuries in logs treated with protectants in Tuusula and Bromarv when the storage time was 24 weeks. Protective spraying completely



Fig. 5. Sporophores of *Stereum sanquinolentum* fungus on the cross-section surface of a spruce log.
Kuva 5. Stereum sanquinolentum -sienen itiöemiä kuusitukin poikkileikkauspinnalla.

prevented the occurrence of insects in spruce logs and thin-barked pine logs (cf. p. 14). Holes made by *Trypodendron lineatum* and galleries of *Blastophagus piniperda* were seen occasionally only in the thick-barked part of pine logs where the surrounding sapwood was heavily blue-stained. The blue staining was paler and more superficial on average in the cut surfaces and the bark breaks than it was in untreated logs. However, the discoloration had spread in places right through the sapwood and the proportion of sawn goods pieces damaged by blue staining was consequently relatively great. Protective treatment decreased slightly the occurrence of decay. The number of splits was also possibly smaller in the protected than in the unprotected logs. This may have been due to the absence of insect galleries which loosen the bark.

Moisture and deterioration of logs. The moisture content of green wood varies over the range of approx. 130—160 % in sapwood (Fig. 6), which is higher than the optimum for blueing fungi. According to the figure, this optimum moisture is more readily attained in butt logs, and hence it may be assumed that they are more susceptible than other logs to this form of deterioration. However, some other factors mentioned in the foregoing caused in butt logs less deterioration than in the inside and top logs. The following table shows the average sapwood moisture content of newly-felled stems in different periods of the growing season.

	Pine	Spruce
	%	
1. IV	121	144
1. V	129	134
1. VI	128	140
1. VII	126	135
1. VIII	129	140
1. IX	136	152

However, the seasoning and the rate of blue staining or decay of logs does not always proceed evenly as a function of the storing time, for variations in precipitation and temperature change the log moisture content of individual storage lots. Therefore, logs stored for different lengths of time do not conform to rule in the development of moisture during storage and the corresponding advance of storage injuries (Tables 4—7). In the best seasoning period, the logs attained in approx. 6 weeks the moisture level of 100 % regarded as the upper limit of the optimum for the activity of the fungi (Table 10).

Long-term temperature and precipitation variations which differ considerably from the mean may play a notable role in preventing the origin and spread of storing injuries. An example of the effect of weather conditions on preservation of logs is the exceptionally warm middle of the summer with little precipitation in 1973 (Fig. 3) when the logs remained almost undeteriorated in storage from the beginning of May to the middle of July. The beginning of the summer of 1974 was cool, with exceptionally high precipitation in southern Finland, which almost completely prevented the origination of storing injuries in the lots felled after Midsummer (Fig. 3).

32. Quality of sawn timber

Tables 11—16 and Figs. 7—10 show the shares of the different grades in the volume of sawn goods for pine and spruce by locality. The quality class distribution compares the logs felled at different times and test-sawn after storage in the forest for varying periods.

Logs felled and prepared at the beginning of April kept without defects for 4 weeks, but at 6 weeks *Trypodendron lineatum* holes which lower quality were encountered occasionally. Logs felled at the beginning of May and stored for 4 weeks had no appreciable defects. There were, true, some *Trypodendron lineatum* holes and seasoning caused some splits at the ends of the logs which it was possible to remove during sawing. Because of the slight blue staining only about 2 % of the sawn timber was graded as fifths or sixths. It was not until the logs felled on June 1 and stored for 4 weeks (lot 7) that the effect of blueing began to increase and about 3—4 % of the sawn goods were graded as sixths (cf. Tables 4—7).

In Bromarv, it was not necessary during a storage time of 6 weeks to reject sawn goods even in lots prepared later than this, whereas in the Tuusula area a part of

the side boards were rejected because of increase blue staining. Lots 17—20 which had been stored over the summer yielded very small amounts of undamaged sawn goods. The shares of sixths and culled logs then averaged 43 and 22 % of the sawn goods from South Finland. The reason for rejection was roughly equally frequently holes bored by Cerambycids and *Trypodendron lineatum*, decay and blueing. It was not until the beginning of August in North Finland and at the beginning of September elsewhere that felling and forest storage were possible without quality losses to the sawn goods.

Storing injuries were greater in the Punkaharju investigation area than in the other localities (Table 16). From the trees felled at the beginning of April, 57 % of the centre goods and no less than 70 % of the side boards were spoilt by larval tunnels (Table 8). The Punkaharju test logs came from old pine plantations growing in relatively good soil, and they had the thin bark favoured by the *Monochamus* species also at the top end of the butt logs. Although the number of larvae in logs was not very great, they were found in almost all the test logs.

The regional comparison also showed that storing injuries were more pronounced on average in South than in North Finland (Table 16). In addition to the longer warm period in South Finland the rate of deterioration is influenced by the even increase in the heartwood content on moving north (cf. p. 13). Beetles and blueing fungi are capable of activity chiefly only in the area of the living sapwood tissue. For this reason although the sapwood of some log lots in Laanila, the northernmost investigation place, had deteriorated to the point where they were almost unfit for use, the logs yielded on the whole more undamaged sawn goods than the average. However, it was not possible to explain the superiority of the quality class distribution of sawn goods by the heartwood content. The correlation between the heartwood content and the share of the u/s grade was rather weak in all the storage lots studied.

A comparison is made in Table 17 of the differences in the quality class distribution between the tree species and the storage sites in the two main investigation areas, Bromarv and Tuusula. Pine was preserved less well than spruce in an opensite storage both in Bromarv and in Tuusula, whereas the quality class distribution of pine was slightly superior to that of spruce in a shady storage. The difference between the tree species in the open storage was statistically significant ($F = 9{,}818^{**}$; $F_{0{,}05} = 6{,}63$) as regards the u/s ratios. The difference was not significant in the shady storage ($F = 2{,}841$; $F_{0{,}05} = 6{,}63$).

The differences reported are accounted for primarily by the observation that the bark beetle galleries which caused heavy blue staining were more widespread in pine than in spruce logs in the sunny storage and fewer in pine than in spruce logs in the shady storage (Table 30). In addition, wood boring species were more common in pine logs in the sunny storage and in spruce logs in the shade.

In Kivalo, all the logs were stored in a sunny place where pine was preserved less well on average than spruce. The sawing results varied, however, for the different quality classes. The u/s ratio for pine was a little better but the culled ratio was con-

siderably greater than for spruce. This was attributable to the heavier blue staining caused by the injurious blueing insects in the sapwood part of pine logs than in that of spruce logs.

The sawing results for the different storage sites showed no clearly discernible differences in the quality distribution of pine. Spruce kept better on an open storage site, especially in Bromarv where the difference in the shelter and shade of the two storage types was more complete than in Tuusula. The difference was statistically possibly significant ($t = 1{,}970^*$; $t\ 0{,}05 = 1{,}96$).

For pine, this was due to the fact that although the insects which cause blueing and live under the bark (Table 30) and the holes bored by the *Monochamus* species were more common in the sunny than in the shady storage, the tunnelling *Trypodendron lineatum* occured solely in the shady storage. For spruce, on the other hand, especially the tunnelling species but also those living under the bark were more common in the shady storage.

The local quality distribution differences can be elicited by comparing the u/s and culled ratios. When the logs were stored in the open, and this method was used in all the investigation areas, the local differences in the shares of both u/s and culled classes were highly significant ($F = 33{,}193^{***}$ and $F = 13{,}012^{***}$; $F0{,}05 = 2{,}37$). The differences were no longer significant ($F = 2{,}478$ and $F = 0{,}040$; $F\ 0{,}05 = 3{,}84$) in shady storages such as those used solely in Bromarv and Tuusula.

According to the results, the most serious storage defects and thus the greatest losses are to be expected in pine top logs stored in an open site. As the heartwood content of top logs is smaller and the bark thinner and thus affords less protection than in butt logs, top and inside logs deteriorate more readily than butt logs (Table 18). The differences are not statistically great; the differences in the share of the u/s grade are possibly significant ($F = 4{,}084^*$; $F\ 0{,}05 = 3{,}00$), but the test showed no statistical significances for fifths, sixths and culled classes despite minor differences.

Tables 19—21 show the quality distribution of the test sawings calculated from the volume of the log, and Table 22 gives that for logs treated with protective spraying. Chemical protection was especially efficacious with spruce logs for it prevented the occurrence of insects completely. It was partly for this reason that hardly any sawn goods were placed in the culled classes.

In the sorted lots in which all the sawn timber qualified as regards defects, the sawn goods yield was an average of 55 % which corresponds fully to the yield obtained in normal sawings (**Isomäki** 1969, **Heiskanen** 1970).

33. Value of sawn timber

Tables 23—25 give the value loss in marks caused by storing injuries by locality and on average, and Tables 26—28 show the corresponding storing losses in per cent also for the different tree species. The figures were calculated assuming that the

part of the log not suitable for sawn goods is made into chips which has the normal market price of chemical pulp chips. Had the calculations taken into consideration only the sawn goods, the loss would have been 100 per cent in many storage lots. On the other hand, the real losses are not quite the same as the theoretical values calculated here which relate only to storing injuries. Badly deteriorated sawlogs are usually sold as pulpwood for which the price is not exactly the same as the price of chips.

When storage was limited to 2—4 weeks in May—June the maximum loss was 1,4 % and there was hardly any value loss after the end of August/beginning of September. However, the sawlogs remained practically undamaged already in August in Kivalo and Laanila. July and August were the most dangerous period for storing losses; storing for a month raised the loss to over 4 % and storage for 6 weeks to over 6 %. It may be taken as a general rule according to these results that when a maximum storage time of 3 weeks is used during the summer the value loss is kept down to approx. 1 %.

In the period between March and October, when the storage time was 6 weeks at the most, the maximum storing loss was around 10 %, that is, approx 6 marks per log. When the storage lasted from 5 to 6 months the loss rose in the south even to 27 % (12 marks) of the value of log, in Punkaharju to 39 % (25 marks) and in Lapland to 28 % (19 marks). These figures refer to sawing in which about 70 % of u/s and 30 % of fifths and sixths are the theoretical yield. The losses were smaller on average in North Finland than in South Finland although the difference was not great.

The storing losses per log cu.m. and cu.ft. are presented in Table 29. The calculation principle described in the foregoing was used in compiling the table.

The value losses of scantlings and side boards made of sawlogs treated with protective substances and stored for 6 months were 14,1 and 19,2 % for pine and 10,0 and 12,1 % for spruce (cf. also storage lot number 17 in the tables). Pine logs thus deteriotared more than spruce logs even when protected.

4. DISCUSSION

Sawlogs stored in the forest during April—June for a maximum of 4 weeks displayed only occasional larval tunnels and blue staining that had spread chiefly through insect galleries made by bark beetles. The significance of airborne blueing in log damage grew in the course of July—August, whereas the occurrence of insects decreased and in the lots felled after the beginning of August insects no longer played any role in spreading blue staining. Lots felled in the spring and early summer and stored until the autumn were very badly damaged by blue staining, decay and larval tunnels.

A considerable number of the insects species that damage timber were encountered in the logs (cf. **Saalas** 1917, 1919, 1949). A difference found here on comparison with the bark beetle species causing blueing in the older timber felled during the previous autumn and winter was the high prevalence of especially *Ips typographus* in pine logs and the occurrence of *Ips sexdentatus* in spruce logs. In addition, the role of *Blastophagus piniperda* and *Orthotomicus proximus* in causing blue staining in logs prepared in the spring and in the beginning of the summer was obviously greater than it is in the older timber (**Saalas** 1949, **Lekander** and **Rennerfelt** 1955, **Tuovinen** 1959, **Hakkila** 1964, **Rummukainen** 1964, **Salonen** 1966, **Mathiesen-Käärik** 1953).

Tunnelling by *Trypodendron lineatum* was common in the logs of the two earliest lots. According to previous studies and practical experience, *Trypodendron lineatum* generally does not, however, attack timber felled in the spring and early summer (**Christiansen** and **Saether** 1968, **Ventola** 1965, **Hakkila** 1964, **Uusvaara** and **Löyttyniemi** 1975, **Annila** 1975). Larval tunnels made by the Cerambycid species *Monochamus* spp. and *Tetropium* spp. were a common finding at the end of the summer in the logs of the four earliest felling lots. The *Monochamus* species have also been reported earlier to be very injurious in pine and spruce logs (**Trägårdh** 1929, **Saalas** 1949, **Kangas** and **Salonen** 1960), but the *Tetropium* species have not formerly been observed to have damaged timber in Finland (cf. **Schimitschek** 1929, **Saalas** 1949, **Juutinen** 1955).

Injuries caused by the larvae of Siricids were not seen in the sawn goods in the present work although the logs had been attacked by these insects. *Siricidae* larvae evidently do not in Finnish conditions advance far enough during the first autumn to cause significant damage (cf. **Saalas** 1949, **Morgan** 1968, **Nuorteva** 1969). Moreover, any larvae that may remain in the sawn goods pieces will be killed by kiln drying.

Blueing was the commonest and most significant storing injury throughout the growing season in sawlogs stored for 2, 4 and 6 weeks. Only in the sawlogs stored for 5 to 6 months and sawn at the beginning of October was decay found on a scale comparable with blueing. The amount of degay was greater in the pine than in the spruce logs in Bromarv, Tuusula and Kivalo. According to **Wilhelmsen** and **Foslie** (1968), spruce decayed faster than pine and, contrary to the present finding, spruce revealed more decay than blueing. When the tree species were examined for blueing pine was observed to have distinctly worse blue staining than spruce in the two principal investigation areas (cf. **Wilhelmsen** and **Foslie** 1968).

Sawn goods made of sawlogs stored in Kivalo and Laanila displayed less decay than the material from the southern investigation sites. Owing to the higher heartwood content of the trees in North Finland (cf. **Bruun** 1965, **Bruun** and **Willberg** 1964, **Hakkila** 1968), scantlings were less but side boards equally heavily blue stained as at the South-Finnish investigation sites.

Decay was observed in the sawlogs at the earliest 6 weeks after their preparation. *Stereum sanguinolentum* fungus was established to be the decay-producing fungus in at least a part of the logs. **Henningsson** (1965) observed decay in pine logs as early as 3 weeks after the beginning of storage, but it was not then a discoloration visible to the naked eye. Five blueing fungus species accounted for about 90 per cent of all the fungus species isolated from pine which is more susceptible to deterioration than spruce. Swedish studies have reported that the worst blueing agents in pine and spruce are *Ceratocystis pilifera* and *Ceratocystis piceae*, and the worst causes of decay in pine are the *Peniophora gigantea* and *Stereum sanguinolentum* species (**Henningsson** 1965, cf. also **Björkman** 1958 b).

The number of cracks varied fairly irregularly and independently of the storing time. Nor did logs stored through the summer display significantly more numerous cracks than logs stored 2, 4 and 6 weeks during the growing season. There were considerably fewer cracks in side boards than in scantlings.

The occurrence of cracks and other storing injuries is considerably influenced by precipitation and air temperature. Storing injuries in logs stored for differing lengths of time do not therefore, always conform to rule. Some differences occur also between tree species in the rate of drying. In **Hakkila**'s (1964) studies unbarked spruce pulpwood dried considerably faster than pine during the summer season. The result can probably be applied also to saw timber, but this point was not investigated in the present work. The seasoning of the log progresses chiefly from the cross-cut surfaces in the bark is intact, in other words, the moisture content of the log rises from the ends towards the middle. According to **Hakkila**'s (1964) results, the moisture of pulpwood logs originating in the trees felled at the beginning of August decreased more over a distance of 30 cm from the top end than in the middle of the log. The outermost logs in multi-storey stacks have been found in several studies to be more susceptible than the inner parts of the stack to insect attacks (e.g. **Tuovinen** 1957, 1959, **Butovitsch** 1960, **Kangas** and **Salonen** 1960). As the present log material was stored on 1-storey skids the results relating to deterioration are perhaps not fully applicable in this respect to practical conditions.

The test results for the use of chemical protectants showed that careful spraying of logs with lindane insecticide in the spring protects them against insect injuries all through the summer (cf. **Löyttyniemi** 1971, **Berisford** and **Brandy** 1975). However, complete protection of thick-barked pine logs is difficult to achieve in practice (cf. **Rummukainen** 1964). The pentachlorphenol preparation used to prevent blueing did not protect the logs; blueing fungi were able to spread the wood, especially through the seasoning cracks (cf. **Pistohlkors** and **Henningsson** 1966). These chemicals cannot, therefore, provide adequate protection against deterioration, at any rate not if storage is prolonged past the middle of the summer. Hence, the use of chemicals is limited to the protection of logs during short-term storage or prevention of the propagation in stored timber

of bark beetles injurious to a growing forest (cf. **Kangas** 1961, **Löyttyniemi** 1975).

The value losses of sawn goods were significant also in logs treated with protective agents, although they were on average approximately a third of the losses for untreated logs. In Norway (**Wilhelmsen** and **Foslie** 1968), protective spraying reduced log storage losses by 1—5 % units.

Sawn goods that were undeteriorated as regards storing injuries were obtained with some exceptions from sawlogs stored during April and May. On the other hand, blueing lowered considerably the quality of logs felled at the beginning of June and stored for four weeks. Two weeks' storage during the growing season very rarely required lowering the grade of the sawn goods piece to sixths. The share of sixths in side boards after 4 weeks' storage rose occasionally to 43 % of the sawn timber volume, and after 6 weeks' storage to 70 %. Lots number 17—20 which were stored over the summer yielded very little faultless sawn goods. The shares of sixths and culled specimens in South Finland were 43 and 22 % on average of the sawn goods obtained. Culling was due roughly equally often to larval tunnels of Cerambycids and *Trypodendron lineatum*, decay and blueing. Felling and forest storage without quality losses to sawn goods was not possible until the beginning of August in North Finland and the beginning of September elsewhere.

The value of the logs fell during the actual summer season in June, July and August after 4- and 6-week storage by an average of 0,5, 2,5 and 6,1 per cent units. The highest value losses, in side boards, were 15 % for pine and 12 % for spruce after storage for 6 weeks. The loss was a little lower for scantlings. Blueing was the main factor in the value decrease. Cracks at the cut ends of the logs and sawn goods pieces caused mainly raw material losses.

Quality and value losses due to storing injuries are known to vary greatly in different years and different conditions. **Wilhelmsen** (1975) reported that unbarked softwood timber stored in the forest over one summer loses 10—15 % of its value unless it is sprayed with protective substances. However, value losses of tens of per cent have been proved in some cases (**Hakkila** 1964). Injuries caused by *Trypodendron lineatum* have involved a loss of over 60 per cent in the market value of softwood sawn goods in Canada and Finland (**Graham** and **Boyes** 1950, **McBride** 1950, **McMullan** 1956, **Löyttyniemi** 1967, **Uusvaara** and **Löyttyniemi** 1975). To avoid this, **Svensson** (1972b) and **Hakkila** (1964) stated that sawlogs prepared in the summer must not be forest-stored for longer than 3—4 weeks.

In a study in Norway, logs were stored in the forest for 3,5 and 6,5 months from the spring and the value loss was calculated as the difference between the original and the deteriorated quality and value. The value loss after these storage times was in the range 1—5, 7—12 and 6—15 per cent units (**Wilhelmsen** and **Foslie** 1968). According to an inquiry addressed to sawmills (**Rummukainen** 1973)

value losses due to storing injuries were on an average 26,5 marks per log cu.m. or 30 per cent of the value of the log.

The amount and significance of the damage that occurs during storage in the forest depend greatly on the original quality and value of the logs; in other words, the value loss from storing injuries is greater the more valuable the log (cf. **Wilhelmsen** 1975). As South-Finnish logs are superior to North-Finnish logs in quality and branchiness class disctribution, inner defects and strength properties (**Heiskanen** 1976), the value losses are obviously also greater in South Finland. When assessing the results of the present study it must be remembered that the true original grade of the sawn goods was disregarded in the theoretical computation of the value of the log.

An increasing proportion of pine sawlogs will be harvested in the future from plantation forests where fertilization and soil preparation are often used. As the heartwood content of fastgrowing plantation pine stems is only about a half of the heartwood content of natural trees (**Uusvaara** 1974) greater losses are to be expected in the former if they are damaged.

The results of this study relate exclusively to storing deterioration during the growing season. Blueing and decay-producing fungi act, though slowly, immediately the temperature has risen above 0°C. Unless the timber is very moist, the myecelium tolerates recurrent freezing and thawing also in winter conditions. During especially mild winters, logs may sometimes suffer discoloration and decay which is seen later in the sawn goods as inner quality defects which are difficult to detect.

SUMMARY

With the gradual change of timber harvesting in Finland to a year-round operation there is timber in forest storages and on roadsides during the summer exposed to deterioration caused by injurious insects and fungi. Injuries during storage are manifested especially as qualitative and quantitative losses in sawlogs.

The purpose of the study was to examine the effect of the time of felling and the duration of the log storage time on the quality and value of sawn timber when the trees are felled during the growing season. The role of factors causing storing injuries and lowering the sawn goods quality was also studied.

The investigations were carried out chiefly in two localities, Tuusula and Bromarv, in South Finland, but comparative experiments were established in Punkaharju in East Finland and in Kivalo and Laanila in North Finland. Pine and spruce logs were prepared monthly for forest storage from the end of March/beginning of April to the end of August/beginning of September. Test logs from each felling lot were stored for 2, 4 and 6 weeks and test sawing were performed at the turn and middle of the months. Some of the logs of the felling lot were stored until the end of the growing season and test-sawn in the autumn.

The sawn goods yielded by test sawings were graded in accordance with the grading instructions for export sawn goods, using only storing injuries as the criteria. The value of the sawn goods was calculated according to the retail selling price of export sawn goods and of the slabs and edgings according to the normal sawmill chip market price.

The investigation material consisted of 1 280 felled test trees from which approx. 2 400 logs were prepared for storage.

The main results were as follows:

1. Sawlogs and sawn goods displayed during April and May only occasional blue staining that had spread chiefly through insect galleries. The logs were preserved practically undamaged also after the end of August/beginning of September in South Finland and after the end of July/beginning of August in North Finland. Insects were notable factors in blueing in log lots felled as late as the beginning of July. Blue staining was abundant during June and July and spread through insect galleries, cut surfaces and bark breaks. Blueing was still abundant in August, but was then caused only by airborne fungi.

The most noteworthy insect species causing blue staining of pine logs were *Blastophagus piniperda*, *Blastophagus minor*, *Ips acuminatus*, *Ips typographus*, *Ips sexdentatus*, and *Orthotomicus proximus*. The most important blueing agents for spruce logs were *Ips typographus* and *Orthotomicus proximus*.

Of the insect species boring tunnels in logs, *Trypodendron lineatum* generally damaged logs made at the beginning of April and May and occasionally also later. Larvae of the *Monochamus* species injured pine logs of the spring and early summer fellings, including the felling lot of July 1, and *Tetropium* larvae attacked the spruce logs of the same felling lots if they were stored beyond the middle of August. Siricid larvae had not caused damage by the end of September.

Blue staining was the commonest storing injury in all the experimental localities. Hard decay was common in logs felled in the spring and at the beginning of the summer and stored until the autumn.

Cracks originated within 2 weeks of the preparation of the logs and were concentrated in scantlings. The role of cracks in lowering the sawn goods quality was relatively small. They caused mainly quantitative losses.

2. Storing injuries during April and May did not lower appreciably the quality of the sawn good from the logs. Scantlings kept well during 2 weeks' storage in June, July and August, and only occasional defects were seen in side boards. But 6 weeks' storage reduced almost half the side boards in several storage lots to sixths and produced considerable defects also in scantlings.

Tunnels bored by *Trypodendron lineatum* led only occasionally to rejection of the sawn goods pieces obtained from the sapwood parts of the logs in the early part of the summer, although this insect was found to be abundant in some lots. Tunnels bored by Cerambycids in particular were of considerable significance in lowering the

quality of both side boards and scantlings from felling lots prepared on and before July 1 and stored over the growing season.

3. The value losses sustained by sawn goods through summer storage were greatest during July and August and increased with the lengthening of the storing time. After 2 weeks' storage the value loss was under 1 % in July—August, but rose on average to approx. 3, 6 and 23 % of the value of the log after storage for 4 and 6 weeks and over the growing season. The losses of actual sawn goods rose in side boards to 15 % for pine and 12 % for spruce. For scantlings they were slightly lower.

REFERENCES

ANNILA E. 1975. Effect of felling date of trees on the attack density and flight activity of *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col. Scolytidae). Commun. Inst. For. Fenn. 86 (6): 1—17.

—»— BAKKE, A., BEJER-PETERSEN, B. & LEKANDER, B. 1972 Flight period and brood emergence in *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae) in the Nordic countries. Commun. Inst. For. Fenn. 76 (4): 1—28.

BAKKE, A. 1960. Insektskader på ubarket gran- og furutømmer i Norge. Summary: Insect injuries to unbarked spruce and pine timber in Norway. Medd. Norske Skogforsøksv. 16: 287—333.

BERISFORD C. W. & U. E. BRANDY. 1976. Duration of protection of Loblolly pines from Ips bark beetles by lindane. J. Econ. Ent. 69: 357—358.

BJÖRKMAN, E. 1946. Om lagringsröta i massavedgårder och dess förebyggande. Medd. Statens SkogsforsknInst. 35: 11—174.

—»— 1958a. Lagringsröta och blånad i skogslagrad barr och lövmassaved. Kungl. Skogshögsk. Skr. 29: 1—128.

—»— 1958 b. Stockblånad och lagringsröta i tall- och grantimmer vid olika avverkningstid och behandling i samband med flottning. Kungl. Skogshögsk. Skr. 30: 1—62.

—»— 1963. Kemisk bekämpning av stockblånad och lagringsröta i tall- och grantimmer. Svenska SkogsvFör. Tidskr. 61: 165—215.

BRUUN, H. 1965. Selluteollisuuden käyttämän männyn ja kuusen sydänpuupitoisuus. Kemian teollisuus 22 (12): 919—922.

—»— & WILLBERG, J. 1964. The heartwood contents of pine (*Pinus silvestris*) and spurce (*Picea abies*). Paper and Timber 46 (4a): 221—227. (Tiivistelmä.)

BUTOVITSCH, V. 1960. Bekämpande av blånadsspridande insekter i sommarlagrad virke. Skogen, 47: 94—96.

CHAPMAN, J. A. & KINGHORN, J. M. 1955. Window flight traps for insects. Canad. Ent. 87: 46—47.

CHRISTIANSEN, E. & SAETHER, T. 1968. Infestation density of *Trypodendron lineatum* (Oliver) (Coleoptera Scolytidae) in Relation to felling date of logs. Norsk Ent. Tidskr. 15: 28—30.

COWLING, E. B. 1961. Comparative biochemistry of the decay of sweetgum sapwood by white and brown-rot fungi. Tech. Bull. U.S. Dept. Agr. 1258: 1—79.

GRAHAM, K. & BOYES, E. 1950. Pinworms in lumber. Historical and economic aspects. B. C. Lumberman 34 (8).

HAKKILA, P. 1964. Kesäaikana valmistettujen paperipuitten ja sahatukkien kuivuminen ja varastoviat. Summary: The seasoning and the storage defects of pulpwood and saw logs prepared in the summer. Commun. Inst. For. Fenn. 58 (4): 1—108.

—»— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 66 (8): 1—59.

HEISKANEN, V. 1970. Sahateollisuuden sivutuotteet nyt ja tulevaisuudessa. Sahamies 8: 220—222.

—»— 1976. Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuerot. Summary: Quality differences of timber between Southern- and Northern Finland. Folia For. 296.

—»— & RIKKONEN, P. 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. Folia For. 250: 1—67.

HELIMÄKI, U. J. 1967. Tabels and maps of precipitation in Finland, 1931—1960. Meteorol. Yearb. Finland 66, 2, Suppl. 1—22.

HENNINGSSON, B. 1962. Studies in fungal decomposition of pine, spruce and birch pulpwood. Medd. Statens SkogsforsknInst. 52 (3): 1—32.

—»— 1965. Undersökning av svampfloran i sommaravverkat sågtimmer. Rapp. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. 50: 1—18.

—»— 1967. Physiology of fungi attacking birch and aspen pulpwood. Stud. For. Suec. 52: 1—55.

HINTIKKA, V. & LAINE, L. 1970. Notes on the detection of different types of decay in wood. Commun. Inst. For. Fenn. 70 (1): 1—17.

ISOMÄKI, O. 1969. Sahausjätteet, niiden määrät ja laatu. Sahamies 8: 207—209.

JUUTINEN P. 1955. Zur Biologie und forstlichen Bedeutung der Fichtenböcke (*Tetropium Kirby*) in Finnland. Acta Ent. Fenn. 11: 1—112.

KANGAS, E. 1961. Waldschädlingsprobleme, hervorgerufen durch die jüngste Entwicklung auf dem Gebiete des Waldbaues und der Forstbenutzung in Finnland. Proc. XI. Int. Kongr. Ent. Wien 1960. 2: 167—171.

—»— & SALONEN, K. 1960. Über das Vorkommen der *Monochamus*-Arten (Col., Cerambycidae) und ihre Bekämpfungsmöglichkeiten in Finnland. Ann. Ent. Fenn. 26: 263—272.

KARLSEN, K. 1967. Biologiske og tekniske skader på skurtømmer i skogen og ved sagbrukene. Norges landbrukshøgskole. Institutt for treteknologi. Moniste 57 s.

KLEM G. & GUDIM Å. 1963a. Lagringsskader på skurtømmer ved bilvei. Medd. Norske Skogforsøksv. 18: 447—518.

—»— & GUDIM, Å. 1963b. Lagringsskader på landlagret, ubarket skurtømmer av furu. Medd. Norske Skogsforsøksv. 18: 521—545.

—»— & HALVORSEN, B. 1963. Fløtnings- og skurforsøk med gran og furutømmer. Medd. Norske Skogforsøksv. 18: 229—308.

KOLKKI, O. 1966. Tabels and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Meteorol. Yearb. Finland 65, la, Suppl: 1—42.

LEKANDER B. & RENNERFELT E. 1955. Undersökningar över insekts- och blånadsskador på sågtimmer. Summary: Investigations of damage caused by bark beetles and blueing fungi in saw timber. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 45 (8): 1—36.

LÖYTTYNIEMI K. 1967. Tikaskuoriaisesta (*Trypodendron lineatum* Oliv. Col. Scolytidae) kuorellisen havupuutavaran pilaajana. Referat: Über Beschädigungen des berindeten Nadelholzes durch *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae). Silva Fennica 1: 49—57.

—»— 1971. Kuorellisen puutavaran suojaaminen syksyllä. (Summary). Metsä ja Puu (9): 13—14.

—»— 1975. Lindaanin huuhtoutumisesta suojaruiskutetun mäntykuitupuun kuoresta rumpukuorimon jäteveteen. Summary: Transfer of lindane from bark of insecticide sprayed pine pulpwood into the effluent from a barking drum. Paper and Timber 57: 666—668.

—»— & UUSVAARA, O. 1972. Hyönteisten aiheuttaman mäntykuitupuun sinistymisen vaikutuksesta massan laatuun. Summary: Effect on the quality of pulp of blueing of pine pulpwood caused by fungi associated with insects. Paper and Timber 54: 472—474.

MATHIESEN-KÄÄRIK, A. 1953. Eine Übersicht über die gewöhnlichsten mit Borkenkäfern assoziierten Bläuepilze in Schweden und einige für Schweden neue Bläuepilze. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 43 (4): 1—74.

McBRIDE, C. F. 1950. The effect of ambrosia beetle damage upon lumber value. B. C. Lumberman 34 (9): 46—48.

McMULLAN, D. L. 1956. Ambrosia beetles and their control in British Columbia. For. Chron. 32 (1): 31—43.

MORGAN, F. D. 1968. Bionomics of Siricidae. Ann. Rew. Ent. 13: 239—256.

NUORTEVA, M. 1969. Beobachtungen über die Taxonomie und Bionomie von *Urocerus gigas* (L.) und *Sirex juvencus* (L.) (Hym., Siricidae). Ann. Ent. Fenn. 35: 160—168.

NYLINDER P. 1957. Fortsatta undersökningar över lagringsskador hos flottat sågtimmer. Rapp. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. 11: 1—20.

PISTOHLKORS, A. & HENNINGSSON, B. 1966. Mot luftburen blonad. Orienterande försök med ändytebehandling av rundvirke. Uppsatts. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. 14: 1—6.

RUMMUKAINEN, U. 1964. Hyönteisten aiheuttamasta tuoreen kuorellisen havupuutavaran pilaantumisesta ja sen kemiallisesta estämisestä. Summary: On deterioration of green softwood caused by insects and its chemical control. Commun. Inst. For. Fenn. 58 (5): 1—67.

—»— 1973. Kuorellisten sahatukkien suojaruiskutuksista kesällä 1973. Sahamies 7: 223.

SAALAS, U. 1917. 1923. Die Fichtenkäfer Finnlands. I—II. Ann Acad. Scient. Fenn. A. VIII: 1—547, XXII: 1—746.

—»— 1919. Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä. Referat: Über die Borkenkäfer und den durch sie verursachten Schaden in den Wäldern Finnlands. Acta For. Fenn. 10: 1—415.

—»— 1949. Suomen metsähyönteiset. [Forest Insects of Finland]. 719 p. Helsinki.

SALONEN, K. 1966. Observations on *Ips sexdentatus* (Boern.) (Col., Scolytidae) as a bluer of timber at Inari (InL) in the summer of 1965. Ann. Ent. Fenn. 32: 88—96.

SCHIMITSCHEK, E. 1929. *Tetropium gabrieli* Weise und *Tetropium fuscum* F. Ein Beitrag zu ihrer Lebensgeschichte und Lebensgemeinschaft. Z. Angew. Ent. 15: 229—334.

SVENSSON, S. 1962. Studier över sommaravverkning av sågtimmer. Repp. Instn. Virkeslära, Skogshögsk. 39: 1—15.

TRÄGÅRDH, I. 1929. Om tallbockens skadegörelse och bekämpande. Summary: On the injury caused by the pine sawyer (*Monochamus sutor* L.) and its prevention. Medd. Statens Skogförsöksanstalt 25: 171—228.

TUOVINEN, A. 1956. Kuorellisten mäntytukkien pilaantumisesta. Summary. On the deterioration of unbarked pine logs. Metsäteho Julk. 34: 1—48.

—»— 1957. Hyönteiset vaarana kuorellisille mäntytukeille. Summary: Insects a danger to unbarked pine logs. Metsäteho Tied. 128: 1—4.

—»— 1959. Kuorellisten havutukkien hyönteispilaantuminen ja sen ehkäisy. Summary: Insect damage to unbarked softwood logs and its prevention. Metsäteho Julk. 42: 1—45.

—»— 1961. Tikaskuoriaistuhojen torjunnasta Riihimäen Saha Oy:ssä. Summary: Prevention of damage by *Xyloterus lineatus* at Riihimäen Saha Oy. Metsäteho tied. 185: 3—17.

UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80 (2): 1—105.

—»— & LÖYTTYNIEMI, K. 1975. Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Summary: Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) on sawn timber quality and value. Folia For. 231: 1—14.

VENTOLA, H. 1965. Tikaskuoriaisen sahatukeille aiheuttamien vahinkojen torjunnasta. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 82: 350—352.

Vientisahatavaran lajitteluohjeet 1960. (Grading rules of export sawn goods.) Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. 51 p. Helsinki.

WILCOX, W. W. 1970. Anatomical changes in wood cell walls attacked by fungi and bacteria. Bot. Rev. 36: 1—28.

WILHELMSEN, G. 1968. Fuktighetsendringer og substanstap i bjørk (*Betula pubescens*) ved lagring i skog og på åpen flate. Medd. Norske Skogsforsøksv. 25: 159—205.

—»— 1975. Puutavaran käsittely. Pohjoismainen puuteknologian yhteistyöprojekti. Folia For. 216: 1—64.

—»— & FOSLIE M. 1968. Lagringsskader på ubarket skurtømmer og effekten av sprøyting med insekt- og soppdrepende midler. Summary: Damage of unbarked coniferous sawlogs and the effect of insecticides and fungicides. Medd. Norske Skogforsøksv. 25: 239—330.

SELOSTE

Puutavaran korjuutoiminnan muututtua Suomessa vähitellen ympärivuotiseksi on metsävarastoissa ja teiden varsilla kesäaikana puutavaraa alttiina tuhohyönteisten ja sienten aiheuttamalle pilaantumiselle. Varastoinnin aikana syntyvät viat ilmenevät erityisesti sahatukeille aiheutuvina laadullisina ja määrällisinä tappioina.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää puider kaatoajankohdan ja tukkien varastointiajan pituuder vaikutusta sahatavaran laatuun ja arvoon kaadettaessa puut kasvukauden aikara. Lisäksi tarkastellaan varastovikoja aiheuttavien tekijöider osuutta pilaantumisessa ja sahatavaran laadun alenemisessa.

Tutkimukset suoritettiin pääasiassa kahdella paikkakunnalla Etelä-Suomessa, Tuusulassa ja Bromarvissa, mutta lisäksi perustettiin vertailevia kokeita Punkaharjulle Itä-Suomeen sekä Kivaloon ja Laanilaan Pohjois-Suomeen. Maalis—huhtikuun vaihteesta lähtien elo—syyskuun vaihteeseen asti valmistettiin kuukausittain mänty- ja kuusitukkeja metsävarastoon. Kunkin kaatoerän koetukkeja varastoitiin kaksi, neljä ja kuusi viikkoa ja koesahaukset suoritettiin kuukausien vaihteessa ja puolivälissä. Osa tukeista varastoitiin lisäksi lopuksi kasvukautta ja koesahattiin syksyllä.

Koesahauksissa syntyvä sahatavara luokiteltiin vientisahatavaran luokitusohjeittein mukaisesti vain varastoviat huomioiden. Sahatavaran arvo laskettiin vientisahatavaran vähittäismyyntihintojen mukaan ja sahauspinnoille sekä katkaisupätkille on laskettu normaali sahanhakkeen kauppahinta.

Tutkimusaineisto käsitti kaikkiaan 1 280 kaadettua koepuuta, joista valmistettiin noin 2 400 tukkia varastoon.

Tutkimuksessa saadut tulokset olivat pääkohdittain seuraavat:

1. Tukeissa ja sahatavarassa esiintyi huhti- ja toukokuun aikana vain satunnaisesti pääasiassa hyönteisten syömäkuvioiden kautta levinnyttä sinistymää. Etelä-Suomessa tukit säilyivät käytännöllisesti katsoen ilman vikoja myös elo—syyskuun ja Pohjois-Suomessa heinä—elokuun vaihteen jälkeen. Hyönteisillä oli merkitystä vielä heinäkuun alussakin kaadettujen tukkierien sinistäjinä. Kesä- ja heinäkuun aikana sinistymä oli runsasta, ja levisi sekä hyönteisten syömäkuvioiden että katkaisupintojen ja kuoren rikkoutumien kautta. Elokuussa sinistymä oli edelleen rursasta, mutta aiheutui vain ilmalevintäisistä sienistä.

Mäntytukkien merkittävimmät sinistymistä aiheuttavat hyönteislajit olivat *Blastophagus piniperda*, *Blastophagus minor*, *Ips acuminatus*, *Ips typographus*, *Ips sexdentatus* ja *Orthotomicus proximus*. Kuusitukkien merkittävimmät sinistäjät olivat *Ips typographus* ja *Orthotomicus proximus*.

Tukkeihin reikiä kaivavista hyönteislajeista *Trypodendron lineatum* vioitti yleisesti huhti- ja toukokuun alussa valmistettuja tukkeja ja satunnaisesti myöhemminkin kaadettuja. *Monochamus*- lajien toukat vioittivat kevään ja alkukesän kaatoerien mäntytukkeja 1. heinäkuuta kaatoerä mukaan luettuna ja *Tetrop um*- lajien toukat samojen kaatoerien kuusitukkeja mikäli näitä tukkeja varastoitiin elokuun puoltaväliä kauemmin. Puupistiäisten (*Siricidae*) toukat eivät ehtineet aiheuttaa vahinkoa syyskuun loppuun mennessä.

Sinistymä oli kaikilla koepaikkakunnilla yleisin varastovika. Keväällä ja alkukesällä kaadetuissa syksyyn saakka varastoiduissa tukeissa esiintyi yleisesti kovaa lahoa.

Halkeamat, joita syrtyi jo kahden viikon kuluttua tukkien valmistuksesta, keskittyivät pääasiassa sydäntavaraan. Halkeamien merkitys sahatavaran laatua alentavana tekijänä oli suhteellisen vähäinen, sillä ne aiheuttivat pääasiassa sahatavaran määrällisiä tappioita.

2. Huhti- ja toukokuun aikana esiintyneet varastoviat eivät sanottavasti alentaneet tukeista sahatun sahatavaran laatua. Kesä-, heinä- ja elokuun aikana sydäntavara säilyi kahden viikon varastoinnissa hyvin ja sivu- ja pintalaudoissakin tavattiin vain satunnaisesti vikoja. Kuuden viikon varastointi sen sijaan laski useissa varastoerissä lähes puolet pintatavarasta sekstaluokkaan ja aiheutti myös sydäntavaraan merkittäviä vikoja.

Trypodendron lineatum'in reiät johtivat vain satunnaisesti alkukesällä tukkien pintaosista saatujen sahatavarakappaleiden hylkäämiseen, vaikkakin tätä hyönteistä esiintyi joissakin erissä runsaasti. 1. heinäkuuta ja sitä aiemmin valmistetuissa yli kasvukauden varastoiduissa kaatoerissä oli erityisesti jäärien rei'illä huomattava merkitys sekä pinta- että sydäntavarakappaleiden laadun alenemisessa.

3. Kesävarastoinnin sahatavaralle aiheuttamat arvotappiot olivat suurimmat heinä- ja elokuun aikana ja kasvoivat varastoinnin pidetessä. Kahden viikon varastoinnissa tukin arvotappiot jäivät heinä—elokuun aikana keskimäärin alle yhden prosentin, mutta nousivat neljän ja kuuden viikon sekä yli kasvukauden käytetyssä varastoinnissa keskimäärin noin kolmeen, kuuteen ja 23 prosenttiin tukin arvosta. Varsinaisen sahatavaran tappiot nousivat kuitenkin pintatavarassa männyllä 15 ja kuusella 12 %:iin asti, mutta jäivät sydäntavarassa hieman alhaisemmiksi.

TABLES

LIST OF TABLES

Table 1. Breakage of the bark of the test logs and the share of bruised places in the breakages, in Bromarv and Tuusula, 1973.

Table 2. Average properties of the test trees.

Table 3. Average properties of the log material.

Table 4. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Bromarv, pine.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Table 5. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Bromarv, spruce.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Table 6. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Tuusula, pine.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Table 7. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Tuusula, spruce.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Table 8. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Kivalo, pine and spruce, Punkaharju and Laanila, pine.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Table 9. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Logs sprayed with a protectant.

Table 10. Moisture content of sapwood of sawlogs in different parts of the log, stored during the summer in a shady and in a sunny place (T = butt of log, L = top of log).

Table 11. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Bromarv, pine.

Table 12. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Bromarv, spruce.

Table 13. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Tuusula, pine.

Table 14. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Tuusula, spruce.

Table 15. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Kivalo, pine and spruce.

Table 16. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Punkaharju and Laanila, pine.

Table 17. Quality class distribution by tree species and storage sites calculated from the sawn timber volume.

Table 18. Effects of the position of the log on the quality distribution of the sawn timber.

Table 19. Shares of the quality classes of sawn timber in the log volume. Bromarv.

Table 20. Shares of the quality classes of sawn timber in the log volume. Tuusula.

Table 21. Shares of the quality classes of sawn timber in the log volume. Punkaharju, Kivalo and Laanila.

Table 22. Quality class distribution of logs sprayed with a protectant.

Table 23. Log value loss due to summer storage, in marks, by storage times. Bromarv and Tuusula.

Table 24. Log value loss due to summer storage, in marks. Punkaharju, Kivalo and Laanila.

Table 25. Log value loss due to summer storage, in marks. All localities.

Table 26. Value loss of sawn timber in per cent in scantlings and side boards. Pine.

Table 27. Value loss of sawn timber in per cent in scantlings and side boards. Spruce.

Table 28. Value loss of sawlogs caused by summer storage, in per cent. All localities.

Table 29. Storage loss per log cubic metre and log cubic foot due to summer storage.

Table 30. Extent of the spread of insect galleries in per cent of the bark surface area at the end of September (P = pine, S = spruce, A = sunny storage, B = shady storage).

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. *Koetukkien kuoren rikkoutuneisuus sekä kolhiutumien osuus rikkoutumista Bromarvissa ja Tuusulassa vuonna 1973.*

Taulukko 2. *Koepuiden keskimääräisiä ominaisuuksia.*

Taulukko 3. *Tukkiaineiston keskimääräisiä ominaisuuksia.*

Taulukko 4. *Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain Bromarv, mänty.*
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Taulukko 5. *Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Bromarv, kuusi.*
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Taulukko 6. *Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Tuusula, mänty.*
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Taulukko 7. *Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Tuusula, kuusi.*
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Taulukko 8. *Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Kivalo, mänty ja kuusi, Punkaharju ja Laanila, mänty.*
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Taulukko 9. *Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä. Suoja-aineella ruiskutetut tukit.*

Taulukko 10. *Kesäaikana varjoisessa ja aurinkoisessa paikassa varastoitujen sahatukkien pintapuun kosteus tukin eri osissa (T = tukin tyvi, L = tukin latva).*

Taulukko 11. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Bromarv, mänty.*

Taulukko 12. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Bromarv, kuusi.*

Taulukko 13. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Tuusula, mänty.*

Taulukko 14. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Tuusula, kuusi.*

Taulukko 15. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Kivalo, mänty ja kuusi.*

Taulukko 16. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Punkaharju ja Laanila, mänty.*

Taulukko 17. *Sahatavaratilavuudesta laskettu laatuluokkajakautuma puulajeittain ja varastopaikoittain.*

Taulukko 18. *Tukin aseman vaikutus sahatavaran laatuluokkajakautumaan.*

Taulukko 19. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet tukin tilavuudesta. Bromarv.*

Taulukko 20. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet tukin tilavuudesta. Tuusula.*

Taulukko 21. *Sahatavaran laatuluokkien osuudet tukin tilavuudesta. Punkaharju, Kivalo ja Laanila.*

Taulukko 22. *Suoja-aineella ruiskutettujen tukkien laatuluokkajakautuma.*

Taulukko 23. *Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys markoissa varastointiajoittain. Bromarv ja Tuusula.*

Taulukko 24. *Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys markoissa. Punkaharju, Kivalo ja Laanila.*

Taulukko 25. *Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys markoissa. Kaikki paikkakunnat.*

Taulukko 26. *Sahatavaran arvon menetys prosentteina sydän- ja pintatavarassa. Mänty.*

Taulukko 27. *Sahatavaran arvon menetys prosentteina sydän- ja pintatavarassa. Kuusi.*

Taulukko 28. *Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys prosentteina. Kaikki paikkakunnat.*

Taulukko 29. *Kesävarastoinnin aiheuttama varastointitappio tukkikuutiometriä ja tukkikuutiojalkaa kohti.*

Taulukko 30. *Hyönteisten syömäkuvioiden peittävyys prosentteina tukin kuoren pinta-alasta syyskuun lopussa.*
(P = mänty, S = kuusi, A = aurinkoinen varasto, B = varjoisa varasto)

Table 1. Breakage of the bark of the test logs and the share of bruised places in the breakages, in Bromarv and Tuusula, 1973.
Taulukko 1. Koetukkien kuoren rikkoutuneisuus sekä kolhiutumien osuus rikkoutumista Bromarvissa ja Tuusulassa vuonna 1973.

Felling-time *Kaato-aika*	Spruce — *Kuusi*								Pine — *Mänty*							
	Share of breakage in the log shell, % *Rikkoutuma vaipasta, %*				Share of bruising in breakage, % *Kolhiutuma rikkoutumasta, %*				Share of breakage in the log shell, % *Rikkoutuma vaipasta, %*				Share of bruising in breakage, % *Kolhiutuma rikkoutumasta, %*			
	Kind of log — *Tukkilaji*								Kind of log — *Tukkilaji*							
	Butt *Tyvi*	Inside *Väli*	Top *Latva*	All *Kaikki*	Butt *Tyvi*	Inside *Väli*	Top *Latva*	All *Kaikki*	Butt *Tyvi*	Inside *Väli*	Top *Latva*	All *Kaikki*	Butt *Tyvi*	Inside *Väli*	Top *Latva*	All *Kaikki*
	Tuusula															
30. 3.	0,9	1,8	1,9	1,6	38,8	24,3	22,0	28,4	0,4	1,7	2,8	1,5	70,5	60,0	27,5	49,0
30. 4.	1,0	1,9	2,2	1,7	70,0	42,6	41,7	51,4	1,5	3,3	4,2	3,0	95,0	74,5	56,0	75,2
30. 5.	1,6	1,4	1,6	1,5	90,0	66,7	67,8	74,8	1,4	4,2	4,3	3,3	97,8	87,9	61,7	82,5
30. 6.	1,1	1,2	1,6	1,3	73,0	70,0	51,5	64,8	1,4	4,7	4,9	3,6	100,0	83,6	86,7	90,1
30. 7.	0,7	1,3	1,3	1,1	94,3	75,6	59,0	76,0	1,6	3,4	2,1	2,3	100,0	93,3	80,0	91,1
30. 8.	0,3	0,9	1,8	1,0	33,3	40,0	18,0	30,4	0,7	1,8	2,2	1,5	100,0	63,3	40,0	67,7
	Bromarv															
30. 3.	0,9	1,1	0,8	1,0	75,0	70,0	23,3	40,5	0,3	1,7	2,4	1,5	100,0	65,0	47,5	78,8
30. 4.	0,4	0,6	0,9	0,6	76,0	30,0	20,0	42,2	0,5	1,4	2,2	1,4	93,3	56,6	62,0	70,6
30. 5.	0,9	0,7	1,1	0,9	55,0	17,5	33,3	35,2	0,5	1,7	1,6	1,3	86,2	91,4	62,0	79,8
30. 6.	1,0	1,0	1,4	1,1	72,8	48,3	47,5	56,4	0,9	0,9	2,0	1,3	96,7	81,7	69,8	82,7
30. 7.	0,9	0,9	1,4	1,0	67,2	36,6	43,3	49,0	0,6	1,1	1,3	1,0	95,0	72,9	77,5	81,8
30. 8.	0,5	0,9	1,2	0,9	54,0	38,0	38,0	43,3	0,5	0,9	1,6	1,0	80,0	93,3	46,6	73,3

Table 2. Average properties of the test trees.
Taulukko 2. Koepuiden keskimääräisiä ominaisuuksia.

Locality *Paikkakunta*	Species *Puulaji*	Number of stems *Runkoja, kpl*	Dbh, cm $D_{1,3}$	Height, m *Pituus, m*	Crown height, m *Latvusraja, m*	Crown proportion, % *Latvus, %*	Tapering, cm *Kapeneminen, cm*	Radial increment, mm *Sädekasvu, mm*	Crown class *Latvuskerros* 1	2	3
									%		
Bromarv	Pine — *Mänty*	223	27	20,2	11,8	41,6	5	6	65	27	8
	Spruce — *Kuusi*	261	24	20,2	6,0	70,3	4	6	—	—	—
Tuusula	Pine — *Mänty*	304	26	20,9	11,6	44,5	5	9	72	23	5
	Spruce — *Kuusi*	328	24	20,8	7,1	65,9	3	8	—	—	—
Punkaharju	Pine — *Mänty*	42	29	25,0	15,7	37,2	..	..	..	..	..
Kivalo	Pine — *Mänty*	34	25	18,9	12,3	34,9	..	..	..	..	..
	Spruce — *Kuusi*	37	25	19,7	2,6	86,8	..	..	..	..	..
Laanila	Pine — *Mänty*	53	25	12,8	6,6	48,4	..	..	..	..	..

Table 3. Average properties of the log material.
Taulukko 3. Tukkiaineiston keskimääräisiä ominaisuuksia.

