

FOLIA FORESTALIA 105

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1971

PERTTI HARSTELA

TYÖJÄRJESTYKSEN VAIKUTUS TYNKÄKAR-
SITUN JA LIKIPITUISEN KUUSIKUITUPUUN
TEOSSA

THE EFFECT OF THE SEQUENCE OF WORK
ON THE PREPARATION OF APPROXIMATELY
3-M, ROUGH-LIMBED SPRUCE PULPWOOD

- N:ot 1—18 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 1—41.
 Nos. 1—18 are listed in publications 1—41 of the Folia Forestalia series.
- N:ot 19—55 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 19—96.
 Nos. 19—55 are listed in publications 19—96 of the Folia Forestalia series.
- 1969 No 56 Terho Huttunen: Länsi-Suomen havusahatukkien koko ja laatu vuonna 1966.
 The size and quality of coniferous sawlogs in western Finland in 1966. 1,50
- No 57 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista.
 Skogsforskningsinstitutets beslut beträffande omvandlingskoefficienterna och kuberings-tabellerna, som används vid virkesmätning. 28,80
- No 58 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 2. Maan eteläpuoliskon mänty, kuusi ja koivu. 2,50
- No 59 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 3. Männyn ja kuusen uudet paperipuutaulukot. 2,50
- No 60 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 4. Maan pohjoispuoliskon mänty ja kuusi. 2,—
- No 61 Matti Aitolahdi ja Olavi Huikari: Metsäojien konekaivun vaikeusluokitus ja hinnoittelu.
 Classification of digging difficulty and pricing in forest ditching with light excavators. 1,—
- No 62 Kullervo Kuusela ja Alli Salovaara: Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan mestävarat vuonna 1968.
 Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1968. 3,—
- No 63 Arno Uusvaara: Maan ja metsän omistus Suomessa v. 1965 alussa ja sen kehitys v. 1957—65.
 Land and forest ownerships in Finland 1965 and their development during 1957—65. 2,50
- No 64 Timo Kurkela: Haavanruosteeseen esiintymisestä Lapissa.
 Leaf rust on aspen in Finnish Lapland. 1,—
- No 65 Heikki Ravela: Metsärunko-ojien mitoitus.
 Dimensioning of forest main ditches. 1,50
- No 66 Matti Palo: Regression models for estimating solid wood content of roundwood lots. 1,50
- No 67 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1967—69.
 Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1967—69. 2,50
- No 68 Lauri Heikinheimo, Seppo Paananen ja Hannu Vehviläinen: Stumpage and contract prices of pulpwood in Norway, Sweden and Finland in the felling seasons 1958/59—1968/69 and 1969/70. 2,50
- No 69 U. Rummukainen ja E. Tanskanen: Vesapistooli ja sen käyttö.
 A new brush-killing tool and its use. 1,—
- No 70 Metsätilastollinen vuosikirja 1968.
 Yearbook of forest statistics 1968. 6,—
- No 71 Paavo Tiihonen: Rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvat puutavaralajitaulukot. 1,—
- No 72 Olli Makkonen ja Pertti Harstela: Kirves- ja moottorisahakarsinta pinotavaran teossa.
 Delimiting by axe and power saw in making of cordwood. 2,50
- No 73 Pentti Koivulehto: Juurakoiden maasta irrottamisesta.
 On the extraction of stumps and roots. 1,50
- No 74 Pertti Mikkola: Metsähukkapaun osuus hakkuupoistumasta Etelä-Suomessa.
 Proportion of wastewood in the total cut in southern Finland. 1,50
- No 75 Eero Paavilainen: Tutkimuksia levitysajankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin suometsissä.
 Influence of the time of application of fast-dissolving fertilizers on the response of trees growing on peat. 2,—
- 1970 No 76 Ukko Rummukainen: Tukkimiehintäin, *Hylobius abietis* L., ennakkotorjunnasta taimitarhassa.
 On the prevention of *Hylobius abietis* L. in the nursery. 1,50
- No 77 Eero Paavilainen: Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä.
 Experimental results of the afforestation of swampy fields. 2,—
- No 78 Veikko Koskela: Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskeokentällä.
 On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. 2,—
- No 79 Olavi Huikari—Pertti Juvonen: Työmenekki metsäojituksessa.
 On the work input in forest draining operations. 1,50
- No 80 Pertti Harstela: Kasausajan ja valtimonlyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla.
 Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests pulse study and frequency analysis. 1,50
- No 81 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1968—69.
 Stumpage prices in private forests during cutting season 1968—69. 1,—
- No 82 Olavi Huuri, Kaarlo Kytökorpi, Matti Leikola, Jyrki Raulo ja Pentti K. Räsänen: Tutkimuksia taimityyppi- ja laatuolosuhteiden vaikutuksesta taimien morfologisiin ominaisuuksiin. I Vuonna 1967 metsänviljelyyn käytettyjen taimien morfologiset ominaisuudet.
 Investigations on the basis for grading nursery stock. I The morphological characteristics of seedlings used for planting in the year 1967. 1,50

Pertti Harstela

TYÖJÄRJESTYKSEN VAIKUTUS TYNKÄKARSITUN JA LIKIPITUISEN
KUUSIKUITUPUUN TEOSSA

The effect of the sequence of work on the preparation
of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood

Summary

ALKUSANAT

Työ kuuluu osana metsäteknologian osastossa suoritettaviin tutkimuksiin, joiden tarkoituksena on selvittää työn tuotoksen lisäksi ergonomisia kysymyksiä sekä etsiä keinoja ergonomisten ongelmien ratkaisemiseksi eri työmenetelmissä.

Tutkimus suoritettiin yhteistyössä Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen kanssa, jonka osuutena oli moottorisahan melun mittaus käytännön olosuhteissa. Tästä osuudesta vastaa tohtori KAUKO AHO, ja tulokset julkaistaan myöhemmin. Työntekijän sykearvojen mittaus tapahtui Työterveyslaitoksen välineillä, ja niiden hoitajana toimi tutkimusapulainen KARI KAARTO. Maastotöihin osallistuvat metsäteknikko HANNU KALAJA, kenttämes-

tari SAULI TAKALO, työnjohtaja SAKARI ERHOLZ sekä metsät. yo. MARKKU MÄKELÄ.