Locality *Paikkakunta*	Length, dm *Pituus, dm*		Diameter, cm *Läpimitta, cm*				Volume, l *Tilavuus, l*		Heartwood, % — *Sydänpuu, %*											
			Top *Latva*		Butt *Tyvi*				Pine — *Mänty*						Spruce — *Kuusi*					
									Butt *Tyvi*		Inside *Väli*		Toplogs *Latvatukit*		Butt *Tyvi*		Inside *Väli*		Toplogs *Latvatukit*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Bromarv 1972	47,1	6,6	20,1	3,8	26,8	6,2	190,0	70,5	33,9	9,8	32,1	7,5	22,5	8,8	43,6	11,1	42,6	12,5	35,8	11,8
1973	45,4	6,2	18,9	3,4	24,3	5,4	161,4	54,0	32,1	8,6	27,6	8,2	19,3	8,3	52,9	12,9	50,0	9,4	42,1	12,1
Tuusula 1972—74	45,3	5,4	19,4	3,8	23,6	5,5	168,8	62,0	26,3	10,4	24,9	9,6	19,3	11,0	46,0	12,9	40,4	12,8	33,2	13,2
Punkaharju 1973	46,0	6,6	18,6	3,8	23,0	4,2	157,8	68,6	28,8	6,5	24,8	8,9	12,3	4,9	..	..	..	..	..	..
1975	48,1	7,3	22,1	4,3	24,3	7,0	228,0	92,8	43,3	7,3	31,2	11,5	25,2	..	..	..	..	..	..	..
Kivalo 1973 ja 1975	48,3	6,2	20,6	3,4	26,4	4,2	202,7	54,4	48,1	9,4	..	..	38,5	10,8	56,1	10,8	..	..	48,6	15,8
Laanila 1973 ja 1975	46,6	5,5	21,8	4,1	26,1	5,7	165,8	97,6	51,5	9,4	..	..	46,2	..	..	..	..	..	..	..
Average — *Keskimäärin*	45,9	5,9	19,5	3,8	24,5	5,7	173,3	64,6	32,4	12,5	26,6	9,5	21,3	11,5	47,6	13,0	42,0	12,7	36,2	13,4

Table 4. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Bromarv, pine.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Taulukko 4. Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain Bromarv, mänty.
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = laho)

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing period, weeks *Varastointi-aika, vk*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			T	S	H	L	T	S	H	L
			Damaged sawn timber pieces, per cent — *Viallisia sahatavarakappaleita, %*							
1	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—
2	»	6	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1. 5.	2	—	—	—	—	—	—	—	—
4	»	4	—	—	—	—	—	2,1	—	—
5	»	6	—	7,1	28,5	—	—	5,5	9,2	—
6	1. 6.	2	—	—	5,3	—	—	—	—	—
7	»	4	—	10,0	20,0	—	—	14,3	16,7	—
8	»	6	—	29,9	26,9	—	—	25,6	2,6	—
9	1. 7.	2	—	—	18,2	—	—	5,1	7,7	—
10	»	4	—	30,6	19,4	—	—	45,0	3,6	—
11	»	6	—	81,4	17,1	—	—	95,8	10,4	2,7
12	1. 8.	2	—	15,4	15,4	—	—	26,7	4,4	—
13	»	4	—	41,8	3,6	—	—	53,8	—	—
14	»	6	—	77,4	1,9	—	—	67,4	—	—
15	1. 9.	2	—	—	—	—	—	—	2,1	—
16	»	4	—	6,7	2,2	—	—	3,8	—	—
17	1. 4.	24	57,4	100,0	8,5	95,7	53,1	100,0	—	90,6
18	1. 5.	20	18,4	91,9	18,4	87,8	44,7	100,0	6,4	93,6
19	1. 6.	16	31,9	93,6	10,6	48,9	30,8	94,8	7,7	41,0
20	1. 7.	12	4,5	91,0	10,4	14,9	4,7	90,7	2,3	9,3
21	1. 8.	8	—	72,7	—	9,1	—	80,9	6,4	12,8

Table 5. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Bromarv, spruce.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Taulukko 5. Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Bromarv, kuusi.
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = laho)

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing period, weeks *Varastointi-aika, vk*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			T	S	H	L	T	S	H	L
			Damaged sawn timber pieces, per cent — *Viallisia sahatavarakappaleita, %*							
1	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—
2	»	6	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1. 5.	2	—	—	—	—	11,2	—	—	—
4	»	4	—	—	—	—	12,0	—	—	—
5	»	6	—	—	40,9	—	12,7	—	25,0	—
6	1. 6.	2	—	—	22,8	—	—	—	7,5	—
7	»	4	—	16,1	23,2	—	—	13,6	18,2	—
8	»	6	—	28,8	28,8	—	—	25,0	5,6	—
9	1. 7.	2	—	3,9	25,0	—	—	6,7	6,7	—
10	»	4	—	11,3	15,5	—	—	34,5	3,6	—
11	»	6	—	80,3	18,0	—	—	100,0	15,2	—
12	1. 8.	2	—	17,0	32,1	—	—	55,5	3,7	—
13	»	4	—	40.0	5,5	—	—	38,9	—	—
14	»	6	—	58,5	15,1	—	—	69,4	—	—
15	1. 9.	2	—	—	1,9	—	—	—	—	—
16	»	4	—	10,6	12,8	—	—	11,6	—	—
17	1. 4.	24	32,6	73,3	16,3	85,7	42,8	82,8	11,4	82,8
18	1. 5.	20	23,3	90,7	25,6	79,1	30,8	94,8	—	74,4
19	1. 6.	16	12,2	100,0	9,8	58,5	38,2	100,0	5,9	44,1
20	1. 7.	12	17,6	76,5	15,7	15,7	44,0	92,0	2,0	20,0
21	1. 8.	8	—	75,0	25,0	21,2	—	83,7	6,1	18,4

Table 6. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Tuusula, pine.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Taulukko 6. Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Tuusula, mänty.
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing period, weeks *Varastointi-aika, vk.*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			T	S	H	L	T	S	H	L
			Damaged sawn timber pieces, per cent — *Viallisia sahatavarakappaleita, %*							
1	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—
2	»	6	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1. 5.	2	—	—	—	—	—	—	—	—
4	»	4	—	8,9	1,3	—	1,0	9,5	1,0	—
5	»	6	—	13,8	8,8	—	—	8,1	2,7	—
6	1. 6.	2	—	—	16,7	—	—	—	1,0	—
7	»	4	—	8,5	35,7	—	—	14,6	12,5	—
8	»	6	—	54,2	23,6	—	—	63,0	18,5	—
9	1. 7.	2	—	9,0	17,9	—	—	18,8	16,3	—
10	»	4	—	65,7	15,7	—	—	64,2	3,0	—
11	»	6	1,4	75,4	17,4	1,4	3,0	74,0	—	2,7
12	1. 8.	2	—	1,4	1,4	—	—	3,4	1,7	—
13	»	4	—	47,9	4,1	—	—	73,4	—	—
14	»	6	—	55,9	1,5	1,5	—	52,1	—	—
15	1. 9.	2	—	4,7	2,3	—	—	—	—	—
16	»	4	—	29,2	6,2	1,5	—	27,3	3,6	—
17	1. 4.	24	22,8	100,0	38,6	96,5	45,9	100,0	27,9	96,7
18	1. 5.	20	31,9	100,0	24,5	58,5	48,6	100,0	24,3	70,3
19	1. 6.	16	28,6	100,0	29,9	50,6	38,4	100,0	15,1	71,2
20	1. 7.	12	32,8	100,0	13,4	52,2	37,1	100,0	1,4	57,1
21	1. 8.	8	1,3	84,8	13,9	29,1	—	84,5	4,2	23,9

Table 7. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Tuusula, spruce.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Taulukko 7. Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Tuusula, kuusi.
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing period, weeks *Varastointi-aika, vk.*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			T	S	H	L	T	S	H	L
			Damaged sawn timber pieces, per cent — *Viallisia sahatavarakappaleita, %*							
1	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—
2	»	6	—	—	—	—	5,8	—	—	—
3	1. 5.	2	—	—	—	—	—	—	—	—
4	»	4	—	1,2	7,2	—	—	—	1,9	—
5	»	6	—	1,2	14,1	—	—	—	8,2	—
6	1. 6.	2	—	—	25,4	—	—	—	5,1	—
7	»	4	1,5	18,5	43,1	—	—	17,9	15,5	—
8	»	6	—	52,5	28,8	—	—	64,8	12,7	—
9	1. 7.	2	—	3,1	28,1	—	—	15,7	21,7	—
10	»	4	—	43,7	22,5	—	—	73,0	6,8	—
11	»	6	—	65,2	29,0	—	—	70,4	1,4	1,4
12	1. 8.	2	—	1,4	11,4	—	—	5,9	2,9	—
13	»	4	—	34,7	1,4	—	—	69,8	—	—
14	»	6	—	44,3	8,6	—	—	68,2	—	—
15	1. 9.	2	—	—	2,1	—	—	—	—	—
16	»	4	—	7,2	4,3	—	—	16,3	—	4,8
17	1. 4.	24	17,5	88,9	34,9	85,7	24,6	100,0	19,7	91,8
18	1. 5.	20	28,3	89,1	19,6	44,6	34,7	100,0	11,1	45,8
19	1. 6.	16	31,0	100,0	33,8	47,9	36,1	100,0	4,9	62,3
20	1. 7.	12	19,5	96,1	16,9	33,8	28,2	100,0	—	46,5
21	1. 8.	8	—	49,2	19,0	12,7	—	76,1	—	38,8

Table 8. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Kivalo, pine and spruce, Punkaharju and Laanila, pine.
(T = larval tunnels, S = blueing, H = crack, L = decay)

Taulukko 8. Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä varastointiajoittain. Kivalo, mänty ja kuusi, Punkaharju ja Laanila mänty.
(T = toukanreikiä, S = sinistymä, H = halkeama, L = lahо)

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing period, weeks *Varastointi-aika, vk.*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			T	S	H	L	T	S	H	L
			Damaged sawn timber pieces, per cent — *Viallisia sahatavarakappaleita, %*							
			Kivalo, pine — *mänty*							
17	1. 4.	24	26,9	92,3	42,3	23,1	50,0	100,0	8,3	58,3
18	1. 5.	20	30,4	91,3	69,6	17,4	35,5	100,0	19,4	29,0
19	1. 6.	16	16,7	83,3	58,3	33,3	18,9	100,0	16,2	10,8
20	1. 7.	12	26,9	100,0	26,9	7,7	31,4	91,5	2,9	5,7
21	1. 8.	8	—	35,7	—	—	—	21,2	3,0	—
			Kivalo, spruce — *kuusi*							
17	1. 4.	24	20,0	85,5	41,8	23,6	33,8	100,0	15,5	50,7
18	1. 5.	20	17,4	89,1	58,7	15,2	19,4	100,0	13,4	29,9
19	1. 6.	16	17,0	75,5	35,8	18,9	23,0	100,0	14,9	23,0
20	1. 7.	12	12,3	85,9	26,3	3,5	17,1	91,4	4,3	2,9
21	1. 8.	8	—	19,0	3,4	—	—	27,7	1,5	—
			Punkaharju, pine — *mänty*							
17	1. 4.	24	57,1	100,0	42,9	90,5	69,7	100,0	15,2	100,0
18	1. 5.	20	26,3	100,0	42,1	63,2	33,3	100,0	15,2	60,0
19	1. 6.	16	—	100,0	33,3	42,9	2,9	100,0	20,0	45,7
20	1. 7.	12	—	100,0	10,5	15,8	—	100,0	4,7	32,6
21	1. 8.	8	—	81,0	19,1	9,5	—	89,7	—	18,4
			Laanila, pine — *mänty*							
17	1. 4.	24	18,2	75,8	90,9	42,4	38,1	100,0	76,2	81,0
18	1. 5.	20	32,1	71,4	63,3	39,3	70,4	96,3	48,2	85,2
19	1. 6.	16	12,1	75,8	87,9	9,1	26,5	91,2	41,2	47,1
20	1. 7.	12	—	57,8	62,2	—	—	91,6	25,0	2,8
21	1. 8.	8	—	20,0	42,9	—	—	24,1	10,3	—

Table 9. Share of sawn timber pieces damaged by storing injuries in the total number of pieces, by storing times. Logs sprayed with a protectant.

Taulukko 9. Eri varastovikojen vahingoittamien sahatavarakappaleiden osuus koko kappalemäärästä, Suoja-aineella ruiskutetut tukit.

Storing defect — *Varastovika*	Bromarv		Tuusula	
	Scantlings *Sydäntavara*	Boards *Pintatavara*	Scantlings *Sydäntavara*	Boards *Pintatavara*
	Damaged sawn timber pieces, per cent — *Viallisia sahatavarakappaleita, %*			
Holes of barkbeetles — *Toukan reikiä*	—	1,6	—	—
Blueing — *Sinistymä*	59,1	72,6	38,9	68,7
Cracks — *Halkeamat*	—	—	61,1	26,3
Decay — *Lahо*	82,4	90,3	77,8	70,0

Table 10. Moisture content of sapwood of sawlogs in different parts of the log, stored during the summer in a shady and in a sunny place (T = butt of log, L = top of log).

Taulukko 10. Kesäaikana varjoisessa ja aurinkoisessa paikassa varastoitujen sahatukkien pintapuun kosteus tukin eri osissa (T = tukin tyvi, L = tukin latva).

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing period weeks *Varastointi-aika, vk.*	Sunny storage — *Aurinkoinen varasto*					Shady storage — *Varjoinen varasto*				
			30 cm T	1/4	1/2	1/4	30 cm L	30 cm T	1/4	1/2	1/4	30 cm L
			Moisture content, per cent — *Kosteus, %*									
1	1. 4.	4	115	123	125	138	124	130	133	140	145	141
2	»	6	109	120	120	115	121	123	122	121	122	128
3	1. 5.	2	138	135	138	136	134	134	130	132	130	131
4	»	4	112	124	130	140	138	129	136	135	137	135
5	»	6	111	119	125	129	120	115	122	126	125	122
6	1. 6.	2	114	121	125	126	127	134	134	128	136	137
7	»	4	107	120	124	123	108	109	122	118	120	115
8	»	6	99	121	128	127	108	109	116	122	116	114
9	1. 7.	2	125	138	138	151	142	123	130	138	140	118
10	»	4	117	115	122	123	122	100	135	144	140	121
11	»	6	105	121	112	113	96	120	124	122	132	112
12	1. 8.	2	133	150	148	148	156	133	142	140	141	133
13	»	4	130	119	126	145	127	125	132	139	126	120
14	»	6	125	133	136	136	114	114	124	126	124	111
15	1. 9.	2	133	128	134	137	129	139	149	150	154	155
16	»	4	150	149	148	154	154	150	143	150	153	149
17	1. 4.	24	65	89	96	87	72	78	108	116	114	89
18	1. 5.	20	76	94	97	99	91	98	116	106	101	87
19	1. 6.	16	84	94	104	107	85	98	116	106	101	87
20	1. 7.	12	95	117	117	112	92	74	92	99	95	79
21	1. 8.	8	123	142	143	142	137	133	157	138	152	129

Table 11. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Bromarv, pine.

Taulukko 11. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Bromarv, mänty.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the sawn timber volume, per cent — *Sahatavaratilavuudesta, %*							
1	1. 4.	4	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
2	»	6	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
3	1. 5.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
4	»	4	100,0	—	—	—	97,5	2,5	—	—
5	»	6	97,2	2,6	—	—	90,6	9,4	—	—
6	1. 6.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
7	»	4	100,0	—	—	—	90,3	9,7	—	—
8	»	6	87,5	4,1	8,4	—	97,6	—	2,4	—
9	1. 7.	2	98,0	2,0	—	—	87,5	11,1	1,4	—
10	»	4	93,3	6,7	—	—	95,1	4,9	—	—
11	»	6	63,0	13,5	23,4	—	54,3	3,1	42,6	—
12	1. 8.	2	97,4	—	2,6	—	91,3	—	8,7	—
13	»	4	84,8	10,2	5,0	—	77,5	11,4	11,1	—
14	»	6	71,9	11,6	16,5	—	60,8	6,5	32,9	—
15	1. 9.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
16	»	4	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
17	1. 4.	24	3,8	—	52,1	44,0	1,2	—	51,9	46,8
18	1. 5.	20	24,4	2,5	60,1	12,9	5,4	—	57,0	37,6
19	1. 6.	16	14,5	8,0	49,3	28,4	12,5	2,6	65,6	19,0
20	1. 7.	12	45,9	15,3	34,6	4,2	31,1	8,8	54,0	6,0
21	1. 8.	8	59,0	14,6	26,4	—	54,1	9,2	36,6	—

Table 12. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Bromarv, spruce.
Taulukko 12. Sahatavaram laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Bromarv, kuusi.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the sawn timber volume, per cent — *Sahatavaratilavuudesta*, %							
1	1. 4.	4	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
2	»	6	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
3	1. 5.	2	100,0	—	—	—	91,3	8,7	—	—
4	»	4	100,0	—	—	—	90,6	3,0	5,2	—
5	»	6	100,0	—	—	—	92,9	1,8	5,3	—
6	1. 6.	2	95,0	5,0	—	—	96,1	3,9	—	—
7	»	4	87,0	13,0	—	—	82,9	17,1	—	—
8	»	6	78,8	—	21,2	—	63,2	—	36,8	—
9	1. 7.	2	100,0	—	—	—	92,1	6,7	—	—
10	»	4	95,6	4,4	—	—	89,1	10,9	—	—
11	»	6	51,9	9,2	38,9	—	25,1	5,5	69,4	—
12	1. 8.	2	93,9	2,5	3,6	—	64,0	—	36,0	—
13	»	4	86,4	10,1	3,5	—	82,0	12,5	5,5	—
14	»	6	68,4	24,2	7,4	—	49,3	33,8	17,0	—
15	1. 9.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
16	»	4	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
17	1. 4.	24	22,2	2,5	44,0	31,4	11,6	9,8	36,3	42,2
18	1. 5.	20	23,6	7,5	63,6	4,3	16,1	—	72,3	11,7
19	1. 6.	16	14,4	26,5	44,3	14,7	6,7	10,5	50,4	32,4
20	1. 7.	12	39,0	11,9	31,2	17,9	16,4	9,2	40,0	34,4
21	1. 8.	8	62,6	24,0	13,4	—	38,3	38,9	22,8	—

Table 13. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Tuusula, pine.
Taulukko 13. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Tuusula, mänty.

Storing group *Varastoryhmä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the sawn timber volume, per cent — *Sahatavaratilavuudesta*, %							
1	1. 4.	4	100.0	—	—	—	100.0	—	—	—
2	»	6	100,0	—	—	—	99,0	—	1,0	—
3	1. 5.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
4	»	4	91,1	3,9	5,0	0,4	82,5	4,2	12,5	—
5	»	6	92,7	2,2	5,1	—	77,9	9,3	12,7	—
6	1. 6.	2	98,5	1,5	—	—	91,8	—	8,2	—
7	»	4	92,4	3,3	4,5	—	92,5	1,2	6,3	—
8	»	6	52,8	6,0	24,6	16,7	45,4	2,7	36,3	15,6
9	1. 7.	2	100,0	—	—	—	95,3	3,3	1,4	—
10	»	4	65,8	17,8	16,4	—	69,9	15,1	15,0	—
11	»	6	53,8	18,5	27,6	—	53,7	25,3	18,7	2,3
12	1. 8.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
13	»	4	67,6	16,6	15,8	—	66,3	13,5	20,2	—
14	»	6	81,4	12,1	5,3	1,8	83,8	7,3	8,9	—
15	1. 9.	2	96,3	3,7	—	—	100,0	—	—	—
16	»	4	94,4	5,6	—	—	92,9	4,4	2,6	—
17	1. 4.	24	28,9	—	46,4	24,7	23,3	8,8	26,4	41,5
18	1. 5.	20	23,3	16,8	36,5	23,4	10,9	24,5	30,8	33,8
19	1. 6.	16	30,0	25,2	38,7	6,1	23,1	11,6	57,6	7,6
20	1. 7.	12	26,8	14,7	26,5	32,0	7,5	19,3	26,4	36,6
21	1. 8.	8	62,3	18,2	17,8	1,6	12,1	38,9	18,9	—

Table 14. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Tuusula, spruce.
Taulukko 14. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Tuusula, kuusi.

Storing group *Varastoryhmä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the sawn timber volume, per cent — *Sahatavaratilavuudesta*, %							
1	1. 4.	4	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
2	»	6	100,0	—	—	—	96,1	1,1	2,8	—
3	1. 5.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
4	»	4	97,6	2,4	—	—	91,6	—	8,4	—
5	»	6	100,0	—	—	—	96,9	—	3,1	—
6	1. 6.	2	96,2	2,2	1,6	—	90,6	0,7	8,8	—
7	»	4	97,2	2,8	—	—	90,2	7,4	2,4	—
8	»	6	51,5	10,0	31,3	7,2	38,2	9,4	43,3	9,1
9	1. 7.	2	98,9	—	1,1	—	90,1	7,4	2,5	—
10	»	4	71,8	19,7	8,6	—	43,7	18,3	38,0	—
11	»	6	49,7	27,6	22,7	—	33,1	18,6	45,8	2,4
12	1. 8.	2	100,0	—	—	—	97,8	1,0	—	1,2
13	»	4	74,6	15,4	10,0	—	56,1	14,1	26,1	—
14	»	6	84,1	11,2	4,6	0,5	62,9	18,1	18,9	—
15	1. 9.	2	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—
16	»	4	95,8	0,9	—	—	87,0	10,7	2,3	—
17	1. 4.	24	26,2	13,0	49,3	11,4	20,8	8,3	51,4	19,5
18	1. 5.	20	19,6	20,8	41,9	17,6	15,5	19,7	30,8	34,1
19	1. 6.	16	18,5	37,0	26,7	17,8	15,5	37,6	25,2	21,7
20	1. 7.	12	12,0	42,3	33,3	12,5	8,7	30,8	36,3	24,1
21	1. 8.	8	81,2	12,9	5,8	—	54,9	16,0	29,3	—

Table 15. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Kivalo, pine and spruce.
Taulukko 15. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Kivalo, mänty ja kuusi.

Storing group *Varastoryhmä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the sawn timber volume, per cent — *Sahatavaratilavuudesta*, %							
			Kivalo, pine — *mänty*							
17	1. 4.	24	34,9	8,3	39,7	17,1	9,7	2,5	46,8	40,9
18	1. 5.	20	51,9	—	21,4	26,8	7,8	—	65,5	26,7
19	1. 6.	16	55,6	14,1	22,0	8,4	23,5	7,8	55,1	13,6
20	1. 7.	12	52,2	15,6	3,4	28,6	33,0	6,9	28,2	31,9
21	1. 8.	8	86,5	13,5	—	—	93,5	6,5	—	—
			Kivalo, spruce — *kuusi*							
17	1. 4.	24	29,0	20,5	47,0	3,4	—	2,9	94,6	2,5
18	1. 5.	20	19,4	48,5	32,2	—	—	7,7	92,3	—
19	1. 6.	16	46,6	20,9	15,0	17,5	2,9	21,1	46,5	29,4
20	1. 7.	12	50,6	32,7	16,6	—	17,8	53,9	22,5	5,8
21	1. 8.	8	100,0	—	—	—	100,0	—	—	—

Table 16. Shares of the sawn timber quality classes in the sawn timber volume. Punkaharju and Laanila, pine.

Taulukko 16. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta. Punkaharju ja Laanila, mänty.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
					Punkaharju					
17	1. 4.	24	2,7	—	48,5	48,8	—	—	29,1	70,9
18	1. 5.	20	10,4	—	59,0	30,6	—	—	51,4	48,0
19	1. 6.	16	33,6	5,0	46,5	14,9	15,8	1,9	52,5	29,5
20	1. 7.	12	43,7	—	56,3	—	22,6	12,2	65,2	—
21	1. 8.	8	64,4	25,6	10,0	—	57,3	18,4	23,9	—
					Laanila					
17	1. 4.	24	37,4	3,3	40,6	18,7	2,8	—	79,3	17,9
18	1. 5.	20	36,2	11,0	28,4	24,3	5,3	—	42,6	52,1
19	1. 6.	16	65,0	9,2	15,8	10,0	11,5	15,6	59,1	13,1
20	1. 7.	12	73,4	8,8	17,8	—	24,0	27,9	48,2	—
21	1. 8.	8	100,0	—	—	—	89,2	18,0	—	—

Table 17. Quality class distribution by tree species and storage sites calculated from the sawn timber volume.

Taulukko 17. Sahatavaratilavuudesta laskettu laatuluokkajakautuma puulajeittain ja varastopaikoittain.

Storage — *Varasto*	Species — *Puulaji*	Quality class — *Laatuluokka*							
		u/s		V		VI		Cull — *Hylky*	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
					Bromarv				
1	Pine — *Mänty*	77,3	36,6	3,8	11,2	13,7	27,7	5,2	18,6
1	Spruce — *Kuusi*	78,9	33,1	7,4	19,8	11,1	24,0	2,6	11,4
2	Pine — *Mänty*	77,5	35,8	4,1	11,8	14,7	28,1	3,6	15,9
2	Spruce — *Kuusi*	72,3	35,8	6,8	15,5	15,8	29,0	4,9	17,2
					Tuusula				
1	Pine — *Mänty*	71,3	38,8	7,8	18,3	12,8	25,2	8,1	25,2
1	Spruce — *Kuusi*	76,6	50,2	12,6	45,5	11,9	23,7	5,8	20,7
2	Pine — *Mänty*	72,7	37,2	9,6	20,3	14,8	28,6	3,0	13,6
2	Spruce — *Kuusi*	69,1	40,5	10,4	22,8	15,3	27,3	5,1	16,3
					Kivalo				
1	Pine — *Mänty*	47,6	33,0	8,6	17,1	24,9	24,9	18,8	29,1
1	Spruce — *Kuusi*	40,9	34,5	22,0	26,0	31,9	32,0	5,1	14,8

Table 18. Effects of the position of the log on the quality distribution of the sawn timber.
Taulukko 18. Tukin aseman vaikutus sahatavaran laatuluokkajakautumaan.

Species — *Puulaji*	Site of the log *Tukin asema*	Quality class — *Laatuluokka*							
		u/s		V		VI		Cull — *Hylky*	
		Of the sawn timber volume, per cent — *Sahatavaratilavuudesta*, %							
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Pine — *Mänty*	Butt — *Tyvi*	74,1	35,1	5,7	14,6	14,0	25,2	6,1	19,1
» — »	Inside — *Väli*	65,1	41,7	8,2	18,8	19,6	31,3	7,1	22,2
» — »	Top — *Latva*	67,4	40,4	6,2	15,7	17,6	30,3	8,8	24,9
Spruce — *Kuusi*	Butt — *Tyvi*	73,4	46,1	9,7	21,0	13,6	25,3	4,2	15,6
» — »	Inside — *Väli*	73,8	36,6	12,3	45,5	12,4	24,5	4,0	14,2
» — »	Top — *Latva*	68,8	40,1	8,8	19,9	18,3	30,8	4,1	15,6
Average — *Keskim.*	Butt — *Tyvi*	73,8	40,6	7,6	18,0	13,9	25,2	5,2	17,6
» — »	Inside — *Väli*	69,1	39,7	10,1	33,8	16,3	28,6	5,7	19,0
» — »	Top — *Latva*	68,2	40,2	7,5	18,0	18,0	30,6	6,4	20,8

Table 19. Shares of the quality classes of sawn timber in the log volume. Bromarv.
Taulukko 19. Sahatavaran laatuluokkien osuudet tukin tilavuudesta. Bromarv.

Storing group *Varasto-erä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*				Total — *Kaikki*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the saw log volume, per cent — *Tukin tilavuudesta*, %											
1	1. 4.	4	37,4	—	—	—	17,1	—	—	—	51,8	—	—	—
2	1. 4.	6	37,9	—	—	—	19,6	—	—	—	55,5	—	—	—
3	1. 5.	2	36,9	—	—	—	21,9	1,3	—	—	57,7	1,2	—	—
4	1. 5.	4	38,6	—	—	—	19,3	0,5	0,7	—	56,4	0,4	0,6	—
5	1. 5.	6	37,7	0,5	—	—	16,0	1,0	0,8	—	52,9	1,4	0,8	—
6	1. 6.	2	39,2	0,8	—	—	17,3	0,3	—	—	55,3	1,1	—	—
7	1. 6.	4	36,1	3,1	—	—	13,7	1,5	—	—	48,2	4,5	—	—
8	1. 6.	6	32,2	0,6	6,6	—	12,4	—	1,8	—	42,8	0,6	8,1	—
9	1. 7.	2	40,7	0,4	—	—	15,4	0,6	0,1	—	53,4	0,9	0,1	—
10	1. 7.	4	36,7	2,1	—	—	15,3	1,4	—	—	51,2	3,4	—	—
11	1. 7.	6	21,5	5,4	12,3	—	5,3	0,8	8,6	—	26,0	6,1	19,6	—
12	1. 8.	2	39,4	0,4	1,3	—	12,8	—	3,1	—	48,4	0,4	3,5	—
13	1. 8.	4	37,2	4,0	1,6	—	8,5	1,3	1,2	—	44,9	5,2	2,7	—
14	1. 8.	6	28,1	7,7	4,6	—	7,1	2,7	3,1	—	33,4	9,7	7,0	—
15	1. 9.	2	42,0	—	—	—	13,8	—	—	—	54,4	—	—	—
16	1. 9.	4	40,6	—	—	—	15,6	—	—	—	54,6	—	—	—
17	1. 4.	24	4,7	0,5	19,3	15,1	0,7	0,5	5,1	5,1	5,3	0,9	23,5	19,2
18	1. 5.	20	8,3	1,7	24,3	3,4	1,3	—	8,6	3,6	9,5	1,7	32,3	6,7
19	1. 6.	16	4,3	6,0	19,1	8,8	1,1	0,6	6,9	3,5	5,4	6,7	25,0	12,2
20	1. 7.	12	15,6	6,7	14,3	4,2	2,3	1,0	6,6	3,6	18,2	7,6	20,2	7,7
21	1. 8.	8	22,3	7,1	8,3	—	6,4	3,9	3,5	—	28,4	10,8	11,6	—

Table 20. Shares of the quality classes of sawn timber in the log volume. Tuusula.
Taulukko 20. Sahatavaran laatuluokkien osuudet tukin tilavuudesta. Tuusula.

Storing group *Varasto-erä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Scantling — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*				Total — *Kaikki*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the saw log volume — *Tukin tilavuudesta*, %											
1	1. 4.	4	35,3	—	—	—	26,8	—	—	—	58,0	—	—	—
2	1. 4.	6	35,9	—	—	—	24,8	0,1	0,5	—	58,5	0,1	0,5	—
3	1. 5.	2	37,4	—	—	—	20,4	—	—	—	55,3	—	—	—
4	1. 5.	4	32,3	1,1	1,1	0,1	16,4	0,4	2,3	—	47,1	1,4	3,2	0,1
5	1. 5.	6	34,8	4,4	1,0	—	16,1	0,5	1,6	—	49,0	4,9	2,4	—
6	1. 6.	2	36,4	0,5	0,3	—	18,9	0,1	2,5	—	53,1	0,6	2,5	—
7	1. 6.	4	33,7	1,3	0,9	—	18,2	1,0	1,0	—	40,2	2,2	1,8	—
8	1. 6.	6	19,0	3,4	11,0	4,9	8,1	1,0	9,0	2,2	26,0	4,2	18,6	6,8
9	1. 7.	2	37,9	—	0,3	—	17,4	0,9	0,4	—	52,7	0,8	0,6	—
10	1. 7.	4	26,7	7,7	5,2	—	9,4	3,4	5,4	—	35,0	10,8	9,9	—
11	1. 7.	6	18,5	10,0	11,1	—	8,2	4,0	4,8	0,3	25,6	13,4	15,2	0,3
12	1. 8.	2	41,3	—	—	—	16,3	0,2	—	0,1	54,7	0,1	—	0,1
13	1. 8.	4	28,1	6,2	4,6	—	9,1	3,1	4,6	—	35,9	8,7	8,6	—
14	1. 8.	6	33,5	5,5	1,6	0,7	11,2	2,3	1,8	—	41,7	7,1	3,0	0,7
15	1. 9.	2	40,4	0,8	—	—	18,7	—	—	—	57,7	0,8	—	—
16	1. 9.	4	40,9	1,4	—	—	12,7	1,1	0,5	—	50,8	2,3	0,4	—
17	1. 4.	24	9,9	3,0	18,4	7,6	3,9	1,6	6,5	5,9	13,5	4,5	24,5	12,8
18	1. 5.	20	8,0	7,5	17,1	7,6	1,7	3,2	4,3	5,3	9,3	9,9	20,4	11,7
19	1. 6.	16	13,8	13,2	13,6	4,8	3,2	3,3	6,7	2,7	16,2	15,7	18,8	6,8
20	1. 7.	12	7,4	11,5	12,5	9,4	1,4	4,0	4,7	5,3	8,7	15,1	16,8	14,2
21	1. 8.	8	27,1	6,8	5,0	0,3	7,0	4,7	4,4	—	32,6	10,5	8,4	0,3

Table 21. Shares of the quality classes of sawn timber in the log volume. Punkaharju, Kivalo and Laanila.
Taulukko 21. Sahatavaran laatuluokkien osuudet tukin tilavuudesta. Punkaharju, Kivalo ja Laanila.

Storing group *Varasto-erä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks, *Varastointi, viikkoa*	Scantlings — *Sydäntavara*				Boards — *Pintatavara*				Total — *Kaikki*			
			u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*	u/s	V	VI	Cull *Hylky*
			Of the saw log volume — *Tukin tilavuudesta*, %											
			Punkaharju											
17	1. 4.	24	0,9	—	13,1	17,2	—	—	6,6	13,6	0,9	—	19,1	29,5
18	1. 5.	20	3,4	—	17,9	9,2	—	—	10,8	10,4	3,4	—	27,8	19,7
19	1. 6.	16	9,9	2,3	14,3	4,8	3,7	0,5	10,1	7,4	13,2	2,8	23,4	11,5
20	1. 7.	12	8,8	—	14,1	—	5,6	2,3	16,7	—	14,4	2,3	30,8	—
21	1. 8.	8	18,9	6,2	1,8	—	12,4	4,4	6,6	—	30,1	10,1	7,7	—
			Kivalo											
17	1. 4.	24	12,0	5,3	18,4	3,2	0,7	0,4	11,9	5,5	13,3	5,7	30,3	8,8
18	1. 5.	20	11,9	8,4	10,0	4,7	0,8	0,8	14,8	2,8	12,7	9,1	24,8	7,5
19	1. 6.	16	16,5	6,5	6,3	4,6	2,7	2,7	9,3	3,1	19,2	9,2	15,9	7,7
20	1. 7.	12	20,4	10,2	4,4	4,0	4,1	4,8	4,3	3,9	24,4	15,1	8,7	8,9
21	1. 8.	8	35,4	5,3	—	—	17,0	1,1	—	—	52,4	6,4	—	—
			Laanila											
17	1. 4.	24	12,5	1,6	15,9	4,5	0,6	—	8,2	4,0	13,1	1,6	24,1	8,5
18	1. 5.	20	9,8	2,7	8,3	6,4	0,7	—	6,1	12,1	10,5	2,7	14,5	18,6
19	1. 6.	16	56,0	5	32,1	7,2	5,0	8,0	60,5	27,0	30,0	6,2	46,0	17,4
20	1. 7.	12	51,1	22	17,0	10,0	27,3	28,0	38,0	7,3	39,1	25,0	27,3	9,0
21	1. 8.	8	26,1	—	7,8	—	18,3	1,9	—	—	44,4	2,7	—	—

Table 22. Quality class distribution of logs sprayed with a protectant.
Taulukko 22. Suoja-aineella ruiskutettujen tukkien laatuluokkajakautuma.

Locality — *Paikkakunta*	Species — *Puulaji*	Quality class — *Laatuluokka*			
		u/s	V	VI	Cull *Hylky*
		Of the sawn timber volume, per cent *Sahatavaratilavuudesta, %*			
Bromarv	Pine — *Mänty*	27,7	10,0	71,5	—
»	Spruce — *Kuusi*	40,7	1,8	57,7	—
Tuusula	Pine — *Mänty*	44,0	21,2	25,1	9,7
»	Spruce — *Kuusi*	73,1	10,7	16,2	—

Table 23. Log value loss due to summer storage, in marks, by storage times. Bromarv and Tuusula.
Taulukko 23. Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys markoissa varastointiajoittain. Bromarv ja Tuusula.

Storing group *Varasto-erä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Sawn timber quality distribution — *Sahatavaran laatujakautuma*											
			u/s 100 %				u/s 70 %				u/s 50 %			
			V+VI		—		V+VI		30 %		V+VI		50 %	
			Bromarv		Tuusula		Bromarv		Tuusula		Bromarv		Tuusula	
			mk	s	mk	s	mk	s	mk	s	mk	s	mk	s
1 ...	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 ...	1. 4.	6	—	—	0,2	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—
3 ...	1. 5.	2	0,1	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4 ...	1. 5.	4	0,2	0,7	0,9	1,6	—	—	0,2	0,7	—	—	0,1	0,3
5 ...	1. 5.	6	1,5	1,6	1,1	2,1	0,2	0,6	0,4	1,2	0,1	0,2	0,3	0,2
6 ...	1, 6,	2	0,4	0,9	0,9	1,1	0,3	0,8	0,1	0,3	0,1	0,2	—	—
7 ...	1. 6.	4	1,2	1,7	2,0	2,8	0,5	1,0	0,7	1,6	0,2	0,6	0,3	0,9
8 ...	1. 6.	6	2,2	2,7	9,4	13,0	1,1	1,6	7,1	12,2	0,7	1,7	5,7	11,7
9 ...	1. 7.	2	0,9	1,3	1,2	1,6	0,2	0,4	0,2	0,5	—	—	—	—
10 ...	1. 7.	4	2,1	2,1	4,7	4,1	0,3	1,1	2,6	2,7	0,1	0,1	1,3	1,8
11 ...	1. 7.	6	6,8	4,8	5,0	4,0	5,5	9,9	3,0	3,0	3,7	9,5	1,9	2,3
12 ...	1. 8.	2	1,8	1,9	0,3	0,8	0,5	0,9	0,1	0,5	0,2	0,5	—	—
13 ...	1. 8.	4	2,9	3,5	4,0	3,7	1,3	2,4	2,1	2,8	0,8	1,6	1,1	1,8
14 ...	1. 8.	6	4,5	3,6	2,8	2,4	2,4	2,7	1,2	1,6	1,4	2,0	0,6	1,1
15 ...	1. 9.	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16 ...	1. 9.	4	0,2	0,5	1,0	1,8	—	—	0,3	0,9	—	—	—	—
17 ...	1. 4.	24	14,0	9,1	13,9	10,9	12,1	8,6	11,2	10,3	10,8	8,3	9,5	9,8
18 ...	1. 5.	20	9,6	7,4	12,1	11,3	7,4	6,7	9,8	10,6	6,0	6,2	8,4	10,1
19 ...	1. 6.	16	11,6	10,1	9,5	9,3	9,5	9,4	7,5	8,4	8,2	9,0	6,1	7,8
20 ...	1. 7.	12	11,6	8,2	13,0	12,2	9,0	7,7	10,8	11,6	7,2	7,5	9,3	11,3
21 ...	1. 8.	8	5,5	3,4	6,1	5,8	3,3	2,5	3,8	4,8	1,9	1,9	2,4	4,2

Table 24. Log value loss due to summer storage, in marks. Punkaharju, Kivalo and Laanila.
Taulukko 24. Kesävarastoinnin aiheuttaman tukin arvon menetys markoissa. Punkaharju, Kivalo ja Laanila.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Sawn timber quality distribution — *Sahatavaran laatujakautuma*					
			u/s 100 %		u/s 70 %		u/s 50 %	
			V+VI	—	V+VI	30 %	V+VI	50 %
			mk	s	mk	s	mk	s
			Punkaharju					
17	1. 4.	24	29,0	24,6	25,5	22,5	22,4	20,7
18	1. 4.	20	18,6	9,8	15,6	8,7	13,6	8,1
19	1. 6.	16	15,3	7,4	11,5	6,7	8,8	6,7
20	1. 7.	12	12,3	5,5	8,3	4,1	5,6	3,2
21	1. 8.	8	8,1	4,8	4,5	3,2	2,3	2,3
			Kivalo					
17	1. 4.	24	15,5	11,1	12,2	10,4	10,0	9,9
18	1. 5.	20	11,3	9,5	8,7	8,7	7,0	8,3
19	1. 6.	16	13,4	8,6	10,4	8,3	8,4	8,1
20	1. 7.	12	12,0	10,1	9,1	9,8	7,5	9,5
21	1. 8.	8	1,4	2,2	0,3	0,7	0,2	0,5
			Laanila					
17	1. 4.	24	12,9	7,0	9,2	6,5	7,3	6,1
18	1. 5.	20	22,7	15,1	18,6	13,3	15,8	12,2
19	1. 6.	16	15,7	10,6	11,5	10,3	8,7	10,1
20	1. 7.	12	10.0	3.5	3.8	3.0	2.1	2.1
21	1. 8.	8	1,9	1,0	—	—	—	—

Table 25. Log value loss due to summer storage, in marks. All localities.
Taulukko 25. Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys markoissa. Kaikki paikkakunnat.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastointi, viikkoa*	Quality class — Laatuluokka					
			u/s 100 %		u/s 70 %		u/s 50 %	
			V+VI	—	V+VI	30 %	V+VI	50 %
			mk	s	mk	s	mk	s
1	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—
2	1. 4.	6	0,1	0,5	—	—	—	—
3	1. 5.	2	0,1	0,3	—	—	—	—
4	1. 5.	4	0,7	1,4	0,1	0,6	—	—
5	1. 5.	6	1,2	1,9	0,4	1,0	0,4	3,5
6	1. 6.	2	0,7	1,1	0,4	2,8	—	—
7	1. 6.	4	1,7	2,4	0,6	1,4	0,2	0,8
8	1. 6.	6	6,5	10,8	4,7	9,9	3,7	9,4
9	1. 7.	2	1,1	1,5	0,2	0,5	—	—
10	1. 7.	4	3,7	3,7	1,7	2,5	0,9	1,6
11	1. 7.	6	5,8	4,5	4,1	7,1	2,7	6,6
12	1. 8.	2	0,9	1,5	0,2	0,7	0,1	0,4
13	1. 8.	4	3,6	3,7	1,9	2,6	1,0	1,7
14	1. 8.	6	3,3	3,0	1,5	2,1	0,8	1,5
15	1. 9.	2	0,1	0,3	—	—	—	—
16	1. 9.	4	0,7	1,3	0,2	0,7	0,1	0,3
17	1. 4.	24	15,2	12,3	12,5	11,5	10,7	10,8
18	1. 5.	20	12,4	10,8	10,0	9,9	8,4	9,3
19	1. 6.	16	11,5	9,5	9,0	8,7	7,4	8,3
20	1. 7.	12	12,2	10,0	9,4	9,6	7,7	9,3
21	1. 8.	8	3,8	3,5	2,4	2,1	2,0	3,2

Table 26. Value loss of sawn timber in per cent in scantlings and side boards. Pine.
Taulukko 26. Sahatavaran arvon menetys prosentteina sydän- ja pintatavarassa. Mänty.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaatoaika*	Storing period, weeks *Varastointiaika, vk*	Sawn timber quality distribution — *Sahatavaran laatujakautuma*							
			u/s 100 %				u/s 70 %			
			V+VI		—		V+VI		30 %	
			Scantlings *Sydäntavara*		Boards *Sivu- ja pintalaudat*		Scantlings *Sydäntavara*		Boards *Sivu- ja pintalaudat*	
			%	s	%	s	%	s	%	s
1 ..	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—
2 ..	1. 4.	6	—	—	—	—	—	—	—	—
3 ..	1. 5.	2	—	—	—	—	—	—	—	—
4 ..	1. 5.	4	1,0	3,7	3,3	6,6	0,7	2,3	1,3	3,9
5 ..	1. 5.	6	2,7	4,5	5,5	9,8	1,3	2,7	3,1	7,4
6 ..	1. 6.	2	1,3	2,9	1,3	3,3	0,3	1,6	0,2	1,1
7 ..	1. 6.	4	4,3	6,0	4,7	7,8	2,3	4,4	1,9	5,6
8 ..	1. 6.	6	17,5	28,6	21,6	28,7	14,8	29,1	15,0	26,7
9 ..	1. 7.	2	2,0	3,1	3,1	6,9	0,5	1,2	1,4	5,0
10 ..	1. 7.	4	8,1	6,8	9,2	9,6	4,9	5,5	4,5	7,3
11 ..	1. 7.	6	13,2	6,4	17,1	13,7	8,9	5,7	11,5	12,5
12 ..	1. 8.	2	1,1	2,4	2,1	4,5	0,2	1,1	0,6	2,4
13 ..	1. 8.	4	7,4	7,4	12,2	10,7	4,9	6,1	6,9	8,5
14 ..	1. 8.	6	10,6	8,4	11,1	8,7	6,5	7,0	5,7	6,5
15 ..	1. 9.	2	0,3	1,4	0,2	1,1	0,1	0,6	—	—
16 ..	1. 9.	4	2,2	4,0	2,7	6,8	0,9	2,4	1,3	4,7
17 ..	1. 4.	24	42,4	34,3	59,1	31,7	39,3	36,1	55,1	34,7
18 ..	1. 5.	20	33,9	31,7	53,4	32,0	30,5	33,2	49,7	34,1
19 ..	1. 6.	16	27,2	26,0	36,3	23,3	23,2	27,3	31,0	25,1
20 ..	1. 7.	12	29,6	29,2	37,4	27,9	25,8	30,7	31,5	30,4
21 ..	1. 8.	8	14,1	8,5	16,0	10,6	10,0	8,1	11,0	9,2

Table 27. Value loss of sawn timber in per cent in scantlings and side boards. Spruce.
Taulukko 27. Sahatavaran arvon menetys prosertteina sydän- ja pintatavarassa. Kuusi.

Storing group *Varaserä*	Felling time *Kaatoaika*	Storing period, weeks *Varastointiaika, vk.*	Sawn timber quality distribution — *Sahatavaran laatujakautuma*							
			u/s 100 %				u/s 70 %			
			V+VI		—		V+VI		30 %	
			Scantlings *Sydäntavara*		Boards *Sivu- ja pintalaudat*		Scantlings *Sydäntavara*		Boards *Sivu- ja pintalaudat*	
			%	s	%	s	%	s	%	s
1 ..	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—	—	—
2 ..	1. 4.	6	—	—	0,3	2,1	—	—	0,2	1,2
3 ..	1. 5.	2	—	—	0,7	2,7	—	—	0,3	1,6
4 ..	1. 5.	4	0,7	2,2	1,4	3,6	0,3	1,4	0,6	2,2
5 ..	1. 5.	6	2,5	4,5	2,2	3,8	1,6	3,3	0,8	2,2
6 ..	1. 6.	2	5,8	17,8	1,7	3,8	4,8	17,7	2,5	12,9
7 ..	1. 6.	4	4,2	4,9	3,4	5,1	2,6	3,7	1,6	3,0
8 ..	1. 6.	6	12,3	17,6	14,9	17,6	9,9	17,7	11,7	17,5
9 ..	1. 7.	2	3,1	4,3	4,0	5,2	1,8	3,0	1,5	3,5
10 ..	1. 7.	4	5,6	5,0	8,2	7,0	3,3	4,0	5,0	5,4
11 ..	1. 7.	6	9,2	4,7	14,2	10,3	6,2	4,2	10,2	9,9
12 ..	1. 8.	2	3,9	13,3	3,0	6,7	3,0	13,2	1,8	5,4
13 ..	1. 8.	4	5,9	6,3	7,1	7,4	4,0	5,3	4,4	5,5
14 ..	1. 8.	6	7,2	6,0	10,6	6,9	4,8	5,2	6,8	5,2
15 ..	1. 9.	2	0,2	0,8	—	—	—	—	—	—
16 ..	1. 9.	4	1,6	3,3	1,5	3,8	0,7	2,4	0,7	2,2
17 ..	1. 4.	24	26,7	26,5	35,4	27,4	24,0	27,4	31,9	28,8
18 ..	1. 5.	20	20,9	26,7	34,1	31,1	18,1	27,5	30,5	32,6
19 ..	1. 6.	16	23,5	25,1	38,2	32,8	20,9	25,9	34,9	34,4
20 ..	1. 7.	12	20,2	22,8	36,0	31,2	17,5	23,5	32,6	32,6
21 ..	1. 8.	8	11,0	13,5	11,5	7,0	8,3	13,4	9,0	6,3

Table 28. Value loss of sawlogs caused by summer storage, in per cent. All localities.
Taulukko 28. Kesävarastoinnin aiheuttama tukin arvon menetys prosentteina. Kaikki paikkakunnat.

Storing group *Varastoerä*	Felling time *Kaato-aika*	Storing, weeks *Varastossa, viikkoa*	Quality class — *Laatuluokka*					
			u/s 100 %		u/s 70 %		u/s 50 %	
			%	s	%	s	%	s
1	1. 4.	4	—	—	—	—	—	—
2	1. 4.	6	0,1	0,6	—	—	—	—
3	1. 5.	2	0,2	0,7	—	—	—	—
4	1. 5.	4	1,2	2,7	0,3	1,4	0,1	0,8
5	1. 5.	6	2,2	3,4	0,7	2,0	0,6	4,3
6	1. 6.	2	1,3	2,0	0,7	5,2	0,1	0,6
7	1. 6.	4	3,0	3,6	1,1	2,2	0,5	1,3
8	1. 6.	6	10,9	14,4	8,0	14,2	6,3	14,1
9	1. 7.	2	1,8	2,2	0,3	0,9	—	—
10	1. 7.	4	6,0	5,2	3,0	3,9	1,6	2,6
11	1. 7.	6	9,7	5,5	6,7	7,0	4,4	6,7
12	1. 8.	2	1,4	2,5	0,4	1,4	0,2	0,8
13	1. 8.	4	6,0	5,4	3,3	4,1	1,9	2,9
14	1. 8.	6	6,9	4,9	3,6	4,1	2,0	3,2
15	1. 9.	2	0,1	2,9	—	—	—	—
16	1. 9.	4	1,4	16,9	0,4	1,5	0,2	0,8
17	1. 4.	24	26,6	16,3	23,1	17,4	20,7	17,6
18	1. 5.	20	22,4	13,9	19,0	16,6	16,6	16,7
19	1. 6.	16	20,3	16,1	16,8	14,3	14,2	14,5
20	1. 7.	12	20,6	16,1	16,9	16,6	14,4	16,9
21	1. 8.	8	7,6	5,1	5,9	5,8	3,7	5,3

Table 29. Storage loss per log cubic metre and log cubic foot due to summer storage.
Taulukko 29. Kesävarastoinnin aiheuttama varastointitappio tukkikuutiometriä ja tukkikuutiojalkaa kohti.

Storing group *Varastoerä*	Locality — *Paikkakunta*									
	Bromarv		Tuusula		Punkaharju		Kivalo		Laanila	
	mk/m³	mk/j³	mk/m³	mk/j³	mk/m³	mk/j³	mk/m³	mk/j³	mk/m³	mk/j³
1	—	—	—	—	..	..	..	..	..	..
2	—	—	0,8	—	..	..	..	..	..	..
3	0,9	—	—	—	..	..	..	..	..	..
4	1,0	—	5,1	0,1	..	..	..	..	..	..
5	9,4	0,3	6,1	0,2	..	..	..	..	..	..
6	2,4	—	5,2	0,1	..	..	..	..	..	..
7	7,5	0,2	11,6	0,3	..	..	..	..	..	..
8	12,1	0,3	57,0	1,6	..	..	..	..	..	..
9	4,9	0,1	6,7	0,2	..	..	..	..	..	..
10	10,4	0,3	26,3	0,7	..	..	..	..	..	..
11	32,8	0,9	31,4	0,9	..	..	..	..	..	..
12	10,3	0,3	1,7	—	..	..	..	..	..	..
13	15,7	0,4	22,6	0,6	..	..	..	..	..	..
14	24,9	0,7	17,9	0,5	..	..	..	..	..	..
15	0,1	—	0,6	—	..	..	..	..	..	..
16	1,4	—	7,4	0,2	..	..	..	..	..	..
17	88,5	2,5	76,1	2,2	145,2	4,1	73,0	2,1	66,7	1,9
18	59,8	1,7	69,7	2,0	116,4	3,3	61,2	1,7	104,7	3,0
19	71,2	2,0	59,0	1,7	77,4	2,2	63,2	1,8	150,7	4,3
20	57,9	1,6	77,0	2,2	58,2	1,6	61,2	1,7	75,6	2,1
21	31,4	0,9	36,7	1,0	42,8	1,2	6,7	0,2	10,0	0,3

Table 30. Extent of the spread of insect galleries in per cent of the bark surface area at the end of September
(P = pine, S = spruce, A = sunny storage, B = shady storage).

Taulukko 30. Hyönteisten syömäkuvioiden peittävyys prosentteina tukin kuoren pinta-alasta syyskuun lopussa. (P = mänty, S = kuusi, A = aurinkoinen varasto, B = varjoisa varasto)

Felling time *Kaatoaika*	Bromarv 72				Tuusula 72				Bromarv 73				Tuusula 73				Punkaharju 73	Kivalo 73		Laanila 73	Tuusula 74				Punkaharju 75	Kivalo 75		Laanila 75
	P		S		P		S		P		S		P		S						P		S					
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	P	P	S	P	A	B	A	B	P	P	S	P
1. 4.	100	47	22	32	94	69	68	64	..	62	50	52	87	61	76	100	54	75	100	77	45	59	30	33	74	78	97	70
1. 5.	87	58	41	82	98	66	84	90	81	41	25	66	84	66	64	73	72	71	84	78	40	37	29	45	32	39	93	73
1. 6.	83	20	26	79	67	21	78	67	61	5	79	..	52	23	56	77	25	73	85	57	29	14	52	65	3	22	43	17
1. 7.	42	4	22	42	38	30	90	57	5	1	6	32	5	6	53	29	37	28	60	1	2	5	4	11	1	1	14	4
1. 8.	1	0	1	1	1	0	1	7	1	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1. 9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	0	0	0	0	—	—	—	—

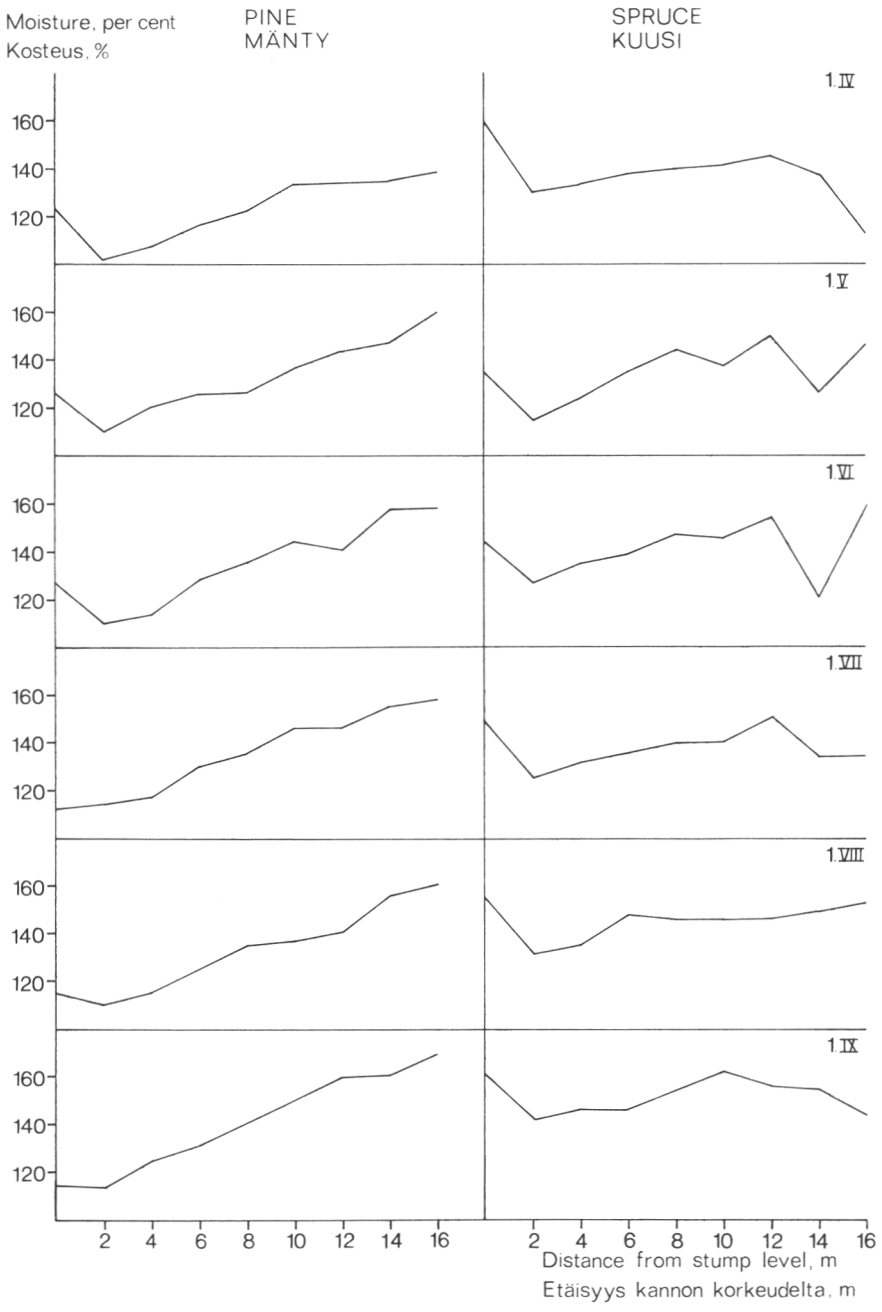


Fig. 6. Moisture content of the sapwood of standing trees at different heights in the course of the growing season.

Kuva 6. Pystypuiden pintapuun kosteus rungon eri korkeuksilla kasvukauden kuluessa.

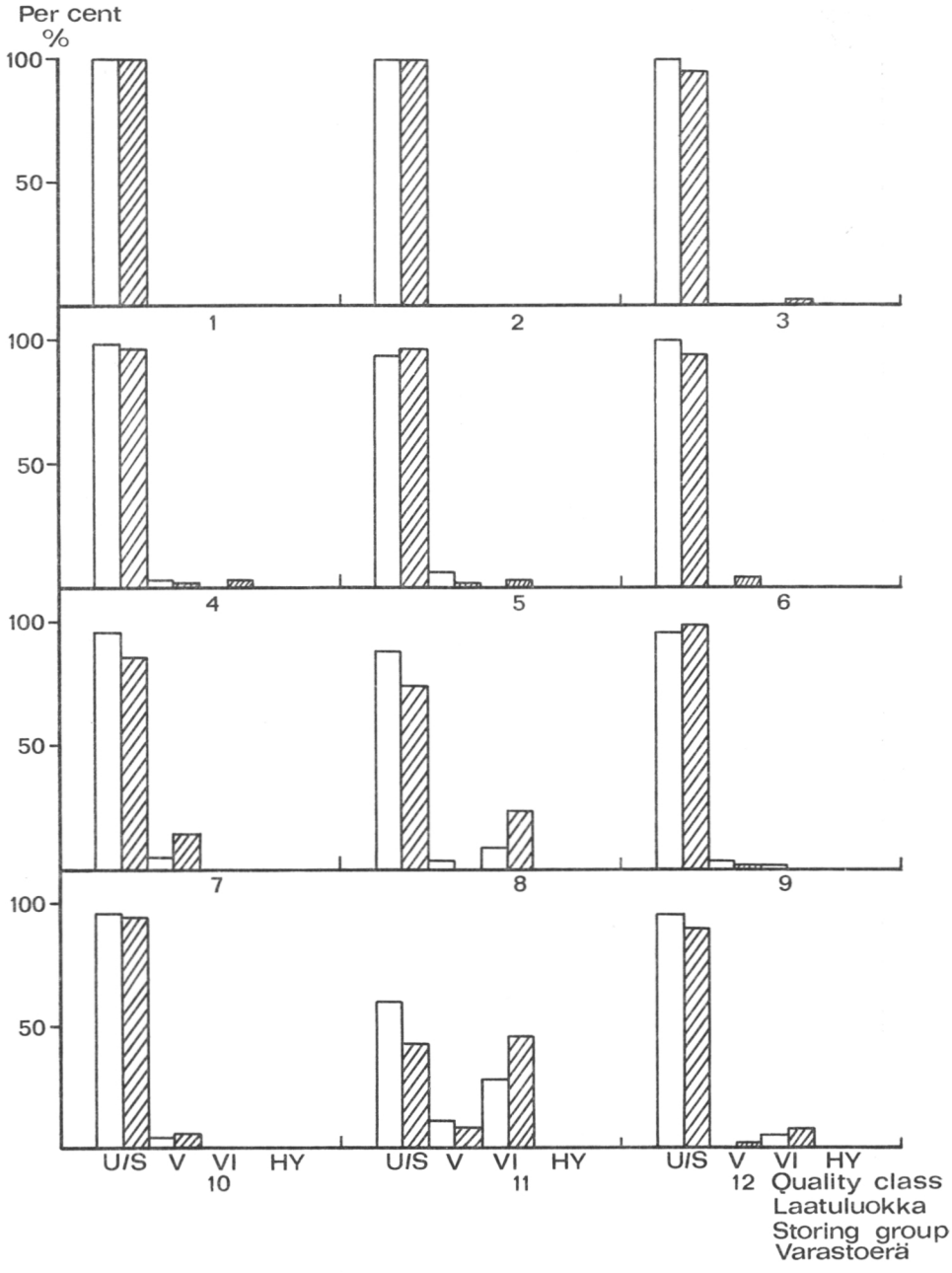


Fig. 7. Shares of sawn timber quality classes in the sawn timber volume, by storage lots. Bromarv. (White colums = pine, shaded columns = spruce, HY = cull.)

Kuva 7. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta varastoerittäin. Bromarv. (Valkoiset pylväät = mänty, viivoitetut pylväät = kuusi, HY = hylky.)

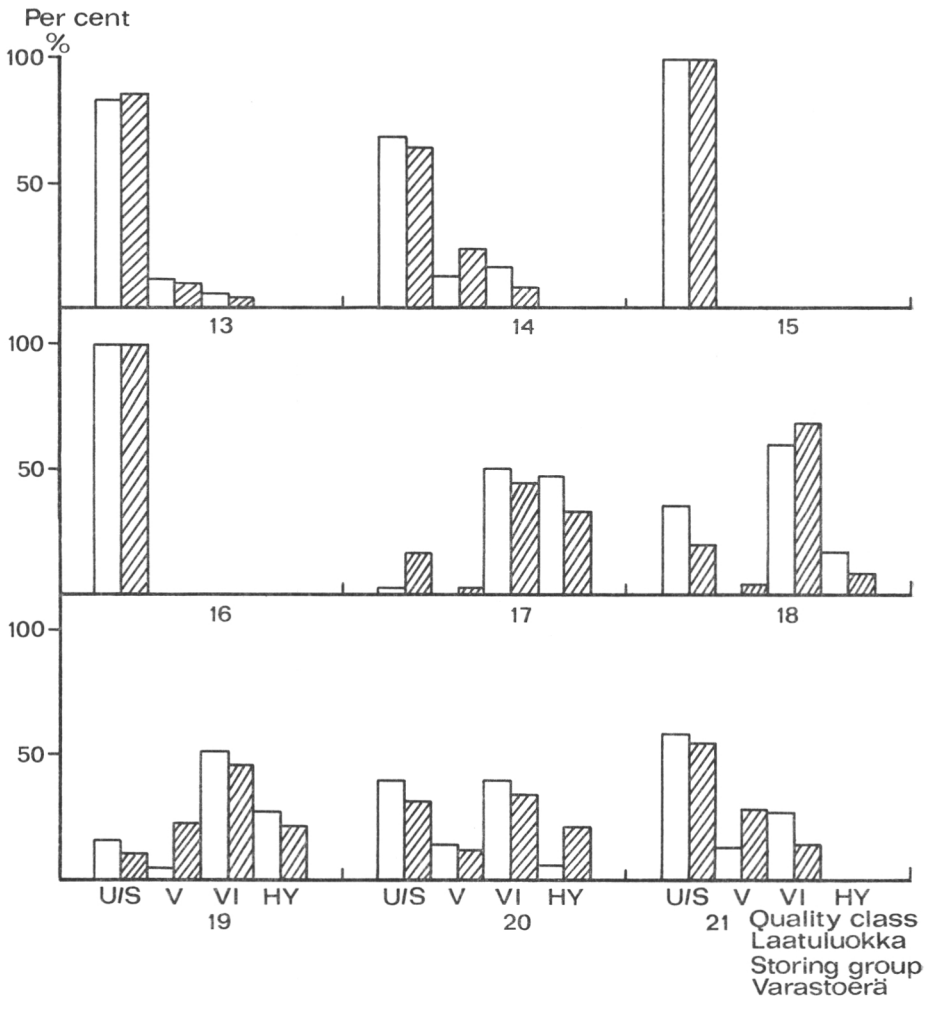


Fig. 7. Cont.
Kuva 7. Jatkoa

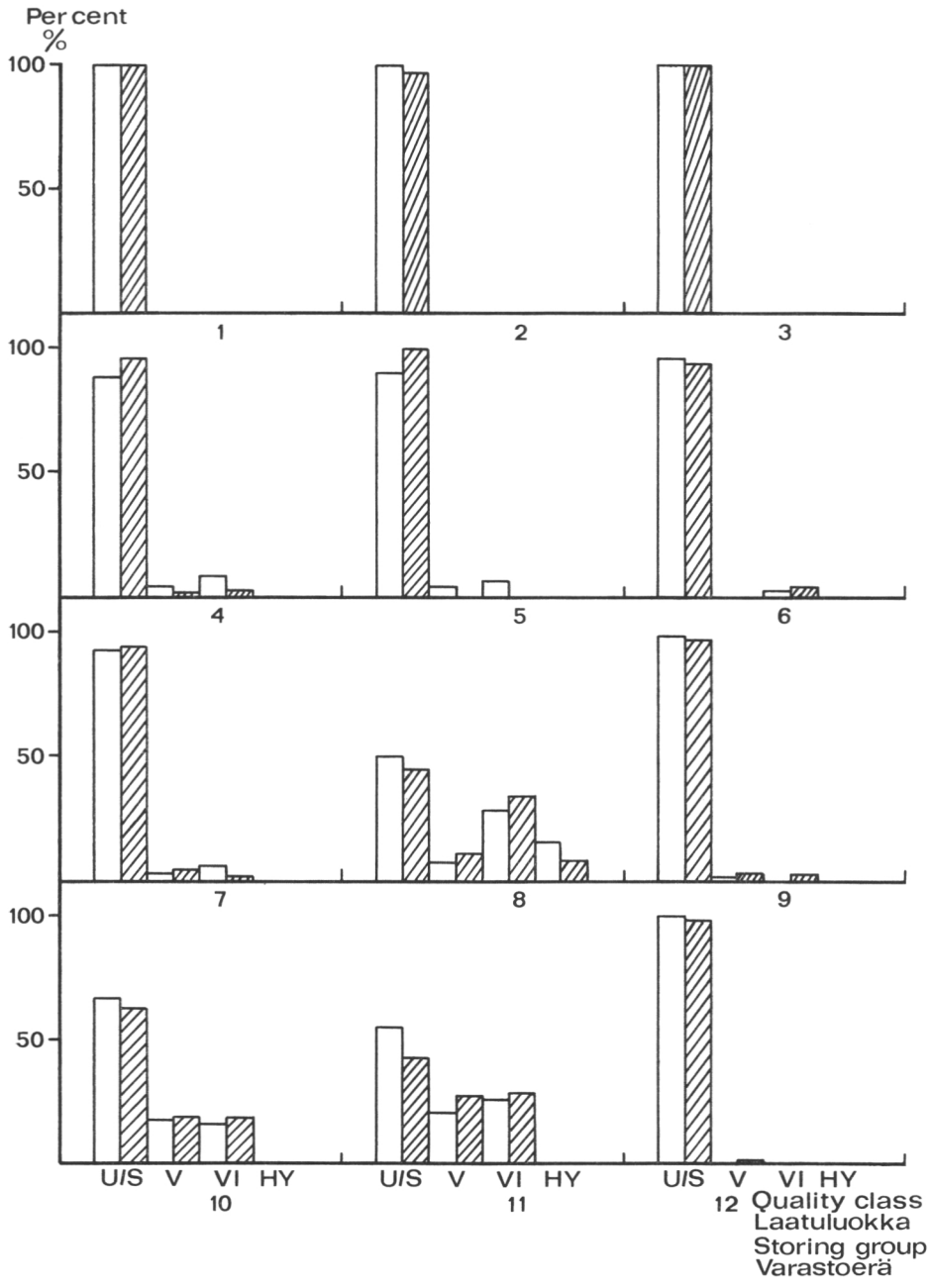


Fig. 8. Shares of sawn timber quality classes in the sawn timber volume, by storage lots. Tuusula. (White columns = pine, shaded columns = spruce, HY = cull.)

Kuva 8. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta varastoeriттäin. Tuusula. (Valkoiset pylväät = mänty, viivoitetut pylväät = kuusi, HY = hylky.)

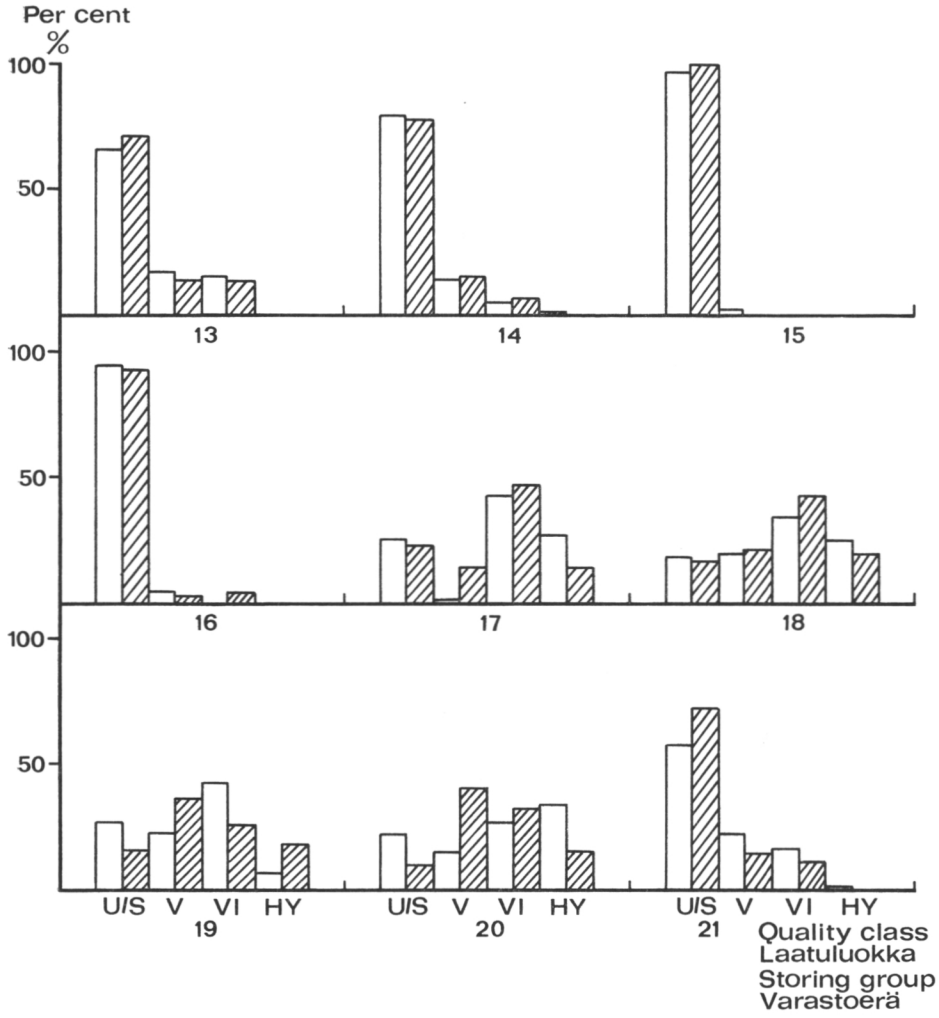


Fig. 8. Cont.
Kuva 8. Jatkoa

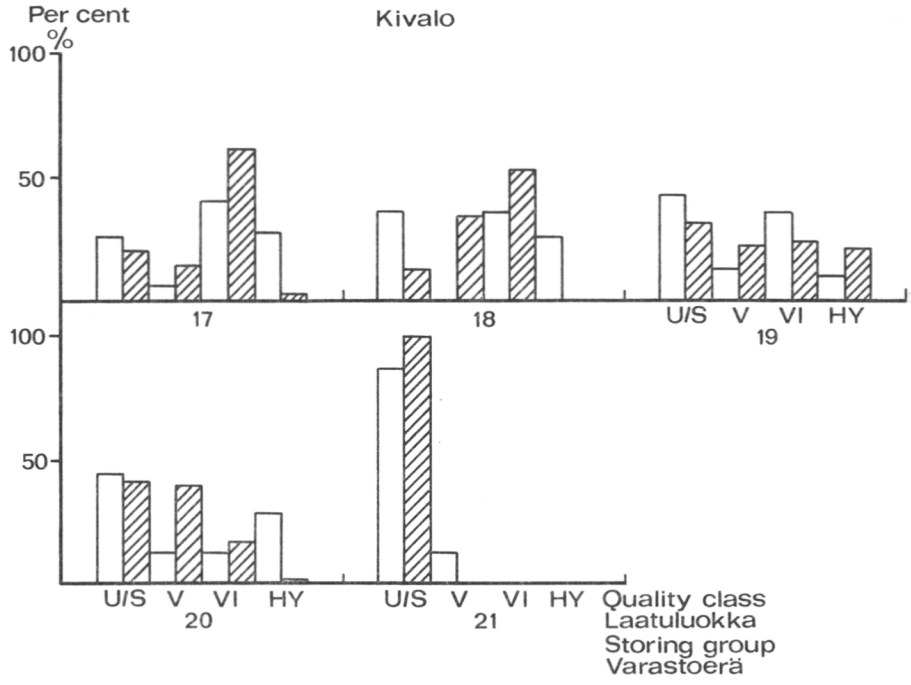


Fig. 9. Shares of sawn timber quality classes in the sawn timber volume, by storage lots. Kivalo. (White columns = pine, shaded columns = spruce, HY = cull.)

Kuva 9. Sahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta varastoerittäin. Kivalo. (Valkoiset pylväät = mänty, viivoitetut pylväät = kuusi, HY = hylky.)

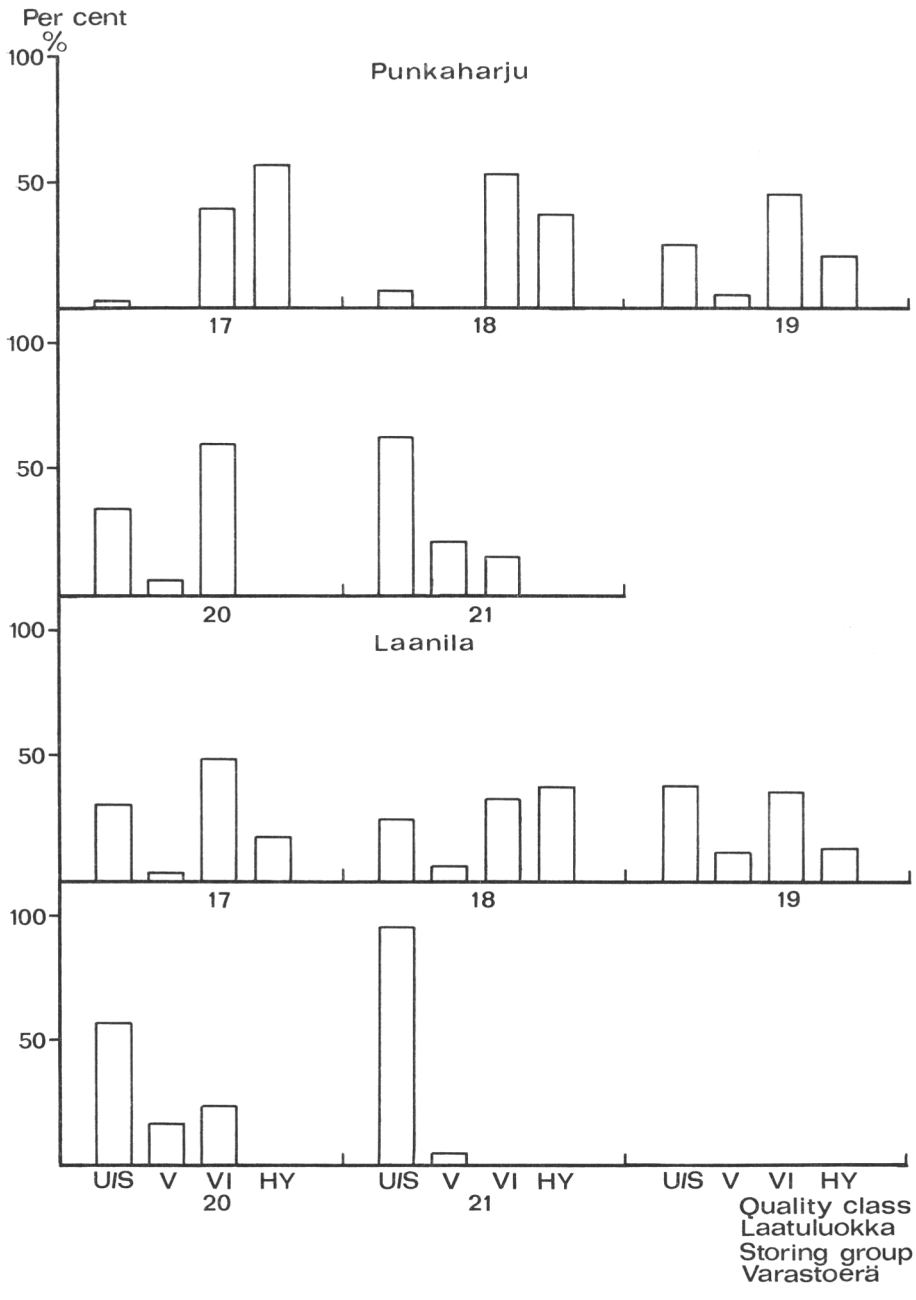


Fig. 10. Shares of the quality classes of pine sawn timber in the sawn timber volume, by sorage lots. Punkaharju and Laanila. (HY = cull.)

Kuva 10. Mäntysahatavaran laatuluokkien osuudet sahatavaratilavuudesta varastoerittäin. Punkaharju ja Laanila. (HY = hylky.)

ERGONOMIC AND TECHNIC ASPECTS OF BUNCHING ROUND TIMBER IN THINNINGS

PERTTI HARSTELA

Seloste

KASAUKSEN ERGONOMIA JA TEKNOLOGIA HARVENNUSHAKKUISSA

HELSINKI 1977

ODC 302: 323
ISBN 951-40-0280-6
ISSN 0026-1610

HARSTELA, P. 1977. Ergonomic and technic aspects of bunching round timber in thinnings. Seloste: Kasauksen ergonomia ja teknologia harvennushakkuissa. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (4): 1—37.

The relationship between variables describing the cutting method and the following variables were studied: physical strain on the worker, strain on skeletal and muscular systems, handling time for the power saw, damage to the remaining stand, space requirement for the strip road, work-time expenditure in cutting, and logging costs. Based on these relationships, a new cutting method, SCAPE, was developed. Various alternatives for preliminary skidding were studied based on the literature. Of these, 2 method were chosen to be used in connection with the SCAPE method: a preliminary skidding machine with a long-reach loader and a winch fitted to a tractor.

Tutkimuksessa tarkasteltiin työntekijän fyysisen kuormittumisen, tuki- ja liikuntaelinten kuormittumisen, sahan käsittelyajan, jäljelle jäävän puuston vaurioitumisen, palstatien tilan tarpeen, hakkuun työajan menekin ja korjuukustannusten riippuvuutta hakkuun työmenetelmää kuvaavista muuttujista ja kehitettiin näiden riippuvuuksien perusteella uusi hakkuumenetelmä LEKA. Kirjallisuuden perusteella tarkasteltiin esikasausvaihtoehtoja, joista valittiin LEKA-menetelmän testaukseen pitkälle ulottuvalla kuormaimella varustetut esikasauskoneet ja traktorisovitteinen vintturi.

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

DEFINITIONS 4
1. INTRODUCTION 5
2. DATA AND METHODS 7
3. LABOR-DOMINATED BUNCHING 8
31. Variables describing the work method and time expenditure 8
32. Variables describing the work method and worker's physical strain 9
33. Sawing time and variability of the work 12
34. Variables describing the work method and logging costs 13
35. Variables describing the work method and timber production of the stand 14
Damage to the remaining stand 14
Space required by the roads 16
4. MECHANICAL PRELIMINARY SKIDDING 17
41. Preliminary skidding methods 17
42. Long-reach loaders 20
43. Winches 25
44. Small tractors and other alternatives 26
5. DEVELOPMENT OF ONE CUTTING METHOD 28
51. Chose of logging system and development of the method 28
52. Testing the method 29
6. SUMMARY 32
REFERENCES 33
SELOSTE 37

DEFINITIONS

The short-wood methods (excluding forwarding) mentioned in this report are defined here as follows:

Cutting without bunching	= Trees are felled directedly, trimmed and cross-cut into logs and bolts (previously termed scattered cutting in Harstela et al. 1977)
Cutting on the cutting chance	= Trees are felled directedly, trimmed and cross-cut into logs and bolts and bolts of a prescribed maximum size are bunched into piles on the chance.
Cutting to the side of the strip road	= As above, but the piles are assembled at the sides of the strip road
Straightening	= The bolts are lifted from one end and aligned in one direction, preferably so that several bolts are next to each other
SCAPE method	= For the definition, see Chapter 51.

1. INTRODUCTION

Bunching of round timber has in many studies been found to be physically the most strenous work phase in assortment-cutting logging systems (Kylin et al. 1968, Samset et al. 1969, Levanto 1970, Harstela 1971). In cutting the physical strain of the work is very great, and it has often been found to exceed by 40—50 % the strain level (e.g. Samset et al. 1969, Levanto 1970, Harstela 1975a) which many scientists consider to be the limit for excessive strain (Lundgren 1969, Andersen et al. 1970). The physical capacity of the worker has been found to be the property that best explains his productivity (Hansson 1965, Harstela 1975a) and dominates his behavior when cutting pulpwood (Harstela 1975a).

The bunching phase also causes great strain on the worker's skeletal and muscular systems. In the Finnish work contracts of 1975 the largest bolt to be moved may weigh over 70 kg when, according to various norms, the load in continuous lifting work on level ground should not exceed 20—50 kg (Klen 1974, Valonen 1975). Consequently, making the bunching work lighter is the central task in the ergonomics of cutting work. Bunching has been found to strain the worker less when the pulpwood is made into 2-meter bolts rather than 3-meter ones (Harstela 1970, Klen 1973, Valonen 1975). Similarly, the strain has been reduced when the bunching phase has been split into shorter periods (Harstela 1971a).

The stress of bunching is so great, however, that these techniques do not reduce the strain sufficiently. It has also been found that with a distance of 15 m between strip roads 90 % of the bolts of the 3—6-meter pulpwood was moved, although only 34 % was carried manually. Of the 3-meter bolts, 57 % were carried (Haaja 1970).

The purpose of bunching is to assemble the trees into sufficiently large loads within reach of the tractor. The loads should be large enough to make forest haulage economical. Thus, even small trees may be assembled into larger units for handling. New technical solutions for mechanization of this bunching, the latest of which are long-reach loaders (Putkisto 1970, Taipale 1975, Järvinen 1975), have continuously been offered. The application of these methods has been limited by cost and work and stand productivity factors as well as technical problems (cf. Boström 1976, Järvinen 1975, Kärkkäinen 1976). Attempts have also been made to rationalize bunching on clear-cut areas by simplification (Silvennoinen 1970).

The objectives of this study were 1) to elucidate, on the basis of the literature, the factors affecting in bunching the strain on worker, work output and productivity of the remaining stand, 2) to study rationalization alternatives for bunching, 3) to outline laws necessary for developing work methods by an additional empirical study and, 4) on the basis of these and including certain objectives, to plan a work method.

The principle presented by Harstela, which (1975a) stated that the physical capacity of the worker dominates his behavior in very strenous work, formed the teoretical basis for this study. Accordingly, rationalization of the heaviest work phase, the bunching, strongly affects the physical strain of the worker and also work productivity.

The problem of bunching was studied mainly in so-called labordominated logging systems. Development of these systems was found to be necessary because:

— mechanization of stem harvesting in thinnings will not be economical with present methods in the near future (cf. chapter 32, Mikkonen et al. 1975)

— capital is largely tied into mechanization of clear cutting

— there is a minimum of the thinning output within 10 years, and thus mechanization of thinnings is not urgent from the standpoint of labor management (Vuokila 1969)

— mechanized logging systems have caused relatively great damage to the remaining stand (cf. chapter 32)

— whole-tree utilization is limited by guality considerations of the raw material and the problems of handling whole trees at the mills

— according to prognoses for mechanization of logging, thinnings will not be mechanized significantly within the next 10 years (Mikkonen et al. 1975)

— in harvesting wood from thinnings the bunching phase has not yet been simplified, and it is still physically the most strenous work phase.

Leo Tervo, Urpo Paananen, Antero Harstela, Kaarina Niskanen and Hilkka Ryth have participated in various phases of this study. The manuscript was read by Pentti Hakkila, Matti Kärkkäinen and Risto Seppälä. Kim and Joann von Weissenberg translated the manuscript into English. I thank all who have participated in the study.

2. DATA AND METHODS

The empirical data were collected in various field studies and have been reported in detail in Harstela (1975b, 1976a) and Harstela et al. (1977). The data are explained in the results section only to the extent that previous explanations have not been published. All data are from thinnings.

Treatment of the empirical data is based on the principle of comparative work studies (Harstela 1975a), and therefore the most important results are treated as relative values. Many of the relationships outlined for developing work methods are at a hypothetical stage, and there are relatively few observations to support them. These hypotheses are, however, necessary for systematic development of new methods. The validity of these hypotheses will be tested when the work methods developed on their bases are tried out.

In order to develop a work method the relationships between the target variables [1]) (work productivity, worker stress, damage to the stand) and the variables describing the work method (e.g. mean bunching distance) are established. After this, one determines the allowed range for the variable describing the method in relation to each target. The work method is constructed within these limits to maximize or minimize the targets.

---

[1]) A target variable is defined here as one which influences man's aims and which is used when evaluating a work method.

3. LABOR-DOMINATED BUNCHING

31. Variables describing the work method and time expenditure

The time expenditure in manual bunching has been found to be affected by timber size, branchiness, species, density of the stand marked for cutting, snow conditions, planning of work, bunching distance, bolt length, strip-road distance and bunching method (Putkisto 1959, Kahala 1969, Kärkkäinen 1973, Harstela 1975a, Valonen 1975). Of these, the four last variables depend on the work method. There are differences between methods in pile location and size. Both of these affect the bunching distance. Thus, the bunching distance and bolt length should be variables which describe the work method well.

One may assume that the bunching distance affects work-time expenditure linearly or according to a slightly curvedmodel since the walking speed may increase with increasing distance (cf. Harstela 1970, Harstela and Valonen 1972). The time expenditure includes a distance-independent constant, which is due to making bed timber, preparing for bunching, and lifting and dropping the bolts. This assumption is described in Figure 1 by a broken line according to the equation

(1) $y = a + bx_1 + c$, where y = relative time expenditure for bunching
x_1 = relative bunching distance
$c = 0$ if $x_1 = 0$
c = constant if $x_1 > 0$

Figure 1 also shows observations on the relative work-time expenditure obtained from separate work-method studies, when in all cases the control method was cutting to the side of the strip road. The observations support the assumption. The correlation coefficient calculated from making 3-meter pulpwood was significant at the 95 % level of probability. Since the SCAPE method does not include making bed timber, one may assume that the previously mentioned constant is smaller than in other methods. Considering this, a concave curve may be fitted to the cluster of observations; but since the number of observations was small, no testing of a curvilinear model was done.

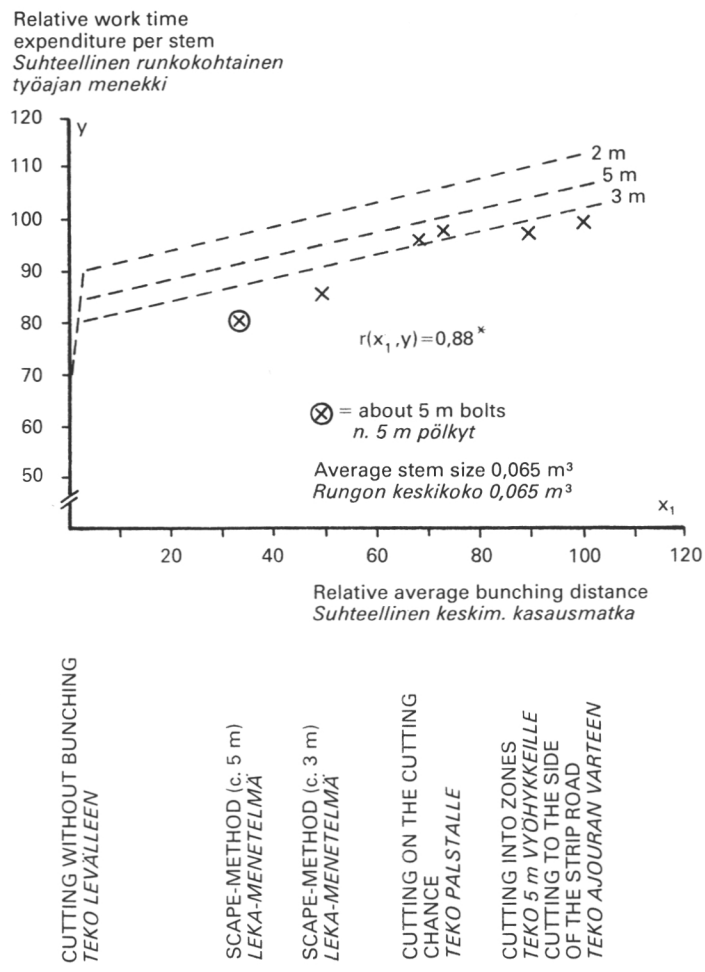


Figure 1. Regression of the relative work-time expenditure in cutting on the relative bunching distance.
Kuva 1. Hakkuun työajan menekki keskimääräisen kasausmatkan funktiona.

32. Variables describing the work method and the worker's physical strain

It has been found that in bunching work the energy expenditure, or the heart rate which describes it, is affected by the size and density of timber in the stand marked for cutting, terrain, size of bolts to be bunched, and bunching-method and distance (cf. Samset et al. 1969, Levanto 1970, Harstela 1970, 1971a, 1975a, Klen 1973, Wuolijoki 1974, Valonen 1975). As with worktime expenditure, it may be assumed that the bunching distance and bolt length describe the energy expenditure required for the work.

The continuation of a work phase more strenous than others in heavy work is known to curvilinearly increase strain. This has been explained by, i.a., the increased proportion of anaerobic muscle work (Christensen 1969). Since bunching is the heaviest work phase in cutting, it may be assumed that its uninterrupted continuation and thus its increasing effect on strain caused by bunching distance is curvilinear (Figure 2). Reduction of the bunching distance also reduces the relative proportion of the bunching phase, but this effect is linear except when cutting without bunching. Cutting without bunching causes a sudden drop in the time consumed for bunching (Figure 1). The change of work method produces a relatively stronger reduction in the average bunching distance weighted by the bolt weight compared to the unweighted distance (Kärkkäinen 1973). This may partly explain the curvilinear relationship.

The assumption of curvilinearity is further supported by the relative heart rate values obtained from work-method studies (Figure 2). The culmination point is at the average bunching distance of 2 m. Figure 2 indicates that a logarithmic transformation makes the relationship linear. Thus the relationship would be described by the equation

(2) $y = a10^{bx_1}$, where $x_1 > 0$, y = relative heart rate
x_1 = relative bunching distance

The correlation between log y and x_1 was highest among several tested alternatives, which supports equation (2) for describing the relationship between y and x_1.

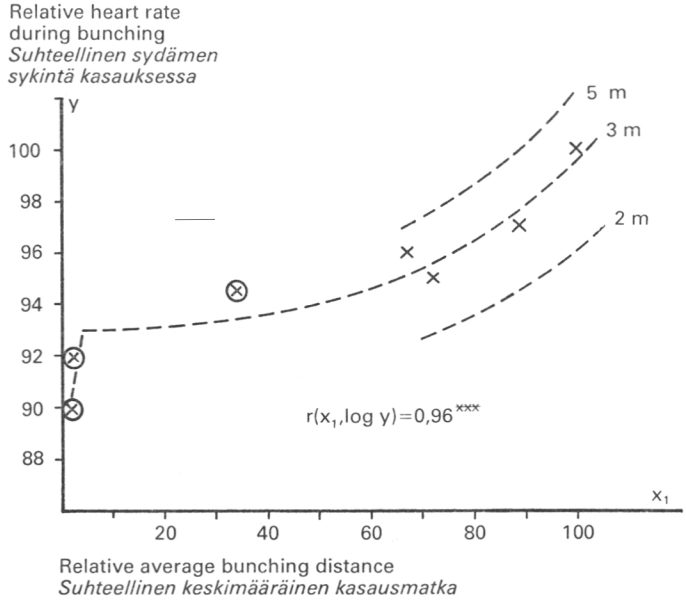


Figure 2. Regression of the relative heart rate on the relative bunching distance.
Kuva 2. Työntekijän sydämen sykintä keskimääräisen kasausmatkan funktiona.

Making 3-meter round timber has been found to be more strenous than making 2-meter round timber (cf. V a l o n e n 1975). On the other hand, it has been found that the longer the bunched bolts are the smaller becomes the proportion of carrying compared to other ways of moving the bolts (H a a j a 1970, H a r s t e l a et al. 1977). Thus the relative strain caused by making long bolts does not increase in relation to increased length of the bolts. This is probably true in work methods where the bunching distance is short and the size of the bolts to be carried is limited.

The strain on the worker's skeletal and muscular systems during carrying is affected by weight, size and shape of the load, ground properties, carrying distance, tools used and lifting method and position (cf. P o u l s e n and J ø r g e n s e n 1971, H a a p i a i n e n (ed.) 1974, A n d e r s s o n et al. 1975). The weight, size and shape of the load, carrying distance, and to some extent the lifting position and method depend on the work method. Usually the first- and last-mentioned factors are considered to be most important.

The phases of lifting and dropping the load strain the back most. This is due to the forward stoop of the back when lumbar discs are heavily strained due to the long leverage of the load. If, in addition, the spine is curved, the strain hits the discs unevenly; and the back muscles are not fully carrying the load in the early phase of lifting (B a s m a j i a n 1974, A n d e r s s o n et al. 1975). Figure 3 shows a typical EMG-curve measured on the back muscle during bunching of a bolt. Lifting and dropping have clearly caused the greatest strain on the muscle. Thus, the weight of the bolt seems to be a more important variable for back strain than the bunching distance.

Staggering during carrying may cause large momentary stresses on the skeletal and muscular systems, especially if fatigue occurs during carrying. The carrying distance for one bolt is usually so short that important muscle fatigue probably does not occur, but during a work day muscle fatigue may occur if the proportion of carrying is large. Thus the carrying distance may also be important.

Based on present knowledge, the bolt weight was chosen as a variable describing the work method with respect to strain of skeletal and muscular systems. The following maximum weights were fixed as a target:

— carrying 35 kg
— straightening 50 kg

The maximum weight for carrying corresponds to the maximum weight recommended by the Institute of Occupational Health in Finland for continuous lifting work. Since the conditions for carrying usually are poor in the forest, even a smaller maximum weight may be justified, but the maximum weights chosen now are considerable improvements compared to those used previously. When straightening, only half of the bolt weight stresses the lifter; but it was assumed that straightening often is done in a poor working position, which was indicated by the results of a

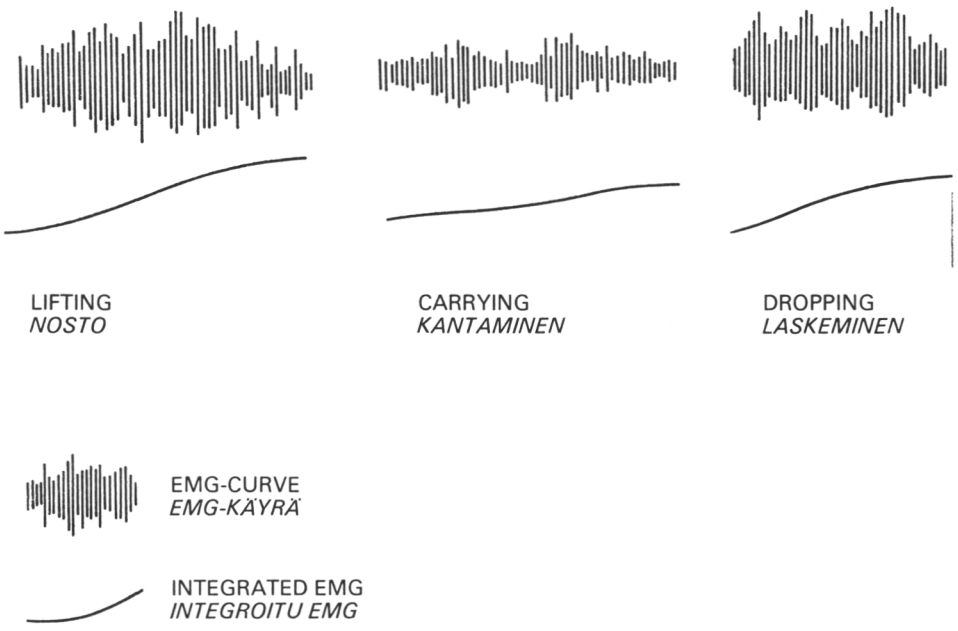


Figure 3. A typical EMG curve for the back during bunching.
Kuva 3. Tyypillinen selkälihaksen EMG-käyrä kasauksen aikana.

pilot study during bunching of 41 bolts. In that study the distance from the feet to the bolt was observed during the lifting and dropping phases:

	Distance, cm lifting	dropping
Carrying	$\bar{x} = 5.1$, $s = 6.8$	$\bar{x} = 13.7$, $s = 21.4$
Straightening	$\bar{x} = 6.7$, $s = 5.8$	$\bar{x} = 16.7$, $s = 23.6$

Due to the large variance in the study, the results may be considered as only indicative. Due to cautiousness, a fairly low maximum bolt weight was fixed for straightening.

33. Sawing time and variability of the work

Reduction in bunching time makes the work more uniform and increases the handling time for the power saw (e.g. H a r s t e l a 1971b), which may expose the worker to noise, vibrations, and exhaust fumes and increase one-sided static muscle strain.

Even if the work method does not contain bunching, there usually is work during which the saw is not handled. Including bunching into the work method causes a sudden drop in saw-handling time. A relative increase in the bunching time causes a

linear reduction in saw-handling time, assuming that the saw is not handled during bunching. This assumption is indicated in Figure 4 by a broken line and is described by the equation

(3) $y = a - bx_1 - c$, where y = relative handling time for the power saw
x_1 = relative bunching distance
$c = 0$ when $x_1 = 0$
c = constant if $x_1 > 0$

The observations seem to support the assumption.

34. Variables describing a work method and logging costs

To study, in a general way, the logging costs as a function of a variable describing the working method is difficult since in addition to working conditions and the worker's properties, the available technique affects the results decisively. Of the variables describing a cutting-work method, at least the trimming and cross-cutting method, bolt length, strip-road distance, and bunching method and distance affect the

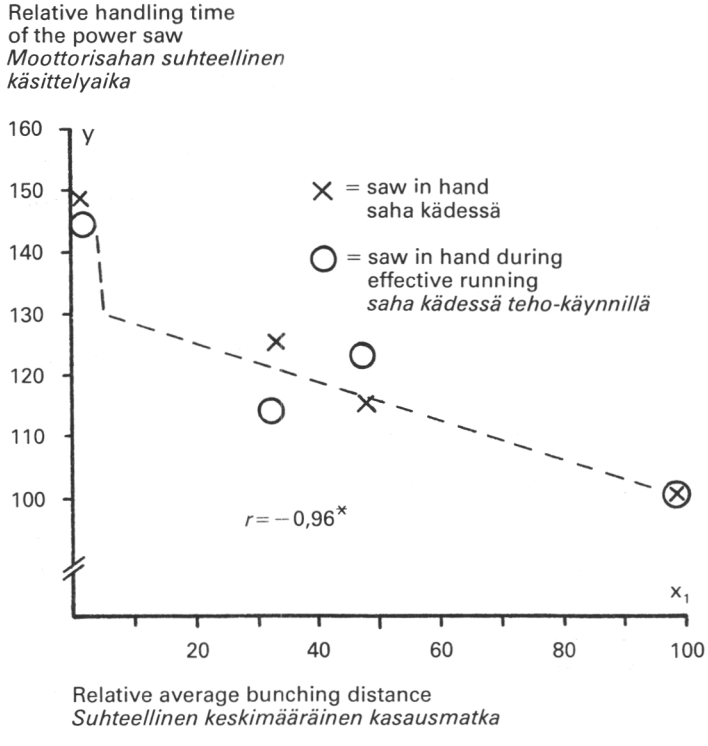


Figure 4. Regression of the relative handling time for the power saw on the relative bunching distance.
Kuva 4. Sahan käsittelyaika keskimääräisen kasausmatkan funktiona.

logging costs (e.g. Kahala and Rantapuu 1970). From the standpoint of bunching included in the cutting method, the study may be limited to the bunching distance and bolt length. Reduction of the bunching distance reduces the cutting costs but increases the forest-haulage costs. This is a result of reducing the size of the pile. The effect on logging costs depends on the above-mentioned regression coefficients. A corresponding increase in the bolt size reduces both the cutting and the forest-haulage costs to a certain extent (e.g. Tenhola 1959), but as previously stated, the ergonomic aspects limit the increase of bolt size in those methods where bunching is done.

Figure 5, based on the same studies, shows the relative logging costs as a function of the average bunching distance at the present cost levels when compared to a work method including bunching to the side of the strip road. All logging methods studied are based on slide-boom loaders. The results are from a young thinning stand, where the need for preliminary skidding is small when using cutting to the side of the strip road. For larger timber the logging costs are probably relatively lower than indicated here in methods based on bunching on the cutting chance or in methods without bunching. Based on Figure 5, the following equation describes the logging cost based on the same haulage technique:

$y = a - bx_1 - c - dx_2$, where y = relative logging costs
x_1 = relative bunching distance
$c = 0$ when $x_1 = 0$
c = constant when $x_1 > 0$
x_2 = bolt length

In logging systems where 3-meter pulpwood is made, the strong correlation of the linear part supports this assumption. The same is true for the large logging costs for cutting without bunching.

35. Variables describing the work method and timber production of the stand

Damage to the remaining stand

Damage to the remaining stand is dependent on logging time, terrain, logging equipment and properties of strip roads, and, in addition also on how many trees may be touched by the machines (e.g. Kärkkäinen 1969, Harstela 1976a). It may then be assumed that mechanical bunching (preliminary skidding) will increase damage to the trees compared with manual bunching. Damage is greater the closer the work method is to cutting without bunching. Since a change to cutting on the cutting chance will increase the number of trees which may be touched by machinery parts, the risk of damage also would clearly increase. After that, the differences in risk of damage among various methods of cutting on the chance would be smaller. However, the

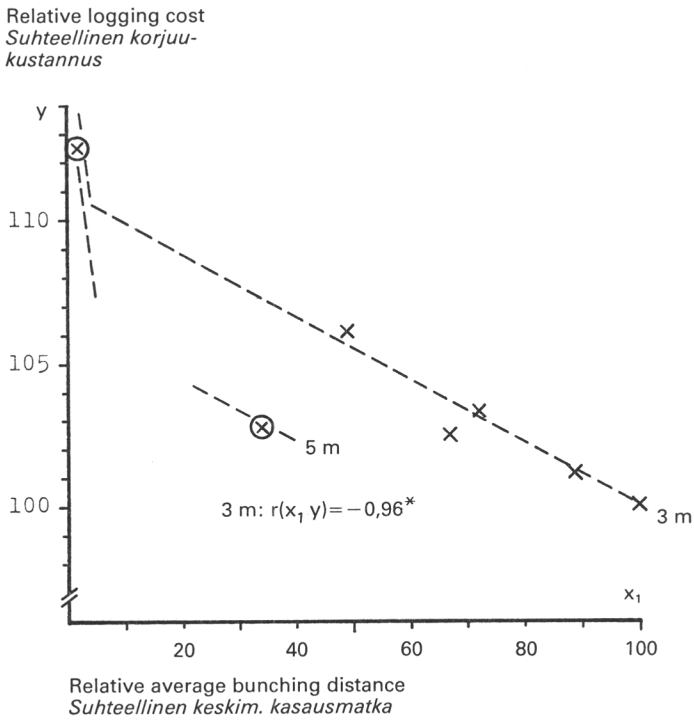


Figure 5. Regression of the relative logging cost on the relative bunching distance and bolt length when using slide-boom loaders.
Kuva 5. Korjuukustannukset kasausmatkan ja pölkyn pituuden funktiona liukupuomikuormaimen käyttöön perustuvissa korjuuketjuissa.

more trees would be bunched, the smaller would be the need for machinery to move on the cutting chance, and thus the risk of damage would be reduced.