Metsäteknologian osaston päällikkö, professori VEIJO HEISKANEN on antanut monia arvokkaita ohjeita työtäni varten. Metsäntutkimuslaitoksen puolesta tarkastajana toimi maattaisen osaston päällikkö, vt. professori HANNU VÄLIAHO. Työn suunnittelussa olen saanut apua metsänhoitaja KLAUS RANTAPUULTA. Konekirjoituksesta vastasivat rouva AUNE RYTKÖNEN ja neiti RAIJA SIEKKINEN. Piirrokset on laatinut yo. TARJA KALLIALA, ja laskentatöissä auttanut yo. SINIKKA AIROLA.

Kiitän kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

Helsingissä maaliskuun 2 päivänä 1971

Pertti Harstela

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ALKUSANAT	1
SUMMARY IN ENGLISH	3
1. JOHDANTO	5
11. Metsätyön kuormittavuus	5
12. Tärinän haittavaikutuksista	5
13. Pinotavaran teon työjärjestys ja työn tuotos	6
14. Tutkimustehtävä	6
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO	7
21. Näytteen valinta	7
22. Tutkimusaineisto	7
23. Aineiston käsittely ja ennustamisen mahdollisuus	9
3. TUTKIMUSTULOKSET	10
31. Työtä kuvaavan mallin konstruointi	10
32. Työn tuotos eri työjärjestyksiä käytettäessä	10
33. Työntekijän kuormittuminen eri työjärjestyksiä käytettäessä	12
34. Tärinän ja melun altistus- ja elpymisajat eri työjärjestyksiä käytettäessä	15
4. TIIVISTELMÄ	17
KIRJALLISUUSLUETTELO	19

SUMMARY IN ENGLISH

The purpose of this study was to draw up a model concerning the effect of changing sequences (three different sequences of work) in the preparation of spruce pulpwood on the expenditure of working time, the stress on the worker and the time he is exposed to and takes to recover from the vibration and noise of the power saw. The working method employed was the preparation of approximately 3-m rough-limbed pulpwood into bunches alongside the strip road.

The work sequences studied were as follows:

Work sequence 1. The logger cut about five trees at a time, limbed the upper side for the distance of one bolt, did the bucking and if necessary turned the bolt to facilitate limbing of the lower side. All the trees cut by the logger were thus prepared into bolts before the bolts were bunched.

Work sequence 2. The logger cut one tree and made it into bolts as described above. Before cutting the next tree, he bunched the bolts he had made.

Work sequence 3. The logger cut one tree and prepared one bolt, let the power saw run idle and bunched the bolt before making the next one. He continued in this way from tree to tree, always bunching one bolt at a time.

When the tree grew so close to the intended bunching site that it was possible to cut the butt bolt direct into the bunch site, the logger pre-placed the foundation timber on the ground and obviated the necessity of moving the heavy butt bolt. The average bunching distance corresponded to a strip road spacing of about 20 m and the bunch size requirement was the equivalent of at least one grapple bunch.

As the material consisted of the work of two loggers only as regards the expenditure of time and otherwise of the work of one logger, it is impossible to demonstrate invariance of the results in any known logger population. On the other hand, as the analysis is restricted to the causal relationship it is not easy to draw false conclusions concerning the applications of the sample provided that all the properties that affect the relationship of the qualities

under examination have been exposed. It was impossible in this connection to take into consideration especially the effect of the logger's personal characteristics.

The model was prepared by means of covariance analysis making use of Tukey's method for comparison of the paired means and by performing so-called balancing for the stem size in connection with the collection of the material. Earlier studies were used to eliminate the influence of the most factors affecting the work.

Models were obtained to illustrate the per-stem working time.

Logger 1.

Variable	\bar{x}	S	P	F
Y	187.9	43.0	.	.
x_1	8.4	.	16.1	154.5***
x_2	2.8	.	6.2	0.1
L	.	.	1.8	0.6
	.	.	- 9.3	.
	.	.	7.6	.
V	.	.	37.1	.

Logger 2.

Variable	\bar{x}	S	P	F
Y	260.3	47.8	.	.
x_1	11.9	.	13.9	428.2***
x_2	2.9	.	12.2	1.6
L	.	.	5.0	0.8
	.	.	- 7.8	.
	.	.	2.9	.
V	.	.	58.9	.

Y = per-stem time

x_1 = coefficient of regression 1, stem volume, 10 cu.dm.

x_2 = coefficient of regression 2, branchiness class

L = class variable, work sequence

V = constant

\bar{x} = mean

S = standard error

P = parameter

F = F-value

Only the stem size influenced the working time significantly. The minimal effect of the branchiness class is probably the consequence of the small variation of branchiness.

The model was interpreted to make all three work sequences comprise identical work sequences of equal length in principle which did not increase working time expenditure when arranged differently. Interruption of a certain work phase, e.g. the limbing-bucking phase and laying down the saw for the duration of bunching, is so short that the time expenditure involved – if any on the whole – is not statistically significant because the expenditure of time caused by other work and the deviation of the time are incomparably greater.

The stress of the work was described by the following model in which the measure of the stress consisted of the combined arterial pulse of the cutting, limbing and bunching phases.

	\bar{X}	S	P	F
Y =	444.9	19.6	.	.
L =	.	.	13.2	14.7***
	.		-0.7	.
	.		-12.5	.
V =	.	.	446.1	.

Y = cutting, limbing and bunching pulse, pulsations/min.

L = class variable, work sequence

V = constant

\bar{x} = mean

S = standard error

P = parameter

F = F-value

It was not possible to use regression variables as it was not feasible to take the pulse per stem. The paired means of the arterial pulse rates differed significantly from one another in all three work sequences. For study of the peak stresses a model was drawn up solely from the arterial pulse rates during the bunching phase.

	\bar{x}	S	P	F
Y =	155.1	5.6	.	.
L =	.	.	8.4	66.2***
	.		-1.3	.
	.		-7.1	.
V =	.	.	154.7	.

Y = pulse rate of the bunching phase, pulsations/min.