In Figure 6 this hypothesis is indicated by a broken line. The observations are from various studies and are relative values for the means obtained for each stand marked for cutting. The comparison method was cutting to the side of the strip road. There was no significant correlation between the relative bunching distance and damage. Thus the hypothesis is not supported, except that in cutting to the side of the strip road damage was always less than witn other methods. The hypothesis should not be rejected on the basis of such limited data since so many factors affect damage (e.g. Kärkkäinen 1969, Hannelius and Lillandt 1970). E.g., on work areas where cutting was done on the chance and where relative damage was exceptionally great, the strip-road net was very curvy and narrow, and the driver's work was classified as very careless. Due to the large variance of the observations, it may be assumed that other factors, such as planning of the stand marked for cutting, the driver's professional skill and care, the timber crop and terrain, affect the amount of damage more than the work method.

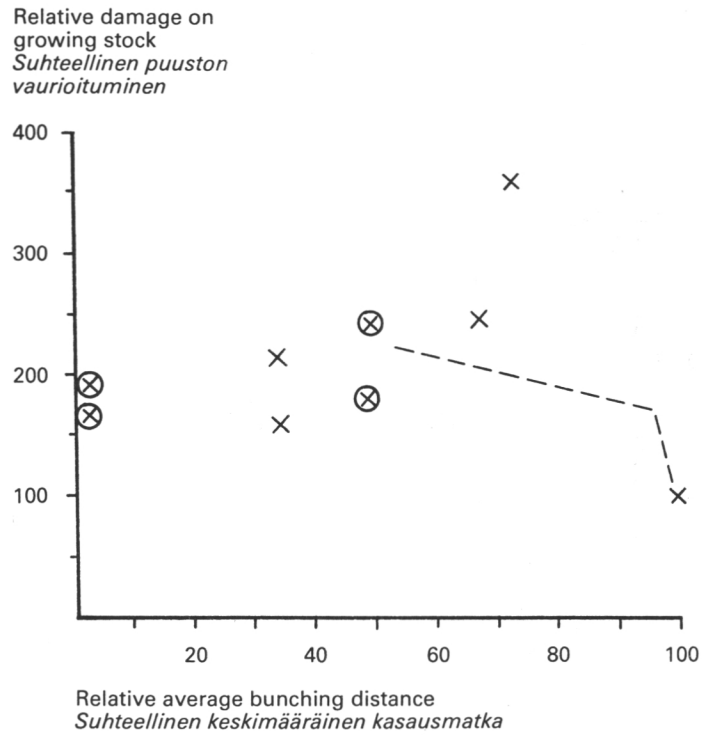


Figure 6. Regressior of relative damage to the remaining stand on relative bunching distance.
Kuva 6. Jäljelle jäävän puuston vaurioituminen keskimääräisen kasausmatkan funktiona.

One can assume that bolt length, after a certain length limit, affects damage when the bolts are moved. This is indicated by greater time expenditure for loading long pulpwood compared to that for short pulpwood (e.g. Tenhola 1969) and the large amount of damage found in hauling whole trees (Ruotsalainen 1976, Harstela and Tervo 1977a).

Space required by the roads

Manual bunching does not affect distance between or width of strip roads, on which the space required by the road net depends. In practice, however, ergonomic aspects hinder bunching to the side of the strip road if the distance between roads is great. When bunching on the chance, the method of preliminary skidding determines the possibilities for using different distances between roads.

4. MECHANICAL PRELIMINARY SKIDDING

41. Preliminary skidding methods

For medium-range planning the techniques available for preliminary skidding may be divided into 4 main groups: the use of winches, small tractors, long-reach loaders and other methods. In addition, there are some work methods by means of which bunching may be mechanized without any special technical tools. The hinge method [1]) is one type (K a h a l a 1973). In Table 1 information on productivity, costs and ergonomic and ecological properties of these methods is computed from the literature.

Mere comparison of preliminary skidding productivity and costs of different methods does not give an accurate picture of the profitability of alternative methods since cutting and secondary haulage costs are very different with different preliminary skidding methods. The cost of the total logging system have so far been greatest in all winch systems studied compared to ordinary methods based on cutting to the side of the strip road. This may partly depend on the fact that in many winch studies a very large strip-road distance has been used which, on the other hand, is considered an advantage for stand productivity. The labor input is increased rather than decreased when using separate winches. In many studies damage to the remaining stand has been surprisingly large, and it may not be concluded without reservations that skidding with a winch will reduce stand damage compared to normal logging methods. In contrast, the between-road distance may be increased using winch skidding, thus decreasing openings in the stand. If the logger does the winching, variation in the work is maintained, but separate winching without bunching done by the logger increases markedly the saw-handling time. Winching is also physically strenous work.

With medium-sized thinning timber processor work combined with winching is still more expensive than normal cutting at the Finnish cost level. Damage to the remaining stand has been large. A more profitable method of handling small-sized timber is probably whole-tree chipping, if the problems associated with quality of raw material does not create restrictions (E s k e l i n e n et al. 1976). Felling for these logging systems is uniform work and ergonomically disadvantageous due to the poor working position, if felling saws allowing erect posture (L e h t o n e n 1976) cannot be used due to, e.g., too large stems.

[1]) In the hinge-method the bolts are not cut off from the stem but are connected by a narrow hinge of uncut wood. The whole stem may thus be skidded closer to the tractor, and the final separation is done by hitting the stem against the tractor load-space.

Table 1. Research results for mechanized preliminary skidding
Taulukko 1. Tutkimustuloksia koneellisesta esikasauksesta

Machine for preliminary skidding/study *Esikasauskone/tutkimus*	Average stem size, liter *Rungon keskikoko, l*	Output, m³/h or csr *Tuotos, m³/h tai csr*		Costs, mk/m³ (1976) or csr *Kustannukset, mk/m³ (1976) tai csr*	
Winches: — *Vintturit:*					
Separate winches — *Tekomiesvintturit*					
» /Mäkelä et al. 1976	48—101	2.5—4.3	WH	4.52—10.18	
				—1—8 mk/m³	csr
» /Larsson et al. 1971	151—216	2.3—4.2	WH	..	
» /Drakenberg et al. 1974	..	..		..	
» /Boström 1976	..	—15—30 %	csr	+10—20 % [2]	csr
» /Klen 1976	..	..		..	
Tractor mounted winches — *Traktorivinssi*					
» /Kantola 1964 [3]	70—130	ca. 0.8		..	
» /Rysä 1970	50—133	3.5—6.9	WH	3.23—6.84	
» /Ollikainen 1972	29—46	ca. 4.3		..	
» /Harstela et al. 1977	125	6.4—7.2	UH	5.81—6.94	
Tractor mounted winches + processor — *Traktorivinssi + prosessori*					
» /Boström 1976	100	+40—50 %	csr	±0 %	csr
» /Kotanen 1976	250	..		±0 %	csr
Small tractors: — *Pientraktorit:*					
» /Elovainio 1974	60—150	2.1—7.0	EH	5.56—17.02	
Bobcat + felling device — *Bobcat + kaatolaite*					
» /Hakkila et al. 1976	20—30	7.8—8.9 [4]		6.71—7.69 [4]	
» /Harstela et al. 1976	..	..		..	
Makeri + felling device — *Makeri + kaatolaite*					
» /Valonen et al. 1977	17—117	4.8—25.1 [4]	EH	..	
Long-reach loaders: — *Pitkät puomit:*					
Slide-boom (10 m) — *Liukupuomi (10 m)*					
» /Melkko et al. 1975	..	6.2—15 [6]		+10—15 %	csr
» /Harstela 1976	40—70	18.0—19.3 [6]	UH	+3 %	csr
Slide-boom (15 m) — *Liukupuomi (15 m)*					
» /Berg et al. 1976	..	27—33 [6]	UH	..	
» /Boström 1976	..	..		+2—8 %	csr
» /Harstela et al. 1977	60—86	5.6—9.9	UH	6.85—12.05	
NORMET bunching device — *NORMET kasauslaite*					
» /Taipale 1976	..	10—18	UH	4.20—8.80	

csr = more (+) or less (—) in logging method in question than in logging basing on cutting to the side of the strip road — *suurempi (+) tai pienempi (—) ko. korjuuketjussa kuin palstatien varteen tekoon perustuvassa*
PS = damages caused only by the preliminary skidding — *vain esijuonnon aiheuttamat vauriot*
ALL = damages caused by the whole logging system — *koko korjuuketjun aiheuttamat vauriot*
WH = per work site hour — *työmaatuntia kohti*
UH = per operating hour — *käyttötuntia kohti*
EH = per effective running hour — *tehotuntia kohti*

Betweenroad distance, m *Palstatieväli, m*	Damage to growing stock, %, piece/ha or csr *Puuston vaurioituminen, %, kpl/ha tai csr*		Space requirement for the strip road, % *Palstatien tilantarve, %*	Worker's *Työntekijän* Strain-% *Kuormitus-%*	Exposure to low-frequency vibration [1] *Heilunta-altistus [1]*
100	35—80 piece/ha + csr	PS ALL	4	..	..
100	— csr	ALL	4	..	..
	+ csr	ALL	5	..	..
80	3 %	ALL	6	..	..
..	..		..	35—65	..
30—40	4—14 %	ALL	10—13	..	..
60	12 %		7	..	..
..	5— 8 %	ALL	..	..	..
30	1— 6 %	PS	13	..	..
80	7 %	ALL	6	..	..
30	6 %	ALL	13	..	..
30—100	1—15 %		4—22	..	..
30—50	4.9—7.2 %	PS [5]	8—13	..	..
..	..		..	..	0,5—2.5
..	..		..	..	..
..	..		..	..	..
20	6—11 %	ALL	..	..	..
40	2— 4 %	ALL	10	..	..
..	..		..	..	..
25—35	1.8—4.7 %	ALL	11—16	..	..
30	..		13	..	..

[1]) according to Iso standard 2631 the limit of dangerous exposure is exceeded after this working time *Iso standardin 2631 mukainen vaarallisen altistuksen raja ylitetään ko. työajan jälkeen*
[2]) according to Swedish cost level — *ruotsalaisen kustannustason mukaan*
[3]) stems were skidded to the landings — *puut juonnettiin välivarastolle laahusjuontona*
[4]) don't include the felling — *ei sisällä kaadon osuutta*
[5]) don't include root damages — *ei sisällä juuristovaurioita*
[6]) loading to the tractor from piles on the cutting chance — *kuormaus traktoriin palstalla olevista kasoista*
[7]) preliminary skidding when cutted without bunching — *esikasaus levältään*

The productivity of preliminary skidding with small tractors has been relatively small and the costs of the total logging system large since the cheapest small-tractor methods assume that bunching on the cutting chance is done by the logger. Damage to the stand also has been large in some cases. Felling combined with bunching has had a relatively large output, but it requires mechanized further processes. Felling experiments with small tractors have been done in good terrain conditions, and in average forest terrain the output may be reduced and damage to the stand probably increases considerably. It is obvious that low-freguency vibration of the small-tractor is an ergonomic problem strongly limiting its use. The price and hourly costs of an ergonomically good tractor are relatively large. Narrow strip roads for small-tractor or great distance between strip roads for forwarder are advantages for stand productivity.

Preliminary skidding or loading of round timber bunched on the cutting chance with long-reach slide-booms has only slightly increased logging costs, and at the same time the labor input has decreased. In contrast, cutting without bunching followed by slide-boom bunching has increased the costs considerably. Damage to the stand has been somewhat greater when loading with a slide-boom compared to cutting to the side of the strip road. The damage caused when bucnhing on the chance and loading with slide-boom has been smaller than in many winching and small-tractor experiments. A disadvantage in slide-boom bunching is that the between-road distance cannot be increased to reduce openings in the stand. Cutting on the chance, as well as cutting without bunching, reduces physical strain on the worker; but including bunching guarantees variation in the logger's work. Bunching on the chance, however, does not as such reduce strain on skeletal and muscular systems without reduction in bolt size. Slide-boom loading probably reduces exposure to low-frequency vibration on forest-haulage since the relative proportion of loading time increases.

Consequently, the long-reach loader seems at this time to be the most economical alternative to partial mechanization of the bunching phase of cutting of pulpwood if future production of the stand is not considered. Partial mechanization is apparently a more economical alternative to total mechanization of bunching both from the standpoint of logging costs and timber production. When carried out correctly, it is also a better alternative ergonomically since it guarantees variation in the cutting work. Preliminary bunching by winch using the same between-strip-road distance is probably not a much more expensive alternative and has the additional advantage of possibilities for using a greater between-road distance. In the following are examined separately the technical possibilities for using long-reach loaders, winches and other methods.

42. Long-reach loaders

The stability of a forest tractor equipped with a slide-boom loader has been found satisfactory. According to calculations, the static stability of a medium-weight forest tractor is sufficient for sliding the boom to its maximum length if the boom weight is

1 200 kg, length 15 m and grapple weight 200 kg. The total lifting momentum should be at least 7,5 ton m (Berg and Jonsson 1976). The stability in practical operations is improved by skidding the load closer along the ground with one end elevated (Figure 7). With booms over 15 m long the stability and total lifting momentum of the loader become limiting factors using present forest-haulage equipment.

A construction combining the slide-boom and the loader makes it possible to work in thinnings, because when the boom is slid to its shortest position and the load is close to the tractor, then the sliding part of the boom can be kept in a vertical position (Figure 7). The slowest work movements in slide-boom loaders have been extension and retraction of the slide-boom (Taipale 1975, Berg and Jonsson 1976). This partly explains the exponential increase of the loading time for each load when the distance of the pile from the strip road increases. Getting the grapple to the pile is also more difficult the more distant the pile is. On the other hand, moving the boom can be done at the same time as sliding it out. This example illustrates the importance of work skill and technique for the loading output.

Along with the slide-booms a combination of a partly mechanical and partly hydraulic slide-boom and a telescope device has been developed (Figure 8). Here a four-part, telescope-like moving boom goes through a tube in the end of the lifting boom. A fixed grapple is attached to the moving boom. The bunching device is operated by a hydraulic motor, chain rod and wire mechanism. The pulling wire closes the grapple and pulls the moving boom and telescope part simultaneously. Due to its construction, the bunching device is 5—20 % faster than a slide-boom loader, but it is not suitable for loading, sorting or turning the trees parallel to the strip road. In contrast, good results have been obtained for preliminary skidding (Taipale 1976).

In studies on slide-boom loading the results so far have shown that the loading output increases and tree damage decreases if the piles are not located at maximum reach. On the outermost quarter a pile is made only if there is a bolt too heavy to carry. The piles should also be positioned perpendicular to the road, except for piles next to the road (Harstela 1976a) (Figure 7, cutting method I). In young and dense timber additional strip roads may be necessary (cutting method II). Using a slide-boom loader Berg et al. (1976) have found relatively greater load times as a function of pile distance compared to the time found by Harstela (1976a). This may be because a loader with a 15 m reach is more difficult to operate than one with a 10 m reach. From Figure 7 it may be concluded that with both types of loaders one may work within the limits of the tractor width, but with a 15 m slide-boom loader the above limit is easily exceeded if the worker is not observant. This disadvantage may be avoided, e.g., by combining the slideboom with a telescope (Figure 8).

In a young dense stand or on poor terrain sisibility may become a factor disturbing loading. The sisibility of a pile when viewed horizontally from a certain point is a function of a space determined by pile width, height and distance. If this space may be assumed to describe the probability with which obstacles occur between the pile and the viewer, then the relative visibility (y) is a function of the distance (x):

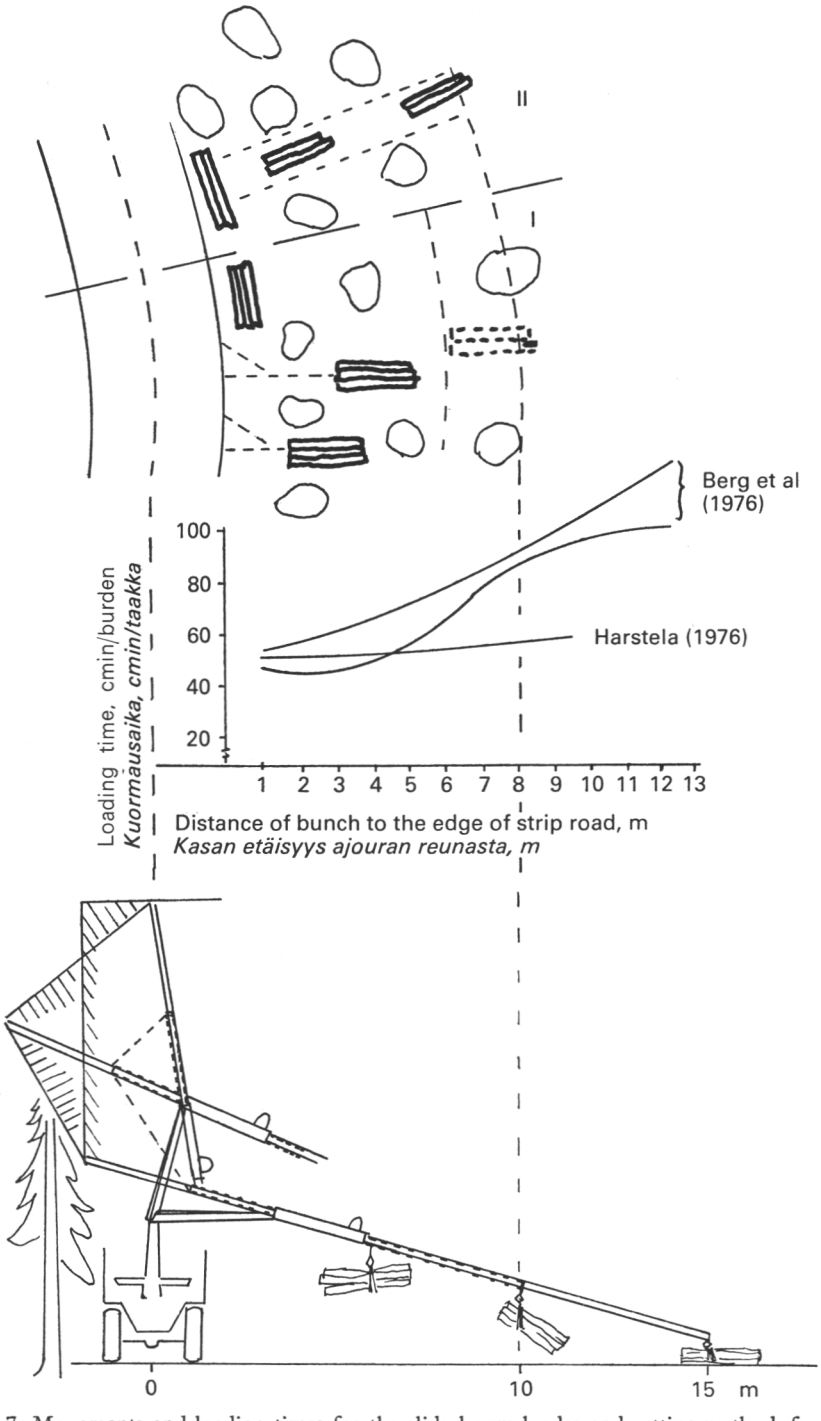


Figure 7. Movements and loading times for the slide-boom loader and cutting methods for loading with a slide-boom.

Kuva 7. Liukupuomikuormainen liikeratoja, kuormausaikoja ja tekomenetelmiä liukupuomikuormausta varten.

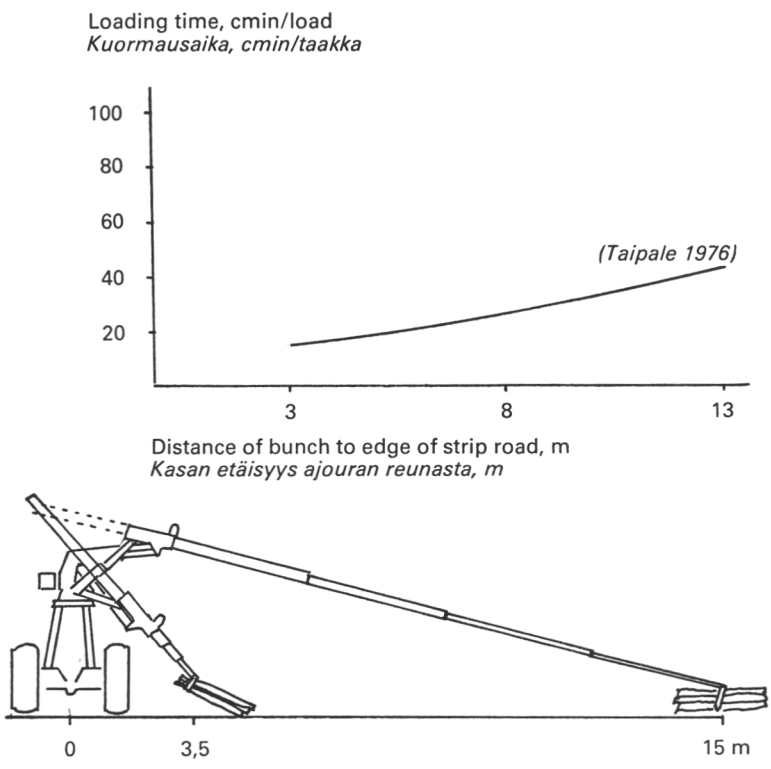


Figure 8. Movements and preliminary skidding times for the NORMET bunching device.
Kuva 8. NORMET-kasauslaitteen liikeratoja ja kasausaikoja.

$$y = a + b(x)$$

Arvidsson et al. (1975) have studied the visibility of the strip road from various distances in a sapling stand. The visibility of the road was observed from a 45° angle, whereby the portion of the object to be seen, i.e., the road, is not of constant size but varies with the distance from the observer. Then the relative visibility is, based on the previous probability assumption, described by the exponential equation

$$1—y = e^{-f(x)}$$

This equation may not, however, be applied when the size of the object to be viewed is constant. Therefore, in the following the relationship between relative visibility and distance is assumed to be linear.

In 2 stands a pilot study was made where a 60 × 100 cm board was photographed at distances of 10 and 15 m from randomly chosen points in the center of the strip road. The size of the visible part of the board was measured from the photograph. The experiment was conducted in two ca 40-year-old spruce stands after the first thinnings.

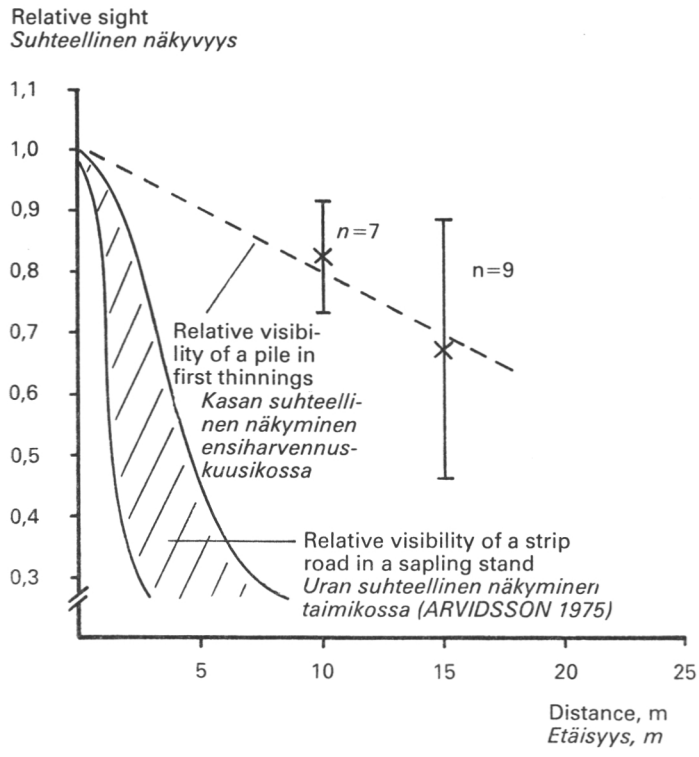


Figure 9. Relative visibility of the pile as a function of distance.
Kuva 9. Kasan näkyminen etäisyyden funktiona.

Only 9 measurements were taken, and therefore the data are limited and the results only indicative. Two observations were excluded from the results since they were considered to be too exceptional.

The obtained means fit the assumption of linearity well (Figure 9). On the basis of these data one cannot conclude from what distance, in practice, the piles may be seen without an important number of failures. When the forest tractor is moving on a strip road, the piles can be seen from several points. Thus the possibility of being seen increases, and the relative visibility approaches the exponential equation. It may be found that the relative visibility of the pile is reduced as a function of distance, but that in many stands the piles can still be seen fairly well from a distance of 15 m. The conclusion is supported by the fact that in a Finnish spruce stand trees with a stem size of 0,1 m^2 have an average crown height of 3 m (Hakkila et al. 1972). Arvidsson et al. (1975) have found that crown height is a variable which explains visibility quite well.

In addition to damage to the stand, the space requirement for the strip road affects stand productivity, which has to be considered when work methods are

developed. A network of 4 m wide strip roads requires the following space at various between road distances:

Between-road distance, m	Proportion of the area, %
10	40
20	20
30	13
40	10
50	8

The culmination of space requirement occurs at the 25—30 m between-road distance (I s o m ä k i 1976). Then the reach of the loader has to be at least 12—13 m so that all bolts can be reached, when one considers the advantage obtained by directed felling (H a r s t e l a et al. 1977). But for the terrain difficulties and variation in between-road distance in practice the greater reach of loads is better.

43. Winches

Winches may be classified into two types: separate winches or those mounted on a tractor. So far the weakness of the separate type has been their weight and high price in relation to their effectiveness. A lightweight and cheap winch which can be attached to a power saw is, however, being developed; and it is equipped with its own clutch to increase durability (L a i t i n e n 1977). To reduce labor input the possibility for making a one-man crew has been investigated using wire-, string- and radio operation. This, however, increases the need to move around during the already heavy winch work.

Winch work can be carried out on whole trees, stems, long-length logs or bolts. In a labor-demanding assortment method the 3 latter ones may occur. With short round timber especially the problem lies with the load bouncing on obstacles. Attempts to avoid the problem have been made by using skidding cones and sledges. About the same output has been obtained by using a skidding cone as without one (e.g. M ä k e l ä and R u m m u k a i n e n 1976). With a corner block the load may be directed so that bouncing is reduced. For this purpose a corner block has been developed which rapidly may be attached to a tree by a steel hook. It may also be used as a lever (Figure 10) (L a i t i n e n 1977).

There are also several ways of attaching the load. For attaching stems and trees a fast method is to make loops on the wire (H a r s t e l a and R u o s t e 1970). Attaching piles is rapid without a skidding cone by making a loop in the end of the wire. In other cases one has to use chokers.

Winch skidding has the advantage that it can be done relatively far away from the strip road and along a fairly narrow skid path. The skid path does not necessarily need to be straight since the route of the load can be directed using a corner block. In-

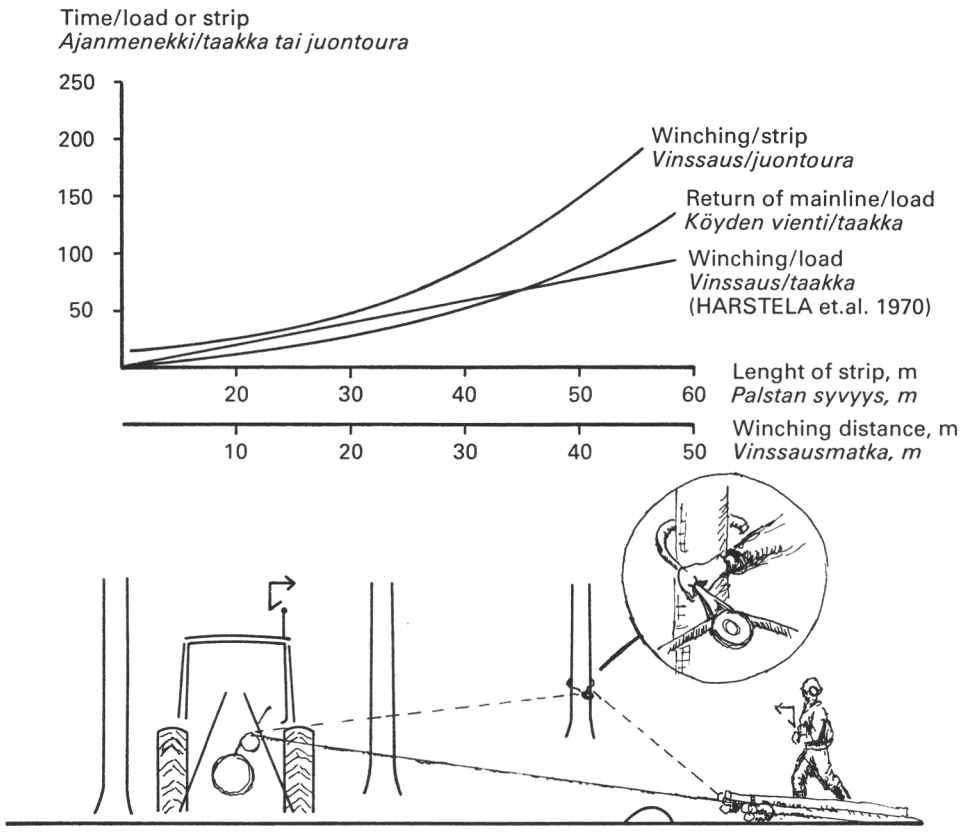


Figure 10. Work method and work-time expenditures for a tractor equipped with a winch in thinning.
Kuva 10. Eräs vintturimenetelmä harvennuksiin ja työajan menekkejä.

creased winching distance, however, increases physical stress on the worker and reduces the skidding output. Figure 10 shows that both time expenditure in bringing out the main line and winching depend curvilinearly on the winching distance. In the first case this depends on the fact that bringing out the main line becomes heavier with increasing length of the line that has to be towed on the ground. In the latter case the reason is probably that the diameter of the winch drum increases when the drum is filled; and the frequency of bounching increases on long skidding distances. Linear relationships have also been shown for these variables (R y s ä 1970, P ä i v ä t i e 1974), but in these cases a curvilinear fit has apparently not even been tried.

44. Small-tractors and other alternatives

In theory many preliminary bunching alternatives can be found, starting with horse to small-tractors. At this time, however, there are no research results available

which would show that they are more advantageous methods than those described above with respect to ergonomic properties and logging costs.

If one changes to the use of a large between-road distance due to reasons of growth and yield (F r i e s 1976), preliminary bunching methods based on the use of small-tractors will become, more than before, relatively more advantageous and alternatives to be considered seriously. This is because the load of a small-tractor may be relatively large and the time expenditure as a function of bunching distance will probably not increase curvilinearly as in bunching with a winch (E l o v a i n i o 1974, B e r g 1975). The same is to some extent true for bunching methods where a horse is used.

5. DEVELOPMENT OF ONE CUTTING METHOD

51. Choise of logging system and development of the method

Based on the examinations in the previous chapter, the development of such a labor-dominated bunching method which fulfills certain ergonomic, economic and ecological objectives was chosen as a target. It was further decided that preliminary skidding was to be based on the use of long-reach loaders. A method based on the use of a winch on a farm tractor was studied, for comparison, with limited data.

Based on the relationships in the previous chapter, the variables describing the work method were given the following range limits (Figure 11):

— average bunching distance	1—1,5 m
— maximum weight of bolts to be carried	35 kg
— maximum weight of bolts to be straightened	50 kg
— distance between strip roads	> 25 m
— bolt length	ca 5 m (3 m)

The culmination of physical strain on the worker occurs when the average bunching distance is 1,5 m; thus one would like to operate under this maximum distance. Output of the cutting work is better the shorter the bunching distance is, but when the average bunching distance is less than 1 m, the total costs of the logging system and the handling time for the power saw much increase. Attempts to reduce logging costs were made by changing to cutting long round wood (ca 5 m). The effect of this new cutting method on tree damage was not known with certainty, but it was assumed that the bunching would, however, reduce the risk of damage compared to cutting without bunching. Attempts were made to prevent excess strain on the worker's skeletal and muscular systems by fixing maximum weights for bolts moved by different methods. These weights were transformed into top-end diameters. To keep the openings of the stand within reasonable limits it was decided that the mechanized preliminary skidding was to be done so that a 25—35 m distance between roads was minimum. Within these target limits and by using theoretical knowledge of the relationships between the variables a cutting method, the SCAPE method, was outlined (Figure 12). Using directed felling, one attempts to fell the trees onto the skidding path and perpendicular to the strip road. Large bolts remain in place after

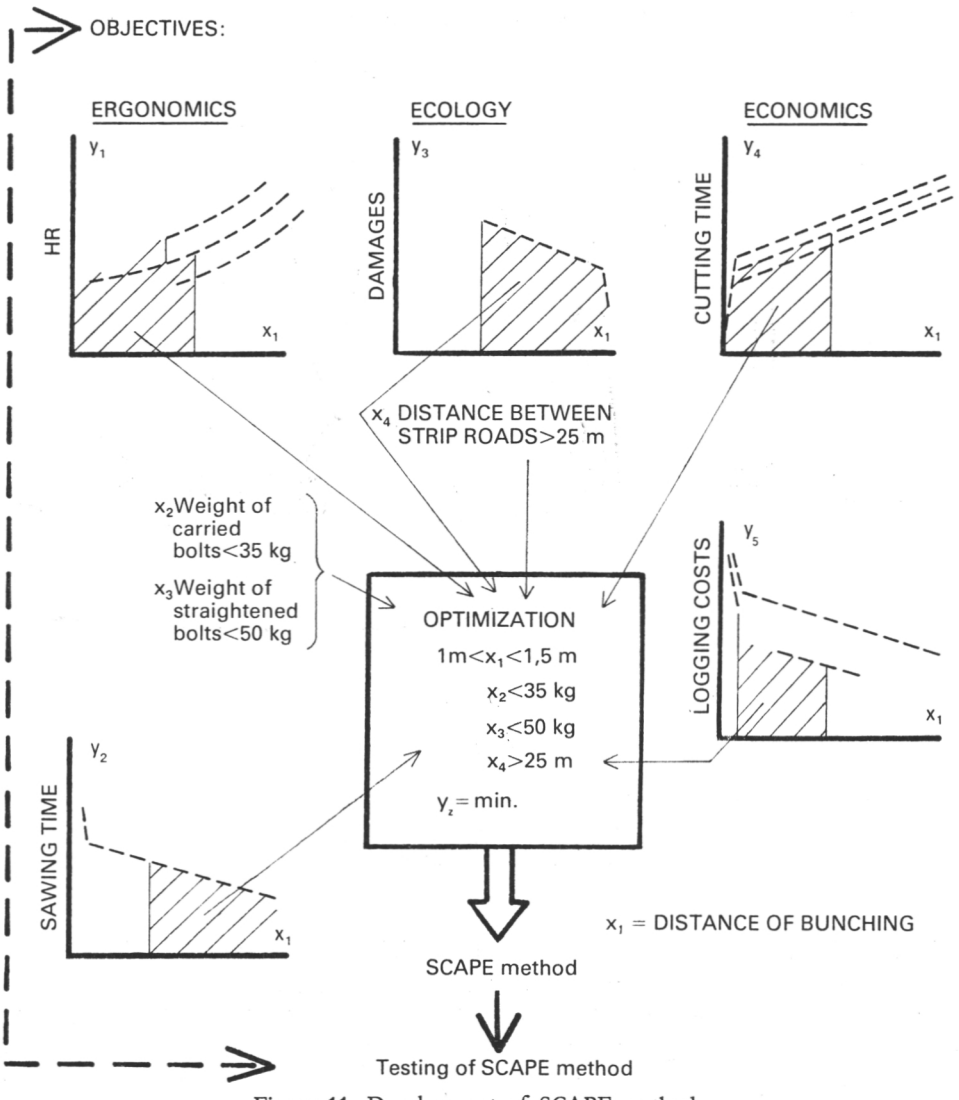


Figure 11. Development of SCAPE method.
Kuva 11. LEKA-menetelmän kehittäminen.

felling, medium-sized bolts are straightened, and small bolts are bunched next to the large ones. This method has been described in detail by Harstela et al. (1977).

52. Testing the method

The method was tested in practical operations by using comparative work studies. Figure 13 shows the studied logging systems and the most important results in

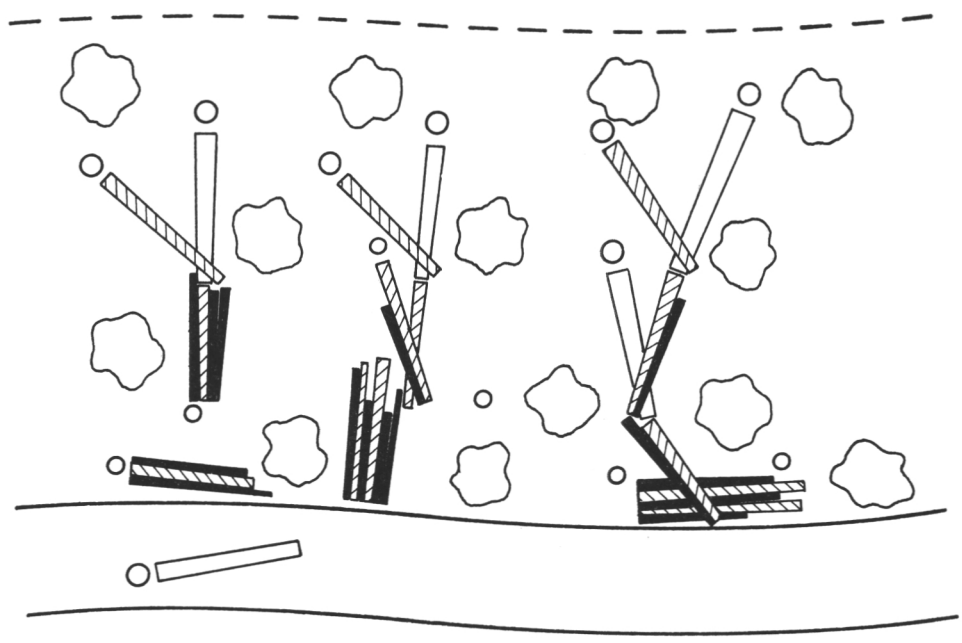


Figure 12. SCAPE method.
Kuva 12. LEKA-menetelmä.

relative values, except for damage to the remaining stands which is given as the percentage of damaged trees out of the total number of trees.

The method was found to fulfill the requirements made for it. The logging cost in parenthesis is partly calculated and thus hypothetical, but has been made to conform to average thinning conditions in Finland and using the most highly developed preliminary skidding technique. Average bunching distance for the bolts was 1,1 m. Testing of the method has been reported in detail by Harstela et al. (1977) and Harstela and Tervo (1977b).

Logging method	Cutting	Forwarding	Strain on worker	Human labour input	Costs	Sawing time	Damages
			Relative valve, %				
I			100	100	100	100	0,6
II		Preliminary skidding	95	80	96[1]...103[2])	125	0,9...1,3
III			95	80	106[2])	125	1,3
IV			95	80	97[1])	125	>1...6

1) Theoretical value for 0,125 m³ of stem size based on this study, KAHALA & RANTAPUU (1970), and TAIPALE (1976)
2) Values for 0,065 m³ of stem size based on this study

Figure 13. SCAPE logging systems and relative research results.
Kuva 13. LEKA-korjuuketjuja ja suhteellisia tutkimustuloksia.

6. SUMMARY

The relationship between variables describing the cutting method and the following variables were studied: physical strain on the worker, strain on skeletal and muscular systems, handling time for the power saw, damage to the remaining stand, space requirement for the strip road, work-time expenditure in cutting, and logging costs. Based on these relationships, a new cutting method, SCAPE, was developed. Various alternatives for preliminary skidding were studied based on the literature. Of these, 2 methods were chosen to be used in connection with the SCAPE method: a preliminary skidding machine with a long-reach loader and a winch fitted to a tractor.

The relationship between work-time expenditure and average bunching distance was linear, except for the extremes. The relationship between bunching distance and the worker's physical strain was curvilinear, between bunching distance and handling time for the power saw was for the most part linear, as was that between bunching distance and logging costs. The relationship between tree damage and bunching distance could not be demonstrated due to the large variance in the data. The variable which best described the strain on the worker's skeletal and muscular systems was deduced to be the weight of the bolts moved by various methods. The space required for the strip road depends on road width and distance, which are determined within the limits set by the mechanized preliminary skidding method, forest-haulage method, and ergonomic considerations.

Based on these relationship, the acceptable ranges of variation for the variables describing the work method were determined. Within these limits a new cutting method, SCAPE, was developed as an example of the procedure. In the SCAPE method rows of skidding loads are formed by applying directed felling. Bolts weighing over 50 kg remain where made; 35—50 kg bolts are straightened. Bolts lighter than 35 kg are bunched next to the largest ones.

LITERATURE

ANDERSEN, K. L., MYHRE, K. & VIK, T. 1970. Likvekten i det inte kroppsmiljø ved langvarig muskelarbeid. Summary: Homeostasis (Internal Environment) during prolonged work. Det Norske Skogstorsøksvesen, Driftsteknisk rapport 7.

ANDERSSON, B. J. G., HERBERTS, P. & ÖRTENGREN, R. 1975. Myoelectric back muscle activity in standardized lifting postures. Teoksessa KOMI, P. V. (toim.) Biomechanics V-A. 549 s. Baltimore-London-Tokyo.

BASMAJIAN, J. V. 1974. Muscles alive. 525 p. Baltimore. The Williams & Wilkins Company.

BERG, H. 1975. Minilunnare i gallring. Ekon. Forsken Stift. Skogsarb. 12: 1—4.

—»—, JONSSON, Y. 1976. Lång kran i gallring. Summary: Long booms in thinning. Redog Forsen Stift. Skogsarb. 7: 1—28.

BOSTRÖM, C. 1976. Skogsägarvänlig gallring. Referat av föredrag på skogsveckan den 22 mars 1976. Skogsbruket nr. 4.

CHRISTENSEN, E. H. 1969. Trötthet och pauser. Teoksessa LUTHMAN ym. (toim.) Handbok i ergonomi. Stockholm.

DRAKENBERG, K-K. & KARDELL, L. 1974. Studre av vinchgallringens inverkan på skogen som reaktionsmiljö. Summary: Winch Thinning and the Forest. Recreation Environment. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. 80.

ELOVAINIO, A. 1974. Pientraktoreiden käyttö harvennuspuun korjuussa. Summary: Use of mini-tractors in harvesting thinnings. Metsätehon tiedotus 331: 1—18.

ESKELINEN, A., MELKKO, M. & VESIKALLIO, H. 1976. Kokopuuna korjuun taloudellisuus. Summary: Economicalness of harvesting of whole trees. Metsätehon tiedotus 341: 1—39.

FRIES, J. 1976. Körskador och produktionsförluster. Summary: Transport damage and yield losses. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 40: 1—64.

HAAJA, R. 1970. Tutkimus hakkuumiehen suorittamasta kuitupuun kasauksesta. Summary: Study of manual pulpwood bunching. Metsätehon tiedotus 299: 1—16.

HAAPIAINEN, T. (toim.) 1974. Nostaminen ja kantaminen. Osat I ja II. Työterveyslaitos, Ergonomiatiedote 2 ja 3.

HAKKILA, P., KALAJA, H. & SCHILDT, Y. 1976. BOBCAT M-721 kaato-kasauskone männikön ensiharvennuksessa. Summary: Bobcat M-721 fellerbuncher in early thinning of scots pine. Folia For. 256: 1—20.

HAKKILA, P., LAASASENAHO, J. & OITTINEN, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Summary: Branch data for logging work. Folia For. 147: 1—15.

HANNELIUS, S. & LILLANDT, M. 1970. Puuston vaurioituminen harvennusleimikoiden koneellisessa korjuussa. Summary: Damaging of stand in mechanized thinning. Helsingin Yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 4: 1—32.

HANSSON, J.-E. 1965. Samband mellan personvariabler och prestation vid huggningsarbete. Summary: The relationship between individual charasteristics of the worker and output of work in logging operations. Stud. For. Svec. 29.

HARSTELA, P. 1969. The effect of winter conditions on the preparation of rough-limbed spruce pulpwood of approximate length. Tiivistelmä: Talviolosuhteiden vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun tekoon. Commun. Inst. For. Fenn. 71 (4): 1—54.

—»— 1970. Kasausajan ja valtimonlyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen koneiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla. Summary: Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set fests, pulse study and frequency analyses. Folia For. 80: 1—14.

—»— 1971a. Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuitupuun teossa. Summary: The effect of sequence of work on the preparation of approximatly 3 m, roughlimbed spruce pulpwood. Folia For. 105: 1—23.

—»— 1971b. Metsätyömenetelmien ergonominen kehitys ja eräät työntekijään kohdistuvat fyysiset vaikutukset. Summary: The ergonomic development of the forest work methods and some physic effects on workers. Folia For. 131: 1—22.

—»— 1975a. Työajan menekkiin ja työntekijän kuormittumiseen vaikuttavat tekijät eräissä metsätyömenetelmissä. Teoreettinen ja empiirinen analyysi. Summary: Factors affecting the consumption of working time and the strain on the worker in some forest work methods. A theoretical and empirical analysis. Commun. Inst. For. Fenn. 87 (2): 1—130.

—»— 1975b. Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen vyöhykekasausmenetelmää käytettäessä. Summary: The effect of bunching into zones on productivity and strain on worker cutting pulpwood. Folia For. 242: 1—19.

—»— 1976. Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen tehtäessä kuitupuuta liukupuomikuormausta varten. Summary: Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading. Folia For. 260: 1—23.

—»—, JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Levälleen teko ja LEKA-menetelmä harvennuspuun korjuussa. Summary: The short wood cutting without bunching and SCAPE method in thinnings. Folia For. 310.

—»— & RUOSTE, T. 1970. Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja riviharvennuksena laitteiden ja menetelmien kehittelyä sekä tuotoskokeita. Summary: Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. Folia For. 91: 1—28.

—»— & SAUVALA, K. 1976. Low-frequency vibration in small tractors used in the harvesting of logging residues or small trees. XVI IUFRO Congress, Congress Group III. 3. Discussion paper.

—»— & TERVO, L. 1977a. Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia. Kaato ja kasaus käsityövälineillä ja kokopuuhaketus. Summary: Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stands. Folia For. 294: 1—23.

—»— & TERVO, L. 1977b. Maataloustraktorisovitteinen vintturi tukkien ja ylijäreiden pöllien sekä LEKA-menetelmällä hakatun puutavaran kasauksessa harvennusolosuhteissa. Esitutkimus. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste.

—»— & VALONEN, P. 1972. Työn tuotos, työntekijän fyysinen kuormittuminen ja tärinäalttius pelkässä kaadossa. Summary: Work output, physical lood of the worker and exposure to vibration in felling. Folia For. 151: 1—43.

ISOMÄKI, A. 1976. Ajourat puunkorjuun piilokustannuksena. Summary: Hauling tracks — a hidden cost of thinning. Metsä ja Puu 2: 9—11.

JÄRVINEN, J. 1975. Puutavaran kasaus — vaikeasti ratkaistava ongelma. Ehkäise tapaturmia 6.

KAHALA, M. 1969. Tutkimus puutavaran valmistukseen vaikuttavista tekijöistä. Palkkaperustetutkimus. Summary: A study of the factors influencing the cutting of timber. Wage base study. Metsätehon julkaisu 44.

—»— 1973. Järeän puutavaran alkukuljetus kasvatusmetsissä. Summary: Forest haulage of large-sized timber in thinnings. Metsätehon tiedotus 321.

—»— & RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikkotekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen. Summary: Study of the effect of the method of timber preparation and warked-stand factors on cutting and forwarding with a forwarder. Metsätehon tiedotus 292: 1—58.

KANTOLA, M. 1964. Maataloustraktorin vintturin varassa suoritettavaan juontoon perustuva yhden miehen puunkorjuumenetelmä. Summary: A one-man wood harvesting method based on skidding by means of a winch mounted on farm tractor. Työtehoseuran julkaisuja 103.

KLEN, T. 1973. Tutkimus 2- ja 3-metrisen kuusikuitupuun kasauksesta. Koneviesti 21.

—»— 1974. Kuitupuupöllien painot ja enimmäispainosuositukset. Abstract. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 118: 1—21.

—»— 1976. Kuitupuun kasauksen keventämisen ratkaisumahdollisuuksia harvennusmetsissä. Summary in english. Työterveyslaitos, katsauksia 9: 1—85.

KOTANEN, V.-M. 1976. Tvigg-prosessorin käytöstä harvennushakkuussa. Summary: Use of the Tvigg processor in thinnings. Metsätehon katsaus 17: 1—4.

KYLIN, B., GERHARDSSON, G., HANSSON, J-E., LINDSTRÖM, J-M., LILJENBERG, B., SWENSSON, A. & ÅSTRAND, J. 1968. Hälso- och miljöundersökning bland skogsarbetare. Arbetsmedicienska instituter. Raport nr. 5. Stockholm.

KÄRKKÄINEN, M. 1969. Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa. Summary: The amount of injuries caused by timber transportation in the summer, Acta For. Fenn. 100: 1—35.

—»— 1973. Näkökohtia kuitupuupölkkyjen siirtelymatkasta. Summary: A note on the moving distance of pulpwood bolts. Silva Fenn. 7 (3): 153—161.

—»— 1976. Puunkorjuun koneellistumisen vaikutus metsään. Suomen luonto 1: 52—57.

LAITINEN, J. 1977. Kevyt moottorisahavintturi juontotöihin. Koneviesti 3.

LARSSON, T. & PERMALA, H. 1971. Stude av vinschbrossling med Radiotir systemet. Summary: Study of Winching by the Radiotir System. Redog. Forsken Stift. Skogsarb. 7.

LEHTONEN, E. 1976. Pienpuun kaato moottori- ja raivaussahoihin perustuvilla laitteilla. Summary: Felling of small-sized trees with felling devices based on the chain saw and clearing saw. Folia For. 261: 1—27.

LEVANTO, S. 1970. Työtahdin vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Summary: The effect of work pace on logger stress. Työtehoseuran julkaisuja 148: 1—36.

LUNDGREN, N. 1969. Fysiologisk arbetsmätning. Teoksessa LUTHMAN ym. (toim.) Handbok i ergonomi. Stockholm.

MELKKO, M. & TAIPALE, I. 1975. Marttiinin liukupuomi harvennuspuun korjuussa. Summary: Marttiini's slide boom for the harvesting of thinnings. Metsätehon katsaus 22: 1—4.

MIKKONEN, E., PELTONEN, J., SAVOLAINEN, R. & VESIKALLIO, H. 1975. Puunkorjuun kehitysennuste 1975—1984. Summary: Development prognosis for timber harvesting in 1975—1984. Metsätehon tiedotus 336: 1—28.

MÄKELÄ, J. & RUMMUKAINEN, A. 1976. Radiotir 740-erillisvintturi harvennuspuiden esijuonnossa. Summary: Preliminary skidding in thinnings by Radiotir 740 winch. Työtehoseuran metsätiedotus 253: 1—8.

OLLIKAINEN, E. 1972. Kasauskokeilu maataloustraktorin vintturilla. Työtehoseuran metsätiedotus 192.

POULSEN, E. & JØRGENSEN, K. 1971. Back mucle strength, lifting and stooped working postures. Applied Ergonomics 2 (3): 133—137.

PUTKISTO, K. 1959. Pinotavaran tekijän työskentelyjärjestelman analysointia. Summary: Analysis of the working method of cordwood Loggers. Metsätehon tiedotus 162: 1—15.

—»— 1970. Finsk drivningsteknik vid gallring och utvecklandet av denna. Nordiskt skogsbruk av i dag. XII Nordiska Skogskongressen. s. 145—149.

PÄIVÄTIE, L. 1974. Radiotir-vintturin käyttö harvennushakkuissa. Summary: Winching by Radiotir in Thinnings. Helsingin Yliopiston metsäteknologian laitos, tiedonantoja 29: 1—75.

RUOTSALAINEN, M. 1976. Korjuu kokopuina viljelymännikön ensimmäisessä harvennuksessa. Summary: Whole-tree harvesting in the thinning of pine plantations. Metsätehon katsaus 3: 1—4.

RYSÄ, M. 1970. Paperipuurunkojen esijuonto harvennushakkuualueilla. Summary: Preliminary Skidding of Pulpwood Logs on a Thinning Site. Helsingin Yliopiston metsäteknologian laitos, tiedonantoja 5: 1—17.

SAMSET, I., STRØMNES, R. & VIK, T. 1969. Hogstundersøkelser i norsk gran — og furuskog. Summary: Cutting studies in Norwegian spruce and pine forests. Medd. Norske Skogforsøksv. 95: 296—607.

SILVENNOINEN, U. 1970. Några nya virkesdrivnings metoder som baserar sig på förenglade arbetsmetoder. Nordiskt skogsbruk av i dag. XII Nordiska Skogskongressen. s. 229—234.