L = class variable, work sequence

V = constant

\bar{x} = mean

S = standard error

P = parameter

F = F-value

Testing of the paired means of all work sequences again showed the existence of significant differences.

The model was studied in the following way (cf. Fig.0). The result arises from the fact that the exertion of equally great muscular power as the working time lengthens increases the so-called oxygen deficit proportionately more sharply than the increase in time. As there are no differences in the per stem working times for the different sequences of work, it was concluded that the stress of bunching cannot be evened out by changing the tempo of work.

The accompanying model was obtained after square root transformation to describe the continuous time of exposure to noise and vibration. The transformation was used to restore the equal size of the variances.

	\bar{x}	S	P	F
Y =	10.9	2.0	.	.
L =	.	.	12.6	427.9***
	.	.	-2.9	.
	.	.	-9.7	.
V =	.	.	16.9	.

Y = continuous exposure time, cmin.

L = class variable, work sequence

V = constant

\bar{x} = mean

st = standard error

P = parameter

F = F-value

Continuous recovery time (\approx bunching) was also illustrated after square root transformation, by the following model.

	\bar{x}	S	P	F
Y =	5.9	1.5	.	.
L =	.	.	6.4	169.9***
	.	.	-1.8	.
	.	.	-4.6	.
V =	.	.	8.9	.

Y = continuous recovery time, cmin.
L = class variable, work sequence
V = constant
 \bar{x} = mean
S = standard error
P = parameter
F = F-value

It is easy to conclude from table 4 that the different times of exposure and recovery for the different work sequences are the direct

consequence of the situation in which the greater the number of bolts prepared at the same time the longer becomes the uninterrupted time during which the saw is handled. Correspondingly, the greater the number of bolts bunched successively, the longer is the time that the saw is not in the worker's hand. The table shows the distribution of the saw-handling time between effective and idle-running time. Only phases of over 5 cmin. were taken into account.

1. JOHDANTO

11. Metsätyön kuormittavuus

Metsätyö on useissa yhteyksissä todettu erittäin raskaaksi ruumiilliseksi työksi (vrt. esim. KARVONEN 1963). Moottorisahan käyttöön-otto puutavaran teossa on muuttanut työn luonnetta dynaamisesta lihastyöstä staattiseksi. Työ on kuitenkin säilynyt raskaana (vert. esim. HARSTELA 1970), ja moottorisahan lisääntynyt käyttö on tuonut mukanaan uusia tekemiseen kohdistuvia haittavaikutuksia. Raskaan ruumiillisen työn kuormittavuudesta voidaan esittää muun muassa seuraavia säännönmukaisuuksia.

Lihasten välitön energian lähde, adenosiinifosfaatti- ja kreatiinifosfaattivarasto on pieni ja riittää vain aivan lyhytaikaiseen työskentelyyn. Seuraava energian lähde on glykokeenin hajoaminen maitohapoksi. Lihastyön ensimmäisinä minuutteina hapen kulutus nousee, mutta elimistön saama happimäärä ei riitä hahmottamaan syntyvää maitohappoa, vaan syntyy ns. happivelka. Myöhemmin saavutettavassa tilassa, ns. "steady state", ei lihaksen maitohappomäärä lisäännny, mutta ei väheneäkään. Työn lakattua energian kulutus putoaa jyrkästi lepotasolle, mutta hapen kulutus vähenee hitaam-

min, sillä happivelka maksetaan takaisin (vrt. TURPEINEN 1967).

Happivelka lisää elpymisaikaa voimakkaasti. Erityisen paljon happivelkaa syntyy ns. rasitus-huippujen yhteydessä, joten muutos, joka alentaa valtimon sykintää 150:stä alaspäin, on happivelan syntymistä enemmän estävä toimenpide kuin muutos, joka alentaa sykettä 100:sta alaspäin. Työvaiheen, jossa maitohappomäärä veressä nousee, jaksottaminen pienempiin osiin vähentää työn kuormittavuutta (energian kulu- tusta ja elpymisaikaa). Tämä johtuu happivelan ja kasvun takaisin maksun riippuvuuden "käyrä- viivaisuudesta". Elpymisen tarpeeseen vaikuttavat maitohapon kertymisen lisäksi myös muut tekijät erityisesti verenkiertoelinten kuormitus (vrt. KARVONEN 1963, TURPEINEN 1967). Staattisen lihastyön aiheuttama väsymys riippuu ennen kaikkea lihastyön yhtäjaksoisesta kesto- ajasta ja työhön käytettävän voiman suuruu- desta. On todettu että yhtä suurta lihasvoimaa käytettäessä työajan lisääntyessä lihasväsymys suurenee suhteellisesti ajanlisäystä voimakkaam- min (vrt. ROHMERT 1960, KOSKELA 1963).

12. Tärinän haittavaikutuksista

On tunnettua että pitkäaikaiselle vibraatiolle alttiiksi joutuminen voi aiheuttaa ihmiselle fy-

siologisia vaurioita, jotka kohdistuvat veren- kiertojärjestelmään tai ääreishermostoon. Vibraa-

tiosta sormiin aiheutuvaan verenkiertohäiriöön, ns. valkeisiin sormiin (Traumatic Vasospastu Disease, WRIGHT 1952) viittaavia oireita on metsätyöntekijöillä todettu useissa tutkimuksissa (GROUNDS 1964, MIURA 1966, TREIBERG 1964, HELLSTRÖN og VIK 1970). Tauti johtuu suonien supistumisesta johtuvasta verenkierron heikkenemisestä, jonka aiheuttavat toistuvat mekaaniset töytäisyt (vrt. TREIBERG ym. 1964).

AXELSSONIN (1967) mukaan valkoisten sormien syntyyn vaikuttavat mm. seuraavat tekijät: Sairastumisvaara on suurin tärinän frekvenssialueella 50–500 Hz. Hänen mukaansa on varteenotettava riski saada tärinävaurioita sormiin, jos moottorisahan värähtelyn amplitudin vektoriarvo ylittää 0.08 mm edellä mainitulla frekvenssialueella ja sahausta suoritetaan yli neljä tuntia vuorokaudessa. Mainittakoon, että

parhaatkin sahat tällä hetkellä ylittävät mainitun vektoriarvon (vrt. VALTION... 1969). Moottorisahan päivittäinen käyttöaika on keskimäärin myös korkea (esim. VEHVILÄINEN 1971).

Suoritetuissa kokeissa on todettu jo viiden minuutin yhtäjaksoisen sahauksen selvästi alentaneen käden manipulaatiokykyä. Toisaalta 5... 10 minuutin palautusajan jälkeen manipulaatiokyky oli palautunut entiselleen (AXELSSON 1967). Sormien tuntoaistimuksiin tärinä on vaikuttanut 1... 10 minuutin altistuksen jälkeen suunnilleen altistusajasta riippumatta. Tunto palasi entiselleen vasta 15 minuutin levon jälkeen (BJERKER ym. 1970). Todettakoon vielä että tärinävaurioiden vastustuskyky vaihtelee suuresti henkilöstä toiseen (AXELSSON 1967).

13. Pinotavaran teon työjärjestys ja työn tuotos

LEVANTO (1965) on kiinnittänyt huomiota työjärjestykseen pinotavaran teossa. Hän on tarkastellut erilaista karsinnan, katkonnan ja kaadon jaksottamista lähinnä työn tuotoksen kannalta. Tynkäkarsinta ja silmävarainen katkanta ovat kuitenkin muuttaneet tilannetta LEVANNON tutkimuksen jälkeen. Mittauksen poisjäänti on sinänsä muuttanut tekomiehen

työtappaa. Työn kuormittavuuteen ja tärinäaltistukseen työn jaksottamisella ilmeisesti myös on selvä vaikutus, ja erikoisesti kasaustyön (raskas työvaihe) ja muun työn sekä sahan kantoajan ja muun ajan välisten suhteiden selvittäminen auttaneet terveydellisesti edullisimman työjärjestyksen löytämistä.

14. Tutkimustehtävä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää työn erilaisen jaksottamisen vaikutusta työn tuotokseen, työn fysiologiseen kuormittavuuteen ja moottorisahan aiheuttamiin melu- ja tärinäaltistusaikoihin kuusikuitupuun teossa sekä verrata tärinäaltistusta kuusirunkojen ja -tukien teon tärinäaltistukseen.

Empiirisen aineiston perusteella laaditun työ-

tä luonnehtivan mallin avulla on tarkoituksena laatia työn jaksotuksen, työn tuottavuuden, kuormittavuuden sekä tärinäaltistuksen suhteita selvittäviä teorian muodostusta auttavia hypoteeseja. Tutkimusresurssien puutteen vuoksi tutkimuksessa rajoitetaan vain kuusikuitupuun tekoon.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

21. Näytteen valinta

Näyteyksiköksi valittiin yhden puun teko. Tutkittavat seikat eivät ole poikkeuksellisia tai harvinaisia tapahtumia, joten pienen näyteyksikön käyttö lienee perusteltua. Sekä työajan menekki, työntekijän valtimon syke että sahan tärinän ja melun yhtäjaksoinen altistus aika ovat jokaisen puun tekoon liittyviä, ja vain niiden suuruus vaihtelee eri tekijöistä riippuen.

Näytteen valinnan eri vaihtoehtojen harkitsemista rajoitti tutkimusresurssien rajallisuus. Edes rajoitetun populaation sisällä suoritettavaan edustavan näytteen arpomiseen ei ollut mahdollisuuksia. Näin ollen tarkastelu itsestään rajoittuu syysuhteiden tarkasteluun, eikä ominaisarvojen estimointiin ole syytä ryhtyä, muuta kuin siltä osin kuin ne auttavat syysuhteiden selvittämistä. Näytteestä, vaikka se ei edustakaan tunnettua populaatiota, ei helposti tehdä yhteyksien suhteen väriä johtopäätöksiä, jos voidaan havaita kaikki oleelliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat tutkittavien ominaisuuksien suhteeseen (vrt. HOEL 1964, KÄRKKÄINEN 1969).

Näytteeksi valittiin vain yhden työntekijän tekemiä runkoja. Runkokohtaisen työajan menekistä tehtyjä päätelmiä verrattiin myös toisesta työntekijästä kerättyyn aineistoon, koska katsottiin että työjärjestyksen vaikutus juuri työajan menekkiin on vaikeammin johdettavissa

aikaisempien tutkimusten perusteella hahmotellusta viitekehystä. Koska aineisto käsitti vain osittain kahden osittain yhden tekemiehen työtä, ei tulosten invarianssia missään tunnetussa populaatiossa voida osoittaa, koska tekemiehen ominaisuuksien vaikutusta ei ole voitu huomioida. Tämän vuoksi laaditun mallin perusteella tehtävät johtopäätökset on rajoitettava vain tutkimusaineistoa käsittäväksi ja käsitettävä yleisemmin hypoteesien johtamiseksi.

Selvitettäviin ominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä hahmoteltiin ennen kokeiden suorittamista viitekehys, joka otettiin huomioon kokeiden järjestelyssä. Saatuja tuloksia tarkasteltiin mainitun viitekehysten ja laadittujen työhypoteesien valossa. Näin toivottiin pienennettävän riskiä että aineisto olisi syysuhteiltaan vääristynyt jonkun kontrolloitavissa olevan, syysuhteisiin oleellisesti vaikuttavan tekijän jäätyä huomiotta.

Kun tutkittavana oli pääasiassa työjärjestyksen so. työn erilaisen jaksottamisen vaikutus näyteyksiköihin, suoritettiin tilastomatematiikassa nimellä 'balancing' tunnettu tasointitutkittaviin ominaisuuksiin vaikuttavien ylimääräisten muuttujien suhteen. Menettely parantaa tutkittavien ominaisuuksien keskiarvojen vertailtavuutta. (SNEDECOR and COCHRAN 1967).

22. Tutkimusaineisto

Tutkimus suoritettiin Helsingin ympäristössä sijaitsevalla Ruotsinkylän kokeilualueella. Tutkimus kesti noin viikon ja työtä tehtiin 40 minuutin jaksoissa siten, että kunkin jakson päätyttyä vaihdettiin työjärjestystä. Eri päivinä työjärjestysten keskinäinen järjestys vaihteli. Näin pyrittiin muuten kontrolloimattomien, lähinnä tekemiestä johtuvien tekijöiden vaikutuksen 'tasaamiseen' kaikkien työjärjestysten osalle.