TAIPALE, J. 1975. Marttiinin liukupuomi-lisälaite nivelpuomikuormaimiin. Summary: Marttiini's special boom-auxiliary device to knuckle boom loaders. Metsätehon katsaus 8: 1—7.

—»— 1976. Normetin kasauslaite. Summary: Normet's bunching device. Metsätehon katsaus 19: 1—6.

TENHOLA, J. 1969. Tutkimus noin 3 m ja 3—6 m paperipuiden hakkuusta ja lähikuljetuksesta harvennusmetsissä. Summary: Study of the cutting and forwarding of about 3-m and 3—6-m pulpwood in thinnings. Metsätehon tiedotus 287.

VALONEN, P. 1975. Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä. Summary: The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods. Folia For. 243: 1—31.

—»— & KALAJA, H. 1977. Alustavia tuotostietoja Makeri-pientraktorista. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste.

VUOKILA, Y. 1969. Harvennusmenetelmät ja harvennusmetsiköt etenkin koneellisen puunkorjuun kannalta. Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunta. Moniste.

WUOLIJOKI, E. 1974. Tutkimus 2- ja 3-metrisen kuitupuun kasauksesta. Työtehoseuran metsätiedotus 227: 1—2.

SELOSTE

Tutkimuksessa tarkasteltiin työntekijän fyysisen kuormittumisen, tuki- ja liikuntaelinten kuormittumisen, sahan käsittelyajan, jäljelle jäävän puuston vaurioitumisen, palstateiden tilan tarpeen, hakkuun työajan menekin ja korjuukustannusten riippuvuutta hakkuun työmenetelmää kuvaavista muuttujista. Lisäksi kehitettiin näiden riippuvuuksien perusteella uusi hakkuumenetelmä: LEKA. Kirjallisuuden perusteella tarkasteltiin koneellisia esikasausveihtoehtoja, joista valittiin LEKA-menetelmän testaukseen pitkälle ulottuvalla kuormaimella varustetut esikasauskoneet ja traktorisovitteinen vintturi.

Hakkuun työajanmenekin ja keskimääräisen kasausmatkan välistä riippuvuutta kuvasi, ääri-alueita lukuunottamatta, lineaarinen malli. Kasausmatkan ja työntekijän fyysisen kuormittumisen välinen riippuvuus oli käyräviivainen, kasausmatkan ja sahan käsittelyajan välinen riippuvuus suurimmalta osin lineaarinen, samoin kasausmatkan ja korjuukustannusten. Puuston vaurioitumisen ja kasausmatkan välistä riippuvuutta ei voitu osoittaa havaintojen suuren hajonnan vuoksi. Työntekijän tuki- ja liikuntaelimiin kohdistuvaa kuormitusta parhaiten kuvaavaksi tunnukseksi pääteltiin eri tavoin siirrettävien pölkkyjen paino. Palstateiden tilan tarve riippuu palstatien leveydestä ja palstatievälistä, joiden määräämistä rajoittavat käytettävä koneellinen esikasausmenetelmä, metsäkuljetusmenetelmä ja ergonomiset seikat.

Edellä mainittujen riippuvuuksien perusteella määritettiin työmenetelmää kuvaavien muuttujien sallitut vaihteluvälit, ja näiden tavoitteiden puitteissa kehitettiin esimerkinomaisesti uusi hakkuumenetelmä: LEKA. LEKA-menetelmässä suunnatulla kaadolla muodostetaan juontotaakkajonoja. Yli 50 kg painavat pölkyt jäävät paikoilleen. 35—50 kg painavia pölkkyjä suoritaan ja alle 35 kg painavia pölkkyjä kasataan suurempien viereen.

ELÄIMET KYLVETYN MÄNNYN JA KUUSEN SIEMENEN TUHOOJINA POHJOIS-SUOMESSA

RISTO HEIKKILÄ

Summary

DESTRUCTION CAUSED BY ANIMALS TO SOWN PINE AND SPRUCE SEED IN NORTH FINLAND

HELSINKI 1977

ODC 453
ISBN 951-40-0283-0
ISSN 0026-1610

HEIKKILÄ, R. 1977. Eläimet kylvetyn männyn ja kuusen siemenen tuhoojina Pohjois-Suomessa. Summary: Destruction caused by animals to sown pine and spruce seed in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 89.(5): 1—35.

Tutkimuksessa on koekylvöjen sekä maastossa ja laboratoriossa tehtyjen ruokintakokeiden avulla pyritty tunnistamaan männyn ja kuusen kylvettyä siementä tuhoavien eläinten syömäjälkiä sekä selvittämään eri eläinryhmien aiheuttamaa siementen tuhoutumista eri vuosina ja kasvukauden eri aikoina Pohjois-Suomessa. Tuhojen torjumiseksi on lisäksi suoritettu vakoruutukylvöä, siementen peittausta ja värjäystä koskeva koe.

Lintujen, myyrien ja maakiitäjäisten syöntijäljet oli mahdollista erottaa toisistaan. Maastossa tehtiin suoranaisia havaintoja vain peipon (*Fringilla coelebs* L.) siemensyönnistä. Linnut tuhosivat kokeissa kaikkiaan ja erityisesti metsänkylvöjen yleiseen suorittamisaikaan touko-kesäkuussa eniten siemeniä. Myyrien aiheuttamia tuhoja tavattiin pääasiassa loppukesällä, jolloin ne myyräkantojen katovuotta lukuunottamatta olivat yleensä muita lajiryhmiä suuremmat. Selkärangattomien, lähinnä hyönteisten tuhot olivat pienimmät, joskin niitä esiintyi jatkuvasti.

Kokeiden mukaan tuhojen vaara on suurin pienillä uudistusaloilla sekä suurien alojen reuna-osissa. Männyn ja kuusen siemeniä eläimet tuhosivat yhtä paljon. Eläinten aiheuttamat kylvetyn siemenen tuhot ovat torjuttavissa kylvämällä siemenet vakoon ja peittämällä ne kivennäismaalla. Peittauksella (tiraami) ja alumiinijauhevärjäyksellä ei todettu olleen suojaavaa vaikutusta.

The main objectives of this study were: 1) to identify the feeding tracks of animals which destroy sown seeds of pine and spruce, 2) to investigate the extent of seed destruction caused by various groups of animals during different years and stages of the growing season in North Finland. These objectives were carried out in the field and in feeding experiments in the laboratory. In addition, in an attempt to control seed damage an experiment was conducted with band sowing, seed treatment and seed painting.

The feeding tracks of birds, voles and ground beetles could be distinguished from each other. Direct observations in the field were made only on the chaffinch (*Fringilla coelebs* L.) feeding on seed. Birds caused the greatest amount of seed destruction, especially during May and June when forest sowing is most commonly carried out. Destruction by voles occurred mainly in the fall when this group caused the greatest seed destruction, except for the year when the number of voles was lowest. Destruction by invertebrates, especially by insects, was smaller but occurred constantly.

According to the experimental results, the risk of seed destruction is greatest on small reforestation areas and at the edges of large ones. Animals destroyed equal quantities of pine and spruce seed. Destruction caused by animals can be controlled by sowing the seeds in drills and covering them with mineral soil. Treatment of the seeds (with Tiram) and aluminium paint did not provide any protection.

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

Sivu

1. JOHDANTO 5
2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO 9
   21. Koejärjestelyt 9
   22. Tutkimuspaikat 10
3. TULOKSET 12
   31. Ruokintakokeet 12
      Linnut 12
      Pikkunisäkkäät 12
      Selkärangattomat 13
   32. Koepyynnit 15
   33. Koekylvöt 16
      Siementen tuhoutuminen koealoilla 16
      Siementuhot uudistusalan reuna- ja keskiosissa 17
      Vakoruutukylvön, peittauksen ja värjäyksen vaikutus tuhoihin 18
4. TULOSTEN TARKASTELU 20
5. YHDISTELMÄ 23
6. KIRJALLISUUS 25

SUMMARY 28

1. JOHDANTO

Metsiä kylvämällä tai luontaisesti uudistettaessa tuhoavat useat eläinlajit siemeniä niiden itämisaikana maassa ennen sirkkataimen syntyä. Epäedulliset kosteus- ja lämpöolot pitkittävät usein itämistä ja lisäävät siten tuhoille altista aikaa. Jo puussa olevista kävyistä tuhoavat linnut, pikkunisäkkäät ja hyönteiset osan siemenistä. Sen jälkeen kun siemenet varisevat maahan tai kylvetään, niitä tuhoava eläinlajisto on suurimmaksi osaksi toinen. Sienitaudit saattavat myös tuhota siemeniä maassa, mutta niiden haitallisuus on ilmeisesti suurempi itämisen jälkeen (Lehto 1965, Rummukainen 1965, Löyttyniemi 1969). Varsinkin kivennäismaalaikusta voivat lisäksi voimakas sade ja tuuli kuljettaa siemenet sellaisiin olosuhteisiin, jossa ne eivät voi itää. Kylvetyn siemenen eläintuhot ovat meillä ilmeisesti yleistyneet, kun vallitsevaksi kylvömenetelmäksi on vakiintunut paljaaseen laikkuun tehtävä ruutukylvö, jolloin siemenet ovat maassa helposti havaittavissa. On tunnettua, että vakoruutukylvöllä, missä siemenet peitetään, saavutetaan yleensä varmempi tulos (Lehto 1969).

Aihetta käsittelevistä ulkomaisista tutkimuksista mainittakoon, että monet pohjoisamerikkalaiset tutkijat korostavat varsinkin pikkunisäkkäiden — lähinnä myyrien ja hiirien — sekä lintujen osuutta tuhoihin (Aldous ja Smith 1947, Tevis 1953, Hooven 1958, Abbot 1962, Royall ja Ferguson 1962, Boyer 1964, Radvanyi 1966). Eräissä kokeissa on kuitenkin maassa elävät hyönteiset ja muut selkärangattomat todettu suurimmaksi tuholaisryhmäksi (Lawrence ja Rediske 1962). Neuvostoliittolaisten tutkimusten mukaan erityisesti hiiret ja myyrät ovat varteenotettavimmat havupuiden kylvösiemenen syöjät (Sviridenko 1940, Novikov 1948, Sysojev ym. 1966), joskin myös päästäiset saattavat tuhota siemeniä (Novikov 1948, Volkov 1970). Edelleen on useissa maissa tehty havaintoja selkärangattomiin kuuluvien eläinten aiheuttamista siementuhoista (esim. Schaal 1865, Prell 1925, Campbell 1964, Radvanyi 1966, 1970).

Suomessa eläinten aiheuttamaan siementen häviämiseen metsämaassa on jouduttu kiinnittämään huomiota useissa metsän kylvöä ja luontaista uudistamista koskevissa tutkimuksissa (Vaartaja 1950, 1955, Lehto 1956, Yli-Vakkuri 1960, 1962a, 1962b, Valtanen 1969). Lisäksi Lehto (1968) ja Lehtiniemi (1970) ovat selvitelleet nimenomaan eläintuhojen määrää, eri eläinryhmien osuutta tuhoihin sekä tuhojen torjuntamahdollisuuksia; Lehdon tutkimuksissa todettiin

maassa elävät selkärangattomat pääasiallisiksi tuhonaiheuttajiksi, Lehtiniemen mukaan sen sijaan pikkunisäkkäät ja linnut olivat dominoivia ryhmiä.

Kylvettyä siementä syövistä lintulajeista on suoranaisia havaintoja peipon (*Fringilla coelebs* L.) siemensyönnistä männyn kylvölaikuissa (Vaartaja 1950, Lehto 1956, Valtanen 1969). Muista lintulajeista, jotka mahdollisesti ovat kylvösiemenen tuholaisia, on mainittava erityisesti Pohjois-Suomessa yleinen järripeippo (*Fringilla montifringilla* L.). Vihervarpusen (*Carduelis spinus* L.) voimakkaat kannanvaihtelut kytkeytyvät suurelta osalta juuri kuusen siemensadon vaihteluihin. Myös männyn siemenet kuuluvat sen ruokavalioon. Lajin on kuitenkin todettu ruokailevan ainakin pääosaksi puussa (Haapanen 1966), eikä toistaiseksi ole havaittu sen syövän havupuiden siemeniä maasta. Pohjoisen lajin, urpiaisen (*Carduelis flammea* L.) ravinnossa mainitaan kuusenkin siemenillä olevan merkitystä (Peiponen 1962) Tällöin on ruokailua tapahtunut myös maassa.

Eräät tiaiset tunnetaan havupuiden siemeniä säännöllisesti syöviksi lajeiksi, joista useille on ominaista ruoan varastoiminen talvea varten. Töyhtötiaisen (*Parus cristatus* L.) on todettu varastoja puiden oksistoon kerätessään suosivan kuusen ja männyn siemeniä, joita se poimii myös maasta (v. Haartman ym. 1967). Muita lajeja, jotka käyttävät töyhtötiaisen tapaan ravinnokseen myös havupuiden siemeniä ovat hömötiainen (*P. montanus* Conrad.), kuusitiainen (*P. ater* L.) ja lapintiainen (*P. cinctus* Bodd.) (v. Haartman ym. 1967).

Muista lintulajeista, jotka mahdollisesti voivat metsässäkin tuhota kylvettyä siementä, on mainittava sepelkyyhky (*Columba palumbus* L.) ja punatulkku (*Pyrrhula pyrrhula* L.) sekä joskus hakkuuaukoissa pesivä keltasirkku (*Emberiza citrinella* L.). Näiden lajien on näet havaittu syövän havupuiden siemeniä taimitarhojen kylvöksiltä (Lehto ja Simolinna 1966).

Pikkunisäkkäisiin kuuluu useita lajeja, joiden on todettu tuhoavan kylvettyä havupuun siementä. Turčekin (1960) ja Volkovin (1970) mukaan metsämyyrä (*Clethrionomys glareolus* Schreb.) on pääasiallinen kuusen maahan joutuneen siemenen hävittäjä. Laji viihtyy nimenomaan metsässä ja syö monenlaista kasviravintoa sekä myös hyönteisiä keräten usein ravintovarastoja. Metsämyyräkantojen runsaudenvaihtelu noudattelee ns. myyrävuosia (Saalas 1949, Skarén ja Kaikusalo 1966, Sysojev ym. 1966 Siivonen 1967). Keväällä ja alkukesällä, jolloin muu kasvillisuus on vielä vähäistä, olisi perusteltua olettaa lajin syövän maassa tarjolla olevaa kylvösiementä. Peltomyyrää (*Microtus agrestis* L.) tavataan metsässä enemmälti vain kantojen ollessa huipussaan. Nopeasti heinittyvät hakkuualat ovat biotooppi, jolle laji ilmeisen helposti levittäytyy (Myllymäki 1972). Metsässä esiintyessään myös peltomyyrä on otettava huomioon kylvetyn siemenen syöjänä kuten Myllymäen ja Paasikallion (1972) isotooppikokeet osoittavat. Metsähiiri (*Apodemus flavicollis* Melch.) on ilmeisen merkittävä havupuiden maahan joutuneiden siementen syöjä (Novikov 1948, Saalas 1949, Lehto 1968, Myllymäki ja Paasikallio 1972). Lajia ei kuitenkaan tavata Pohjois-Suomessa (Siivonen 1967).

Päästäisistä mainitaan ainakin viisi amerikkalaista *Sorex*-lajia siementuholaisiksi (Radvanyi 1966). Siementuhokokeiden yhteydessä on Suomessakin saatu viitteitä päästäisten osallisuudesta siementen syöntiin. Myllymäki ja Paasikallio (1972) totesivat näet huomattavia radioaktiivisuuslukemia isotoopilla merkittyjen siementen ympäristöstä pyydystetyillä metsäpäästäisillä (*Sorex araneus* L.). On mahdollista, että metsäpäästäinen varastoi siemeniä pesiinsä (Siivonen ja Laitila 1972).

Lintujen ja pikkunisäkkäiden lisäksi voivat myös useat selkärangattomien ryhmään kuuluvat eläinlajit vaikuttaa kylvetyn siemenen tuhoutumiseen. Tällaisia ovat erityisesti maakiitäjäiset (Carabidae), jotka yleisimmin tunnetaan eläinravintoa käyttävinä petoina, mutta joiden joukossa on myös kasvinsyöjiä ja nimenomaan juuri siemensyöjiä. Schaal (1865) mainitsee *Harpalus*-, *Calathus*- ja *Pterostichus*-sukuihin kuuluvien lajien vaikeuttaneen kuusen siemenien itämistä kuljettamalla ja syömällä maassa olevia siemeniä. Prellin (1925) mukaan kuuluu *Amara*- ja *Bembidion*-sukuihinkin kuusen siemeniä syöviä lajeja. *Harpalus*- ja *Pterostichus*-lajien on todettu hävittävän myös douglaskuusen siemeniä (Dick ja Johnson 1958). Useat tutkijat ovat todenneet maakiitäjäisten kuljettavan siemenet ennen syöntiä avoimelta maalta johonkin suojaiseen paikkaan (esim. Ellis ym. 1966).

Kirjallisuustietojen mukaan kasvinsyönti useissa maakiitäjäissuvuissa yleistä, jopa dominoivaa (Prell 1925, Davies 1953, Skuhravý 1959, Johnson ja Cameron 1969). Esimerkiksi Lindrothin (1961) ja Scherneyn (1959) mukaan kasviravintoa runsaastikin käyttävät carabidit ovat tyypillisesti kaikkiruokaisia (omnivoreja) lajeja ja kasvinsyönti on luonteeltaan sekundaarista. Vuodenaikaisvaihtelua ravintokoostumuksessa on myös havaittu (Skuhravý 1959).

Suomessa on *Pterostichus*-suvusta todettu lajit *P. oblongopunctatus* F. ja *P. vulgaris* L. männyn siementä syöviksi (Yli-Vakkuri 1962a, Valtanen 1969, Heikkilä 1972). Laboratorio-oloissa on myös *Amara eurynota* Panz. -lajin havaittu käyttävän männyn siementä ravinnokseen (Heikkilä 1972). Lisäksi voidaan olettaa etenkin seuraavien, siemensyöjiksi todettujen maakiitäjäisten tulevan levinneisyytensä perusteella kysymykseen meillä siementen hävittäjinä: *Bembidion lampros* Hbst., *B. maculatum* L., *Harpalus affinis* Schrk., *H. tardus* Panz., *Amara aenea* De G., *Pterostichus cupreus* L., *P. lepidus* Leske ja *P. fuscipes* Gze (Lindroth 1960). Varsinkin mainittuihin sukuihin kuuluu joukko muitakin Suomessa esiintyviä lajeja, joilla kasviravinnon on yleensä todettu kuuluvan huomattavana osana ruokavalioon.

Myös seppien (Elateridae) toukat voivat vioittaa havupuiden siemeniä (Gäbler 1954). Suomessa mahdollisesti kysymykseen tulevat lajit kuuluvat lähinnä *Corymbites*-, *Athous*- ja *Agriotes*-sukuihin. Muista lajeista mainittakoon vielä, että metsämaassa tavataan runsaasti hyppyhäntäisiä (Collembola), joiden on epäilty myös olevan osallisena siementuhoissa (Lehto 1968). Saalas (1949) mainitsee myös tuhatjalkaisista erityisesti kaksoisjalkaisiin (Diplopoda) kuuluvien lajien vioittavan myös itäviä siemeniä.

Kuten edellä on mainittu, on metsämaassa tapahtuvissa siementuhoissa otettava välittömän siementen rikkoutumisen lisäksi huomioon myös siementen kulkeutumista itämisen kannalta epäedullisiin olosuhteisiin aiheuttavat tekijät. Kylvölaikuista pintakasvillisuuden sekaan joutuneiden siementen kehittymismahdollisuuksien on arvioitu jopa siina määrin huonontuvan, että tällaiset siemenet on katsottava tuhoutuneiksi (Lehto 1968). Ilmeisesti siemeniä kuljettavat ainakin osittain samat tai lähisukuiset lajit, mitkä tulevat kysymykseen siementen syöjinäkin. Lisäksi on otettava huomioon muurahaisten (Formicidae) aiheuttama siementen häviäminen. Muurahaiset eivät käytä siemeniä ravinnokseen, mutta niiden on havaittu kuljettavan huomattaviakin määriä havupuiden siemeniä pesiinsä (Gösswald ja Kloft 1961, Oinonen 1961). Kuivahkolla metsätyypillä on Vaartaja (1955) todennut *Lasius*-sukuun kuuluvien muurahaisten kuljettavan siemeniä pois männynkylvön koeruuduista.

Käsillä olevaa tutkimusta tehdessäni olen usealta taholta saanut arvokasta apua. Professori Paavo Juutinen on antanut ohjeita työn suunnittelussa ja käsikirjoituksen laatimisessa. Professori Matti Nuorteva on ohjannut tutkimuksesta tehdyn opinnäytteen suorittamisessa. Pikkunisäkkäät on määrittänyt työnjohtaja Asko Kaikusalo ja maakiitäjäisten määritykset tarkastanut fil.maist. Martti Koponen. Maastotöissä ja tulosten laskennassa ovat avustaneet ylioppilaat Seppo Mattila, Niilo Rankka sekä Markku Välitalo. Työ on osaksi tehty Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön myöntämän apurahan turvin. Edellä mainituille sekä kaikille muille työn edistymiseen vaikuttaneille henkilöille esitän lämpimät kiitokseni.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

21. Koejärjestelyt

Siementuhojen runsauden ja tuhonaiheuttajien määrittämiseksi käytettiin pääasiassa kolmea menetelmää: ruokintakokeita laboratoriossa sekä koepyyntejä ja koekylvöjä metsänuudistusaloilla.

Ruokintakokeita tehdään vertailuaineiston saamiseksi eri eläinlajien syömäjäljistä. Esim. Yli-Vakkurin (1962a) tutkimuksiin liittyi *Pterostichus vulgaris* -maakiitäjäisen ruokintakoe, mistä saatiin näytteitä tämän lajin tuhoamista siemenistä. Eräissä amerikkalaisissa kokeissa saadut syöntijäljet (Dick ja Johnson 1958, Lawrence ja Rediske 1962, Radvanyi 1966) saattavat olla mm. käytettyjen vieraiden puulajien siementen vuoksi toisenlaisia kuin Suomessa. Tässä tutkimuksessa kokeita tehtiin männyr ja kuusen siementä käyttäen häkissä eräillä lintulajeilla (urpiainen, järripeippo, viherpeippo, talitiainen, keltasirkku ja kesykyyhky) sekä pikkunisäkkäillä (metsä- ja peltomyyrä sekä metsäpäästäinen). Hyönteisillä ja etanoilla kokeita tehtiin erityisissä vanerisissa kasvatuslaatikoissa, joiden sivut olivat 30 tai 50 cm sekä petrimaljoissa. Näytteitä peipon jättämistä kuorenpalasista saatiin maastokokeiden yhteydessä.

Koska useimmiten koe-eläimille oli tarjolla vain siemeniä, ei laboratorio-olosuhteissa suoritettujen kokeiden perusteella tietenkään voida päätellä, mikä merkitys siemenillä on ko. lajien ruokavaliossa luonnossa. Syömäjäljistä saatujen tietojen lisäksi voitiin korkeintaan päätellä lajin voivan syödä siemeniä. Sellaisia lajeja, jotka eivät ollenkaan koskeneet siemeniin, saattoivat myös koeolosuhteet häiritä liiaksi. Johnson ja Cameron (1969) ovat kuitenkin todenneet, että luonnosta pyydystetyt maakiitäjäislajit, joiden mahalaukusta tavattiin kasvinjätteitä, söivät myös ruokintakokeissa halukkaasti ruohon- ja heinänsiemeniä. Sen sijaan lajit, joiden maastosta pyydystetyiltä yksilöiltä ei juuri ollenkaan löydetty kasvinjätteitä, usein menehtyivät koskematta annettuun kasviravintoon.

Metsiköissä, joissa suoritettiin koekylvöjä, pyydystettiin lajiston toteamiseksi pikkunisäkkäitä ja selkärangattomia. Pikkunisäkäspyynnissä käytettiin ns. linjapyyntiä, missä tappavat loukut sijoitettiin maastoon n. 2 m:n välein (pienissä metsiköissä tiheämpään). Loukkuöiden lukumäärä vaihteli mm. koepaikan koosta riippuen 50—678. Syöttinä käytettiin hyvänä yleissyöttinä tunnettua juustoa. Linjat sijoitettiin mahdollisuuksien mukaan 20—30 m päähän koekylvöruudustoista häirinnän välttämiseksi. Muhoksella, missä koko hakkuuaukko oli laikkukokeina, jouduttiin pyynti suorittamaan lähellä koepaikkaa.

Selkärangattomia pyydystettiin maahan upotetuilla muovipurkeilla (pitfall-menetelmä), joiden korkeus oli 11 cm, halkaisija ylhäällä 7 cm ja alhaalla 5 cm. Menetelmä soveltuu lähinnä runsaasti liikkuvien lajien keskinäiseen kvantitatiiviseen vertailuun sekä suhteellisen runsaudenvaihtelun selvittämiseen eri aikoina (Huhta 1970). Purkit sijoitettiin noin metrin etäisyydelle koeruuduston reunasta siten, että kunkin ruuduston ympärille tuli 10 purkkia. Muhoksella hakkuuaukkoon sijoitettiin kahteen linjaan yhteensä 20 purkkia. Pyyntipurkkien kokonaismäärä oli kaikki koejaksot huomioiden vuonna 1971 100, 1972 80 ja 1973 50 kpl. Säilytysnesteenä purkkien pohjalla käytettiin etyleeniglykolia.

Koekylvöjä tehtiin vuonna 1971 Paljakassa kuudessa ja Kivalossa kahdessa metsikössä yhteensä 10 ruudustolla, 1972 vastaavasti kahdessa ja kolmessa metsikössä yhteensä kahdeksalla ruudustolla.

1973 tutkimuksia jatkettiin Paljakassa kolmessa metsikössä viidellä ruudustolla ja Muhoksella yhdellä pienellä, kokonaan 2-4 m:n välein laikutetulla uudistusalueella. Muhoksella sekä Paljakan metsikössä I (suurehko aukko) ja V ruudustot sijoitettiin siten, että puolet niistä tuli uudistusalan reunaan, puolet sen keskelle. Paljakan metsikössä IV ruudusto oli aukon keskiosassa. Kesällä 1974 kokeita jatkettiin kuten edellisenäkin vuonna Muhoksen uudistusalalla ja metsikössä Paljakka I sekä lisäksi Kivalon metsikössä I sen keskiosassa. Kylvölaikut olivat kooltaan 15—20 × 15—25 cm. Jokaiseen ruudustoon kuului 15 tai 20 laikkua.

Kussakin ruudustossa oli kolme koejäsentä: 1. ns. pikkunisäkäshäkki (2 mm:n seulaverkkoa, koko 20 × 20 × 5 cm, aukko n. 5 × 5 cm), 2. seulaverkko (koko 20 × 20 cm), joka kiinnitettiin laikkuun n. 1 cm:n korkeudelle maasta sekä 3. peittämätön laikku. Pikkunisäkäshäkki oli samanlainen kuin useissa tutkimuksissa aikaisemminkin käytetty, ja sen tarkoituksena oli estää muiden kuin pikkunisäkkäiden aiheuttama siementen tuhoutuminen (Boyer 1964, Shearer ja Halvorson 1967, Lehtiniemi 1970). Häkissä olevia siemeniä pääsivät kuitenkin tuhoamaan muutkin kuin pikkunisäkkäät, joten tulokset oli tarkistettava siemenjäänteiden perusteella. Kun häkki lisäksi ilmeisestikin suojasi siemeniä tuhoilta, luovuttiin sen käytöstä 1973. Kylvölaikkuun lähelle maan pintaa kiinnitetty seulaverkko esti pikkunisäkkäiden ja lintujen pääsyn ruudulle (Lehtiniemi 1970). Näin saatiin selville hyönteisten ja muiden selkärangattomien aiheuttama siementen tuhoutuminen, mikä suurimmaksi osaksi tapahtui siten, että siemenet kuljetettiin pois laikusta. Mikäli verkko oli päässyt nousemaan joltakin kohtaa, oli mahdollista, että tällöin suuremmatkin eläimet olivat päässeet sen alle. Näissäkin tapauksissa oli syömäjälkiä käytettävä määrityksen apuna. Paljas kivennäismaalaikku vastasi tavallista kylvölaikkua. Havainnot tuhoista tehtiin syömäjälkien ja jätösten perusteella.

Siementen määrä oli 1971 40 kpl/laikku, mutta käytännöllisistä syistä määrä vähennettiin seuraavana vuonna 20:een. Ne sijoitettiin laikun keskelle neljään riviin. Siemenet saatiin metsähallituksen Nuojuan taimitarhalta. Alkuperä oli Pudasjärvi ja Taivalkoski sekä itävyys 82—92 %. Paljaita laikkuja käytettiin myös eräissä kokeissa männyn ja kuusen sekä peitattujen ja peittaamattomien siementen välisten erojen selvittämiseksi. Peittausaineena oli tiraami (Pomarsol Forte). Yleensä siemen oli peittaamatonta. Vuonna 1971 oli eräillä ruudustoilla koejäsenenä vakoruutukylvö, missä siemenet asetettiin laikun keskelle tehtyyn vakoon ja kevyesti peitettiin kivennäismaalla. 1974 kokeiltiin myös alumiinijauhevärjäyksen vaikutusta siementen tuhoutumiseen.

Olosuhteitten pakosta koekylvöt jouduttiin tarkastamaan usein epäsäännöllisin välein. Toukokesäkuussa 1974 voitiin kokeet Muhoksella tarkastaa päivittäin (viikonloppuja lukuunottamatta) noin kolmen viikon aikana. Noin viikon pituisissa jaksoissa kesä-heinäkuussa sekä elokuun lopulla ja syyskuussa koealat tarkastettiin yleensä joka päivä, pidemmissä jaksoissa korkeintaan kerran ennen viimeistä tarkastusta. Kaikissa kokeissa siemenmäärät täydennettiin jokaisen havaintoperiodin alkaessa.

Siemeniä syövien lintujen toteamiseksi tehtiin Paljakassa ja Muhoksella muutama koelaikku, joihin pantiin kasa siemeniä. Koska esim. peippojen ruokailuaktiviteetti on suurimmillaan heti yölevon jälkeen (Eber 1956), tarkkailtiin näitä laikkuja muutamana päivänä aikaisin aamulla kiikarilla lähellä olevista rakennuksista.

22. Tutkimuspaikat

Koepyyntejä ja -kylvöjä suoritettiin kaikkiaan kymmenellä uudistusalalla metsäntutkimuslaitoksen Paljakan (6 kpl), Kivalon (3 kpl) ja Pyhäkosken (1 kpl) kokeilualueissa. Kullakin paikkakunnalla juoksevasti numeroitujen koepaikkojen tärkeimmät tunnukset on esitetty seuraavassa.

Paljakka I. Korkeus 330 m mpy, pinta-ala 8,5 ha, metsätyyppi VMT. Hakattu 1965—66. Melkein aukea, jonkin verran pensasmaista koivua. Kohtalaisesti heinittynyt (*Deschampsia flexuosa*).

Paljakka II. 345 m, 4,0 ha, VMT. Hakattu 1966—67. Jonkin verran pensasmaista koivua, kohtalaisesti heinittynyt.

Paljakka III. 350 m, 1,5 ha, VTM. Hakattu 1966—67. Kuusta n. 200 runkoa/ha. Heikosti heinittynyt.

Paljakka IV. 320 m, 1,0 ha, GOMaT. Ei hakattu lähiaikoina. 3—4 m:n korkuista koivua. Kostea puronvarsi, hyvin heirittynyt.

Paljakka V. 350 m, 4,0 ha, VMT. Hakattu 1967—68. Melkein aukea, pensasmaista koivua.

Paljakka VI. 350 m, 3,5 ha. VMT. Hakattu 1968—69. Melkein aukea, jonkin verran pensasmaista koivua, kohtalaisesti heinittynyt.

Kivalo I. 155 m, 2,0 ha, HMT. Hakattu 1953. Pensaikkoa, sekataimisto, mänty-ylispuita. Heikosti heinittynyt.

Kivalo II. 160 m, 3,0 ha, HMT. Hakattu 1959. Kuusta n. 300 runkoa/ha. Jokseenkin heinittymätön, niukasti aluskasvillisuutta.

Kivalo III. 175 m, 3,0 ha, HMTs. Hakattu 1964. Mäntysiemenpuita n. 80 runkoa/ha. Heikosti heinittynyt.

Muhos. 65 m, 0,25 ha, VMT. Hakattu 1970. Aukea, laikuttain ahdelauhaa.

Uudistusalat olivat siis pinta-alaltaan suhteellisen pieniä, yleensä vain heikosti tai korkeintaan kohtalaisesti heinittyneitä. Suurin osa niistä oli Paljakassa vaara-alueella melko korkealla (yli 300 m) merenpinnasta.

Tutkimusvuosina oli kasvukausi 1971 keskimäärin selvästi kylmin ja kesän tulo myöhäisin. Lämpötilat olivat tällöin yleensä pitkäaikaisia keskiarvoja (1931—60) alhaisempia. Keskimääräistä huomattavasti kuivempia kausia oli mm. kesäkuussa 1971 ja kesä-heinäkuussa 1971—72 Puolangalla sekä heinäkuussa 1973 Muhoksella ja Puolangalla. Humidisuus (sademäärä/keskilämpötila) oli vuosina 1971—73 kesä-heinäkuussa yleensä alle keskimääräisen tason (Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1971—74).

3. TULOKSET

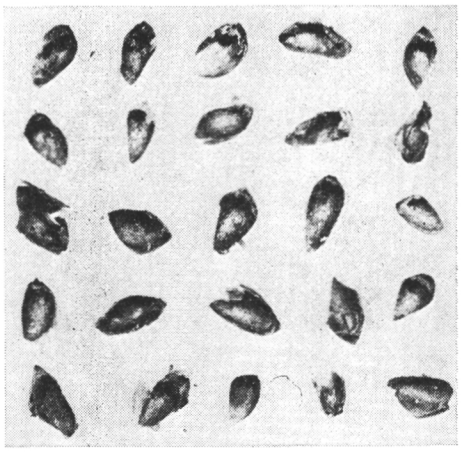
31. Ruokintakokeet

Linnut

V a l t a n e n (1969) mainitsee peipon syövän männyn siemenen litistämällä sen pituussuunnassa halki niin, että kuorenpuoliskot usein irtautuvat toisistaan. Maastokokeissa, missä peipon havaittiin syövän männyn siemeniä tarkkailulaikuista, saatiin samantapaisia tuloksia (kuva 1). Tyypillisiä järripeipon syömäjälkiä on esitetty kuvassa 2. Ne muistuttavat suuresti peipon jättämiä jälkiä, joskin vahvanokkainen järri ilmeisesti tavallisesti rikkoo siemenkuoren useampaan osaan. Maastosta löytyvistä jäänteistä eivät peippo ja järri kuitenkaan ole toisistaan erotettavissa. Urpiaiselle annettiin kuusen siementen lisäksi hampun siemeniä. Lintu söi ensisijaisesti kuusen siemeniä. Syöntijäänteet olivat selvästi ehyempiä, vähemmän paloiteltuja kuin järripeipolla, mutta avaamistapa kuitenkin samanlainen. Siemenkuoret rikkoutuivat yleensä 2—3 osaan (kuva 3). Talitiainen söi kuusen ja männyn siemeniä edellisistä poikkeavasti (kuva 4). Erityisesti kuusen siemenissä on nähtävissä, miten lintu ikään kuin koversi aukon siementen kyljen leveämpään osaan. Männyn siemenillä oli suurempi taipumus rikkoutua enemmän, mutta keskimäärin jälki oli kuitenkin järripeiposta ja urpiaisesta poikkeava. Keltasirkku oli syöttökokeessa koko ajan niin levoton, ettei koskenut lainkaan siemeniin. Kesykyyhky söi odotusten mukaan männyn siemenet kokonaisina, joten on syytä olettaa läheisen metsälajin, sepelkyyhkyn, tekevän samoin.

Pikkunisäkkäät

Metsämyyrä avasi siemenet puremalla päästä tai kyljestä suurehkon aukon siemenkuoreen ja söi sitten endospermin (kuva 5). Peltomyyrän ruokailutapa oli samanlainen (kuva 6). Metsäpäästäiselle annettiin sata männyn siementä sekä muikkua. Se näytti syövän siemeniä jopa mieluummin kuin tavallista kasvatusruokaansa. Neljän vuorokauden kuluttua siemenistä ei ollut jäljellä muuta kuin muutamia pieniä kuorenkappaleita (kuva 8). Päästäiselle annetuista kuusen siemenistä ei jäänyt jäljelle mitään. Verrattuna esim. R a d v a n y i n (1966) esittämiin pohjoisamerikkalaisen *Sorex cinereus* -lajin syömiin *Picea glaucan* siemeniin olivat tulokset hyvin erilaiset. *S. cinereus* teki nimittäin siemenen kylkeen pienehkön reiän (pienemmän kuin sikäläiset myyrät), mistä tyhjensi sisällön. Maastossa ei metsäpäästäisen mahdollista siementen syöntiä ilmeisestikään voida todeta siemenjäänteiden perusteella.



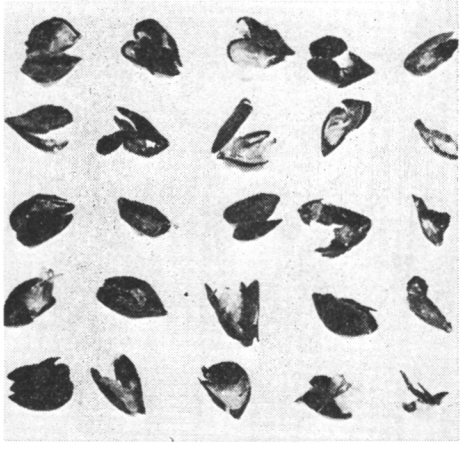
Kuva 1. Peipon syömien männyn siementen jäänteitä.

Figure 1. Remnants of pine seeds eaten by the chaffinch (Fringilla coelebs).



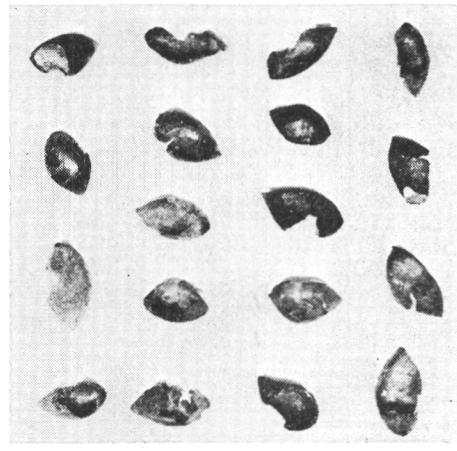
Kuva 2. Järripeipon halkomia männyn siemeniä.

Figure 2. Seeds split by the brambling (Fringilla montifringilla).



Kuva 3. Urpiaisen syöntijäänteitä kuusen siemenistä.

Figure 3. Remnants of spruce seeds eaten by the redpoll (Carduelis flammea).

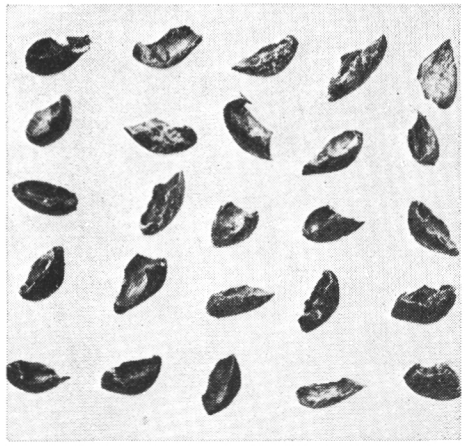


Kuva 4. Talitiaisen kovertamia männyn siemeniä.

Figure 4. Pine seeds emptied by the great tit (Parus major).

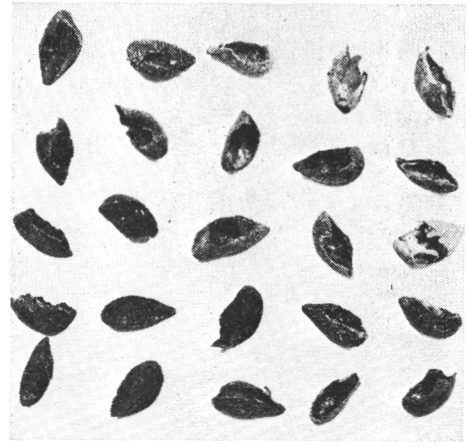
Selkärangattomat

Kuvassa 7 on esitetty eräiden maakiitäjäislajien ruokintakokeissa jättämiä siemenjäänteitä. *Pterostichus oblongopunctatus* -lajin syömäjäljet vastaavat Y l i-V a k k u r in (1962a) *P. vulgaris* -lajilla saamia tuloksia. Koealoilla hyvin yleisellä *Amara lunicollis* Schiö. -lajilla tehtiin useita ruokintakokeita, mutta vain yhdessä todettiin siemeniä syödyn. Syönti oli tällöinkin vähäistä, vaikka muutakaan ravintoa ei ollut tarjolla; sen sijaan lajin yksilöille kelpasi eräissä kokeissa kyllä kastemato ja jauheliha.



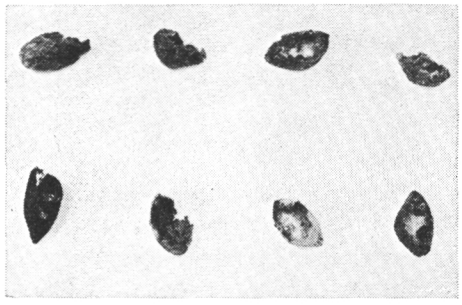
Kuva 5. Metsämyyrän syömien männyn siementen jäänteitä.

Figure 5. Remnants of pine seeds eaten by the bankvole (Clethrionomys glareolus).



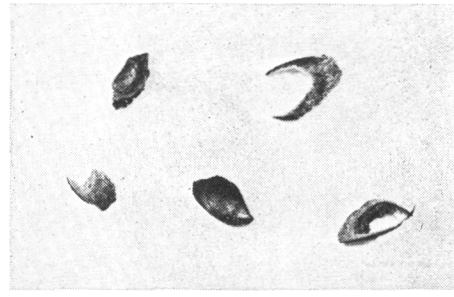
Kuva 6. Peltomyyrän avaamia männyn siemeniä.

Figure 6. Pine seeds opened by the field vole (Microtus agrestis).



Kuva 7. Maakiitäjäisten syöntijäänteitä. Ylhäällä vasemmalla *Amara lunicollis*, muut *A. eurynota*, alhaalla *Pterostichus oblongopunctatus.*

Figure 7. Remnants left by ground beetles. Upper left Amara lunicollis, other A. eurynota, below Pterostichus oblongopunctatus.



Kuva 8. Metsäpäästäisen syöntijäänteet sadasta männyn siemenestä.

Figure 8. Remnants of 100 pine seeds eaten by the common shrew (Sorex araneus).

Pterostichus strenuus Panz. ja hyvin yleinen *Calathus micropterus* Dft. eivät tehdyissä useissa kokeissa syöneet lainkaan siemeniä. *Carabus glabratus* Payk. ei myöskään kahdessa kokeessa koskenut tarjottuihin siemeniin. Samoin eivät ruokintakokeissa olleet maakiitäjäistoukka ja keltalima-siruetana (*Arion subfuscus* Drap.) sekä eräät lyhytsiipisiin (Staphylinidae) kuuluvat lajit syöneet siemeniä. Maakiitäjäisten syöntijäänteet ovat keskenään siksi samankaltaisia, ettei maastosta löytyvien siemenjäänteiden perusteella voida tehdä lajikohtaisia päätelmiä. Kyseeseen tulevien lajien suuosat ovatkin hyvin samankaltaiset. Kokeissa olleiden lintujen, myyrien ja maakiitäjäisten syömäjäljet ovat ryhminä toisistaan erotettavissa, mitä seikkaa voidaan käyttää hyväksi siementuhojen aiheuttajia maastossa määritettäessä.

32. Koepyynnit

Pikkunisäkkäiden loukkupyynneissä yli puolet saalismäärästä oli päästäisiä. Myyristä tuli loukkuihin pelto- ja metsämyyrää. Peltomyyrän esiintymisen avohakkuualoilla selittää paikoin runsas heinittyminen (pääasiassa *Deschampsia flexuosa* -kasvustoa). Pääosa metsämyyristä kävi pyydyksiin Muhoksella pienellä uudistusalalla. Saadut myyrämäärät olivat koepaikoilla suhteellisen pieniä vaihdellen eri pyyntikertoina 0—4 yks./100 loukkuyötä. K a l e l a (1962) mainitsee saalismäärien 0,5—1,0 merkitsevän Lapissa katovuotta. T e i v a i s e n (1975) mukaan myyräkannat olivat syyskesällä 1974 jo tuhoutuneet tai tuhoutumassa ainakin Pohjois-Suomen läntisillä alueilla. Tutkimusperiodi käsitti näin ollen myyrien yhden runsaudenvaihtelujakson edellisen kannanromahduksen tapahduttua talvella 1970—71.

Päästäisistä tuli loukkuihin vain metsäpäästäisiä. Niiden kuten myyrienkin esiintymiselle oli ominaista suuremmat saalismäärät syksyllä kuin alkukesällä, mikä onkin luonnollista kesällä tapahtuvan lisääntymisen tuloksena. Metsäpäästäismäärät olivat vuotta 1974 lukuunottamatta suurempia kuin myyrien. Lisäksi saatiin lähinnä hyönteisille tarkoitetyissa kuoppapyynneissä kolmea lajia, joita loukkupyynneissä ei tavattu. Vaivaispäästäistä (*Sorex minutus* L.) tuli yhteensä 27 yksilöä, kääpiöpäästäistä (*S. minutissimus* Zimm.) 9 yks. ja idänpäästäistä (*S. caecutiens* Laxm.) 4 yks. Vaivais- ja kääpiöpäästäiset välttyivät ilmeisesti keveytensä ansiosta joutumasta myyräloukkuihin. Metsäpäästäisen yleisyyttä osoitti suurin yksilömäärä kuoppapyynneissäkin (65 yksilöä).

Kuoppapyynneissä saadut yleisimmät maakiitäjäislajit on esitetty taulukossa 1. Selvästi yleisin laji yksilömäärältään oli *Amara lunicollis*, jota esiintyi kaikilla koepaikoilla. Lajia tavattiin runsaimmin touko-kesäkuun pyynneissä, mutta sen sijaan loppukesällä vähälukuisena. Erityisesti siementuholaisiksi kirjallisuudessa mainittuja muita *Amara*- sekä *Harpalus*-lajeja tavattiin hyvin vähän. Siementen tuhoojaksi (S a a l a s 1949) mainittu kiiltohyrrä (*Bembidion lampros*) oli suhteellisen yleinen Muhoksella 1974 puuttuen kuitenkin lähes kokonaan muiden vuosien pyynneistä. Siementen syöjäksi havaittua *Pterostichus oblongopunctatus* -lajia saatiin pyynneissä jonkin verran joka vuosi. Kahta muuta sysikiitäjäislajia, *P. strenuus* ja *P. diligens* (Sturm), tavattiin jokseenkin yhtä runsaasti. *Calathus micropterus* oli runsaudeltaan toiseksi yleisin ja tuli pyydyksiin melko tasaisesti eri kuukausina. *Carabus glabratus* oli myös melko yleinen puuttuen kuitenkin esim. Muhoksen pyynneistä 1973—74 kokonaan. Vähälukuisempina ja vain paikoitellen tuli pyydyksiin taulukossa mainittujen lisäksi seuraavia maakiitäjäislajeja: *Cicindela campestris* L., *Cychrus caraboides* L., *Notiophilus aquaticus* L., *N. biguttatus* F., *N. reitteri* Spaeth., *Loricera pilicornis* F., *Bembidion guadrimaculatum* L., *Patrobus assimilis* Chd., *Harpalus affinis* Schrk., *H. latus* L., *H. quadripunctatus* Dej., *H. seladon* Schaub., *Amara brunnea* Gyll., *A. fulva* De G., *A. plebeja* Gyll., *A. praetermissa* Sahlb., *Agonum fuliginosum* Panz. ja *Miscodera arctica* Payk.

Muista koealoilla tavatuista selkärangattomista mainittakoon ensinnäkin muurahaiset, varsinkin kekomuurahaiset (*Formica* spp.). Niitä oli runsaimmin Paljakan

metsiköissä I ja V, Kivalon metsikössä II ja Muhoksella. Kokeiden yhteydessä havaittiin juuri kekomuurahaisten kuljettavan siemeniä. Kuoppapyynneissä saatiin lisäksi vielä vähäisessä määrin siementuholaisiksi epäiltyjä maakiitäjäisten toukkia, tuhatjalkaisia (Myriapoda, tosin pääasiassa eläinravintoa käyttävään Chilopoda-lahkoon kuuluvia) sekä sepän toukkia (Elateridae). Varsinkin 1972 loppukesän pyynneissä tuli runsaasti *Arion*-sukuun kuuluvia etanoita, jotka myös tulevat ainakin siementen kuljettajina kysymykseen.

33. Koekylvöt

Siementen tuhoutuminen koealoilla

Koekylvöjen tulokset on tutkimusvuosittain ja -paikoittain sekä eläinryhmittäin esitetty taulukoissa 2—6 sekä yhdistelmä kaikkien kokeiden tuloksista taulukoissa 7 ja 8. Näistä käy ilmi, että lintujen osuus tuhoista oli kokonaisuudessaan selvästi suurin, noin kaksinkertainen muiden eläinryhmien yhteismäärään verrattuna. Pahoja tuhoja todettiin Muhoksella sekä 1973 että 1974. Ensiksi mainittuna vuotena linnut söivät jakson 15.—22. 5. kuluessa männyn siemenistä 96 % ja kuusen siemenistä peräti 99 % sekä tätä seuranneiden neljän vuorokauden aikana (22.—26. 5.) vastaavasti 69 % ja 78 %. Kesällä 1974 havaittiin lintujen kokeessa, jossa kylvölaikut täydennettiin päivittäin, syöneen 11.—14. 6. välisenä aikana joka päivä yli 90 % männyn siemenistä.

Lintujen osuus oli yleensä selvästi suurin alkukesällä, toukokuun lopussa ja kesäkuussa. Tämän jälkeen tuhot vähenivät, joskin niitä eräillä koealoilla esiintyi vielä loppukesällä ja syksylläkin (esim. Muhos 1973, taulukko 5). Pahimpia tuhonaiheuttajia olivat ilmeisesti peippo ja järripeippo. Ensiksi mainitun nähtiinkin sekä koealoilla että erillisessä kokeessa, missä muutamiin tarkkailulaikkuihin oli laitettu kasa männyn siemeniä, useita kertoja syövän siemeniä. Syönnistä jääneet siemenkuoren palaset olivat kokeissa kauttaaltaan samankaltaisia kuin mainittujen peippolajien jäljiltä varmasti tunnistetut. Kun suurimmat tuhot sattuivat suhteellisen aikaisin ja kun kokeet eri kesinä päästiin aloittamaan eri ajankohtina, ei tuloksista voida päätellä, onko lintujen aiheuttamien tuhojen määrä kokonaisuudessaan merkittävästi vaihdellut eri vuosina.

Pikkunisäkkäiden aiheuttamien tuhojen määrä oli noin kolmannes lintujen tuhoista. Päinvastoin kuin lintujen olivat pikkunisäkkäiden tuhot vähäisimmät kesän alkupuoliskolla ja lisääntyivät syksyä kohti, merkittävämmin tavallisesti heinäkuun lopulta alkaen. Loppukesän ja syksyn kokeissa ne olivatkin keskimäärin suurimmat muihin eläinryhmiin verrattuna. Paljakan koemetsikössä IV sattui kuitenkin suhteellisen runsaita myyrätuhoja myös kesä- ja heinäkuussa 1973, mikä voinee johtua alueen poikkeuksellisen voimakkaasta heinittymisestä. Samoin myyrät söivät siemeniä Muhoksella jo toukokuun lopussa ja Paljakassa kesäkuun alussa 1974, jolloin myyräkannat olivat suuremmat kuin muina tutkimusvuosina. 1973 myyrien tuhoja

todettiin Muhoksella vielä lokakuun alussa, viimeisissä ennen lumen tuloa tehdyissä tarkastuksissa, jolloin merkkejä muista eläinryhmistä ei enää esiintynyt. Pahimmat pikkunisäkkäiden aiheuttamat tuhot todettiin Paljakassa syksyllä 1973. Tällöin ne yhden vuorokauden aikana (4.—5. 9.) söivät 67 % kuusen siemenistä. Pikkunisäkkäiden tuhot olivat hyvin vähäisiä 1971, suurempia vuosina 1972—73 ja suurimmat 1974. Tosin kokeet lopetettiin 1971 jo 21. 8. ja vuoden 1974 aineisto on melko pieni aikaisempiin vuosiin verrattuna.