Leimikkotunnusten osalta suoritettiin 'tasointus' (balancing) seuraavasti. Kunkin työjärjestyksen osalle valittiin runkolukusarjat, jotka pääpiirteissään vastasivat toisiaan. Aivan tarkkaan tasointukseen ei voitu mennä. Runkoluku-

sarjan tasointus osittain tasoitti myös oksaisuusluokkien jakaantumista, koska puun koolla ja oksaisuudella oli selvä riippuvuus. Kaiken kaikkiaan oksaisuuden vaihtelu kuitenkin oli leimikossa vähäistä. Puuston tiheys, lumen määrä ja maaston laatu eivät leimikon puitteissa vaihdelleet niin paljon että niitä olisi katsottu tarpeelliseksi kontrolloida.

Työntekijä kaksi, jonka osalta ei ole tuloksia, työn kuormittavuudesta eikä altistusajojen jakaantumisesta, oli metsätyöneuvojan koulutuksen saanut, metsätöihin totuttanut mies, joka tosin on viime vuosina ollut metsätöissä vain ajoittain. Työntekijä yksi oli noin kymmenen vuotta metsätöitä ympäri vuoden tehnyt, sub-

jektiivisesti arvioiden keskitasoa jonkin verran parempi mies.

Työmenetelmänä oli noin kolmimetrinen, tynkärakarsitun kuusikuitupuun teko palstatiin varteen kourakasoihin. Kasausmatka pyrittiin pitämään keskimäärin yhtä pitkänä eri työjärjestyksiä käytettäessä. Sahauksen altistusaikojat vertailtaessa kerättiin suppea vertailuaineisto kuusitukkien ja latvakuitupuun teosta, jolloin kuitupuu tehtiin palstatiin varteen työjärjestyksestä 3 käyttäen sekä puolikarsittujen kuusirunkojen teosta.

Tutkittujen työjärjestysten kuvaus on seuraava:

Työjärjestys 1. Tekomies kaatoi noin viisi puuta kerrallaan, karsi yläpuolelta yhden pölkyn verran, suoritti katkaisun ja tarvittaessa käänsi pölkkyä alapuolen karsimisen helpottamiseksi. Näin tekemies valmisti pölkkyiksi kaikki kaatomansa puut ennen pölkkyjen kasausta.

Työjärjestys 2. Tekomies kaatoi yhden puun ja valmisti sen pölkkyiksi kuten edellä on selostettu. Sen jälkeen hän kasasi ennen seuraavan puun kaatamista tekemänsä pölkkyt.

Työjärjestys 3. Tekomies kaatoi yhden puun ja valmisti yhden pölkyn, laski sahan käymään tyhjäkäyntiä ja kasasi pölkyn ennen seuraavan tekoa. Näin hän jatkoi puulta puulle kasaten aina pölkyn kerrallaan.

Milloin puu kasvoi niin lähellä aiottua kasan paikkaa, että tyvipölkky voitiin kaataa suoraan kasan paikalle, asetti tekemies aluspuut valmiiksi maahan, jolloin raskaan tyvipölkyn siirtelyltä vältyttiin. Keskimääräinen kasausmatka vastasi noin 20 metrin palstatieväliä ja kasan kokovaatimuksena oli vähintään yhden kourataakan koko. Aineiston määrä käy ilmi oheisesta taulukosta.

Taulukko 1. Aineiston määrä.
Table 1. Volume of material.

	Työmenetelmä ja järjestys Method and sequence of work	Puita, kpl Trees,
Työntekijä 1 Worker 1	Työjärjestys 1 Sequence of work 1	34
	Työjärjestys 2 Sequence of work 2	43
	Työjärjestys 3 Sequence of work 3	36
	Tukkien teko Cutting of logs	5
	Puolikarsittujen runkojen teko Cutting of semi-limbed logs	5
Työntekijä 2 Worker 2	Työjärjestys 1 Sequence of work 1	25
	Työjärjestys 2 Sequence of work 2	30
	Työjärjestys 3 Sequence of work 3	22

Leimikkotunnusten keskiarvot ja keskihajonnat kuitupuuleimikossa on esitetty taulukossa kaksi.

Taulukko 2. Leimikkotunnukset.
Table 2. Growing-stock characteristics.

Leimikkotunnus Growing-stock characteristic	\bar{x}	s
Rungon käyttöosan tilavuus, k-m ³ Volume of stem, cu.m.	0.12	0.01
Oksaisuusluokka Branchiness class	2.8	0.1
Leimikon tiheys, k-m ³ /ha Volume cu.m./hectare	80	—
Lumen syvyys, cm Depth of snow, cm	40	—

\bar{x} = keskiarvo — mean

s = keskihajonta — standard deviation

Sahapuurunkojen koko oli keskimäärin 0.40 k-m³. Työajan menekki mitattiin runkokohtaisena aikana käyttäen ns. 0-asetomenetelmää. Jokaisen rungon käyttöosa kuutioitiin pölkytään. Runkokohtaisen työajan menekissä erotettiin käsittelyvaiheessa pois lumen polkemiseen ja kaatoon kulunut aika, samoin siirtymisen puulta puulle. Näin pyrittiin eliminoimaan turha hajonta tuloksista. Työaika mitattiin työvaiheittain, mutta kun työvaiheittain tarkastelu ei osoittanut merkitseviä eroja työajassa ja työvaiheitten erottelu on subjektiivisena epätarkka, mm. HARSTELA (1970 b) on todennut, että runkokohtaisten aikojen selityksaste on yleensä suurempi kuin työvaiheittaisen), päädyttiin jäljempänä vain runkokohtaisten aikojen tarkasteluun.