Myyristä ovat pahimmat tuholaiset ilmeisesti pelto- ja metsämyyrä. Muhoksella saatiin pyynneissä hyvin vähän heinittyneeltä koealueelta, jolla syksyllä 1973 esiintyi melko paljon myyrien tuhoja, vain metsämyyriä. Sen sijaan runsaasti heinittyneellä alalla Paljakassa (IV) ajoittain esiintyneet tuhot olivat pyyntien perusteella peltomyyrän aiheuttamia. Päästäisten osuudesta oli kokeissa mahdoton saada varmaa kuvaa. Syöttökokeiden mukaan metsäpäästäinen ei näet jätä helposti tunnettavia siementen jäänteitä ja luonteenomaisia ulosteita tavattiin vain eräissä yksittäistapauksissa.

Selkärangattomiin kuuluvien eläinlajien vaikutus siementen häviämiseen oli koejaksoissa keskimäärin kaikkein vähäisintä. Niiden tuhot olivat kuitenkin pikkunisäkkäiden tuhoja suuremmat vuoden 1971 kokeissa etenkin alkukesällä sekä 1973 Muhoksella muulloin kuin syys-lokakuussa. Saman vuoden elokuussa tuhot olivat lintujen aiheuttamia suuremmat. Syksyllä selkärangattomien osuudet olivat yleisesti pienimmillään. Tuhoille oli luonteenomaista siementen häviäminen koelaikuista, mahdollinen syönti tapahtui yleensä vasta sen jälkeen. Näin ollen ei kokeissa saatu havaintoja eri lajien merkityksestä.

Peipon ravintona mainitaan (v. Haartman ym. 1967) havupuiden siemenistä vain kuusen siemenet. Metsämyyrä syö tunnetusti varsinkin kuusen siemeniä pudottamistaan kävyistä (Siivonen ja Artimo 1972). Ilmeisesti ravintotutkimuksissa on kuitenkin aika vähän huomioitu eroa männyn ja kuusen siementen välillä. 1973 Paljakassa ja Muhoksella kokeisiin liitettiin näiden puulajien siementen tuhoutumisessa mahdollisesti esiintyvän eron selvittäminen. Tulokset on esitetty taulukossa 9. Kaiken kaikkiaan ei todettu eroa eläinten yhteensä aiheuttamissa tuhoissa männyn ja kuusen siementen välillä. Kuitenkin Muhoksen kokeissa myyrät tuhosivat enemmän kuusen siemeniä.

Siementuhot uudistusalan reuna- ja keskiosissa

Eräitä siemeniä hävittäviä lajeja tavataan hakkuuaukoissa useammin metsän reunan lähettyvillä kuin keskiosissa. Esimerkiksi peippolajit pesivät puissa ja suosivat elinympäristönään puustoista aluetta, erityisesti järripeippo viihtyy juuri valoisissa metsän reunaosissa (v. Haartman ym. 1967). Metsämyyränkin mieluisia olinpaikkoja ovat metsän reunat (Siivonen ja Artimo 1972). Näin ollen oli syytä olettaa, että siementen tuhoutumisessa esiintyisi eroja uudistusalojen reuna- ja keskiosien välillä. Tätä tutkittiin sekä Paljakassa että Muhoksella. Paljakassa sijoi-

tettiin kaksi koeruudustoa uudistusalan keskelle, n. 70—90 m alan reunasta, ja kaksi vastaavanlaista ruudustoa aivan uudistusalan reunaan n. 5—10 m:n päähän lähimmistä puista. Muhoksen pienessä, n. 1/4 ha:n suuruisessa aukossa oli yksi suuri ruudusto, josta tulokset laskettiin erikseen keskellä ja reunassa olevista laikuista. Kuten taulukoista 10 ja 11 käy ilmi, ei eläintuhojen kokonaismäärässä ollut kummallakaan koealueella eroa uudistusalan reuna- ja keskiosien välillä. Suuremmalla alalla linnut tuhosivat kuitenkin lähellä metsän reunaa selvästi enemmän siemeniä kuin keskellä, pienemmässä aukossa »reunavaikutus» sen sijaan ulottui keskelle saakka, eikä mitään eroja esiintynyt. Sitä vastoin myyrät (pyynneissä saatiin vain metsämyyrää) tuhosivat kuusen siemeniä jonkin verran enemmän aukon reunassa kuin keskellä.

Vakoruutukylvön, peittauksen ja värjäyksen vaikutus tuhoihin

Paljakan kokeilualueessa oli kesäkuussa 1971 yhtenä koejäsenenä laikku, missä siemenet oli pantu laikun keskelle tehtyyn vakoon ja peitetty hieman kivennäismaalla. Kokeeseen kuului kuusi erillistä jaksoa, joiden pituus oli 4—9 vrk siemenmäärän ollessa 200—400 kpl. Paljaissa laikuissa eläimet tuhosivat keskimäärin 36 % siemenistä (eri jaksoissa 2—92 %). Vakoruutukylvössä, missä siemenet oli peitetty, eläinten pääsy siemenille estyi täysin, eikä tuhoja tavattu.

Kesällä 1972 tehtiin Paljakassa koeruudustoille myös laikut, joissa käytettiin taimitarhalla peitattua (tehoaineena tiraami) männyn siementä. Peittaus muutti siemenet hieman vaaleammiksi. Peittausaineena käytetty tiraami tuoksuu pistävästi. Royallin ja Fergusonin (1962) mukaan tiraami toimii lähinnä karkotteena verrattuna esim. myrkyllisempään endriiniin. Tämän kokeen osalta oli mahdollista verrata vain peitattujen ja peittaamattomien siementen kokonaistuhoutumista keskenään. Taulukossa 12 on tulokset esitetty erikseen aukon reunassa (I/2+3) ja keskellä (I/1+4) sijanneiden koealojen osalta. Taulukkoon on liitetty myös ko. koejaksoina havaitut eläinten aiheuttamat tuhot.

Peittaus ei siis tässä tapauksessa vähentänyt lainkaan kokonaistuhoja. Suurin osa koejaksoina todetuista eläintuhoista oli myyrien aiheuttamia. Syksyn kokeissa saattaa olla osuutta myös sateella, joka voi liottaa peittausainetta siementen pinnasta. Tiraamilla peitattuja kuusen siemeniä annettiin syöttökokeessa urpiaiselle, joka söi niitä alusta lähtien ollenkaan vieroksumatta. Sekä linnut että myyrät avaavat siemenen ja syövät lähinnä endospermin, joten ruoansulatuselimistöön ei ilmeisesti joudu paljon peittausainetta.

On oletettu, että värjäämällä siemenet voidaan ehkäistä eläintuhoja. Erityisesti lintujen siemensyönnin välttämiseksi on käytetty värjäämistä alumiinijauheella (Lawrence ja Rediske 1959, 1962, Radvanyi 1966). Vuoden 1974 kokeiden yhteydessä suoritettiin Muhoksella erikseen vertaileva koe käsittelemättömien männyn ja kuusen siementen sekä alumiinijauheella värjättyjen männyn siementen välillä. Koe suoritettiin kahdessa eri metsikössä, joissa kummassakin oli

kutakin koejäsentä 8 laikkua à 20 siementä. Toinen koeruudusto sijaitsi siementuhokokeen (taulukko 6) lähistöllä. Tulokset värjäyskokeista on esitetty taulukossa 13. Linnut söivät alumiinijauheella värjättyjä siemeniä jokseenkin yhtä paljon tai enemmän kuin käsittelemättömiä. Yli 90 % siemenistä tuhoutui yleensä jo vajaan viikon kuluttua kokeen aloittamisesta. Pääasiallisin tuhonaiheuttaja oli peippo, jonka nähtiin syövän siemeniä koealoilla ja jonka tuhoihin myös syöntijäljet viittasivat. Myyrien tuhoja esiintyi jakson aikana niin vähän, ettei vertailua voitu suorittaa.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksessa käytetyillä syöntijäänteisiin ja jätöksiin, mekaanisiin menetelmiin sekä havainnointeihin perustuvilla kylvetyn siemenen tuholaisten tunnistamismenetelmillä todettiin voitavan yleensä saada selville vain eri eläinryhmien osuus tuhoista. Syöntijäänteiden käytöstä oli vähiten hyötyä selkärangattomien kohdalla, koska niihin aivan ilmeisesti kuuluu sellaisia lajeja, jotka nimenomaan kuljettavat siemeniä niitä ravinnokseen käyttämättä. Lisäksi jotkut siemensyöjiksikin tunnetut lajit, kuten eräät maakiitäjäiset, usein kuljettavat siemenet pois laikuista ennen syöntiä.

Siemenjäänteiden ja jätösten käyttöä tuholaisten tunnistamisessa vaikeutti paitsi siementen pois kuljettaminen myös jäänteiden puuttuminen silloinkin kun siemeniä todennäköisesti oli käyty syömässä laikussa. Ruokintakokeiden mukaan mm. päästäiset eivät jätä siemenistä mitään luonteenomaisia kuoren osia, joista voitaisiin päätellä tuhon aiheuttaja. Toisaalta saatiin esim. Paljakassa 1972 myös alkukesän pyynneissä suhteellisen runsaasti päästäisiä, mutta vastaavaa selittämätöntä siementuhoa ei tapahtunut.

Aikaisemmissa siementuhotutkimuksissa käytetyistä tiettyjen eläinryhmien siemenille pääsyn estävistä häkkimalleista katsottiin tarkoituksenmukaiseksi ainoastaan n. 1 cm:n korkeudelle maasta kiinnitetty seulaverkko, jonka avulla saatiin kuva muuten hyvin vaikeasti havainnoitavien selkärangattomien aiheuttamista tuhoista. Sen sijaan kokeissa aluksi käytetyn ns. pikkunisäkäshäkin todettiin jossain määrin päästävän myös lintuja koelaikuille ja toisaalta ilmeisestikin liiaksi estävän pikkunisäkkäiden siemensyöntiä. Mahdollista tietystikin on, että edellä mainittu verkkolaikkukin, vaikkei muodostanutkaan mekaanista estettä selkärangattomien pääsylle, olemassaolollaan kuitenkin jossain määrin häiritsi niiden liikkumista.

Kun tuholaisten tunnistamiseen pyritään syöntijäänteitä ja jätöksiä hyväksi käyttämällä, olisi ilmeisen tärkeää, että koealojen tarkastukset voitaisiin tehdä usein, mieluimmin päivittäin. Mikäli tarkastusten väli pitenee, saattavat kevyet syöntijäänteet helposti kadota ja mahdollisesti toistuvat hiljaisemmatkin sateet häivyttää jälkiä. Kovempi sade haittasi sattuessaan aina kokeita heittelemällä siemeniä ja aiheutti jopa kokonaisen jaksonkin hylkäämisen. Tutkimuspaikkojen kaukaisen sijainnin vuoksi jouduttiin tutkimusta tehtäessä valitettavan usein käyttämään melko pitkiäkin tarkastusvälejä.

Jos halutaan tehdä lajikohtaisia havaintoja siemeniä syövistä selkärangattomista ja pikkunisäkkäistä, tarjoavat isotooppitutkimukset ilmeisesti hyviä mahdollisuuksia (vrt. esim. M y l l y m ä k i ja P a a s i k a l l i o 1972). Niihin yhdistettynä voi-

taisiin käyttää siemenjäänteiden määrittämistä ja mahatutkimuksia. Parhaassa tapauksessa (voimakasta isotooppia käyttämällä) on kenties mahdollista löytää poiskulkeutuneetkin siemenet ja niiden jäännökset koepaikkojen ympäristöstä. Myös lintujen kohdalla olisi ehkä mahdollista soveltaa isotooppimenetelmää tai käyttää jatkuvaa havainnointia kiikarin tai televisiokameran avulla.

Myyrätuhojen suhteen on huomattava, että suoritetuissa pyynneissä saadut myyrämäärät olivat kauttaaltaan melko pieniä. Suurimmillaankaan ne eivät nousseet esim. siihen määrään (5 yks./100 loukkuyötä), mikä neuvostoliittolaisten tutkimusten mukaan (Sysojev ym. 1966) vaatii torjuntatoimenpiteitä ennen kylvöä. Tämä johtunee siitä, että yhtä poikkeusta lukuun ottamatta (Paljakka IV) koealueet olivat heikosti tai korkeintaan kohtalaisesti heinittyneet.

Lintujen aiheuttamien tuhojen määrään lienee ainakin jonkin verran vaikuttanut se seikka, että kokeet jouduttiin eri vuosina ja myös eri paikoissa aloittamaan eri aikoihin. Lintujen pesimisrytmin vaihe vaikuttaa näet niiden ravinnon laatuun siten, että pesimis- ja erityisesti poikasaikana moniruokaiset linnut, kuten esimerkiksi peipot käyttävät enemmän eläin- kuin kasviravintoa (Eber 1956, Newton 1967). Vuonna 1971 alkukesä oli kylmempi kuin seuraavana vuonna, joten tämäkin on välillisesti voinut vaikuttaa lintujen aiheuttamien tuhojen määrissä todettuihin eroihin.

Eri koepaikat ympäristöineen olivat myös hyvin erilaisia lintujen biotooppivaatimusten suhteen. Paljakan aukeaa, suurehkoa uudistusalaa ympäröivä vanha kuusikko, mistä koivut jo olivat suurimmaksi osaksi kuolleet, oli ilmeisesti esim. peipoille vähemmän mieluinen kuin Muhoksen koepaikan vaihteleva sekametsäympäristö. Kivalossa taas koepaikoilla oli ylispuustoa ja osittain sekataimistoa, joten linnut ilmeisesti jatkuvasti viihtyivät koeruudustojen läheisyydessä. Paljakassa lintujen tuhoja sattui merkitsevästi enemmän uudistusalan reunan läheisillä ruudustoilla, mikä myös johtunee juuri siemeniä syövien lintujen olinpaikkavaatimuksista. Pahat tuhot Muhoksen pienessä uudistusaukossa selittynevät nekin kokeiden läheisyydessä olleista peipoille sopivista elinympäristöistä.

Maassa elävien selkärangattomien kokonaismäärä laskee hakkuun tapahduttua Huhdan (1969) mukaan neljän ensimmäisen vuoden aikana, minkä jälkeen tilanne alkaa palautua ennalleen. Kovakuoriaisten määrä sen sijaan nousee hakkuun jälkeen voimakkaasti. Tämä johtuu kuitenkin pääasiassa lyhytsiipisten (Staphylinidae) lisääntymisestä; näiden ei ole todettu hävittävän siemeniä. Useimmat hakatut koemetsiköt olivat jo sen ikäisiä, että sukkessio oli ehtinyt ainakin palautumisvaiheeseen.

Jos verrataan siemensyöjiksi todettujen tai epäiltyjen maakiitäjäislajien, erityisesti *Pterostichus*-lajit sekä *Bembidion lampros* ja *Amara lunicollis*, esiintymisrunsautta koealueilla (taulukko 1) ja selkärangattomien aiheuttamia siementuhoja, ei näiden välillä voida havaita yhteyttä. Onkin mahdollista, että siementen hävittämisessä ovat osallisina sangen monet hyönteislajit.

Kylvetyn siemenen tuhoja todettiin sattuneen yleisimmin alkukesällä, juuri tavallisimpaan metsänkylvöjen suoritusaikaan. Tällöin olivat juuri linnut pahimpia

tuhonaiheuttajia, kun taas syksyllä pikkunisäkkäiden tuhot olivat yleensä lintujen aiheuttamia suuremmat. Alkukesällä tavattiin myyrien tuhoja enemmälti vain myyräkantojen huippuvuonna 1974. On huomattava, että pyynneissä saadut myyrämäärät olivat huomattavasti pienempiä kuin esim. Lehtiniemen (1970) kokeissa, joissa niiden tuhot olivat suhteellisesti suurempia. Selkärangattomien tuhojen merkitys kasvaa siementen itämisen pitkittyessä, niin kuin pohjoisessa suhteellisen helposti tapahtuu.

Siementuhot kokonaisuudessaan vaihtelivat eri koejaksoissa ja eri metsiköissä huomattavasti. Pahimmillaan ne olisivat aiheuttaneet lyhyenäkin aikana kylvön epäonnistumisen, kun taas joissakin metsiköissä ei ainakaan koejakson puitteissa tapahtunut merkittäviä menetyksiä. Useimmiten heti kylvön alkuvaiheessa tapahtunut tuho olisi joka tapauksessa selvästi heikentänyt taimettumistulosta ja vähentänyt syntyvän taimiston mahdollisuuksia selvitä muista alkuvaiheen tuhoista.

Torjuntakokeissa hyviä tuloksia antanut vakoruutukylvö, missä siemenet vielä hieman peitetään, on metsänviljelykokeissa usein johtanut parempaan taimettumistulokseen kuin ruutukylvö. Tämä saattaa huomattavalta osalta johtua eläintuhojen eliminoitumisesta. Peittaus tiraamilla ja alumiinijauhevärjäys eivät estäneet tuhoja, vaikka useat kokeet (esim. Lawrence ja Rediske 1962, Royall ja Ferguson 1962, Lehtiniemi 1970) ovat viitanneet niillä olevan vaikutusta. Eri väriaineita olisi kuitenkin syytä laajemmin kokeilla erityisesti lintujen tuhojen estämiseksi. Ilmeisesti sellaiset menetelmät, joissa siementen päällä on eläinten pääsylle tehokas este itämisen aikana, suojaavat kylvökset myös siementuholaisilta.

5. YHDISTELMÄ

1. Tutkimuksessa selvitettiin männyn ja kuusen kylvettyä siementä tuhoavien eläinten syömäjälkien tunnistamista sekä eri eläinryhmien aiheuttamaa siementen tuhoutumista eri vuosina ja kasvukauden eri aikoina. Maastokokeet tehtiin metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueissa Muhoksella, Puolangalla ja Rovaniemen maalaiskunnassa kaikkiaan 10 metsikössä. Tuhot kylvölaikuissa määritettiin siemenjäänteiden avulla sekä estämällä mekaanisesti tiettyjen eläinryhmien pääsy siemenille. Tutkimuksiin liittyi vakoruutukylvöä, siemenen peittausta ja värjäystä koskeva torjuntakoe.

2. Lintujen, myyrien ja maakiitäjäisten syöntijäljet oli mahdollista erottaa toisistaan tehtyjen ruokintakokeiden perusteella. Maastossa tutkimusta vaikeutti se, että eräät lajit, ennen kaikkea maakiitäjäiset kuljettavat siemenet pois laikuista ennen syöntiä. Metsäpäästäisen (*Sorex araneus* L.) taas todettiin ruokintakokeissa syövän siementä, mutta jättävän niin vähän jäänteitä, etteivät ne maastossa ole tunnistettavissa.

3. Ruokintakokeissa useat selkärankais- ja hyönteislajit söivät siemeniä. Maastossa tehtiin suoranaisia havaintoja vain peiposta (*Fringilla coelebs* L.), jonka todettiin syövän siemeniä kylvölaikuista.

4. Eläinryhmien osuudet tuhoista vaihtelivat kasvukauden aikana ja myös eri vuosina. Linnut tuhosivat metsänkylvöjen yleiseen suorittamisaikaan touko-kesäkuussa eniten siemeniä. Tuhot olivat tällöin kaikkina vuosina suuret, eräissä tapauksissa lyhyessäkin ajassa yli 90 % siemenmäärästä.

5. Myyrien tuhot puuttuivat myyräkantojen huippuvuoden jälkeisenä katovuonna 1971 lähes täydellisesti. Seuraavina vuosina tuhoja esiintyi pääasiassa loppukesällä, jolloin myyrätuhot olivat muihin eläinryhmiin nähden dominoivia. Vuonna 1974, jolloin myyräkannat olivat jälleen huipussaan, sattui tuhoja jo alkukesälläkin, ja elokuun lopun kokeissa tuhot olivat lyhyenäkin koejaksona suuret. Siementen itämisen pohjoisessa helposti pitkittyessä myyrien ja selkärangattomien merkitys kasvaa.

6. Selkärangattomien, lähinnä hyönteisten tuhoja tavattiin alkukesästä lähtien melko tasaisesti aina syyskuuhun saakka, jolloin ne selvästi vähenivät. Ryhmän aiheuttamat tuhot eivät yksittäisissä tarkkailujaksoissa pahimmillaankaan yleensä nouseet suuremmiksi kuin 10—20 %, mutta jatkuva esiintyminen lisää niiden merkitystä.

7. Eläintuhoilla kokonaisuudessaan ei ollut eroa siihen nähden, sijaitsivatko koeruudut hakkuualan keskellä tai reunassa. Suurella uudistusalalla linnut kuitenkin

söivät reunassa selvästi enemmän siemeniä kuin keskellä. Pienehköillä viljelyaloilla tuhojen vaara on ilmeisesti suurempi kuin suurilla. Kokeissa käytettyjä männyn ja kuusen siemeniä eläimet tuhosivat yhtä paljon.

8. Eläinten aiheuttamat kylvetyn siemenen tuhot ovat torjuttavissa kylvämällä siemenet vakoon ja peittämällä ne kivennäismaalla. Sen sijaan ei peittauksella (tiraami) eikä alumiinijauhevärjäyksellä todettu olleen suojaavaa vaikutusta.

6. KIRJALLISUUS

ABBOT, H. G. 1962. Tree seed preference of mice and voles in the Northeast. J. For. 60: 97—99.

ALDOUS, S. E. & SMITH, C. F. 1947. The influence of mammals and birds in retarding artificial and natural reseeding of coniferous forests in the United States. J. For. 45: 361—369.

BOYER, W. D. 1964. Longleaf pine seed predators in Southwest Alabama. J. For. 62: 481—484.

CAMPBELL, B. 1964. Birds and woodlands. For. Comm. Leafl. 47: 1—24.

DAVIES, M. J. 1953. The contents of the crops of some British carabid beetles. Ent. Month. Mag. 18—23.

DICK, J. & JOHNSON, N. E. 1958. Carabid beetles damage Douglasfir seed. J. Econ. Ent. 51: 542—544.

EBER, G. 1956. Vergleichende Untersuchungen über die Ernährung einiger Finkenvögel. Biol. Abh. 1956 (13—14): 1—60.

ELLIS, I. D. T., JOHNSON, N. E. & LAWRENCE, W. H. 1966. Seasonal occurrence of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in three habitats in Southwest Washington. Ann. Ent. Soc. Amer. 59: 1055—1059.

GÄBLER, H. 1954. Tierische Samenschädlinge der einheimischen forstlichen Holzgewächse. 56 s. Radebeul und Berlin. Neumann Verlag.

GÖSSWALD, K. & KLOFT, W. 1961. Beziehungen einiger im Walde lebender Mäuse zu Waldameisennestern. Waldhygiene 4: 22—23.

HAAPANEN, A. 1966. Bird fauna of the Finnish forests in relation to forest succession II. Ann. Zool. Fenn. 3: 176—200.

HAARTMAN, L. von, HILDEN, O., LINKOLA, P., SUOMALAINEN, P. & TENOVUO, R. 1967. Pohjolan linnut värikuvin I—II. 1092 s. Helsinki. Otava.

HEIKKILÄ, R. 1972. Eläimet tuhoavat kylvösiemeniä. Metsä ja Puu 1972 (6—7): 24—25.

HOOVEN, E. 1958. Deer mouse and reforestation. Ore. For. Lands Res. Center. Res. Note 37: 1—31.

HUHTA, V. 1969. Hakkuun, kulotuksen ja lannoituksen vaikutus metsämaan eläimistöön. Luonnon Tutkija 73: 140—154.

HUHTA, V. 1970. Maaperäeläinten keräily- ja erottelumenetelmät. Lammin biologisen aseman kurssimoniste. 19 s.

JOHNSON, N. E. & CAMERON, R. S. 1969. Phytophagous ground beetles. Ann. Ent. Soc. Amer. 62: 909—914.

KALELA, O. 1962. On the fluctuations in the numbers of arctic and boreal small rodents as a problem of reproduction biology. Ann. Acad. Sci. Fenn. A IV. Ser. Biol. 66: 1—38.

Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1971—1974. Ilmatieteen laitos. Helsinki.

LAWRENCE, W. H. & REDISKE, J. H. 1959. Radio-tracer technique for determining the fate of broadcast Douglas-fir seed. Soc. Amer. For. Proc. 1959: 99—101.

—»— 1962. Fate of sown Douglas-fir seed. For. Sci. 8: 210—218.

LEHTINIEMI, T. 1970. Metsämaassa tapahtuvista siementuhoista ja niiden torjunnasta. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja n:o 4. 62 s.

LEHTO, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction of Scots pine on the upland soils of Southern Finland. Acta For. Fenn. 66 (2): 1—106.

—»— 1968. Tutkimuksia metsämaassa tapahtuvista siementuhoista. Julkaisematon konekirjoite. 27 s. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki.

—»— 1969. (toim.) Metsänviljely. 376 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

LEHTO, J. & SIMOLINNA, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. 235 s. Rauma. Kirjayhtymä.

LINDROTH, C. H. 1960. (toim.) Catalogus Coleopterorum Fennoscandiae et Daniae. 476 s. Lund.

—»— 1961. Skalbaggar. Coleoptera. Sandjägare och jordlöpare. Fam. Carabidae. Svensk Insektfauna 9. 209 s.

LÖYTTYNIEMI, K. 1969. Männyn ja kuusen siemenien esikäsittelyn vaikutuksesta itämiseen ja taimien alkukehitykseen kasvihuoneolosuhteissa. Summary: On the effect of pretreatment of pine and spruce seeds on their germination and the early development of the seedlings. Silva Fenn. 3: 201—212.

MYLLYMÄKI, A. 1972. Peltomyyrä. Suomen nisäkkäät I. s. 381—395. Keuruu. Otava.

—»— & PAASIKALLIO, A. 1972. The detection of seedeating small mammals by means of p 32 treatment of spruce seed. Aquilo Ser. Zool. 13: 21—24.

NEWTON, I. 1967. The adaptive radiation and feeding ecology of some British finches. Ibis 109: 33—98.

NOVIKOV, G. A. 1948. Rol mlekopitajustsih i ptits v zizni elovyh lesov Laplandii. [Imettäväisten ja lintujen rooli kuusikkojen elämässä Lapissa.] Bot. Ž. 33: 80—89.

OINONEN, E. 1961. Die Ameisenhäufen als Wuchsplätze von Bäumen und als Dolmetscher der Gesichte des Waldstandortes. Waldhygiene 4: 67—79.

PEIPONEN, V. Über Brutbiologie, Nahrung und geographische Verbreitung des Birkenzeisigs (*Carduelis flammea* L.). Seloste: Urpiaisen pesimisbiologiasta, ravinnosta ja levinneisyydestä. Ornis Fenn. 39: 37—60.

PRELL, H. 1925. Forstschädliche Laufkäfer (I). Forstw. Cbl. 47: 67—73.

RADVANYI, A. 1966. Destruction of radio-tagged seeds of white spruce by small mammals during summer months. For. Sci. 12: 307—314.

—»— 1970. Small mammals and regeneration of white spruce forests in Western Alberta. Ecology 51: 1102—1105.

ROYALL, W. C. Jr. & FERGUSON, E. R. 1962. Controlling bird and mammal damage in direct seeding loblolly pine East Texas. J. For. 60: 37—39.

RUMMUKAINEN, U. 1965. Sienitautien torjunta taimitarhassa. Metsänsuojeluohjeita. Kasvinsuojeluseuran julkaisuja 31: 15—18.

SAALAS, U. 1949. Suomen metsähyönteiset. 719 s. Porvoo. WSOY.

SCHAAL 1865. Ueber das Bedecken des in die Fichtensaatkämpe ausgesäeten Samens. Allg. Forst- und Jagdztg. 41: 209—211.

SCHERNEY, F. 1959. Unsere Laufkäfer. Die Neue Brehm-Bücherei 245: 1—79.

SHEARER, R. C. & HALVORSON, C. H. 1967. Establishment of western larch by spring spot seeding. J. For. 65: 188—193.

SIIVONEN, L. 1967. Pohjolan nisäkkäät. 181 s. Helsinki. Otava.

—»— & ARTIMO, A. 1972. Metsämyyrä. Suomen nisäkkäät I, s. 330—341. Keuruu. Otava.

—»— & LAITILA, K. 1972. Metsäpäästäinen. Suomen nisäkkäät I, s. 156—168. Keuruu. Otava.

SKARÉN, U. & KAIKUSALO, A. 1966. Suomen pikkunisäkkäät. 227 s. Helsinki. Otava.

SKUHRAVÝ, V. 1959. Potrava polnich strevlikovitych. Die Nahrung der Feldcarabiden. Acta Soc. Ent. Cechosl. 56: 1—18.

SVIRIDENKO, P. A. 1940. Zhatsenije mysevidnyhrygryzunov pri estestveunom vozobuovlenii lesa. [Hiirensukuisten jyrsijäin merkitys metsän luontaisessa uudistamisessa.] Lesnoje Hozjaistvo 4.

SYSOJEV, E. P., BURDUKOV, G. N., POLGOSEJEV, V. M., LOBASTOV, L. V. & TITOV, N. A. 1966. Primeneni fisiologitseski aktivnyh vestvest pri lesovosstanovlenii. [Fysiologisesti aktiivisten aineiden käyttö metsän uudistamisessa.] 144 s. Kirov.

TEIVAINEN, T. 1975. Myyrien tuhoista ja niiden torjunnasta. Pyhäkosken tutk.as. tied. 14: 26—36.

TEVIS. L. Zr. 1953. Effect of vertebrate animals on seed crop of sugar pine. J. Wildl. Managem. 17: 128—131.

TURČEK, F. J. 1960 Über Rötelmausschäden in den slowakischen Wäldern. Z. angew. Zool. 47: 449—456.

VAARTAJA. O. 1950. On factors affecting the initial development of pine. Oikos 2: 89—108.

—»— 1955. Factors causing mortality of seeds and succulent seedlings. Seloste: Puiden siemeniä ja sirkkataimia tuhoavista tekijöistä. Acta For. Fenn. 62: 1—31.

VALTANEN, J. 1969. Kylvösiemenen tuhoutumisesta. Metsä ja Puu 1969 (4): 19—20.

VOLKOV, V. A. 1970. Rol belki, mysevidnyi gryzunov i zemleroek kak potrevitelei sennjan jeli f biogeotshenozah juschnoi taigi. Fitotshenologija i biogeotshenologija temnohvohnoj taigi. Izd. »Nauka» 1970: 143—149.

YLI-VAKKURI, P. 1960. Siementen tuhoutumisesta kulotetuilla alueilla. Summary: On the destruction of seed on forest burns. Metsätal. Aikakausl. 77: 451—452.

—»— 1962a. Emergence and initial development of tree seedlings on burntover forest land. Seloste: Taimien syntymisestä ja alkukehityksestä kulotetuilla alueilla. Acta For. Fenn .74 (1): 1—51.

—»— 1962b. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensikehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Summary: Experimental studies on the emergence and initial development of tree seedlings in spruce and pine stands. Acta For. Fenn. 75 (1): 1—122.

SUMMARY

1. The feeding tracks of animals which destroy sown pine and spruce seed were identified, and seed destruction by various animal groups was investigated in different years and at different times during the growing season. The field experiments were conducted in the Forest Research Institute's experimental forests at Muhos, Puolanka and Rovaniemi in a total of 10 stands. Seed destruction in sowing patches was identified on the basis of seed remnants and by mechanically preventing certain groups of animals from reaching the seed. To evaluate the control methods an experiment including band sowing, seed treatment and seed painting was conducted.

2. It was possible, on the basis of feeding experiments, to distinguish between the feeding tracks of birds, voles and ground beetles. However, in the field this was more difficult because some species, especially ground beetles, transport the seeds away from the patch before eating them. The common shrew (*Sorex araneus* L.) was found to eat seeds but left so few remnants that they could not be identified in the field.

3. In the feeding experiments most vertebrate and insect species ate seed. In the field, direct observations were made only on the chaffinch (*Fringilla coelebs* L.) which was found to eat seed from the sowing patches.

4. The proportion of destruction caused by various animal groups varied according to the year and time during the growing season. The birds destroyed most seed at the time when forest sowing is usually carried out, in May-June. During all years the damage was great at this time; in some cases as much as 90 % of the seed was destroyed within a short time.

5. Almost no damage by voles was found in 1971, the year after the peak year for voles. In the next year seed destruction occurred mainly in the late summer, when the destruction by voles was greatest compared to destruction caused by other animals. In 1974, when the vole populations again were high, destruction of seed occurred already in the early summer; in august destruction was great even during short experimental periods. Since germination of seed is often delayed in the Norht, the effect of voles and invertebrates increases.

6. Destruction by invertebrates, mainly insects, was found to be evenly spread over the whole summer up until September, when it decreased. Destruction by this group never increased to more than 10—20 % of the total destruction during the observation periods with the maximum destruction, but their importance was increased by the fact that such damage occurred constantly.

7. Seed destruction caused by animals was not dependent on whether the plots were located in the center or on the edges of clear-cut areas. On large areas, however, birds ate more seeds on the edges than in the center. The damage by animals was equally severe to both pine and spruce seed.

8. Damage caused by animals to sown seed can be controlled by sowing the seeds in drills and covering with mineral soil. Treatment of the seeds (with Tiram) and aluminium paint did not protect the seed.

Taulukko 1. Yleisimpien maakiitäjäislajien yksilömäärät koealueilla sataa pyyntipurkkiyötä kohti.
Table 1. Numbers of the most common ground beetle species per 100 trapping-jar nights.

Aika	Paikka	*Carabus glabratus*	*Carabus violaceus*	*Bembidion lampros*	*Amara lunicollis*	*Pterostichus oblongopunctatus*	*P. strenuus* & *P. diligens*	*Calathus micropterus*
1971								
9. 6.—15. 6.	Paljakka I, IV	—	—	—	10,0	—	3,3	5,0
16. 6.—24. 6.	» V, VI	—	—	—	11,9	—	—	5,0
25. 6.—12. 7.	» V	—	—	—	14,4	—	—	7,1
16. 7.— 2. 8.	Kivalo III	1,2	—	—	—	2,9	—	1,2
3. 8.—12. 8.	» I, III	0,3	—	—	—	1,7	—	0,6
21. 8.— 5. 9.	» I, III	0,7	0,3	—	—	1,3	—	0,7
1972								
16. 6.—22. 6.	Paljakka I, IV	2,3	0,3	—	16,3	0,3	2,0	0,7
25. 7.—28. 8.	»	—	—	—	0,1	—	0,1	1,7
28. 8.—29. 8.	»	—	—	—	—	—	—	18,0
29. 8.— 8. 9.	»	1,2	—	—	3,2	—	—	6,6
29. 6.— 7. 7.	Kivalo I—III	1,7	0,4	—	—	—	—	7,1
7. 7.—13. 9.	.....	1,7	0,2	—	0,3	0,1	—	0,4
1973								
15. 5.—22. 5.	Muhos	—	—	0,7	30,7	0,7	1,4	—
22. 5.—26. 5.	»	—	—	—	33,8	1,3	—	—
26. 5.—31. 5.	»	—	—	—	37,0	—	1,0	—
31. 5.—12. 6.	»	—	—	—	4,6	—	—	0,8
12. 6.— 6. 7.	»	—	0,2	—	1,0	0,2	—	0,2
6. 7.—12. 7.	»	—	—	—	—	—	—	—
12. 7.—20. 7.	»	—	—	—	0,6	—	—	0,6
20. 7.—10. 8.	»	—	—	—	0,7	—	—	0,2
10. 8.—20. 8.	»	—	—	—	0,5	—	—	—
20. 8.—28. 8.	»	—	—	—	1,9	—	0,6	—
28. 8.—10. 9.	»	—	—	—	—	—	0,4	—
10. 9.—3. 10.	»	—	—	—	0,2	—	0,4	0,9
3. 10.—5. 10.	»	—	—	—	—	—	—	2,5
6. 6.—13. 6.	Paljakka I, IV	—	—	—	0,5	—	0,5	1,0
13. 6.—20. 6.	»	1,0	—	—	—	—	1,9	0,5
20. 6.—10. 7.	»	1,3	—	—	—	—	—	0,7
10. 7.—20. 7.	»	1,0	—	—	—	—	—	0,7
20. 7.— 7. 8.	Paljakka I	1,1	—	—	—	—	—	—
7. 8.—24. 8.	»	1,2	—	—	—	—	—	—
24. 8.— 4. 9.	»	—	—	—	—	—	—	—
4. 9.—20. 9.	»	—	—	—	—	—	—	0,6
1974								
22. 5.— 3. 6.	Muhos	—	—	2,1	2,5	0,4	0,8	0,4
3. 6.— 7. 6.	»	—	—	2,5	7,5	1,3	3,8	1,3
7. 6.—14. 6.	»	—	—	2,1	13,6	—	—	1,4
20. 8.—26. 8.	»	—	—	0,8	—	—	—	—
6. 6.—11. 6.	Paljakka I	1,0	—	—	5,0	—	—	11,0
11. 6.—14. 6.	Kivalo I	—	—	—	3,0	—	1,0	4,0
26. 8.—29. 8.	»	1,0	—	—	—	—	—	2,0

Taulukko 2. Eri eläinryhmien aiheuttama männyn siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty tarkastettaessa. Paljakka ja Kivalo 1971.

Table 2. Destruction of pine seeds (% of seeds/24-hour period) in the sowing patches according to animal group. Patches replenished when inspected. Paljakka and Kivalo 1971.

Paikka	Aika	Jakso, vrk.	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat
Paljakka I	11. 6.—14. 6.	4	11,8	0	1,3
» II	11. 6.—14. 6.	4	6,3	0	0,5
» III	10. 6.—15. 6.	5	2,0	0,4	0,2
» IV	10. 6.—15. 6.	5	18,0	0,2	0,2
» V	16. 6.—24. 6.	9	0,	0	0,2
» VI	18. 6.—24. 6.	7	3,9	0	0
» I	25. 6.—12. 7.	18	0	0	0,4
» III	25. 6.—12. 7.	18	0,7	0	0
» V	25. 6.—12. 7.	18	0,4	0	1,2
Kivalo I	12. 6.—16. 6.	5	0	0	0,2
» II	12. 6.—16. 6.	5	0	0	0,4
» I	18. 6.—15. 7.	28	0	0	0,5
» II	18. 6.—15. 7.	28	1,6	0	0,1
» I	17. 7.—21. 8.	36	1,1	0,1	0,3
» II	17. 7.—21. 8.	36	1,1	0,1	0,1
Yhteensä/Keskimäärin		226	1,5	0,1	0,3

Taulukko 3. Eri eläinryhmien aiheuttama männyn siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty tarkastettaessa. Paljakka ja Kivalo 1972.

Table 3. Destruction of pine seeds (% of seeds/24-hour period) in the sowing patches according to animal group. Patches replenished when inspected. Paljakka and Kivalo 1972.

Paikka	Aika	Jakso, vrk.	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat
Paljakka I	16. 6.—22. 6.	7	0,6	0,9	0,1
» IV	16. 6.—22. 6.	7	0	0	0,1
» I	24. 6.—24. 7.	31	1,6	0,6	0,2
» IV	24. 6.—24. 7.	31	0	0	0,5
» I	26. 7.—28. 8.	34	0,3	0,1	0,4
» IV	26. 7.—28. 8.	34	0	0,6	0,2
» I	29. 8.—30. 8.	2	1,5	3,5	1,0
» IV	29. 8.—30. 8.	2	0	28,0	0
» I	1. 9.— 8. 9.	9	0,6	5,9	0,3
» IV	1. 9.— 8. 9.	9	2,0	8,8	0,1
Kivalo I	30. 6.— 7. 7.	8	2,5	0,1	0,2
» II	1. 7.— 7. 7.	7	0	0	0
» III	1. 7.— 7. 7.	7	0	0	1
» II	13. 9.—15. 9.	3	0	9,3	0,3
» III	14. 9.—15. 9.	2	0	0	0,5
Yhteensä/Keskimäärin		193	0,6	1,4	0,3

Taulukko 4. Eri eläinryhmien aiheuttama männyn ja kuusen siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty tarkastettaessa. Paljakka 1973.

Table 4. Destruction of pine and spruce seed (% of seeds/24-hour period) in the sowing patches according to different animal groups. Patches repleniched when inspected. Paljakka 1973.

Puulaji ja metsikkö	Aika	Jakso, vrk.	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat
Mänty I	7. 6.—13. 6.	7	2,3	0	0,9
» IV	7. 6.—13. 6.	7	0	0	0
» I	14. 6.—20. 6.	7	0	0	0,4
» IV	14. 6.—20. 6.	7	0	3,0	0,3
» I	21. 6.—10. 7.	20	2,1	0,1	0,7
» IV	21. 6.—10. 7.	20	0,2	1,0	0,5
» I	11. 7.—20. 7.	10	3,3	0	0,3
» IV	11. 7.—20. 7.	10	0	8,3	0,9
» I	5. 9.	1	0	67,0	0
Yhteensä/Keskimäärin		89	1,0	2,2	0,5
Kuusi I	7. 6.—13. 6.	7	0	0	(ei tutkittu)
» IV	7. 6.—13. 6.	7	0	0	
» I	14. 6.—20. 6.	7	0	0	
» IV	14. 6.—20. 6.	7	0	0,1	
» I	21. 6.—10. 7.	20	1,7	0,1	
» IV	21. 6.—10. 7.	20	0	1,7	
» I	11. 7.—20. 7.	10	3,0	0	
» IV	11. 7.—20. 7.	10	0	8,4	
» I	5. 9.	1	0	64,0	
Yhteensä/Keskimäärin		89	0,7	2,1	—

Taulukko 5. Eri eläinryhmien aiheuttama siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty tarkastettaessa. Muhos 1973.

Table 5. Destruction of seed (% of seeds/24-hour period) caused by different animal groups. Patches replenished when inspected. Muhos 1973.

Aika	Jakso, vrk.	Siementuhot %/vrk					
		Mänty			Kuusi		
		Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat
16. 5.—22. 5.	7	13,7	0	0	14,1	0	0
23. 5.—26. 5.	4	17,3	0	1,3	19,5	0	0,5
27. 5.—31. 5.	5	9,0	0	0,8	5,8	0	0,8
1. 6.—12. 6.	12	6,3	0	0,6	6,3	0	0,6
13. 6.—15. 6.	3	20,0	0	4,0	23,3	0	3,7
16. 6.— 6. 7.	21	1,8	0	0,5	2,1	0	1,0
7. 7.—12. 7.	6	3,5	0	2,7	1,3	0	0
13. 7.—20. 7.	8	5,5	0	2,1	1,8	0	1,0
9. 8.—10. 8.	2	3,0	0	4,0	0	0	1,0
11. 8.—20. 8.	10	0	0	1,1	0	0	1,5
21. 8.—27. 8.	7	2,0	1,1	2,1	0	2,1	1,7
28. 8.—30. 8.	3	0	0	1,0	0	6,7	0,7
31. 8.— 4. 9.	5	0,8	0,6	0,4	1,2	1,6	0
5. 9.— 7. 9.	3	1,0	7,0	1,7	0	5,3	1,0
8. 9.—10. 9.	3	0	3,0	0	0,	1,0	0
11. 9.—20. 9.	10	1,0	0,1	0	3,4	1,8	0
21. 9.—26. 9.	6	0	1,0	0	0,5	0,3	0
27. 9.—3. 10.	7	2,0	1,4	0	0	6,1	0
4. 10.—5. 10.	2	0	8,0	0	0	19,5	0
6. 10.—8. 10.	3	0	6,3	0	0	2,0	0
Yhteensä/ Keskimäärin	126	4,0	0,7	0,9	3,7	1,3	0,7

Taulukko 6. Eri eläinryhmien aiheuttama männyn siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty päivittäin. Muhos, Paljakka ja Kivalo 1974.

Table 6. Destruction of pine seed (% of seeds/24-hour period) caused by different animal groups. Patches replenished daily. Muhos, Paljakka and Kivalo 1974.

Paikka	Aika	Jakso, vrk.	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat
Muhos	22. 5.—24. 5.	3	19,7	7,0	0,3
»	25. 5.—27. 5.	3	21,5	4,2	1,0
»	28. 5.—31. 5.	4	34,4	6,2	4,9
»	1. 6.— 3. 6.	3	23,1	0	0,3
»	4. 6.— 6. 6.	3	48,4	0	1,8
»	7. 6.—10. 6.	4	22,0	0	0,6
»	11. 6.—14. 6.	4	96,3	0	0,5
Paljakka	6. 6.—10. 6.	4	7,2	3,4	0
Kivalo	11. 6.—14. 6.	3	43,5	1,3	1,0
»	26. 8.—29. 8.	3	0	44,4	1,6
Muhos	19. 8.—26. 8.	7	0,7	10,7	1,8
Yhteensä/Keskimäärin		41	28,9	6,9	1,1

Taulukko 7. Eri eläinryhmien aiheuttama männyn siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa vuosina 1971—1974 kasvukauden eri aikoina suoritetuissa kokeissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty tarkastettaessa.

Table 7. Destruction of pine seed (% of seeds/24-hour period) caused by different animal groups in the sowing patches during 1971—1974 in experiments conducted at various times during the growing season. Patches replenished when inspected.

Aika	Yht. vrk	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat	Kaikki tuhot
16. 5.—15. 6.	108	15,9	0,8	0,7	17,4
16. 6.—15. 7.	262	0,7	0,1	0,3	1,1
16. 7.—31. 8.	242	1,1	1,8	0,6	3,5
1. 9.—8. 10.	63	0,9	5,0	0,2	6,1
Yhteensä/Keskimäärin	675	3,3	1,2	0,5	5,0

Taulukko 8. Eri eläinryhmien aiheuttama männyn siementen tuhoutuminen kylvölaikuissa vuosina 1971—1974 suoritetuissa kokeissa (% siemenmäärästä/vrk). Laikut täydennetty tarkastettaessa.

Table 8. Destruction of pine seed (% of seeds/24-hour period) caused by different animal groups in the sowing patches during the 1971—1974 experiments. Patches replenished when inspected.

Vuosi	Yht. vrk	Linnut	Pikkunisäkkäät	Selkärangattomat	Kaikki tuhot
1971	226	1,5	0,1	0,3	1,9
1972	193	0,6	1,4	0,3	2,3
1973	215	2,8	1,3	0,7	4,8
1974	41	28,9	6,9	1,1	36,9
Yhteensä/Keskimäärin	675	3,3	1,2	0,5	5,0

Taulukko 9. Eläinten aiheuttama männyn ja kuusen siementen tuhoutuminen (% siemenmäärästä). Paljakka ja Muhos 1973. (Havaintoja 32, selkärangattomista 12).

Table 9. Destruction caused by animals to pine and spruce seed (% of seeds). Paljakka and Muhos 1973 (32 observations, 12 of them invertebrates).

Eläinryhmä	Mänty	Kuusi	t-arvo
Linnut	40	33	1,61
Pikkunisäkkäät	22	28	2,25*
Selkärangattomat	16	14	0,90
Keskimäärin	26	25	0,26

* = merkitsevä 5 %:n riskitasolla

Taulukko 10. Eläinten aiheuttama männyn siementen tuhoutuminen (% siemenmäärästä) uudistusalan reunassa ja keskellä. Paljakka 1971—1973, metsiköt I, V ja VI. (Havaintoja 40).

Table 10. Destruction caused by animals to pine seed (% of seeds) at the edge and center of the reforestation area. Paljakka 1971—1974, stands I, V and VI (40 observations).

Eläinryhmä	Aukon reunassa	Aukon keskellä	t-arvo
Linnut	27	9	2,74**
Pikkunisäkkäät	24	29	0,69
Selkärangattomat	4	3	0,52
Keskimäärin	18	14	0,67

** = merkitsevä 1 %:n riskitasolla

Taulukko 11. Eläinten aiheuttama siementen tuhoutuminen (% siemenmäärästä) uudistusalan reunassa ja keskellä. Muhos 1973. (Havaintoja 25).

Table 11. Destruction caused by animals to seed (% of seeds) at the edge and center of the reforestation area. Muhos 1973 (25 observations).

Eläinryhmä	Puulaji	Aukon reunassa	Aukon keskellä	t-arvo
Linnut	mänty	52	46	1,00
	kuusi	44	43	0,15
Pikkunisäkkäät	mänty	4	8	0,66
	kuusi	24	13	1,71
Selkärangattomat	mänty	16	16	0,07
	kuusi	15	11	1,24
Keskimäärin	mänty	24	23	0,22
	kuusi	29	23	2,71*

Taulukko 12. Peitatun ja peittaamattoman männyn siemenen tuhoutuminen uudistusalan reunassa (I/2 + 3) ja keskellä (I/1 + 4) sekä eri eläinryhmien samaan aikaan koealoilla aiheuttamat tuhot (% siemenmääristä). Paljakka 1972.

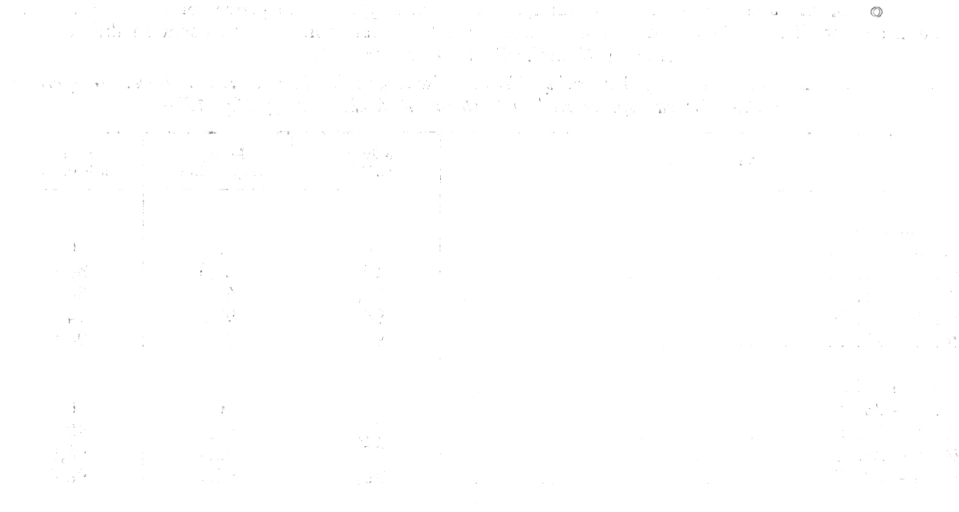
Table 12. Destruction of treated and untreated pine seed (% of seeds) at the edge (I/2 + 3) and center (I/1 + 4) of the reforestation area and the destruction caused by different animal groups at the same time. Paljakka 1972.

Aika ja kokeen sijainti	Peitattu siemen	Peittaamaton siemen	Eläintuhot koealoilla		
			Linnut	Pikkunis.	Selkär.
15. 6.—22. 6. I/2+3	12	6	0	0	1
I/1+4	20	22	9	12	1
23. 6.—24. 7. I/4	86	83	50	18	6
28. 8.—30. 8. I/2+3	20	20	6	11	3
I/1+4	3	6	0	4	2
31. 8.— 8. 9. I/2+3	76	86	9	59	4
I/1+4	58	52	0	46	1
Keskimäärin	39	39	11	21	3

Taulukko 13. Lintujen tuhoamien alumiinijauheella värjättyjen ja värjäämättömien männyn siementen sekä värjäämättömien kuusen siementen kumulatiivinen tuhoutumisprosentti kahdessa metsikössä Muhoksella toukokuussa 1974.

Table 13. Cumulative destruction (%) caused by birds to pine seeds colored by aluminium powder compared to untreated pine and spruce seed in 2 stands at Muhos during May 1974.

Paikka ja aika	Mänty, värjätty	Mänty, värjäämätön	Kuusi, värjäämätön
Metsikkö 1.			
20. 5.—21. 5.	0	0	0
21. 5.—22. 5.	19,4	26,3	30,6
22. 5.—23. 5.	65,7	65,7	56,2
23. 5.—24. 5.	98,8	93,2	94,3
24. 5.—27. 5.	99,4	95,7	94,9
Metsikkö 2.			
21. 5.—23. 5.	0	0	0
23. 5.—24. 5.	60,0	68,1	48,8
24. 5.—27. 5.	87,5	91,9	98,9
27. 5.—28. 5.	98,8	91,9	98,8



INSECT ATTACK ON PINE AND SPRUCE SAWLOGS FELLED DURING THE GROWING SEASON

KARI LÖYTTYNIEMI and OLLI UUSVAARA

Seloste

HYÖNTEISTEN MERKITYS KASVUKAUDEN AIKANA VALMISTETTUJEN MÄNTY- JA KUUSISAHATUKKIEN PILAANTUMISESSA

HELSINKI 1977

OCD 453
IBSN 951-40-0301-2
ISSN 0026-1610

LÖYTTYNIEMI, K. & UUSVAARA, O. 1977. Insect attack on pine and spruce sawlogs felled during the growing season. Seloste: Hyönteisten merkitys kasvukauden aikana valmistettujen mänty- ja kuusisahatukkien pilaantumisessa. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (6):1—48.