Kuormittavuuden indikaattorina mitattiin työntekijän valtimon syke pienen, tekomiehen

rintaan kiinnitetyn radiolähettimen välityksellä puolen minuutin jaksoina kerran minuutissa. Puoliminuuttia kestänyt laskentajakso merkittiin sen työvaiheen kohdalle, jota laskentajaksoon sisältyi eniten. Puolen minuutin laskentajakson lyhentäminen vähentäisi mittaustarkkuutta, koska teknisten vaikeuksien vuoksi jouduttiin luopumaan automaattisesta pulssin rekisteröinnistä. Syke vastaa raskaassa työssä likimäärin hapenkulutusta ja sen edustamaa energian kulutusta (ZOTTERMAN—LUNGGREN 1948).

Moottorisahan ääni rekisteröitiin magnetofonilla ja siihen saneltiin myös työvaiheet sekä sahan maahan laskut ja nostot. Teho- ja tyhjäkäyntijaksot sekä sahan käsittely ja maassaoloajat laskettiin magnetofonin äänen perusteella. Tyhjäkäynniksi laskettiin yli 5 cmin kestänyt aika, jolloin saha kävi 'vapailta kierroksilla'.

23. Aineiston käsittely ja ennustamisen mahdollisuus

Aineisto on verraten pieni, eikä sen voida katsoa edustavan muuta kuin itseään ja jotain tuntematonta populaatiota. Aineiston perusteluna olkoon sekä resurssien pienuus että "raja-tuottavuus-ajattelu" tiedon tuottamisessa. On siis todettava, että tulosten yleistäminen muiden kuin eräiden kausaalisuhteiden osalta, on perustuttava tiedon käyttäjien harkintaan.

Tilastomatemattinen aineiston käsittely tarjonnee tässä tapauksessa sen edun, että syy-suhteiden selvittelijä verratessaan tuloksia hahmottelemiinsa hypoteeseihin, voi tietää sen todennäköisyyden, millä ilmiö tapahtuu ko. työmaalla ja sen edustamassa tuntemattomassa populaatiossa. Jos mitatut muuttujat on onnistuttu valitsemaan siten, että selitettävään syy-suhteeseen oleellisesti vaikuttavat tekijät ovat mallissa mukana kausaalisen selityksen — sen

vapaamielisen tutkinnan mukaan — mahdollisuudet ovat olemassa.

Kokeen järjestelyn avulla mitattujen muuttujien määrä on pidetty pienenä, joten verbaalinen päättely tuskin tarjoaa matemaattiseen käsittelyyn verrattuna oleellisia etuja. Päin vastoin verbaalinen päättely helposti johtaa epäoleellisten seikkojen korostamiseen, sen taloudellisuus, objektiivisuus ja nopeus ovat usein huonompia matemaattiseen käsittelyyn verrattuna (MAT-TILA 1961).

Matemaattisen mallin muuttujat ovat usein paremminkin todellisten syiden indikaattoreita kuin "selittäviä muuttujia". Tästä syystä johdettujen hypoteesien kuvaaminen tai ainakin syy-suhteiden "ymmärtäminen" on helpompaa, jos matemaattinen malli käännetään verbaaliselle kielelle, kuten jäljempänä tehdään.

3. TUTKIMUSTULOKSET

31. Työtä kuvaavan mallin konstruointi

Kuusikuitupuun tekoa kuvaavan mallin konstruointi pelkästään regressioanalyttistä tekniikkaa käyttäen ei tunnu houkuttevalta, koska työajan erilainen jaksottaminen ts. työjärjestys on käsitettävä luokkamuuttujaksi.

Ongelma on lähinnä työjärjestyksen vaikutuksen selvittäminen työn tuotokseen, työn kuormittavuuteen ja sahan käynnin altistus-aikoihin. Ongelma viittaa varianssianalyysiin. Tavanomainen varianssianalyysi ei kuitenkaan tunnu käyttökelpoiselta seuraavista syistä. Johdopäättösten tekoa haittaavat, osittaisesta "tasoituksesta" (s. 7) huolimatta, ylimääräiset muutujat kuten puiden koko ja oksaisuus.

"Tasointus" (balancing) sinänsä aiheuttaa sen, että "normaalitapaukseen" verrattuna ylimääräisten muuttujien X varianssi luokkien sisällä on suurempi kuin luokkien välillä. Samaa tapahtuu osittain selitettävälle muuttujalle Y, jos muuttujien X ja Y välillä on riippuvuutta. Tämä aiheuttaa sen, että virheneliösumma tulee liian suureksi ja F-testillä saadaan erot liian harvoin merkitseviksi. Tässä tapauksessa varianssianalyysiä käyttökelpoisempi on kovarianssianalyysi (SNEDECOR and COCHRAN 1967).

Kovarianssianalyysi voidaan käsittää varianssianalyysin ja regressioanalyysin välimuodoksi tai yhdistelmäksi. Siinä varianssianalyysissä vertailtavia keskiarvoja korjataan jäännöselnelisummista lasketuilla regressiokerroimilla. Siis keskiarvot tavallaan tasoitetaan joidenkin muuttujien suhteen samalle tasolle.

Malli on esimerkiksi seuraavaa muotoa:

$$Y_{ijkl} = \mathcal{L} + a_i + b_{ij} + c_k + (ac)_{ik} + dD_{ijkl} + gG_{ijkl} + e_{ijkl}$$

$$i = 1, 2, \dots, p \quad k = 1, 2, \dots, r$$

$$j = 1, 2, \dots, q_i \quad l = 1, 2, \dots, n_{ijk}$$

jossa y_{ijkl} = L:s havainto k:ssa C luokassa, j:ssä B luokassa ja i:ssä A luokassa

\mathcal{L} = populaation keskiarvo, kun yhdysvaikutusluokkien frekvenssit ovat yhtäläiset ja $D_{ijkl} = G_{ijkl} = 0$

a_i = i:nen A luokan vaikutus

b_{ij} = j:nen B luokan vaikutus i:ssä A luokassa

c_k = k:n C luokan vaikutus

d = y_{ijkl} :n osittaisregressio D_{ijkl} :ssä

g = y_{ijkl} :n osittaisregressio G_{ijkl} :ssä

D_{ijkl} = riippumaton jatkuva muuttuja

G_{ijkl} = " " " " " "

e_{ijkl} = riippumattomia jäännösvirheitä, joilta merkitsevyyttä testattaessa oletetaan normaali-jakautuneisuutta.

(HARVEY 1966).

Malli vastaa tutkimuksessa käytettyä ohjelmaa. Sen empiirinen vastine saadaan suorittamalla ensin varianssianalyysi ja sen jälkeen regressio-osan edellyttämä korjaus. Mallissa oletetaan, ettei b_{ij} :n ja c_k :n vuorovai- kusta ole. Tällä seikalla ei kuitenkaan ole merkitystä suoritettuihin analyyseihin, koska luokkia oli vain yksi.

Suoritetussa graafisessa tarkastelussa sekä työaikojen että valtimon sykearvojen jakautumat todettiin vain hyvin lievästi vinoiksi eikä koesarjojen toisistaan riippuvuutta voitu havaita.

32. Työn tuotos eri työjärjestyksiä käytettäessä

Puutavaran teossa on tuotokseen todettu vaikuttavan ainakin seuraavien tekijöiden: puutavara- laji ja tekomenetelmä, työväline, rungon koko, työntekijän ominaisuudet, työjärjestys ja työtah- ti (VUORISTO 1934, 1936, ARO 1936, PUT- KISTO 1947, MAKKONEN 1950, KILANDER 1961, AGER 1967, SILANDER 1967, 1968, KAHALA 1969, LEVANTO 1970, AHONEN 1970).

Olosuhdetekijöiden yhteisvaikutusta selvitet- täessään on HARSTELA (1970 b) todennut run-

gon koolla, oksaisuudella, lumen määrällä ja laadulla, lämpötilalla ja puiden välisellä etäisyydellä olevan merkitsevän vaikutuksen tynkä- karsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teon eri työvaiheisiin. Vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat siis ne, jotka vaikuttavat liikehtimiseen (lumi), varsinaiseen "työstöön" (oksaisuus ja rungon koko), työntekijän kuormittumiseen (rungon koko ja lumi) ja liikkumiseen (puiden välinen etäisyys) tai muuttavat työstön kohteen omi- naisuuksia (lämpötila). Mahdollisesti esim. lu-

mella ja lämpötilalla on vaikutusta työsaavutukseen myös työntekijän motivaatioiden kautta. Raskaassa ruumiillisessa työssä on työn tuotoksen todettu olevan työntekijöiden motivaatioiden funktion ja myös työpäivän ajankohdan vaikuttavan työsaavutukseen (SÄLLFORS 1945, GORPE 1969, APPELROTH ja HÄRSTELA 1970).

Edellä hahmotellun viitekehysten mukaisesti oletetaan mainittujen tekijöiden vaikuttavan työn tuotokseen ja ne on pyritty kontrolloimaan. Useimpien vertailua haittaavien muuttujien vaikutus yritettiin mitätöidä aikaisemmin selostetun koejärjestelyn avulla. Muuttujina aineistoa kerättäessä mitattiin rungon käyttöosan tilavuus¹⁾, oksaisuusluokka sekä työntekijän valtimon syke. Lumen syvyys ei sanottavasti muuttunut kokeiden suoritusaikana. On siis todettava että työaikojen erot eri menetelmissä selvitettiin vain eräiden niihin vaikuttavien tekijöiden yhdistelmien osalta, joiden keskimääräisyys on vain arvioitavissa. Koska työjärjestykset kuitenkin koostuvat samoista työvaiheista ja siirtymismatkatkin ovat likimain samat, voitaneen olettaa jonkun tekijän muuttuessa työn tuotoksen muuttuvan kaikkia työjärjestyksiä käytettäessä saman suuntaisesti ja siinä määrin yhtä voimakkaasti ettei edellä mainitulla seikalla liene suurta merkitystä. Useimpien työhön vaikuttavien tekijöiden mukaan otto malliin olisi vaatinut huomattavasti laajemman aineiston, jolloin taas esim. tekemiehestä johtuvia tekijöitä olisi ollut vaikea kontrolloida. Näin ollen syy-suhteiden selvittely jää hypoteesien asteelle.

Kovarianssianalyysissä runkokohtaista työaika selitettäessä luokkamuuttujana oli työjärjestys, regressiomuuttujina rungon käyttöosan tilavuus ja oksaisuusluokka. Rungon tilavuuden ja runkokohtaisen työajan korrelaatio todettiin graafisesti siinä määrin lineaariseksi ettei transformaatioon lineaarisuuden palauttamiseksi ollut aihetta. Tarkastelu osoitti myöskin sen, ettei regressiokertoimia ollut syytä epäillä toisistaan merkitsevästi eroaviksi, joka olisi vaikeuttanut kovarianssianalyysin käyttöä (SNEDECOR ja COCHRAN 1967).

Työntekijä 1.				
Muuttuja	\bar{x}	S	P	F
Y	187.9	43.0	—	·
x ₁	8.4	·	16.1	154.5 ^{***}
x ₂	2.8	·	6.2	0.1
L	·	·	1.8	0.6
	·	·	— 9.3	·
	·	·	7.6	·
V	·	·	37.1	·

Työntekijä 2.				
Muuttuja	\bar{x}	S	P	F
Y	260.3	47.8	·	·
x ₁	11.9	·	13.9	428.2 ^{***}
x ₂	2.9	·	12.2	1.6
L	·	·	5.0	0.8
	·	·	— 7.8	·
	·	·	2.9	·
V	·	·	58.9	·

Y = runkokohtainen, aika

x₁ = regressiomuuttuja 1, rungon tilavuus, 10 dm³

x₂ = —”— 2, oksaisuusluokka

L = luokkamuuttuja, työjärjestys

V = vakio

\bar{x} = keskiarvo

S = keskivirhe

P = parametri

F = F-arvo

Tulosten mukaan vain rungon tilavuus on merkitsevästi vaikuttanut runkokohtaiseen työaikaan. Oksaisuusluokan vähäinen vaikutus johtunee siitä, että oksaisuus vaihteli tutkimustyömaalla vain vähän. Tästä syystä sitä ei myöskään otettu toiseksi luokittelutekijäksi, joka olisi ollut teoreettisesti oikeampaa.