The aim of the study is to determine the role of insects in the deterioration of pine and spruce sawlogs felled during the growing season.

The coverage of insects galleries in the logs felled during the spring and early summer was more than 50 % of the bark area but only about 20 % in the logs felled in midsummer, and about 1 % in those felled at the turn on July/August.

The blue stain which spread through insect galleries was more serious than that spreading through cut surfaces and broken bark in the felling lots cut in the spring and early summer. The most important blue stain agents in pine logs were *Tomicus piniperda*, *Ips typographus*, *Ips sexdentatus*, *Orthotomicus proximus*, and *Tomicus minor*, and in spruce logs especially *Ips typographus*, *Orthotomicus proximus* and *Ips sexdentatus*.

Larval holes of *Monochamus* species occurred frequently in the pine logs of the felling lots cut up until midsummer, and *Tetropium* holes in the spruce logs, respectively. Siricid larvae did not cause any damage before the onset of winter. Pinholes bored by *Trypodendron lineatum* were found especially in the logs felled at the beginning of April and May, and occasionally also in the logs cut during the early summer.

Lindane treatment carried out in the spring protected the logs from insect damage up until the autumn, but despite spraying with pentachlorphenol the logs were badly blue stained by the end of the summer.

Logs cut during the spring and early summer were suitable breeding sites for Scolytids harmful to growing trees. However, in North Finland the beetles did not usually manage to leave the logs before the onset of winter.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hyönteisten osuutta kasvukauden aikana valmistettujen havusahatukkien pilaantumisessa varastoinnin aikana.

Hyönteisten syömäkuvioiden peittävyys oli keväällä ja alkukesällä valmistetuissa tukeissa yli 50 % kuoren pinta-alasta, mutta heinäkuun alussa valmistetuissa enää keskimäärin noin 20 % ja elokuun alussa valmistetuissa vain 1 %.

Alkukesän kaatoerissä hyönteisten syömäkuvioiden kautta levinnyt sinistymä oli katkaisupintojen ja kuoren rikkoutumien kautta levinnyttä merkittävämpää. Mäntytukkien tärkeimmät sinistäjät olivat pystynävertäjä, kirjanpainaja, pikakirjoittaja, nyhäkaarnakuoriainen ja vaakanävertäjä. Kuusitukeissa sinistymistä aiheuttivat erityisesti kirjanpainaja, nyhäkaarnakuoriainen ja pikakirjoittaja.

Monochamus-jäärien toukat vioittivat heinäkuun alkuun mennessä valmistettuja mäntytukkeja ja kuusijäärät samojen kaatoerien kuusitukkeja. Puupistiäisten toukat eivät aiheuttaneet vahinkoa syksyyn mennessä.

Tikaskuoriaisten reikiä esiintyi yleisesti varjoisissa varastopaikoissa huhti- ja toukokuun alussa valmistetuissa tukeissa ja satunnaisesti myöhemminkin kaadetuissa.

Lindaaniruiskutuksella voitiin estää hyönteisten aiheuttamat viat koko kesän ajaksi, mutta pentakloorifenoliruiskutuksesta huolimatta tukit sinistyivät syksyyn mennessä.

Keväällä ja alkukesällä valmistetut tukit soveltuivat Etelä-Suomessa kasvavaa metsää vahingoittavien kaarnakuoriaisten lisääntymispaikoiksi. Pohjois-Suomessa tuoreiden tukkien merkitys oli tältä kannalta vähäisempi.

Helsinki 1978. Valtion Painatuskeskus

CONTENTS

Page

1. INTRODUCTION 5
2. MATERIAL AND METHODS 7
3. INSECT SPECIES RECORDED 9
   31. Wood boring species 9
   32. Bark boring species 16
4. CONCLUSIONS 27
5. SUMMARY 31

REFERENCES 33

SELOSTE 37

TABLES 39

1. INTRODUCTION

Unbarked timber stored in the forest during the growing season deteriorates quickly as a result of the activity of micro-organisms and insects, and its subsequent value as raw material decreases. The deterioration of softwood sawlogs is especially harmful because the presence of only slight storage defects in the logs can considerably reduce the subsequent quality and value of the sawn timber.

According to the quality grading norms for sawn timber used in Finland (Vientisahatavaran . . . 1960), the presence of insect holes is regarded as rather serious. Blueing, perhaps the most common defect in sawlogs which reduces the value of the sawn timber, is also often directly or indirectly caused by insects. The presence of insects in logs also promotes the spread of decay. Thus, insects play rather a central role in the deterioration of softwood logs during storage and produce quality losses in the sawn timber. In addition to this, the insects reproducing in the unbarked timber may damage the surrounding forest.

Up until quite recently, softwood sawlogs were mainly harvested in Finland at times other than during the growing season, i.e. during the late autumn and winter. The importance of insects in the deterioration of such timber, if it has to be stored during the following spring and summer, is rather well-known in Finland and other Scandinavian countries (e.g. Lekander and Rennerfelt 1955, Tuovinen 1959, Bakke 1960, Kangas and Salonen 1960, Rummukainen 1964, Wilhelmsen and Foslie 1968). Some studies have also been carried out into the effect of these defects on the subsequent quality and value of the sawn timber (Usvaara and Löyttyniemi 1975).

An attempt is nowadays being made in Finland to increase year-round cutting of sawlogs in the same way as pulpwood cuttings. Thus an ever increasing amount of sawlogs would be harvested and stored during the growing season when they are exposed to agents causing deterioration immediately after cutting. The rate of deterioration and the factors causing different types of storage defects under these conditions have not been, however, precisely known (Hakkila 1964). Particularly, there has not been adequate information available about the role of the insects involved, even though some observations have been made of the insects occurring in timber felled during the summer (Hakkila 1964, Eidmann 1974, Annila 1975, cf. also Schwerdtfeger 1968, Koehler and Kolk 1974).

This study has been carried out to determine the rate and amount of deterioration which occurs during the storage of spruce (*Picea abies* (L). Karst.) and pine (*Pinus sylvestris* L.) sawlogs felled during the growing season. The first part of the study, which is concerned with the deterioration rate of logs and the role of different factors causing defects, and the causes of subsequent quality and value losses in sawn timber has already been published (Uusvaara and Löyttyniemi 1977). The part of the study presented in this publication describes in more detail insect attack on sawlogs felled during the summer and the subsequent deterioration of logs caused by this.

2. MATERIAL AND METHODS

The field experiments were carried out in the experimental forests of the Finnish Forest Research Institute at Bromarv, South Finland (N 60°02′; E 23°02′) 1972—1973, at Tuusula, South Finland (N 60°21′; E 24°59′) 1972—1974, at Punkaharju, East Finland (N 61°46′; E 29°18′) 1973 and 1975, at Rovaniemi (Kivalo) (N 66°20′; E 26°43′) and Inari (Laanila) (N 68°24′; E 27°22′), North Finland 1973 and 1975.

Sawlogs were cut in each of the years in question at the turn of the month (usually on the 1st of the month) starting at the beginning of April and continuing until the beginning of August. At Bromarv and Tuusula logs were also cut at the beginning of September. Both pine and spruce logs were felled at Bromarv, Tuusula and Kivalo, but only pine logs were cut at Punkaharju because the pine insect fauna in the region is rather different from that of Bromarv and Tuusula. Pine logs only were also cut at Laanila, because spruce has no value as sawlogs in the northernmost part of Finland.

The logs were stored on foundation timber in one storey piles. The storage sites at Punkaharju, Kivalo and Laanila were in a semishaded pine dominated stand. At both Bromarv and Tuusula the logs were stored in two different sites — on an open sunny landing in a small clear cut opening, and on a shaded landing in a spruce dominated stand. The storage sites in consecutive years were situated at a small distance from the ones used the previous year. There was no other timber stored close to the storage sites which would have had an effect on the orientation of the insects. There was diverse and abundant populations of bark and wood boring insects in the study areas as a result of the presence of moribund trees in the neighbouring almost virgin stands and the annual cuttings carried out in the region in question.

At Tuusula and Bromarv some of the logs from each felling lot were kept at the storage site for 2, 4 and 6 weeks before being checked for deterioration and test sawing. In addition, one lot of logs were kept on site until the beginning of October. However, the lot from the lots felled at the beginning of April which was to be stored for 2 weeks was omitted, and of the logs cut at the beginning of September only one lot was stored until the beginning of October. Short storage periods of 2—6 weeks were not used at all at Punkaharju, Kivalo and Laanila. Instead all the logs were examined and sawn at the end of September. In all cases each lot of logs of either tree species consisted of 5 logs, a total of 2 342 logs altogether being used.

One or two days before sawing the logs were checked for deterioration and any insects present noted. The logs were either completely or partially debarked and the presence of insects, their stage of development and coverage of their galleries noted. The depth of the insect holes in the wood as well as the depth and extent of blueing in the sapwood was measured. Single larvae samples were taken from all the logs where larvae had bored into the wood, and the larvae then identified in the laboratory. The occurrence of certain insects, such as wood wasps, whose larval holes are not visible from the outside of the log, may have only occasionally come to light when other larvae were being excavated. The presence of similar defects in the sawn timber was checked after sawing.

Window flight traps were set up at the storage sites in order to record the occurrence of insect species at the sites and their flight and attack periods. The traps were of the same type and size as those used by Annila et al. (1972) (cf. Chapman and Kinghorn 1955). The traps were used at Bromarv and Tuusula throughout the course of the experiment, but at Punkaharju, Kivalo and Laanila only in 1973. Three traps were built up on the log piles at each storage site, one of them always being moved to the most recently felled lot of logs. The traps were inspected from one to three times a week and the caught insects preserved in alcohol and subsequently identified and counted in the laboratory.

The weather conditions throughout the country in summers 1972 and 1973 were exceptionally warm, and during the middle of summer 1973 there was less rain than normally. In 1974, early summer was cool and the precipitation throughout the summer was greater than the long term mean. In 1975, it was cool at the turn of May/June (Kolkki 1966, Helimäki 1967). The detailed weather conditions in the study areas as well as the other details concerning the experimental conditions and carrying out of investigation have been described more exactly in the previously published part of the study (Uusvaara and Löyttyniemi 1977).

3. INSECT SPECIES RECORDED

The flight periods and numbers of timber insects present in the study areas, determined on the basis of the window trap material, are presented in Tables 1—5. Data for species present in small numbers only has not been included. In Table 6, the frequency of insects living under the bark is given in such a way that the given frequency class (1—5) refers to the mean occurrence frequency of the species in question in the part of the log where the quality of the bark is suitable for that species. The total coverage of the galleries of the insects expressed as a percentage of the surface area of the bark, the frequency of defects caused by insects in the pieces of sawn timber and their effect on the quality and value of the timber have all been presented earlier (Uusvaara and Löyttyniemi 1977).

In the following, the species recorded during the course of the experiment and their role as agents causing damage to the logs have been grouped into species which cause damage by boring into the wood, and species which live only under the bark and promote the spread of bluestaining and decaying fungi.

31. Wood boring species

Tetropium spp.

Tetropium species (Cerambycidae) are regarded as secondary pests of moribund spruce (Trägårdh 1939, Saalas 1949, Juutinen 1955, 1958). In Central Europe, *Tetropium* species are also known to reduce the technical quality of spruce sawlogs (Schimitschek 1929, 1961, Hellrigl 1974), but in Finland they have not been reported as occurring in timber. In Finland, the species *Tetropium castaneum* (L.) and *Tetropium fuscum* (F.) are distributed throughout the country, the former apparently being more common (Saalas 1949, Juutinen 1955, Lindroth 1960).

Tetropium castaneum was now found in window traps in all the study areas. In addition, a number of specimens of *Tetropium fuscum* were caught at Bromarv and Tuusula (Tables 1—5).

It is apparent from the material caught that the main flight period of *Tetropium castaneum* is from the beginning of June to the middle of July. According to Saalas

(1949) and Juutinen (1955) adult beetles are found from the end of May to the middle of August, most abundantly at the end of June and beginning of July.

All the insect holes found in the wood of spruce logs, apart from those caused by *Trypodendron lineatum*, were made by *Tetropium* larvae. Which of the *Tetropium* species was involved was not determined from the larvae. No *Tetropium* larvae were found in the pine logs, although *Tetropium castaneum* occurred in window traps at Punkaharju and Laanila where only pine logs were used as bait. According to reports from abroad, *Tetropum castaneum* is usually also found in pine (e.g. Plavilštšikov 1955, Hellrigl 1974, cf. also Gardiner 1975).

Tetropium larvae and larval holes were found in all the log lots which had been felled during the spring and in the early summer up until the beginning of July (Table 7). In the first two felling lots, the *Tetropium* holes were almost entirely restricted to the rough thick part of the bark at the butt end of the logs. Later on in the summer, the holes were distributed over the whole surface of the logs. This is presumely due to the fact that the logs in the first felling lots were already nearly completely occupied by other insects before the flight of *Tetropium* started, apart from the thick barked parts of the log butts (Uusvaara and Löyttyniemi 1977, Table 30). There were about 50 % more *Tetropium* holes in the logs stored in the shade than in those stored in the open.

In South Finland, the larvae started to bore into the wood under the bark at the end of August. However, in all cases some of the larvae had not yet started to bore into the wood by the end of September, and in logs felled on the 1st of July the larvae which had not yet started to bore were in the majority. By the end of September the depth of holes varied from 1 to 4 cm. According to Saalas (1949), in Finland pupal cells are usually found in spruce at a depth of 2—3 cm, and in Central Europe down to a depth of 4 cm (Schimitschek 1929). In places where there were larval galleries under the bark, the sapwood had in most cases turned blue down to a depth of 1—2 cm by the end of September. Furthermore, in the logs of the first felling lots the holes penetrating the wood had become strongly bluestained, and blue streaks spread from these points for a number of centimetres in a longitudinal direction.

The results show that *Tetropium* species, obviously *Tetropium castaneum* in particular, are rather destructive insects which reduce the technical quality of green spruce logs. Spruce logs stored on a forest landing in the early summer up until July are susceptible to attack, and considerable damage is caused to the sawn timber if the logs are not sawn before the end of August.

Monochamus spp.

Monochamus species (Cerambycidae) are regarded in Finland as injurious insects which reduce the technical quality of pine and spruce timber which are stored un-

barked over the summer (Saalas 1949, Kangas and Salonen 1960, cf. also Trädgårdh 1929, 1939, Hellrigl 1974). Of the *Monochamus* species found in Finland, *Monochamus sutor* L. is probably the most common and is widespread throughout the whole country. *Monochamus galloprovincialis* Oliv. is also found throughout Finland, but *Monochamus urussovi* Fisch. has not been found in the most northern parts of the country (Saalas 1949, Kangas and Salonen 1960, Lindroth 1960).

Altogether 32 *Monochamus* specimens were collected from the window traps used in this study (Tables 1—5), 25 of them being *M. galloprovincialis* and 7 *M. sutor*. The flight period occurred from the end of June up until the middle of September. The flight period of these species has not been specially studied in Finland, but *Monochamus sutor* adults have been found from the beginning of June until the beginning of September (Saalas 1949, Kangas and Salonen 1960, cf. also Trägårdh 1929).

Monochamus larvae and larval holes were present in pine logs of the first four felling lots and sporadically in Tuusula 1972 in the lots felled at the beginning of August (Table 8). The actual species of *Monochamus* in the larvae samples were not determined. In Poland, it has been shown that *Monochamus galloprovincialis* is more likely to attack pine logs felled during the summer than those felled in May or early spring (Koehler and Kolk 1974). In Canada, pine and spruce logs felled in the spring and summer have been found to be more susceptible to damage caused by *Monochamus scutellatus* than those felled in the previous autumn and winter (Raske 1973).

The reports about the presence of large numbers of *Monochamus* in spruce and pine logs in Finland concern timber felled during the previous autumn and winter (Saalas 1949, Kangas and Salonen 1960, Löyttyniemi 1971). On the other hand, in the experiments carried out by Hakkila (1964), only a few *Monochamus* holes were found in pine and spruce logs felled during the period April—September.

In this study, *Monochamus* was not found to have attacked spruce logs at all. However, according to Saalas (1949) for instance, damage caused by *Monochamus* species occurs in both pine and spruce, more frequently, however, in the latter tree species. The absence of *Monochamus* damage in spruce logs observed in this study may be at least partly due to the pine preferring *Monochamus* fauna present in the study areas. *M. galloprovincialis*, which is said to occur only in pine, was the most common species caught by the window traps, and *M. urussovi* which occurs only in spruce was not observed at all. However, no *Monochamus* damage occurred in spruce logs in Kivalo, even though *M. sutor*, which is known to frequently attack both pine and spruce, was observed. This may be due to the fact that *M. sutor* was not attracted by the fresh logs which were felled in the spring and summer (cf. Saalas 1923, Juutinen 1958).

In these experiments, the damage caused by *Monochamus* larvae varied greatly from year to year, and also from one storage site to another. It is also known from earlier experiments and practical experience that the occurrence of *Monochamus* is rather variable (Tuovinen 1956, 1959, Kangas and Salonen 1960, Hakkila 1964, Rummukainen 1964).

Monochamus species preferred exposed storage sites since 73 % of the larval holes found in Tuusula and Bromarv were in open sunny storage sites. It has also previously been found that damage occurs in sunny places especially (Trägårdh 1929, Saalas 1949).

In pine logs larval holes were found only in the thin or thinnish barked parts of the logs. For this reason, damage occurred more frequently in the intermediate and top logs and the holes found in the butt logs were in the thin barked top parts. According to Trägårdh (1929) and Saalas (1949) however, *Monochamus* primarily damages thick barked logs. The contradictory results obtained in this study may be partly due to the fact that the thick barked parts of the logs had been occupied by other insects before the start of the attack period of *Monochamus* (cf. Saalas 1949). Possibly for this same reason there were many more larval tunnels in the logs felled at the beginning of July when the surface of the logs occupied by other insect species was much smaller (see Uusvaara and Löyttyniemi 1977, Table 30).

In South Finland, the larvae started to bore into the wood under the bark after the middle of August, most of them, however, starting at the beginning of September. In all the study areas, some of the larvae had not yet bored into the wood by the end of September, and in Laanila 1975, none of the larvae had started to bore before the onset of winter. All the holes examined penetrated into the sapwood only and at their deepest reached a depth of 6 cm. Kangas and Salonen (1960) found that 80 % of the larvae had bored into the wood by the 21st of August in pine logs felled during the previous winter. According to Bakke (1960), the holes of *Monochamus sutor* reach their maximum depth by the end of September. Trägårdh (1929) and Saalas (1949) observed that the depth of the holes can be 7—8 cm in the same autumn. Whether or not the larvae are able to survive the winter under the bark under Finnish conditions without boring deeper into the wood, is not known (cf. Hellrigl 1971a).

According to the results from this study, pine logs which are felled during the spring and in the summer up until the beginning of July, are very susceptible to damage caused by *Monochamus* species throughout the whole of Finland. There is less danger in shaded storage sites than in sunny open places. The susceptibility of green spruce logs to *Monochamus* attack may, under Finnish conditions, be less than that of pine logs. If the logs are sawn before the middle of August, sawn timber quality losses caused by *Monochamus* larval tunnels can be avoided.

Other wood boring Cerambycids

In addition to *Tetropium* and *Monochamus* species, some other wood boring Cerambycids occurred in the window trap material.

Criocephalus rusticus (L.), which on the basis of its behavior is classified as a potential pest of green pine logs (cf. Saalas 1949, Sierpinski 1971, Hellrigl 1974), was found in the window traps in all areas apart from Laanila. However, the species was not found to have attacked any logs. In Sweden, larvae of *Criocephalus rusticus* have been observed in pine logs felled in May—June (Eidmann 1974). *Semanotus undatus* (L.) and *Molorchus minor* (L.), which are known to cause technical and physiological damage to spruce, were also present in the traps but not in the logs. *Callidium coriaceum* Payk. was not found in the study areas at all (cf. Saalas 1917, 1923, 1949, Juutinen 1958, Hellrigl 1971b, 1974). No reports have previously been made about damage caused by these species in green timber in Finland.

Of the species known to breed in dry or decayed pine and spruce wood, especially in stumps (Saalas 1923, 1948, 1949, Hellrigl 1974), a few *Asemum striatum* (L.) and *Spondylis buprestoides* (L.), and solitary *Toxotus cursor* L., *Callidium violaceum* L. and *Leptura* spp. were collected in the window traps. Their larvae were not found in the logs. However, Eidmann (1974) has found *Asemum striatum* larvae in green pine logs, and K. Salonen has mentioned that larvae of *Toxotus cursor* occurred in pine logs in connection with his study on *Monochamus* (Kangas and Salonen 1960).

Trypodendron lineatum

Trypodendron lineatum Oliv. (Scolytidae) occurs abundantly throughout the whole of Finland (Lekander et al. 1977). This species is considered to be the insect which causes the most damage to softwood sawlogs stored over spring in Finland at the present time. The pin-holes which penetrate throughout the sapwood lower the technical quality of the wood and also serve to spread blue stain into the wood (Saalas 1949, Rummukainen 1964, Löyttyniemi 1967, Uusvaara and Löyttyniemi 1975).

Trypodendron lineatum occurred in the window traps on all the study areas (Tables 1—5). In South Finland, their flight started during the latter half of April or in the beginning of May, except in Tuusula 1974 where it started exceptionally late on the 14th of May (Uusvaara and Löyttyniemi 1975, Fig. 1). The main flight period lasted up until the end of June but a few specimens were sighted during the end of the summer (cf. Annila et al. 1972). In North Finland the flight period commenced in 1973 about one month later than in South Finland.

In almost all cases, *Trypodendron lineatum* attacked the logs in the first two felling lots (Table 9). In Tuusula 1974 pin-holes were also found in one of the logs of the lot felled on the first of July. However, the density of holes has been, apart from in Laanila 1975, relatively lower than the normal attack density in timber felled during the previous autumn or winter (cf. Rummukainen 1964, Annila 1975, Uusvaara and Löyttyniemi 1975). According to earlier studies, *Trypodendron lineatum* most frequently attack timber prepared in the autumn or early winter, and timber felled during the late winter and early summer remains untouched (Capecki 1967, Christiansen and Saether 1968, Eidman 1974, Annila 1975). However, Hakkila (1964) has shown that *Trypodendron lineatum* also occurs to some extent in logs felled in April—June.

In this study, *Trypodendron lineatum* were found to have attacked logs in the shaded storage sites only in Bromarv and Tuusula. The fact that *Trypodendron lineatum* prefers shaded storage sites has been generally accepted both in practice as well as in experiments, although timber prepared in the autumn and winter may sometimes be damaged also on open sites (Tuovinen 1959, Rummukainen 1964, Ventola 1965, Löyttyniemi 1967).

Most of the holes found in Bromarv, Tuusula, and Kivalo were in spruce logs (77 %). In a number of earlier studies spruce timber has been found to be preferred to pine (Tuovinen 1959, Bakke 1960, Adlers and Butovits 1961, Ventola 1965), although in some cases pine logs have been just as much or even more damaged than spruce logs (Rummukainen 1964, Löyttyniemi 1967, Uusvaara and Löyttyniemi 1975).

According to the observations made in South Finland, when the weather conditions were favourable *Trypodendron lineatum* started to bore into logs already 1—2 days after felling and may have reached their maximum depth two weeks after the start of the flight period. The depth of the holes varied from 1—6 cm, and they were found only in the sapwood. The depth of the holes in North Finland was clearly less than that in South Finland because the logs in North Finland contain less sapwood. Blueing of the sapwood started to appear in the middle of June in those logs felled at the beginning of April and May. The blue stain was darker and more widespread in pine logs than in spruce logs.

In Laanila in Summer 1973, some of the *Trypodendron lineatum* larvae in the logs turned into adults and left the breeding site before the onset of winter, but during the cool summer in 1975 the new generation did not emerge.

According to the results obtained in this study, *Trypodendron lineatum* can damage pine and spruce logs which are felled during the spring and early summer and logs felled in mid-summer may also occasionally be attacked. When felling is carried out during the flight period, significant damage can occur already two weeks after felling. Damage to fresh logs can be prevented by storing the logs in open sunny sites.

Hylecoetus flabellicornis

Hylecoetus flabellicornis Schnd. (Lymexylonidae) breeds in green spruce stumps or the butt parts of dying trees, where the larvae holes penetrate deep into the wood (Saalas 1949, Löyttyniemi 1967). Judging by its normal behaviour, the species is presumably able to attack spruce logs. *Hylecoetus flabellicornis* specimens were now found in the window traps in Tuusula and Bromarv. The flight period was relatively long, from the beginning of June until the end of July. According to Saalas (1949) the species swarms at the end of May and beginning of June. The larval holes of this species were not found in any of the logs. Since no previous reports have been made about *Hylecoetus flabellicornis* damaging green timber, the species is probably unimportant as a timber pest in Finland.

In Central Europe *Hylecoetus dermestoides* L., which has been found to attack birch only in Finland, (Rummukainen 1947, Saalas 1949), is regarded as a harmful pest of green hard- and softwood timber (e.g. Schimitschek 1961, Schwenke 1974). The species has also been found in Sweden in spruce timber (Hedqvist 1969). *Hylocoetus dermestoides* was not found in the logs and window traps used in this study.

Serropalpus barbatus

Serropalpus barbatus (Schall.) (Serropalpidae) attack *Picea* and *Abies* timber in Central Europe (Skatulla 1974). In Finland, although the species has been found to breed in the butt part of dying spruce trees, it is regarded as being quite rare (Saalas 1949, Lindroth 1960). *Serropalpus barbatus* occurred sporadically in the window traps during the middle of the summer at Bromarv and Tuusula. No evidence of it attacking the logs was found. However, the small larval holes are initially difficult to detect in logs and sawn timber.

Siricids

The harmfulness and extent of damage to timber caused by wood wasps (Siricidae) in Finland has not earlier been determined (cf. Franke-Grosmann 1954, Kangas 1961, Morgan 1968). However, of the species occurring in coniferous wood, *Urocerus gigas* (L.) and *Sirex juvencus* (L.) are probably the most common, *Xeris spectrum* (L.) being rarer (Saalas 1949, Nuorteva 1969).

The few wood wasps found in the window traps during the course of this study were all species of *Urocerus gigas*. However, the type of trap used was presumably not very suitable for catching the large wood wasp species, since the number of specimens caught in Bromarv and Tuusula at least, was small compared with the numbers sighted at the storage sites. *Urocerus gigas* specimens were caught and sighted from the beginning of July to the beginning of September, which has also previously

been found to be the main flight period (Nuorteva 1969). In addition, a number of *Sirex juvencus* were seen in flight and on the logs at Bromarv in August 1972.

No wood wasp larval tunnels were found in pieces of sawn timber during the examination. On the other hand, during the inspection of logs before sawing at the end of September, a number of small larval instars were found at a depth of 1—2 cm in the pine logs felled at the beginning of July at Bromarv 1972, the diameter of the holes being at the most 1 mm. There had probably been even more Siricid larvae in the logs, but owing to their small size and abscence of entrance holes they were not noticed when the logs and pieces of sawn timber were inspected, and they have subsequently been removed in the side boards.

The observation would indicate that the development of the Siricid larvae does not progress very much under Finnish conditions during the first summer and autumn, and it may be that the eggs laid at the end of the summer do not hatch at all before the onset of winter (cf. Morgan 1968).

According to the results obtained in this study, it would appear that wood wasps do not damage softwood logs stored for the first year up until the end of August, and that any damage that occurs in the logs by the onset of winter is insignificant. However, the larvae may continue to develop in the large pieces of sawn timber if they are not dried properly or otherwise treated.

32. Bark boring species

Tomicus minor

Tomicus (Blastophagus) minor Hartig (Scolytidae) is common in South and Central Finland but absent in Lapland. It attacks the thinbarked parts of moribund pines or unbarked pine timber (Saalas 1949, Lekander et al. 1977). Rather a large number of the species were collected in the window traps in South Finland, and a few also in Kivalo. Flying mainly occurred in May. In Bromarv 1972, the flight started early, already by the 16th of April, at the same time as the flight of *Tomicus piniperda* (cf. Bakke 1968, Salonen 1973, Eidmann 1974, Löyttyniemi and Hiltunen 1976).

Tomicus minor generally attacked the first two felling lots of pine logs in South Finland (Table 6), but the species was not found at all in any of the logs in North Finland. Galleries occurred only in the thin-barked parts of the stem, and almost without exception, on the under side of the logs. Dark blueing spread from the galleries throughout the whole depth of the sapwood by the middle of June. Since the blue stain spread in an longitudinal direction up to 0,5 m from the gallery, even single galleries of *Tomicus minor* badly injured the log. Thus, although not many galleries of *Tomicus minor* were found in the test logs, it was the insect species causing the greatest amount of blueing in thin-barked pine logs in Bromarv and

Tuusula. Previous reports have also shown that *Tomicus minor* is a serious blueing agent of pine timber, although the frequency of its occurrence has been variable (Francke-Grossmann 1952, Mathiesen-Käärik 1953, Lekander and Rennerfelt 1955, Nylinder 1957, Tuovinen 1959, Rummukainen 1964, Löyttyniemi and Uusvaara 1972).

Tomicus minor was not found in any spruce logs in this study, although it is known to occasionally attack also spruce (Saalas 1949, Rummukainen 1964).

According to the results from this study, in South and Central Finland, thin-barked pine logs which are felled during the spring are very susceptible to become blue stained as a result of attack by *Tomicus minor*. In addition, this species was the only agent causing significant blueing up until the first part of June.

Tomicus piniperda

Tomicus (Blastophagus) piniperda L. is commonly found throughout Finland up to the northern limits for Scots pine (Lekander et al. 1977). It is generally the most common insect species attacking thick-barked pine logs cut in the previous autumn or winter. However, it has not been considered to cause very much damage to timber since blue stain spread quite slowly from its galleries and remains superficial (Tuovinen 1959, Rummukainen 1964, Salonen 1966).

In this study *Tomicus piniperda* occurred in all the study areas (Table 1—5). Swarming commenced at the end of April or beginning of May in South Finland, in Bromarv 1972 already by the 16th of April and later than normal in Tuusula 1974, not until the 14th of May (cf. Bakke 1968, Salonen 1973, Löyttyniemi and Hiltunen 1976).

Tomicus piniperda was the most common insect species found in the thick-barked pine logs of the first two felling lots (Table 6) at all the study sites. Many of its galleries were also found in the lots felled at the beginning of June and sporadically in the 1st of July lots. The sapwood was strongly blued throughout the infested area and, in the first two felling lots at least, *Tomicus piniperda* caused the greatest amount of all blueing found. Blueing started to occur to an appreciable extent about one month after the attack, and by the time that the larvae started to pupate the sapwood was blued right through.

In all the felling lots attacked by *Tomicus piniperda*, a rather large proportion of the egg-galleries established were unsuccessful. This was due to the copious resin flow which occurred during the flight period in the lots felled at the beginning of April and May, especially in the shaded storage sites.

In Laanila 1973, when the summer was exceptionally warm, about half of the progeny appeared to have emerged by the autumn before the onset of winter. In autumn 1975, only a few exit holes were found in the logs, even though a large proportion of the offspring had matured under the bark.

Tomicus piniperda had frequently attacked thick-barked spruce logs in Bromarv and Tuusula and occasionally also in Kivalo, although in every case the attack was either initially unsuccesful or the progeny had died before pupating. The species has also earlier been found to attack spruce but it has never been reported as having managed to reproduce in this tree species (Saalas 1949, Löyttyniemi 1967, Nuorteva and Nuorteva 1968).

The results show that *Tomicus piniperda* is a serious agent of blueing throughout Finland in pine sawlogs cut in the spring and also occasionally in the early summer. If infested logs are sawn within one month after attack, i.e. in the case of the logs felled during the spring in South Finland by the first half of June at the latest, appreciable blue stain defects in sawn timber caused by this insect can be avoided.

Hylurgops palliatus

Hylurgops palliatus Gyll. (Scolytidae) was abundantly present in the window traps at Bromarv and Tuusula, but only a few in the other study areas (cf. Saalas 1949, Nuorteva 1956, Lekander et al. 1977). Their flight time started in South Finland at the end of April/beginning of May at the same time as other early swarming Scolytid species (cf. Subanseene 1971, Löyttyniemi and Hiltunen 1976, Annila 1977).

A few galleries of *Hylurgops palliatus* were found in spruce logs at Bromarv and Tuusula and only sporadically in pine logs. In almost every case, the galleries of the species occurred in the logs which had also been attacked by *Trypodendron lineatum*. No staining was apparent close to the galleries until six weeks after felling, but by the end of September the infested parts of the logs were blued. It thus appears that *Hylurgops palliatus* causes only slight damage to the logs felled during the spring. Rummukainen (1964) has also found that this species causes only slight staining in pine and spruce logs, despite the fact that it is regarded as a essential blueing bark beetle (Mathiesen-Käärik 1953). *Hylurgops palliatus* evidently prefers more seasoned timber than that used in this study (cf. Saalas 1949, Nuorteva 1956, Rummukainen 1964), which explains why only a few galleries were found in the logs despite the fact that the species was present in quite large numbers in the study sites.

Pityogenes spp.

Pityogenes species (Scolytidae) were the most common of the insects found in the spruce logs, and they had heavily infested the logs felled from the spring up until the beginning of July. Galleries were also found in the logs of the lot cut on the 1st of August. The *Pityogenes* species were not as common in pine logs as in spruce ones (Table 6), and they did not occur in the logs at Laanila at all. In pine, galleries of *Pityogenes* species occurred only in the thin-barked region of the logs, and galleries

were also more common in the thin-barked parts of spruce logs than in the thick-barked butt ends. Spruce logs were more infested by *Pityogenes* when stored in the shade, but pine logs in the open sunny sites were more infested.

The logs were not stained to any great extent round the galleries during six weeks of storage but by the end of September shallow blueing was widespread and occasionally staining penetrated the whole of the sapwood. Staining developed slightly faster in the pine logs than in the spruce ones, and was of a darker colour.

The *Pityogenes* species which occurred in the spruce logs was *Pityogenes chalcographus* L. In addition, *Pityogenes quadridens* was also quite often found in spruce logs at Tuusula and Bromarv. The most commonly occurring species in pine logs was *Pityogenes quadridens*, whereas *Pityogenes bidentatus* Hbst. and *Pityogenes chalcographus* were found in smaller numbers (cf. Lekander et al. 1977).

According to the earlier studies, *Pityogenes chalcographus* commonly attacks spruce timber stored over the summer. Pine timber has been less infested, the most common species being *Pityogenes quadridens*. Only slight blueing has been found round the galleries of *Pityogenes* species and sometimes not at all (Lekander and Rennerfelt 1955, Hakkila 1964, Rummukainen 1964). *Pityogenes bidentatus* has been observed to prefer pine logs felled during the summer (Koehler and Kolk 1974).

The flight and attack period of *Pityogenes* species was found in this study to be of long duration, lasting from the middle of May up until August. However, the main flight occurred during the early summer (cf. Saalas 1949, Löyttyniemi and Hiltunen 1976, Annila 1977).

Ips acuminatus

Ips acuminatus Gyll. (Scolytidae) occurred frequently in the window traps and logs at Punkaharju and in North Finland, but not at Bromarv or Tuusula. According to Saalas (1949), the species is presumably distributed in Finland throughout the whole country, more abundantly, however, in the north. However, during the last few decades, *Ips acuminatus* has only occasionally been found in south-western Finland (Lekander et al. 1977). The main flight time occured in summer 1973 during June (cf. Bakke 1968).

Ips acuminatus had attacked the thin-barked parts of pine logs felled at the beginning of April and May in Punkaharju, and also those felled in the middle of the summer in North Finland (Table 6). It has been observed in Poland that *Ips acuminatus* prefers pine timber cut during the summer to that felled in the spring (Koehler and Kolk 1974). The sapwood round the galleries was in every case strongly blued, which agrees with the fact that *Ips acuminatus* is commonly known to be a serious blueing agent in green thin-barked pine timber (Francke-Grossmann 1952, Mathiesen-Käärik 1953, 1960, Salonen 1966).

In addition to pine, *Ips acuminatus* has rarely been observed to attack spruce (Saalas 1949, Nuorteva 1971, Pulliainen 1973), but it was not found in any spruce logs in this study.

In the logs of the first three cuttings in North Finland, some specimens of the new generation emerged before the onset of the winter in the autumn 1973. However, no flight holes were found in the cool summer of 1975.

The results obtained now suggest that *Ips acuminatus* is a serious blueing agent in thin-barked pine logs felled during the spring and early summer in East and North Finland.

Ips amitinus

Ips amitinus Eichh. (Scolytidae) occurred in small numbers in the window traps at Bromarv, Tuusula and Punkaharju during the end of May and June. The species was also found to have attacked logs in the same areas. Its galleries occurred occasionally in the thinnish-barked parts of spruce logs. *Ips amitinus* was also occasionally found in the thick-barked parts of pine logs together with *Ips typographus*, in the greatest numbers at Punkaharju. Blue stain developed round the galleries in both pine and spruce logs throughout the whole depth of the sapwood up till the end of September.

Ips amitinus was first reported in Finland at the beginning of the 1950's (Nuorteva 1955) and it is now commonly found throughout South Finland (Koponen 1975). Flight takes place at the same time as *Ips typographus* and in addition to spruce, the species has also been found in pine (Annila and Nuorteva 1977, Lekander et al. 1977).

Ips sexdentatus

Ips sexdentatus Börn. (Scolytidae) was found both in window traps and logs at Kivalo and Laanila, and occasionally in logs at Punkaharju and Tuusula (Tables 1—6). According to Saalas (1923, 1949), the species has been earlier distributed throughout Finland. However, it has not been found in South Finland during the last decades, even though it is still common in the North (Salonen 1966). The specimens found during the course of this study in Punkaharju and Tuusula are the first to be recorded in South Finland for decades (Löyttyniemi 1975b).

In Kivalo and Laanila, *Ips sexdentatus* had infested logs in all of the first felling lots including the ones felled at the beginning of July. In Punkaharju and Tuusula it occurred in the logs felled during the spring. Koehler and Kolk (1974) observed in Poland that pine timber felled during the summer is preferred to that felled in the spring, and that such timber provides excellent breeding sites for *Ips sexdentatus*.

Ips sexdentatus was almost as common in spruce timber as in pine at Kivalo. It usually occurred in the thick-barked parts of spruce logs, the thin-barked parts of the logs in the same felling lots being occupied predominantly by *Ips typographus*. In the thick-barked parts of pine logs the species occurred together with *Ips typographus*. However, if the thick-barked region were occupied primarily by *Tomicus piniperda*, then *Ips sexdentatus* was also found in the thinner parts of the bark.

The sapwood round the galleries of *Ips sexdentatus* was completely blued both in the spruce and pine logs in South Finland, as well as in Kivalo and Laanila in the summer 1973. According to the observations made in Tuusula in 1973, the sapwood round the galleries was stained throughout its whole depth already by the end of June. *Ips sexdentatus* has also earlier been found to cause blueing in pine timber (Mathiesen-Käärik 1953, 1960, Salonen 1966), although in practice it has not been considered to be a particularly serious blueing agent (Björkman 1946, Lekander and Rennerfelt 1955). The species is mainly regarded as a pine insect, although it has been occasionally found to have attacked also spruce (Saalas 1949, Pulliainen 1973). However, it has not before been reported as causing damage to spruce timber.

In Tuusula 1973, *Ips sexdentatus* started to bore into the logs by the 24th of May and the first adults of the new generation were found by the end of June at the same time as those of *Tomicus piniperda* (cf. Bakke 1968, Löyttyniemi 1975 b). In Laanila 1973, some adults of the new generation left the logs before the onset of winter, whereas in the cool summer of 1975, no exit holes appeared. Numerous exit holes also appeared in spruce logs at Kivalo.

According to the results of this study, *Ips sexdentatus* has to be considered as being one of the most harmful insects to green pine and spruce sawlogs in North Finland. The species may also occasionally damage thick-barked timber felled in the spring in South Finland.

Ips typographus

Ips typographus L. (Scolytidae) occurred frequently in all the study areas apart from Laanila. However, the number of specimens caught in the traps was rather low in comparison to the known and sighted frequency of this species in the study areas (cf. Annila 1975, 1977). This would suggest that this species is less attracted by freshly cut logs than by more seasoned logs (cf. Annila 1977, Annila and Nuorteva 1977).

A large number of *Ips typographus* were found in spruce logs of the first four felling lots, and occasionally also in the logs felled at the beginning of August (Table 6). The greatest number of galleries were situated in the medium thick barked parts of the logs. In addition to spruce logs, *Ips typographus* also frequently occurred in thick-barked pine logs felled during the early summer, especially in the lots not occupied by *Tomicus piniperda*. At Punkaharju and Kivalo, *Ips typographus* occurred

in pine logs with *Ips sexdentatus* in particular. According to the observations made in Bromarv and Tuusula, *Ips typographus* attacked the logs almost as frequently in sunny as in shaded storage sites (Table 6).

The new generation developed successfully also in pine logs and the emergence period from the logs of both tree species was quite the same. In the summer 1975, a large proportion of the new generation did not emerge before the onset of winter in Kivalo, North Finland (cf. Annila 1969).

Ips typographus caused dark blue staining round the galleries in both pine and spruce logs. Appreciable amounts of staining occurred within six weeks of storage only in the lots felled at the beginning of July, and by the end of September the sapwood was completely blued in the logs cut in the spring and early summer, as well as on the 1st of July.

According to previous studies, *Ips typographus* is considered to be the most serious blueing agent of spruce timber (Mathiesen-Käärik 1953, Lekander and Rennerfelt 1955, Hakkila 1964, Rummukainen 1964). The species has not been earlier reported to cause any significant damage to pine timber (cf. Lekander et al. 1977).

According to the results of this study, *Ips typographus* can cause a considerable amount of blueing in pine and spruce timber felled during the spring and early summer up until July. Logs cut before the start of swarming may, in South Finland, be blued to a serious degree already by the end of June.

Orthotomicus spp.

Orthotomicus species (Scolytidae) occurred abundantly at all the study sites in pine and spruce logs of all the earlier felling lots, including those felled at the beginning of July (Table 6). They were slightly more common in pine logs than in spruce ones, and spruce logs were more infested at shaded sites and pine logs at sunny places. By the autumn the parts of the logs occupied by *Orthotomicus* species were blued throughout the depth of the sapwood, except for the logs at Laanila. According to the observations made in Bromarv and Tuusula, there was no staining round the galleries by the end of June. However, within 6 weeks blueing had developed to a depth of 1—2 cm in the logs felled at the beginning of June and caused defects in the sawn timber. In mid-summer, blueing appeared in harmful amounts within 4 weeks after felling.

In the earlier studies, *Orthotomicus* species have not been considered as significant blueing agents of pine and spruce timber (e.g. Rummukainen 1964). Thus it may be that in the fresh logs felled during the spring and summer, blueing round the galleries develops faster and is more extensive than in the logs cut during the previous autumn and winter.

Orthotomicus proximus Eichh. was the most common species in both pine and spruce. *Orthotomicus suturalis* Gyll. was also occasionally found in both tree speeics.

In addition, *Orthotomicus laricis* F. was found in the window traps in all the study areas (cf. Saalas 1917, 1923, 1949, Lekander et al. 1977).

The number of *Orthotomicus proximus* specimens caught in the traps was relatively low compared with the attacking density of the species in the logs (cf. Löyttyniemi and Hiltunen 1976). The flight period was found, at least in South Finland, to be relatively long, from the middle of May till the end of July. According to Saalas (1949), the flight of *Orthotomicus* species takes place mainly in June.

Orthotomicus proximus was now found to have infested the medium thick and tqin-barked parts of top and intermediate logs. The species occurred in the same parts of the pine logs as *Pityogenes* species and *Ips acuminatus*, and together with *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* in spruce logs (cf. Bakke 1968). As has also been observed earlier (Rummukainen 1964, Bakke 1968), the galleries of *Orthotomicus proximus* were mostly to be found on the upper side of the log, especially in North Finland.

In summer 1975 at Laanila, adults of the new generation were found under the bark but they did not leave the logs before winter. In the same summer, however, some exit holes of *Orthotomicus proximus* appeared in Kivalo. Saalas (1949) has reported that the development of *Orthotomicus proximus* is relatively fast since new adults can already be found in South Finland by the middle of July.

According to the results of this study, *Orthotomicus proximus* is a serious damaging agent of fresh pine and spruce logs throughout the country owing to its abundant occurrence, long attack period and blueing tendency. *Orthotomicus suturalis* and *Orthotomicus laricis* appear to be of only minor importance as timber pests.

Other Scolytids

The following Scolytidae species were found occasionally in the window traps and in some of the logs: *Hylastes brunneus* Er., *Hylastes cunicularius* Er., *Polygraphus* sp., *Crypturgus* sp., *Dryocetes* sp. and *Ips duplicatus* Sahlb. In addition, specimens of *Xylechinus pilosus* Ratz., *Hylurgops glabratus* Zett., *Hylastes opacus* Er. and *Cryphalus saltuarius* Weise were found only in the window traps. All of the above mentioned species seem to be rather unimportant as timber pests, at least as regards timber felled in the spring and summer. However, species of *Ips duplicatus*, *Polygraphus* and *Hylastes* for instance, may under certain conditions have some importance (cf. Saalas 1917, 1923, 1949, Rummukainen 1964, Koehler and Kolk 1974, Lekander et al. 1977).

Phaenops cyanea

Larvae of *Phaenops cyanea* F. (Buprestidae) were found at Bromarv in thick-barked pine logs felled at the beginning of June and July and stored in sunny place. The larvae were determined according to Saalas (1923, 1949). No adults of this

species were collected in the traps. In some logs up to 70 % of the thick-barked part was occupied by this species. No blue staining occurred round the galleries within six weeks after felling, but by the end of September the infested parts of the logs were blued throughout the depth of the sapwood. Some of the larvae were already in pupal cavities within the bark by the end of August, thus indicating that the species might be univoltine under favourable conditions in South Finland (cf. Schönherr 1974).

The great black woodpecker (*Dryocopus martius* L.) removed the bark from some of the logs containing *Phaenops cyanea* larvae while looking for larvae at the end of the summer.

Ips typographus galleries occurred in the same logs as *Phaenops cyanea* larvae. The thick-barked parts of the logs from these felling lots which contained neither of these two species were still undeteriorated by the autumn.

Phaenops cyanea is considered to be a secondary attacking pest of dying pines and spruces (Saalas 1923, 1949, Kangas 1946). Although it is known to cause some blueing in the wood, it is not usually regarded as injurious to timber (Saalas 1949, Sierpinski 1971, Eidmann 1974, Koehler and Kolk 1974, Schönherr 1974). According to the observations made in this study, however, the species may occasionally cause harmful blueing in South Finland in thick-barked pine logs felled at the beginning and middle of summer.

A few specimens of *Melanophila acuminata* DeGeer and *Anthaxia quadripunctata* L. occurred in the window traps at Bromarv in July. In addition, a few young instars of Buprestid larvae were found in spruce logs felled at the beginning of July (cf. Saalas 1923, 1949, Schönherr 1974).

Rhagium inquisitor

Small numbers of larvae of *Rhagium inquisitor* L. (Cerambycidae) were found in thick-barked spruce logs from the first two felling lots. A few larvae also occurred in thick-barked pine logs,together with *Acanthocinus aedilis* L. (cf. Eidmann 1974, Koehler and Kolk 1974). The sapwood round the larval galleries was blue stained by the autumn, but owing to the low occurrence frequency of the species, it was relatively unimportant as far as log deterioration was concerned. Rather low numbers of *Rhagium inquisitor* have also been found in timber felled during the previous autumn and winter (Rummukainen 1964). Larval instars only were now found up until the end of September and no pupal chip cells were present. According to Saalas (1949), the species might be bivoltine (cf. Schönherr 1974).

Acanthocinus aedilis

The larvae of *Acanthocinus aedilis* L. (Cerambycidae) occurred abundantly in the pine logs felled at the beginning of April and May at all the study sites, and occa-

sionally in the logs of the following felling lot (Table 6). Most larvae were found in the thick-barked parts of the logs but there were also some in the medium thick parts. The sapwood in the parts of the logs infested with larval galleries was strongly blued by the end of June (cf. Mathiesen-Käärik 1953). It has also earlier been reported that *Acanthocinus aedilis* commonly occurs in thick-barked pine logs (e.g. Rummukainen 1964). According to Saalas (1949) the species breeds also in spruce, but only a few larvae were found in spruce logs in this study.

According to the window trap material (Tables 1—5), the flight time of *Acanthocinus aedilis* takes place in May and June. In Bromarv and Tuusula, some adults of the new generation left the log by the end of August in the summers of 1972 and 1973. During summer 1974 at Tuusula, a few new adults were found but they did not emerge before winter. At Punkaharju in 1975, they had developed only to the pupal stage. According to Saalas (1949) the species is usually univoltine in South Finland. Larval instars only were found in North Finland at the end of September.

Instead of staying under the bark, some of the larvae pupated in the wood, however only at a depth of about 10 mm. In a few cases, the pupal cell became apparent as a defect in the sawn timber, with the result that such pieces of sawn goods were graded as cull (cf. Vientisahatavaran . . . 1960). Pupal cells bored into the wood were also found in the thick-barked areas of the logs, and not only in the thinnish barked areas as Saalas (1949) has reported.

The presence of *Acanthocinus* larvae was found to greatly reduce the propagation of *Tomicus piniperda* in the logs since the number of exit holes of the bark beetle was always small when larvae of *Acanthocinus aedelis* occurred abundantly (cf. Nuorteva 1964, Rummukainen 1964).

According to the observations made in this study, *Acanthocinus aedilis* causes harmful blueing in thick-barked pine logs felled in the spring. However, as the species was always found together with *Tomicus piniperda*, a complete picture of the species alone as a timber pest was not gained.

Pissodes spp.

Pissodes larvae (Curculionidae) were found in pine logs from all the felling lots except those felled at the beginning of September in South Finland and at the beginning of August in North Finland (Table 6). The larvae occurred only in the thinnish-barked parts of the logs, and in South Finland only in the under side of the trunk where they were frequently the only species present. However, in North Finland they were also found in the upper side of the logs.

The species did not cause blueing in pine logs during six weeks storage. The parts of the logs infested from the lots felled in South Finland at the beginning of July or earlier were, however, partly blued by the end of September, especially in the vicinity of the pupal chip cells. No staining was found round the larval galleries of *Pissodes* in logs at Laanila.

Pissodes larvae were occasionally found in spruce logs felled in spring and early summer, but no blueing was apparent. In South Finland, mature larvae in the pupal chip cells occurred in the pine logs in September, but no pupae were found (cf. Saalas 1949).

The most commonly occurring *Pissodes* species in the window traps was *Pissodes pini* L. Most of the larvae present in the pine logs were presumably of this species, although the larvae were not definately identified. Only a few specimens of *Pissodes piniphilus* Hrbst. and *Pissodes harcyniae* Hrbst. were found in the traps.

Pissodes pini and *Pissodes piniphilus* have been earlier reported from stored pine timber, but they are considered to be of little importance as timber pests (Rummukainen 1964, cf. also Pulliainen 1973, Eidmann 1974, Koehler and Kolk 1974).

According to the results obtained in this study, it appears that *Pissodes* species can be considered to have some importance as a blueing agent of green pine logs, especially since they cause damage in those felling lots and parts of the trunks where other insect species are not usually found.

Some specimens of *Hylobius abietis* L. (Curculionidae) were also caught in the window traps at all the study sites. However, no larvae of this species were found in the logs. Its absence from the logs may possibly be due to the fact that the logs were stored away from the ground on foundation timber. *Hylobius abietis* has otherwise been reported from green pine timber (Eidmann 1974, Koehler and Kolk 1974).

4. CONCLUSIONS

Practically all those species of insect which have earlier been considered as damaging agents of timber in Finland, were found in the logs used in this study. In addition, many of the species regarded as potential damaging agents of unbarked timber were observed in flight at the study sites. Thus obviously almost all the species which could damage green logs, as well as their practical importance, have been covered in this study (Saalas 1917, 1919, 1923, 1949, Kangas and Salonen 1960, Tuovinen 1959, Hakkila 1964, Rummukainen 1964).

The most important of the species which have not been earlier reported as damaging agents of timber in Finland, were the *Tetropium* species. However, it is possible that in practice the larval holes made by this species in spruce logs have been mistakenly attributed to the action of *Monochamus* species, because they both belong to the same category in the quality grading (Vientisahatavaran... 1960, cf. Schmititschek 1929, Saalas 1949, Juutinen 1955, Schönherr 1974). It was also not earlier known that *Ips typographus*, and also to some extent *Ips amitinus*, cause significant amounts of blueing in pine logs, and correspondingly *Ips sexdentatus* in spruce logs. The presence of *Ips typographus* in pine, as well as that of *Ips sexdentatus* in South Finland (Löyttyniemi 1975), may be due to the fact that *Tomicus piniperda* was not able to gain a dominant position in the breeding site material which became available in late spring since its swarming time is earlier. The reason why *Phaenops cyanea* attacked some of the pine felling lots may possibly be the same.

Blueing did not start to appear in the logs to a detrimental degree in South Finland until the middle of June. However, it usually took at least four weeks after felling to develop. Furthermore, during the middle of summer blue staining did not usually develop until 4 weeks after felling, although when the weather in July was warm it could appear after 2 weeks (cf. Hakkila 1964). The blue stain in logs of lots felled in the spring, including those felled at the beginning of June, had mainly spread through the insect galleries. On the other hand, blueing in the lots felled at the beginning of July and August had mainly arisen from infection via the cut surfaces of the logs and breaks in the bark (cf. Uusvaara and Löyttyniemi 1977, Tables 1 and 30), and this type of blueing was common

enough also in the spring and early summer felling lots to cause serious damage to the saw logs, without any insects being present. Thus, if the logs are to be protected from blue stain by chemical means, both insecticides and fungicides should be applied in early summer but only fungicides are needed at the end of summer starting at the beginning of July. According to this study, lindane spraying carried out in the spring protects the logs from insect attack right up until autumn, but the effect of pentachlorphenol spraying had worn off by the end of the summer (cf. Uusvaara and Löyttyniemi 1977 p. 18, Table 9).

The most important insects causing blueing in thick-barked pine logs were *Tomicus piniperda* throughout the whole country, *Ips sexdentatus* in North Finland and *Ips typographus* throughout the whole country apart from the northernmost regions. As far as the blueing of the thin-barked parts of pine logs was concerned, *Orthotomicus proximus* was the most important species throughout the whole country, together with *Ips acuminatus* in East and North Finland and with *Tomicus minor* in South Finland.

The most important species causing blue stain in spruce logs were *Ips typographus* and *Orthotomicus proximus* throughout the whole country, and *Ips sexdentatus* in North Finland.

Tomicus piniperda and *Orthotomicus proximus* have not earlier been considered as causing blueing to any great degree, although they occur in large numbers in logs (Rummukainen 1964). Thus these species obviously caused more blueing in green logs felled in the spring and early summer than in lots felled earlier.

Less blueing was now found in the vicinity of the galleries of the most commonly occurring bark beetle in spruce logs, *Pityogenes chalcographus*, than those of any other under-bark species, as has been found in the case of old logs felled during the winter (Rummukainen 1964). The obvious reason for this is that the egg-galleries of *Pityogenes chalcographus* in thick-barked logs are initially only in the bark itself, and do not reach the sapwood.

According to the results obtained in this study, logs felled in the spring and early summer are also susceptible to attack by *Trypodendron lineatum*, which fact is quite contrary to what has generally been assumed (cf. Annila 1975). Pinholes of harmful depth can already be found in logs in South Finland by the middle of May. Thus if logs are not to be damaged they cannot be kept at least in shaded forest storage sites after this date, although as far as other factors causing deterioration are concerned, storage time can be extended at least up until the first half of June.

Holes made by *Trypodendron lineatum* were especially common in the logs used in North Finland. However, the practical significance of such damage in North Finland is reduced by the fact that the proportion of sapwood in the pine logs is smaller than in the south (Hakkila 1968), and thus the valuable scantlings are usually free from such damage.

The larvae of *Monochamus* and *Tetropium* species damaged a considerable portion of the logs stored over the middle of August. However, in practice the significance

of these pests is reduced by the fact that the logs in question were already in any case badly blued and decayed at the time when the larval tunnels were being bored into the wood. The practical significance of the tunnels of Cerambycids is also reduced by the fact that *Monochamus* larvae were only to be found in low value thin-barked logs and furthermore, the defects caused by *Tetropium* larvae in spruce logs could in many cases be removed by shortening the pieces of sawn timber.

No larval tunnels of Siricids were found in the sawn timber, although young larval instars were found in the logs at the end of the summer. Thus wood wasps cause only slight damage to sawlogs during the first summer of storage. Whether or not the young larval instars can continue their development in the sawn timber is not known, but at least in the case of later larval instars it can, according to observations, take place (S a a l a s 1949). If, as is usually the case with in particular wood for export, the sawn timber is kiln-dried, the larvae will in any case be destroyed.

The species which are considered to be potential damaging agents of saw-logs, *Criocephalus rusticus*, *Hylecoetus flabellicornis* and *Serropalbus barbatus* were sighted in flight at the storage sites, but not found to have attacked any of the logs. Thus they do not appear to have any general significance under Finnish conditions as timber pests. On the other hand, the fact that Cerambycid species, *Semanotus undatus*, *Callidium coriaceum* and *Monochamus* species living on spruce were not found in spruce logs may be due to their absence from the study areas.

When comparing the effect of storage at shady sites within the forest and in open clear cut areas on deterioration of the logs, it is apparent that spruce logs are less damaged in the open than in the shade. This conclusion is primarily based on the fact that *Trypodendron lineatum* holes were absent from logs stored in the open, where damage caused by *Tetropium* species was also less common. As a result of the absence of damage caused by *Trypodendron lineatum*, pine logs also were in better condition when stored in the open at the beginning of summer, although there was no longer any clear difference between storage sites in the case of logs stored later on in the summer.

These results obtained now can also be exploited, along with practical cutting of sawlogs, when drawing up plans for the harvesting of trees felled by storms for which no precise study about their susceptibility to deterioration has been carried out.

Timber stores are important breeding sites for bark beetles which damage growing trees (S a a l a s 1919, K a n g a s 1946, 1961, S a l o n e n 1973). It was found in this study that for instance *Tomicus piniperda* and *Ips typographus* were able to propagate in large numbers in quite green logs felled during early summer in South Finland. On the other hand, in North Finland the importance of such logs as breeding sites for *Tomicus piniperda* was very slight, since they were not usually able to leave the breeding site before the onset of winter. *Ips typographus* are able to over-winter as young adults under the bark (A n n i l a 1969), but it is not known whether *Tomicus piniperda* can do this or not (cf. S a l o n e n 1973). In old timber, *Tomicus*

piniperda is usually able to mature and leave the log in northern Finland (Kangas 1961, Salonen 1966, 1973), since it can successfully attack such timber immediately in the initial stage of the flight period.

When the importance of green timber as a breeding site for bark beetles in North Finland is being estimated, attention should also be paid to the fact that timber felled also at the beginning of summer under these conditions is still suitable for the breeding of bark beetles the following spring if the beetles have not occupied the timber during the first summer.

The results of this study show that the insect fauna which attack green saw-logs felled during the growing season, and also their importance, differ in many respects from those in old logs felled the previous autumn or winter, although no fully comparible studies have earlier been carried out (cf. Hakkila 1964, Eidmann 1974, Koehler and Kolk 1974). From the point of view of practical timber protection, insects have the greatest effect on timber stored in May and June, since in the absence of insects the logs could be kept with only slight losses right up until the latter half of June.

5. SUMMARY

The purpose of the study was to determine the effect of the time of felling and the duration of log storage time on the quality and value of sawn timber when the trees are felled during the growing season. The first part of the study, which is concerned with the different factors causing defects and the subsequent quality and value losses in sawn timber has already been published (Uusvaara and Löyttyniemi 1977). The part of the study presented now describes in more detail insect attack on the logs.

For the study pine and spruce saw-logs were prepared monthly throughout the growing season at 5 sites in South and North Finland during the period 1972—1975. Test logs of each felling lot were stored for 2, 4 and 6 weeks and test sawings were performed at the turn and middle of the months in question. Some of the logs were stored until the end of the growing season. Before sawing the logs were inspected for insect attack and deterioration. The investigation material consisted of 2 342 logs altogether. Practically all those insect species which have earlier been considered as timber pests in Finland, were found in the logs.

On the average, the insect galleries in the logs felled at the beginning of April, May and June covered over half of the surface area of the bark. The coverage fell sharply in the lots felled at the beginning of July to an average value of about 20 %, and to only about 1 % in those felled at the beginning of August. The total coverage was greater in pine logs stored in the open than in those in the shade. There were no clear differences as regards the spruce logs.

The most important blueing agents in thick-barked pine logs based on their frequency and ability to cause blueing, were *Tomicus piniperda*, *Ips typographus* and *Ips sexdentatus*. *Orthotomicus proximus* especially caused blueing in the thin barked parts of pine logs throughout the country, *Tomicus minor* in South Finland and *Ips acuminatus* in East and North Finland. The most important blueing agents of spruce logs were *Ips typhographus*, *Orthotomicus proximus* and *Ips sexdentatus*.

Ips typographus and *Ips amitinus* were especially found in those pine log lots felled at the beginning of the summer which had not become infested with earlier swarming *Tomicus piniperda*.

As well as Scolytids, *Acanthocinus aedilis* also caused blueing in pine logs felled in the spring, and *Pissodes* spp. and occasionally *Phaenops cyanea* in lots felled in the middle and end of summer.

Trypodendron lineatum were found to usually attack pine and spruce logs felled at the beginning of April and May and also occasionally those felled at the beginning of June and July. The holes in the early felling lots represented defects in sawn timber already in the middle of May about two weeks after the start of swarming.

Larval holes of *Monochamus* species were only found in pine logs, most frequently in the lots felled at the beginning of June and July and occasionally in the earlier two felling lots. Apart from *Trypodendron lineatum*, *Tetropium* spp. were the only hole-boring insects in spruce logs, their larval holes being common in all the early felling lots including the ones felled at the beginning of July. The larvae of both *Monochamus* and *Tetropium* did not start to bore into the wood under the bark until the latter half of August, so that they only caused defects in logs still stored after this time.

Siricid larvae were occasionally found in some of the logs, but they did not have time to grow large enough to damage the log significantly before the onset of winter.

The blue stain which spread through the insect galleries was more serious than that spreading through cut surfaces and broken bark in the felling lots cut in the spring and early summer. However, it was apparent from all the felling lots that blue stain spreading via breaks in the bark and cut surfaces alone can cause serious damage to the saw-logs. Thus, it is not possible to protect saw-logs from blue stain at the beginning of summer through insect control measures. Only damage caused by *Trypodendron lineatum* in May can be prevented, thus preventig deterioration up until the first half of June when blueing starts to become significant.

Hole defects caused by Cerambycid larvae can also be prevented by treatment with lindane. However, from the practical point of view this is of only slight help because the felling lots which are attacked by *Monochamus* and *Tetropium* are in any case badly deteriorated by the end of August as a result of blueing and decay.

Green saw-logs cut during the spring and early summer were suitable breeding sites for Scolytid species harmful to growing trees. However, in North Finland, these beetles did not usually manage to leave the breeding site before the onset of winter.

REFERENCES

ADLERS, E. & BUTOVITSCH, V. 1961. Orienterande insektskadeundersökningar på tallsågtimmer i Norrland åren 1959—1960. Rapp. Inst. Virkeslära 30: 1—33.

ANNILA, E. 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). Ann. Zool. Fenn. 6: 161—208.

—»— 1975. Effect of felling date of trees on the attack density and flight activity of *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae). Commun. Inst. For. Fenn. 86 (6): 1—17.

—»— 1977. Seasonal flight pattern of spruce bark beetles. Ann. Ent. Fenn. 43: 31—35.

—»—, BAKKE, A., BEJER-PETERSEN, B. & LEKANDER, B. 1972. Flight period and brood emergence in *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae) in the Nordic countries. Commun. Inst. For. Fenn. 76 (4): 1—28.

—»— & NUORTEVA, M. 1977. Dates of attack and emergence of *Ips amitinus* Eichh. (Col., Scolytidae) in Finland. Ann. Ent. Fenn. 43: 28—30.

BAKKE, A. 1960. Insektskader på urbarket gran- og furutømmer i Norge. Summary: Insect injuries to unbarked spruce and pine timber in Norway. Medd. Norske Skogforsøksv. 16: 287—333.

—»— 1968. Ecological studies on bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) associated with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) in Norway, with particular reference to the influence of temperature. Medd. Norske Skogsforsøksv. 83: 443—602.

BJÖRKMAN, E. 1946. Om uppkomsten av stockblånad och lagringsröta i furusågtimmer i samband med flottning. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 35: 1—56.

CAPECKI, Z. 1967. Drwalnik pascowany — *Trypodendron lineatum* Ol. (Scolytidae, Coleoptera) na terenie Polski. Referat: Der gestreifte Nutzholzborkenkäfer — *Trypodendron lineatum* Ol. (Scolytidae, Coleoptera) in Polen. Prace Inst. Bad. Leśn. 314: 3—80.

CHAPMAN, J. A. & KINGHORN, J. M. 1955. Window flight traps for insects. Canad. Ent. Ent. 87: 46—47.

CHRISTIANSEN, E. & SAETHER, T. 1968. Infestation density of *Trypodendron lineatum* (Oliver) (Coleoptera Scolytidae) in Relation to felling date of logs. Norsk Ent. Tidskr. 15: 28—30.

EIDMANN, H. H. 1974. Versuche über den Verlauf des Schwärmens von Borkenkäfern und des Insectenbefalls an Kiefernholz in Mittelschweden. — Studia For. Suec. 113: 1—26.

FRANCKE-GROSMANN, H. 1952. Über die Ambrosiazucht der beiden Kiefernborkenkäfer *Myelophilus minor* Htg. und *Ips acuminatus* Gyll. Medd. Statens Skogsforskningsinst. 41 (6): 1—52.

—»— 1954. Tierische Holzschädlinge: Holzwespen. Holz Roh- und Werkstoff 12: 35—38.

GARDINER, L. M. 1975. Insect attack and value loss in wind-damaged spruce and Jack pine stands in Northern Ontario. Canad. J. For. Res. 5: 387—398.

HAKKILA, P. 1964. Kesäaikana valmistettujen paperipuitten ja sahatukkien kuivuminen ja varastoviat. Summary: The seasoning and the storage defects of pulpwood and saw logs prepared in the summer. Commun. Inst. For. Fenn. 58 (4): 1—108.

—»— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 66 (8): 1—59.

HEDQVIST, K.-J. 1969. Kanske en virkeförstörare. Skogen 56: 206.

HELIMÄKI, U. J. 1967. Tabels and maps of precipitation in Finland, 1931—1960. Meteorol. Yearb. Finland 66, 2, Suppl. 1—22.

HELLRIGL, K. G. 1971a. Einige neue Erkenntnisse über die Bionomie der europäischen *Monochamus*-Arten (Col. Cerabyc.). Anz. Schädlingskunde und Pflanzenschutz 44: 3—8.

—»— 1971b. Untersuchungen über das Auftreten und die Lebensweise des Wellenbockes *Semanotus undatus* L. (Col., Cerambycidae). Anz. Schädlingskunde und Pflanzenschutz 44: 70—76.

—»— 1974. Cerambycidae, Bockkäfer. In: Schwenke, W. 1974. Die Forstschädlinge Europas II: 130—202.

JUUTINEN, P. 1955. Zur Biologie und forstlichen Bedeutung der Fichtenböcke (*Tetropium* Kirby) in Finnland. Acta Ent. Fenn. 11: 1—112.

—»— 1958. Tutkimuksia metsätuhojen, etenkin hyönteisvaurioiden merkityksestä Pohjois-Suomen kuusikoissa. Referat: Untersuchungen über die Bedeutung der Waldverheerungen, insbesondere der Insektenschädigungen, in den Fichtenbeständen Nordfinnlands. Commun. Inst. For. Fenn. 50 (1): 1—92.

KANGAS, E. 1946. Kuusikoiden kuivuminen metsätuho- ja metsänhoidollisena kysymyksenä. Referat: Über die vertrockung der Fichtenbestände als Waldkrankheits- und Waldbaufrage. Acta For. Fenn. 52 (5): 1—92.

—»— 1961. Waldschädlingsprobleme, hervorgerufen durch die jüngste Entwicklung auf dem Gebiete des Waldbaues und der Forstbenutsung in Finland. Proc. XI. Int. Kongr. Ent., Wien 1960. 2: 167—171.

—»— & SALONEN, K. 1960. Über das Vorkommen der *Monochamus*-Arten (Col., Cerambycidae) und ihre Bekämpfungsmöglichkeiten in Finnland. Ann. Ent. Fenn. 26: 263—272.

KOEHLER, W. & KOLK, A. 1974. Badania nad wplywem letniej ścinki na dynamike populacji szkodników wtórnych. Referat: Untersuchungen über den Einfluss der Sommerfällung auf die Populationsdynamik der Sekundarschädlinge. Prace Inst. Bad. Lesn. 463: 3—58.

KOLKKI, O. 1966. Tabels and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Meteorol. Yearb. Finland 65, 1a, Suppl: 1—42.

KOPONEN, M. 1975. Distribution of *Ips amitinus* Eichh. (Coleoptera, Scolytidae) in Finland in 1950—1973. Ann. Ent. Fenn. 41: 65—69.

LEKANDER, B., BEJER-PETERSEN, B., KANGAS, E. & BAKKE, A. 1977. The distribution of bark beetles in the Nordic countries. Acta Ent. Fenn. 32: 1—37 + 78 Maps.

—»— & RENNERFELT, E. 1955. Undersökningar över insekts- och blånadsskador på sågtimmer. Summary: Investigations of damage caused by bark beetles and blueing fungi in saw timber. Medd. Statens Skogsforskn.Inst. 45 (8): 1—36.

LINDROTH, C. 1960. Catalogous Coleopterorum Fennoscandiae et Daniae. Entomologiska Sällskapet i Lund. 476 p.

LÖYTTYNIEMI, K. 1967. Tikaskuoriaisesta (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) kuorellisen havupuutavaran pilaajana. Referat: Über Beschädigungen des berindeten Nadelholzes durch *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae). Silva Fenn. 1: 49—57.

—»— 1971. Kuorellisen puutavaran suojaaminen syksyllä. (Protection of timber with lindane spraying before the onset of winter). Metsä ja Puu 1971 (9): 13—14.

—»— 1975a. Lindaanin huuhtoutumisesta suojaruiskutetun mäntykuitupuun kuoresta rumpukuorimon jäteveteen. Summary: Transfer of lindane from bark of insecticide sprayed pine pulwood into the effluent from a barking drum. Paper and Timber 57: 666—668.

—»— 1975b. On the Occurrence of *Ips sexdentatus* (Börner) (Col., Scolytidae) in South Finland. Ann. Ent. Fenn. 41: 134—135.

—»— & HILTUNEN, R. 1976. Effect of nitrogen fertilization and volatile oil content of pine logs on the primary orientation of Scolytids. Commun. Inst. For. Fenn. 88 (6): 1—19.

—»— & UUSVAARA, O. 1972. Hyönteisten aiheuttaman mäntykuitupuun sinistymisen vaikutuksesta massan laatuun. Summary: Effect on the quality of pulp of blueing of pine pulpwood caused by fungi associated with insects. Paper and Timber 54: 472—474.

MATHIESEN-KÄÄRIK, A. 1953. Eine Übersicht über die gewöhnlichsten mit Borkenkäfern assozieerten Bläuepilze in Schweden und einige für Schweden neue Bläuepilze. Medd. Statens Skogsforskn.Inst. 43 (4): 1—74.

—»— 1960. Studies on the ecology, taxonomy and physiology of Swedish insect-associated blue stain fungi, especially the genus *Ceratocystis*. Oikos 11: 1—25.

MORGAN, F. D. 1968. Bionomics of Siricidae. Ann. Rew. Ent. 13: 239—256.

NUORTEVA, M. 1955. Fennoskandialle uusi kaarnakuoriaislaji *Ips amitinus* Eichh. tavattu Suomesta. Referat: *Ips amitinus* Eichh. (Col., Scolytidae), neu für Fennoskandien. Ann. Ent. Fenn. 21: 30—32.

—»— 1956. Über den Fichtenstamm-Bastkäfer, *Hylurgops palliatus* Gyll. und seine Insektenfeinde. Acta Ent. Fenn. 13: 1—118.

—»— 1964. Über den Einfluss der Menge des Brutmaterials auf die Vermehrlichkeit und die natürlichen Feinde des Grossen Waldgärtners *Blastophagus piniperda* L. (Col., Scolytidae). Ann. Ent. Fenn. 30: 1—17.

—»— 1969. Beobachtungen über die Taxonomie und Bionomie von *Urocerus gigas* (L.) und *Sirex juvencus* (L.) (Hym., Siricidae). Ann. Ent. Fenn. 35: 160—168.

—»— 1971. Die Borkenkäfer (Col., Scolytidae) und deren Insektenfeinde im Kirchspiel Kuusamo, Nordfinnland. Ann. Ent. Fenn. 37: 65—72.

—»— & NUORTEVA, P. 1968. The infestation of timber by bark beetles (Col., Scolytidae) and their enemies in different zones of the Finnish southwestern archipelago. Ann. Ent. Fenn. 34: 56—65.

NYLINDER, P. 1957. Fortsatta undersäkningar över lagringsskador hos flottat sågtimmer. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 11: 1—20.

PLAVILŠTŠIKOV, 1955. Sem. Cerambycidae. Izd. Akad. Nauk SSSR. Vrediteli Lesa Spravotšnik II: 493—546.

PULLIAINEN, E. 1973. Infestation of timber by beetles on a subarctic fell in northeastern Lapland in 1972. Ann. Zool. Fenn. 10: 365—371.

RASKE, A. G. 1973. Relationship between felling date and larval density of *Monochamus scutellatus*. Bi-m. Res. Notes 29: 23—24.

RUMMUKAINEN, U. 1947. Über das Auftreten des Laubholzbohrers, *Hylecoetus dermestoides* L. (Col., Lymexylonidae) an Birken. Ann. Ent. Fenn. 13: 144—148.

—»— 1964. Hyönteisten aiheuttamasta tuoreen kuorellisen havupuutavaran pilaantumisesta ja sen kemiallisesta estämisestä. Summary: On deterioration of green softwood caused by insects and its chemical control. Commun. Inst. For. Fenn. 58 (5): 1—67.

SAALAS, U. 1917. 1923. Die Fichtenkäfer Finnlands. I—II. Ann Acad. Scient. Fenn. A. VIII: 1—547, XXII: 1—746.

—»— 1919. Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä. Referat: Über die Borkenkäfer und den durch sie verursachten Schaden in den Wäldern Finnlands. Acta For. Fenn. 10: 1—415.

—»— 1948. Lahopuussa elävistä kovakuoriaisista ja niiden merkityksestä. Summary: On beetles living in decayed wood and their significance. Ann. Ent. Fenn. 14. Suppl: 189—196.

—»— 1949. Suomen metsähyönteiset. (Forest Insects of Finland). 719 s. Helsinki.

SALONEN, K. 1966. Obsĕrvations on *Ips sexdentatus* (Boern.) (Col., Scolytidae) as a bluer of timber at Inari (InL) in the summer of 1965. Ann. Ent. Fenn. 32: 88—96.

—»— 1973. On the life cycle, especially on the reproduction biology of *Blastophagus piniperda* L. (Col., Scolytidae). Acta For. Fenn. 127: 1—72.

SCHIMITSCHEK, E. 1929. *Tetropium gabrieli* Weise und *Tetropium fuscum* F. Ein Beitrag zu ihrer Lebensgeschicte und Lebensgemeinschaft. Z. Angew. Ent. 15: 229—334.

—»— 1961. Beschädigungen des Rohholzes durch Insekten am Waldlager un deren Ferhütung. Anz. Schädlingsk. 34: 153—158.

SCHWENKE, W. 1974. Familienreihe Malacodermata. In: SCHWENKE, W. 1974. Die Forstschädlinge Europas II: 10—18.

SCHWERDTFEGER, F. 1968. Käferbefall und Verblauung an sommergefälltem nicht entrindetem Kiefernholz. Forst und Holzwirt 23: 50—52.

SCHÖNNHERR, J. 1974. Buprestidae, Prachtkäfer. In: SCHWENKE, W. 1974. Die Forstschädlinge Europas II: 31—55.

SIERPINSKI, Z. 1971. Szokliwe owady w drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych. Summary: Harmful insects in forests stands on farm abandoned lands. Sylwan 115: 1—17.

SKATULLA, U. 1974. Familienreihe Heteromera. In: SCHWENKE, W. 1974. Die Forstschädlinge Europas II: 77—85.

SUBANSENEE, W. 1971. Flight period and emergence in Denmark of the adult bark beetle *Hylurgops palliatus* Gyll. (Coleoptera, Scolytidae). R. Veter. Agric. Univ. Yearb. 1971: 114—123.

TRÄGÅRDH, I. 1929. Om tallbockens skadegörelse och bekämpande. Summary: On the injury caused by the pine sawyer (*Monochamus sutor* L.) and its prevention. Medd. Statens Skogförsöksanst. 25: 171—228.

—»— 1939. Sveriges Skogsinsekter. 508 p. Stockholm.

TUOVINEN, A. 1956. Kuorellisten mäntytukkien pilaantumisesta. Summary: On the deterioration of unbarked pine logs. Metsäteho Julk. 34: 1—48.

—»— 1959. Kuorellisten havutukkien hyönteispilaantuminen ja sen ehkäisy. Summary: Insect damage to unbarked softwood logs and its prevention. Metsäteho Julk. 42: 1—45.

UUSVAARA, O. & LÖYTTYNIEMI, K. 1975. Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Summary: Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) on sawn timber quality and value. Folia For. 231: 1—14.

—»— & LÖYTTYNIEMI, K. 1977. The effect of injuries caused by summer storage of sawlogs on the quality and value of sawn timber. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (3): 1—61.

VENTOLA, H. 1965. Tikaskuoriaisen sahatukeille aiheuttamien vahinkojen torjunnasta. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 82: 350—352.

Vientisahatavaran lajitteluohjeet. 1960. (Grading rules of export sawn goods). Suomen Sahateollisuusmiesten yhdistys. 51 p. Helsinki.

WILHELMSEN, G. & FOSLIE, M. 1968. Lagringsskader på ubarket skurtømmer og effekten av sprøyting med insekt- og soppdrepende midler. Summary: Damage of unbarked coniferous sawlogs and the effect of insecticides and fungicides. Medd. Norske Skogforsøksv. 25: 239—330.

SELOSTE

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kaatoajankohdan ja tukkien varastointiajan pituuden vaikutusta sahatavaran laatuun ja arvoon valmistettaessa tukit kasvukauden aikana. Tutkimuksen aikaisemmin julkaistussa osassa (U u s v a a r a ja L ö y t t y n i e m i 1977) on käsitelty tukkien pilaantumisen aiheuttamia sahatavaran laatu- ja arvotappioita. Nyt esitettävä osa tutkimusta käsittelee hyönteisten osuutta sahatukkien pilaantumisessa. Aikaisemmin ei kesäaikana valmistettujen sahatukkien pilaantumista käytettäessä suhteellisen lyhyitä varastointiaikoja ole Suomessa yksityiskohtaisesti selvitetty ja vertailukelpoisia tietoja ei ole muualtakaan ollut saatavissa.

Tutkimus suoritettiin vuosina 1972—1975. Bromarvissa ja Tuusulassa valmistettiin mänty- ja kuusitukkeja kuukausittain alkaen maalis—huhtikuun vaihteesta elo—syyskuun vaihteeseen saakka. Jokaisen kaatoerän tukkeja pidettiin varastossa 2, 4 ja 6 viikkoa, minkä lisäksi osa tukeista säilytettiin varastossa syyskuun lopulle asti. Etelä-Suomessa tehtyjen tutkimusten lisäksi suoritettiin vertailevia tutkimuksia myös Itä-Suomessa Punkaharjulla ja Pohjois-Suomessa Rovaniemellä (Kivalo) ja Inarissa (Laanila). Yhteensä materiaali käsitti 2 342 sahatukkia.

Ennen sahausta tukit tarkastettiin pilaantumisasteen ja pilaantumista aiheuttaneiden tekijöiden toteamiseksi ja sahauksen jälkeen sahatavarakappaleet tarkastettiin ja luokiteltiin vientisahatavaran luokitusohjeiden mukaisesti. Tarkastuksessa kiinnitettiin sinistymä-, laho- ja halkeamavikojen ohella erityistä huomiota eri hyönteislajien ja niiden aiheuttamien vikojen esiintymiseen. Varastointipaikoilla esiintyvää puutavarahyönteiskantaa ja niiden lentoaikoja selvitettiin lisäksi lentopyydysten avulla.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1. Hyönteisten syömäkuvioiden peittävyys oli huhti-, touko- ja kesäkuun alussa kaadetuissa tukeissa keskimäärin yli 50 % kuoren pinta-alasta, mutta peittävyys laski jyrkästi myöhemmin kesällä ollen noin 20 % heinäkuun alussa kaadetuissa tukeissa ja 1 % elokuun alussa kaadetuissa tukeissa. Syyskuun alussa kaadetuissa tukeissa ei esiintynyt enää mitään hyönteisiä.

2. Kesäkuun puoleen väliin asti varastoituna olleissa tukeissa sinistymä oli levinnyt pääasiassa hyönteisten syömäkuvioiden kautta. Kesäkuun lopulla ja heinäkuussa hyönteisten syömäkuvioiden kautta levinnyt sinistymä ja kuoren rikkoutuminen ja katkaisupintojen kautta levinnyt oli suunnilleen yhtä merkittävää, kun taas loppukesällä kaikki esiintynyt sinistyminen oli jälkimmäistä tyyppiä. Mikäli hyönteisiä tai kuoren rikkoutumia ei esiintynyt, paksukuoriset tukit säilyivät Etelä-Suomessa lähes pilaantumatta keskikesältä alkaen ja Pohjois-Suomessa koko kesän ajan.

3. Pystynävertäjä (*Tomicus piniperda*), kirjanpainaja (*Ips typographus*) ja pikakirjoittaja (*Ips sexdentatus*) olivat paksukuoristen mäntytukkien haitallisimmat sinistymistä aiheuttavat hyönteislajit. Ohutkuoristen mäntytukkien sinistymistä aiheuttivat ennen muuta nyhäkaarnakuoriainen (*Orthotomicus proximus*) koko maassa, vaakanävertäjä (*Tomicus minor*) Etelä-Suomessa ja okakaarnakuoriainen (*Ips acuminatus*) Itä- ja Pohjois-Suomessa. Kuusitukkien merkittävimmät sinistäjät olivat kirjanpainaja, nyhäkaarnakuoriainen ja pikakirjoittaja.

4. Jäärien (*Monochamus*, *Tetropium*) toukkien kaivamia reikiä esiintyi kevään ja alkukesän kaatoerien tukeissa 1. heinäkuuta kaadetut erät mukaan luettuina. Jäärien toukkien esiintyminen tukeissa aiheutti tukkien teknistä vioittumista kuitenkin vasta loppukesällä, sillä toukat alkoivat kaivautua kuoren alta syvemmälle puuhun vasta elokuun loppupuolella. Täten jäärät eivät aiheuta vahinkoa, mikäli tukit sahataan elokuun puoliväliin mennessä. Jäärien merkitystä vähentää se, että ne tukit, joissa niiden aiheuttamia vahinkoja esiintyy ovat siinä vaiheessa joka tapauksessa myös pahoin sinistymän ja lahon pilaamia.

5. Puupistiäiset (*Urocerus*, *Sirex*) eivät nyt tehtyjen havaintojen mukaan ehdi aiheuttaa merkittävää vahinkoa tukeille ennen talven tuloa.

6. Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum*) reikiä esiintyi yleisesti varjoisissa varastopaikoissa huhti- ja toukokuun alussa kaadetuissa tukeissa ja satunnaisesti myöhemminkin kesällä kaadetuissa. Etelä-Suomessa haitallisen syviä reikiä esiintyi jo toukokuun puolivälissä ja tikaskuoriainen oli ainoa hyönteislaji, joka aiheutti vikaa ennen kesäkuun puoliväliä.

7. Elintapojensa ja ulkomaisten kokemusten perusteella tuoreiden sahatukkien mahdollisina teknisinä tuholaisina pidettyjä lajeja — mm. ruskojäärää (*Criocephalus rusticus*), valeseppää (*Serropalpus barbatus*) ja havupuupiirtäjää (*Hylecoetus flabellicornis*) — ei esiintynyt tukeissa.

8. Nyt tutkituissa kasvukauden aikana valmistetuissa tukeissa esiintyvä puutavarahyönteislajisto erosi aikaisemmin tutkittujen edellisen syksyn ja talven aikana kaadettujen tukkien hyönteislajistosta mm. siten, että pystynävertäjä ja nyhäkaarnakuoriainen osoittautuivat erittäin haitallisiksi sinistäjiksi. *Monochamus*-jääriä esiintyi nyt vain mäntytukeissa ja *Tetropium*-jäärät todettiin vahingollisiksi kuusitukkien pilaajiksi. Aikaisemmin tuntematonta oli myös se, että kirjanpainaja voi esiintyä runsaana myös männyssä aiheuttaen haitallista sinistymää ja pikakirjoittaja vastaavasti kuusitukeissa.

9. Suoritetut suojauskokeet osoittivat, että keväällä suoritetulla lindaaniruiskutuksella voidaan hyönteisten aiheuttamat viat estää koko kesän ajaksi, mutta pentakloorifenoliruiskutuksesta huolimatta tukit sinistyivät pahoin syksyyn mennessä.

10. Tukit olivat Etelä-Suomessa soveltuvia lisääntymispaikkoja kasvavaa metsää vahingoittaville kaarnakuoriaisille männyn osalta keväällä kaadetut tukit 1. kesäkuuta kaadetut erät mukaan lukien ja kuusen osalta vielä 1. heinäkuuta kaadetut erät mukaan luettuina. Pohjois-Suomessa, erityisesti Laanilassa, tuoreiden sahatukkien merkitys haitallisten kaarnakuoriaisten lisääjinä oli kuitenkin vähäinen, koska vain osa jälkeisöä ehti aikuistua ja jättää lisääntymispaikan ennen talven tuloa.

TABLES

Table 1. The numbers of timber insects collected in the window flight traps at Bromarv, 1972—1973
Taulukko 1. Lentopyydyksillä kerättyjen puutavarahyönteisten määrät Bromarvissa 1972—1973.

Insect species *Hyönteislaji*		April *Huhtikuu*		May *Toukokuu*			June *Kesäkuu*			July *Heinäkuu*			August *Elokuu*			September *Syyskuu*		
		20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Tomicus minor	72	5	—	243	1	408	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	4	—	25	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tomicus piniperda	72	206	4	1 345	1	26	5	9	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	308	12	86	169	10	5	3	—	—	1	3	2	2	—	—	—
Hylurgops palliatus	72	72	11	2 937	32	39	—	14	1	—	—	—	—	—	1	2	1	—
	73	—	1 169	77	2 006	155	—	—	—	—	—	—	—	—	4	3	—	11
Hylastes brunneus / *Hylastes cunicularius*	72	—	—	20	1	260	68	1 731	47	6	4	3	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	2	1 516	1 323	98	31	21	1	2	1	—	—	—	—	—
Trypodendron lineatum	72	—	—	158	1	36	14	230	17	—	—	—	—	—	—	—	1	—
	73	—	3	—	589	435	242	37	24	72	5	—	—	1	2	—	—	—
Pityogenes bidentatus	72	—	—	—	—	49	30	10	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	26	7	30	32	35	5	—	1	—	—	—	—	—
Pityogenes chalcographus	72	—	—	—	—	711	260	113	42	22	19	16	2	2	1	—	—	—
	73	—	—	—	2	353	231	452	853	83	18	6	8	—	—	—	—	—
Pityogenes quadridens	72	—	—	127	235	308	185	20	16	25	5	1	—	4	—	—	—	—
	73	—	—	48	286	228	35	144	27	11	—	—	1	—	—	—	—	—
Ips amitinus	73	—	—	—	—	8	2	1	2	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Ips typographus	72	—	—	—	—	19	5	15	3	—	2	8	1	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	24	30	3	3	10	1	8	—	1	—	—	—	—
Orthotomicus spp.	72	—	—	—	—	78	56	7	3	1	2	—	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus laricis	73	—	—	—	—	8	2	2	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus proximus	73	—	—	—	—	34	2	15	6	2	2	—	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus suturalis	73	—	—	—	—	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Melanophila acuminata	72	—	—	—	—	—	—	—	1	4	2	—	—	—	—	—	—	—
Hylocoetus flabellicornis	72	—	—	—	—	2	3	2	—	4	6	7	—	—	—	—	—	—
Serropalpus barbatus	72	—	—	—	—	—	—	—	—	5	5	5	—	—	—	—	—	—
Rhagium inquisitor	72	—	—	—	—	3	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	4	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Leptura rubra	73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—
Spondylis buprestoides	72	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4	1	—	1	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	—	—	—	4	13	12	4	1	—	—	—	—	—
Criocephalus rusticus	72	—	—	—	—	—	—	—	—	14	22	6	3	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	—	—	—	1	8	—	—	—	—	—	—	—	—

| | | |

Table 2. The numbers of timber insects collected in the window flight traps at Tuusula, 1972—1974.
Taulukko 2. Lentopyydyksillä kerättyjen puutavarahyönteisten määrät Tuusulassa 1972—1974.

Insect species *Hyönteislaji*		April *Huhtikuu*		May *Toukokuu*			June *Kesäkuu*			July *Heinäkuu*			August *Elokuu*			September *Syyskuu*		
		20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Tomicus minor	72	—	—	105	1	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	1	95	33	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	155	15	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tomicus piniperda	72	—	—	775	9	61	11	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	52	285	39	120	8	3	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	301	79	60	25	2	2	—	1	—	—	—	—	—	—
Hylurgops palliatus	72	—	—	2 085	60	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	57	3 330	415	54	—	1	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—
	74	—	—	—	1 568	314	32	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hylastes brunneus / *Hylastes cunicularies*	72	—	—	2	—	83	1 137	258	87	5	4	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	2	74	288	128	10	—	—	—	2	—	—	1	—	—
	74	—	—	—	86	40	91	1 665	317	27	4	7	3	—	—	—	—	—
Trypodendron lineatum	72	—	—	83	3	23	163	17	29	7	2	1	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	233	315	1 168	742	64	59	1	1	—	1	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	16	3	4	26	8	4	9	44	6	—	—	—	—	—
Pityogenes bidentatus	72	—	—	—	—	18	16	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	6	1	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	—	1	1	28	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Pityogenes chalcographus	72	—	—	—	—	220	950	948	1 286	28	16	8	3	2	1	1	—	—
	73	—	—	2	82	366	690	661	524	31	36	17	1	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	10	11	244	1 308	1 282	337	52	31	—	—	—	—	—	—
Pityogenes quadridens	72	—	—	8	3	13	5	38	17	2	1	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	18	13	1	4	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	36	21	77	29	15	6	—	—	—	—	—	—	—	—
Ips amitinus	72	—	—	—	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	73	—	—	—	—	9	—	—	—	—	6	1	—	1	—	—	—	—
	74	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Ips typographus	72	—	—	—	—	1	31	9	14	3	—	2	1	2	1	1	—	—
	73	—	—	—	—	55	59	19	7	1	13	6	—	—	—	—	—	—
	74	—	—	—	—	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ips sexdentatus	73	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus spp.	72	—	—	—	7	8	14	3	1	2	2	1	—	—	—	—	—	—

| | | |

Table 3. The numbers of timber insects collected in window flight traps at Punkaharju, 1973.
Taulukko 3. Lentopyydyksillä kerättyjen puutavarahyönteisten määrät Punkaharjulla 1973.

Insect species *Hyönteislaji*	April *Huhtik.*	May *Toukokuu*			June *Kesäkuu*			July *Heinäkuu*			August *Elokuu*			Sept. *Syyskuu*
	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
Tomicus minor	—	21	10	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tomicus piniperda	—	203	35	38	2	—	4	7	26	16	4	—	—	—
Hylurgops palliatus	—	38	31	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hylastes brunneus / *Hylastes cunicularius*	—	—	—	1 299	2 323	153	187	14	6	6	—	1	—	—
Trypodendron lineatum	—	5	5	5	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pityogenes bidentatus	—	—	—	21	120	2	409	16	1	2	—	—	—	—
Pityogenes chalcographus	—	—	1	63	298	28	36	78	50	27	3	—	—	—
Pityogenes quadridens	—	—	2	14	8	1	3	—	—	—	—	—	—	—
Ips acuminatus	—	—	—	—	13	2	5	—	1	2	1	—	1	—
Ips amitinus	—	—	—	—	—	—	5	9	17	20	—	—	1	—
Ips typographus	—	—	—	—	2	—	—	4	3	5	—	—	—	—
Orthotomicus spp.	—	—	—	1	7	2	8	6	—	2	1	—	—	—
Rhagium inquisitor	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Spondylis buprestoides	—	—	—	—	—	—	12	7	10	8	3	—	—	—
Criocephalus rusticus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—
Asemum striatum	—	—	—	—	2	3	1	2	—	—	1	—	—	—
Tetropium castaneum	—	—	—	—	—	—	3	1	1	2	—	—	—	—
Monochamus galloprov.	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Acanthocinus aedilis	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hylobius abietis	—	—	—	1	4	1	1	—	—	—	—	—	—	—
Pissodes pini	—	—	—	6	5	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Urocerus gigas	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—

Table 4. The numbers of timber insects collected in window flight traps at Kivalo, 1973.
Taulukko 4. Lentopyydyksillä kerättyjen puutavarahyönteisten määrät Kivalossa 1973.

Insect species *Hyönteislaji*	May *Toukokuu*	June *Kesäkuu*			July *Heinäkuu*			August *Elokuu*			September *Syyskuu*
	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
Tomicus minor	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—
Tomicus piniperda	—	—	6	1	3	1	—	—	—	—	—
Hylurgops palliatus	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—
Hylastes brunneus / *Hylastes cunicularius*	—	—	126	518	13	—	—	—	—	—	—
Trypodendron lineatum	—	—	11	110	22	7	3	—	1	—	—
Pityogenes bidentatus	—	—	101	145	32	—	—	—	—	—	—
Pityogenes chalcographus	—	—	576	983	192	18	13	—	—	—	—
Pityogenes quadridens	—	—	28	71	16	1	1	—	1	—	—
Ips acuminatus	—	—	20	37	5	2	18	—	1	1	—
Ips sexdentatus	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—
Ips typographus	—	—	53	114	13	1	—	—	1	1	—
Orthotomicus laricis	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
Orthotomicus proximus	—	—	69	84	9	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus suturalis	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	—
Rhagium inquisitor	—	—	13	43	13	—	—	—	—	—	—
Criocephalus rusticus	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
Asemum striatum	—	—	1	3	1	—	—	—	—	—	—
Tetropium castaneum	—	—	—	7	2	—	—	—	—	—	—
Monochamus sutor	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—
Acanthocinus aedilis	—	—	—	2	1	—	—	—	—	—	—
Hylobius abietis	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—
Pissodes pini	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—

Table 5. The numbers of timber insects collected in window flight traps at Laanila, 1973.
Taulukko 5. Lentopyydyksillä kerättyjen puutavarahyönteisten määrät Laanilassa 1973.

Insect species *Hyönteislaji*	May *Toukokuu*	June *Kesäkuu*			July *Heinäkuu*			August *Elokuu*			September *Syyskuu*
	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
Tomicus piniperda	1	—	1	3	3	4	2	2	4	7	—
Hylurgops palliatus	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Hylastes brunneus / *Hylastes cunicularius*	—	2	711	1 858	24	12	4	1	—	1	—
Trypodendron lineatum	1	2	—	1	—	1	—	—	—	—	—
Pityogenes bidentatus	—	—	18	446	2	102	37	3	—	1	—
Pityogenes quadridens	—	—	17	19	3	—	8	—	—	—	—
Ips acuminatus	—	—	165	1 025	110	23	33	9	—	15	—
Ips sexdentatus	—	—	8	35	4	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus laricis	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—
Orthotomicus proximus	—	—	1	3	1	1	—	—	—	—	—
Orthotomicus suturalis	—	—	1	5	—	1	1	—	—	—	—
Rhagium inquisitor	—	—	4	—	—	2	—	—	—	—	—
Asemum striatum	—	—	—	3	2	—	—	—	—	—	—
Tetropium castaneum	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
Monochamus sutor	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Acanthocinus aedilis	—	—	1	4	—	1	1	—	—	—	—
Pissodes pini	—	—	1	3	—	1	—	—	—	—	—

Table 6. The coverage of insect galleries as percentage of the bark surface area of the test logs by felling times at the end of September. (1 = <1 %; 2 = 1—5 %; 3 = 6—20 %; 4 = 21—50 %; 5 = 51—100 %; P = pine, S = spruce.)

Taulukko 6. Hyönteisten syömäkuvioiden peittävyys prosentteina koetukkien kuoren alasta kaatoajankohdittain syyskuun lopussa. (1 = <1 %; 2 = 1—5 %; 3 = 6—20 %; 4 = 21—50 %; 5 = 51—100 %; P = mänty, S = kuusi.)

Insect species *Hyönteislaji*	Bromarv										Tuusula										Punkaharju					Kivalo								Laanila				
	1. 4.		1. 5.		1. 6.		1. 7.		1. 8.		1. 4.		1. 5.		1. 6.		1. 7.		1. 8.		1. 4.	1. 5.	1. 6.	1. 7.	1. 8.	1. 4.		1. 5.		1. 6.		1. 7.		1. 4.	1. 5.	1. 6.	1. 7.	1. 8.
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	P	P	P	P	P	S	P	S	P	S	P	S	P	P	P	P	P
Tomicus minor	2	—	3	—	—	—	—	—	—	—	2	—	2	—	1	—	—	—	—	—	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tomicus piniperda ...	5	1	5	1	3	—	1	—	—	—	5	1	4	—	1	—	—	—	—	—	5	4	1	—	—	5	1	4	—	—	—	—	—	5	5	2	—	—
Hylurgops palliatus ..	1	2	1	2	—	—	—	—	—	—	—	2	1	1	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pityogenes spp.	2	4	2	4	2	4	1	4	—	2	2	4	3	4	3	4	2	4	—	2	1	2	3	2	—	1	2	2	2	1	1	—	2	—	—	—	—	—
Ips acuminatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	—	—	—	2	—	1	—	—	—	2	—	2	4	3	1	—
Ips amitinus	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	—	1	—	1	1	1	—	2	—	—	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ips sexdentatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	1	2	—	—	—	1	2	1	1	2	2	2	—	2	2	4	1	—
Ips typographus	—	3	—	4	3	4	1	2	—	2	—	3	2	3	1	3	—	2	—	1	2	2	2	3	—	2	5	2	5	4	5	—	4	—	—	—	—	—
Orthotomicus spp. ...	3	2	3	2	3	1	2	1	—	—	4	2	3	2	3	3	2	1	—	—	4	3	3	2	—	4	2	4	2	3	3	2	—	3	2	2	2	1
Phaenops cyanea	—	—	—	—	2	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rhagium inquisitor ..	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	1	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Acanthocinus aedilis ..	3	1	2	—	—	—	—	—	—	—	3	1	3	—	1	—	—	—	—	—	4	3	—	—	—	3	—	3	—	—	—	—	—	3	3	2	—	—
Pissodes spp.	2	1	2	1	2	—	2	1	1	—	2	1	2	—	1	—	2	1	1	—	2	3	1	1	—	2	—	2	—	2	—	3	—	1	1	2	1	—

Table 7. The average number of *Tetropium* holes per spruce log at the end of September. (A = sunny storage, B = shaded storage.)

Taulukko 7. Kuusijäärien toukkakäytävien esiintyminen kuusitukeissa syyskuun lopussa. Toukkakäytäviä keskimäärin kpl/tukki. (A = aukea varastopaikka, B = varjoinen varastopaikka.)

Felling time *Kaatoaika*	Bromarv				Tuusula						Kivalo	
	1972		1973		1972		1973		1974		1973	1975
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
1. 4.	0	28,0	0	0	0,4	5,2	2,4	4,0	0	0	0	0
1. 5.	26,8	20,0	1,6	0	0,8	0	11,4	4,0	5,4	2,6	0	1,2
1. 6.	13,6	6,0	10,0	..	0	2,0	7,6	82,0	0,6	1,0	5,0	9,2
1. 7.	21,8	49,0	0	30,8	66,0	22,0	0	14,4	9,4	0,2	1,6	4,2
1. 8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1. 9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—

Table 8. The average number of *Monochamus* holes per pine log at the end of September.
(A = sunny storage, B = shaded storage.)

Taulukko 8. Monochamus-jäärien toukkakäytävien esiintyminen mäntytukeissa syyskuun lopussa. Toukkakäytäviä keskimäärin kpl/tukki.
(A = aukea varastopaikka, B = varjoinen varastopaikka.)

Felling time *Kaatoaika*	Bromarv				Tuusula						Punkaharju		Kivalo		Laanila	
	1972		1973		1972		1973		1974		1973	1975	1973	1975	1973	1975
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B						
1. 4.	0	0	..	0	8,0	5,6	0	0	0	0	1,0	3,2	0	3,4	5,8	0
1. 5.	0	0	1,6	0	6,2	0	0	0	0	0	1,6	0	0	1,8	0	0
1. 6.	3,2	0	3,8	2,0	15,6	0	14,8	0	0	0	0	0,6	0	0	5,0	0
1. 7.	4,6	0	13,8	6,4	57,0	24,0	16,0	14,4	0	0	0	0	12,4	0	0	0
1. 8.	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1. 9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—

Table 9. The average number of *Trypodendron lineatum* holes per log at the end of September at shaded storage sites. (P = pine, S = spruce.)
Taulukko 9. Tikaskuoriaisen reikien esiintyminen tukeissa syyskuun lopussa varjoisassa varastopaikassa. Reikiä keskimäärin kpl/tukki. (P = mänty, S = kuusi.)

Felling time *Kaatoaika*	Bromarv				Tuusula						Punkaharju		Kivalo				Laanila	
	1972		1973		1972		1973		1974		1973	1975	1973		1975		1973	1975
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	P	P	S	P	S	P	P
1. 4.	2,0	0,8	0	8,6	0	5,9	0	0	3,2	0	1,2	3,2	1,0	0	10,2	24,2	0	256,3
1. 5.	0,2	6,7	0	0,4	0	0	0,3	0,2	0	0	0,8	0	0	0	1,0	14,8	4,4	56,0
1. 6.	0	0	0	..	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,4	1,0	0
1. 7.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
1. 8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1. 9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Holopainen, Viljo, professori, MMT, *Professor, DF*
Tiedotuspäällikkö — *Information officer:* Heiramo, Tuomas, VTM, *M.Pol.Sc.*
Toimittaja — *Editor:* Oja, Seppo, ekonomi, *B.Econ.*

MAANTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Huikari, Olavi, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor:* Sirén, Gustaf, MMT, *DF*
Erikoistutkijat — *Senior research specialists:* Leikola, Matti, MMT, *DF*, Lähde, Erkki, MMT, *DF*

METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST GENETICS*
Professori — *Professor:* Hagman, Max., MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Koski, Veikko, FT, *Ph.D*

METSÄNSUOJELUN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST PROTECTION*
Metsäpatologia — *Forest Pathology:*
Professori — *Professor:* Kallio, Tauno, MMT, *DF*
Metsäeläintiede — *Forest Zoology:*
Professori — *Professor:* Juutinen, Paavo, MMT, *DF*

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST INVENTORY AND YIELD*
Metsäninventointi — *Forest Inventory:*
Professori — *Professor:* Kuusela, Kullervo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Tiihonen, Paavo, MMT, *DF*
Puuntuotos — *Forest Yield:*
Professori — *Professor:* Vuokila, Yrjö, MMT, *DF*

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST TECHNOLOGY*
Puuntutkimus — *Utilization of Forest Products:*
Professori — *Professor:* Heiskanen, Veijo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Metsätyötiede — *Forest Operations:*
Professori — *Professor:* Hakkila, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Harstela, Pertti, MMT, *DF*

METSÄEKONOMIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS*
Kansantaloudellinen metsäekonomia — *Social Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Heikinheimo, Lauri, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Palo, Matti. MMT, *DF*
Liiketaloudellinen metsäekonomia — *Business Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Hämäläinen, Jouko, MMT, *DF*

MATEMAATTINEN OSASTO — *DEPARTMENT OF MATHEMATICS*
Professori — *Professor:* Seppälä, Risto, VTT, *D.Pol.Sc.*

KOKEILUALUETOIMISTO — *EXPERIMENTAL FOREST OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Luoma, Kauko, ylimetsänhoitaja, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610