Koska varianssianalyysissä oletetaan varianssin samansuuruisuutta, suoritetaan tuloksen varmistamiseksi luokkien varianssien vertailua. Luokkien varianssit ovat seuraavia:

Työntekijä 1.	114.6	Työntekijä 2.	43.3
	86.8		38.7
	95.9		42.7

Vertailu suoritettiin BARTLETTIN homogeenisuustestillä (MÄKINEN 1968). Eroja ei todettu tilastollisesti merkitseviksi.

Jos yksi luokka kolmesta poikkeaa merkitsevästi kahdesta muusta, on mahdollista että ”luokkien välinen varianssi” jää siitä huolimatta niin pieneksi ettei luokan vaikutusta todeta

¹⁾ Rungon koko lienee eniten runkokohtaiseen aikaan vaikuttava tekijä (vrt. esim. HARSTELA 1970 b), joten sen mukana olo mallissakin lienee tärkeintä.

merkitseväksi, koska kahden muun luokan välillä ei ole eroja. Tämän epävarmuustekijän poistamiseksi suoritetaan vielä keskiarvojen parittaista vertailua.

Kahden keskiarvon vertailussa t-testillä edellytyksenä on, että keskiarvojen vertailun pitää olla toisistaan riippumattomia. Jos menetelmää käytetään kaikkien parittaisten erojen testauksessa, saadaan merkitseviä eroja liikaa.

Luotettavampi menetelmä kaikkien keskiarvoparien vertailuun on TUKEYN kehittämä ”merkitsevä ero”, joka on johdettu keskiarvojen variaatiiovälin teoreettisen jakaantumisen avulla ja joka saadaan kaavasta:

$$w = q \cdot S_e \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right]}$$

q = saadaan taulukosta argumentteina luokkien luku ja S_e :n vapaiden arvojen luku
 S_e^2 = ”luokkien sisäinen” varianssia
n = havaintojen lukumäärä luokassa
(vrt. MATTILA 1966).

”Merkitseväksi eroksi” w saadaan edellä esitetyn kaavan mukaan tekemiehelle 1 noin 33.3 ja tekemiehelle 2 noin 24.6. Korjattujen keskiarvojen erotukset ovat seuraavat:

Tekomies 1	Tekomies 2
$ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 10.5$	$ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 7.1$
$ \bar{x}_1 - \bar{x}_3 = 6.5$	$ \bar{x}_1 - \bar{x}_3 = 2.1$
$ \bar{x}_2 - \bar{x}_3 = 16.3$	$ \bar{x}_2 - \bar{x}_3 = 9.0$

33. Työntekijän kuormittuminen eri työjärjestyksiä käytettäessä

Raskaassa ruumiillisessa työssä muiden tekijöiden pysyessä samana työn tuotoksen ja fyysisen kuormittavuuden välillä on selvä korrelaatio (SÄLLFORS 1945, APPELROTH ja HARSTELA 1970). Sen on pinotavaran valmistuksessa todennut LEVANTO (1970). Kuormittumiseen vaikuttaa myös työn kohteen tai käsiteltävän objektin muuttuminen. Tähän viittaa mm. HARSTELAN (1970 a) selvitys, jonka mukaan rinnankorkeudelta yli 13 cm puiden kasaus oli selvästi kuormittavampaa 3-metrinenä kuin 2-metrinenä. Pölkyn pituuden muutos vaikutti myös työn tuotokseen, joskin vaikutus oli päinvastainen. Tutkimusta järjestettäessä ja tekijöitä kontrolloitaessa on oletettu työajan menekkiin vaikuttavien tekijöiden vaikuttavan myös puutavaran teon kuormittavuuteen. Työn-

Tulosten perusteella voidaan todeta ettei työntekijöillä 1 ja 2 ollut 5 % riskillä merkitsevää eroa työn tuotoksessa eri työjärjestyksiä käytettäessä.

Hypoteesina työjärjestyksestä kolme oletettiin, että sahan laskeminen maahan jokaisen pölkyn teon jälkeen ja taas sahausken uudelleen aloittaminen vievät aikaa siinä määrin, ettei menetelmä ole käyttökelpoinen. Työn visuaalinen ja filmiltä suoritettu tarkkailu osoitti työn sujuvan myös työjärjestyksestä kolme käytettäessä sujuvasti ja kitkattomasti. Sahan laskeminen ja nostaminen maasta tapahtui nopeasti ja ajan menekki, jos sitä mainitusta syystä esiintyy, on vain joidenkin sekunttien luokkaa, kun puun tekoon kuluu minuutista useaan minuuttiin, joten merkitsevää eroa ei tästä syystä helposti synny.

Todettakoon vielä, että työjärjestys kolme oli molemmille työntekijöille outo. Myöskään usean puun teko ennen kasausta ei osoittautunut merkitsevästi työjärjestyksestä 2 hitaammaksi, vaikka alussa oletettiin mm. oksien kertymisen puiden päälle vaikuttavan tähän suuntaan. Vastaavasti voidaan todeta puiden kaatamisen toistensa päälle nojalleen mahdollisesti helpottavan karsintaa ja katkontaa.

tekijän elimistön fysiologisiin prosesseihin vaikuttaa myös vuorokauden aika ja ruokailu, mitkä on otettu huomioon koejärjestelyssä.

Luvussa 11 selvitettyjen syiden vuoksi on syytä olettaa työjärjestyksestä, ja siten eri työvaiheiden kestoa, muuttamalla voitavan vaikuttaa työntekijän kuormittumiseen kuitupuun teossa. Oletusta testataan seuraavassa kerätyn empiirisen aineiston perusteella ja samalla pyritään kuormittavuuden luonteen selvittämiseen eri työjärjestyksiä käytettäessä kiinnittäen erityistä huomiota rasisuippujen esiintymiseen (vrt. lukua 11).

Kuormittumiseen vaikuttavina tekijöinä mitattiin aineistoa kerättäessä rungon koko ja oksaisuus sekä runkokohtainen työaika. Valti-

mon sykkeen rekisteröintimenetelmästä johtuen sykearvoja ei saatu runkokohtaisiksi, vaan käsittämään viiden puun ryhmiä. Osaltaan tähän vaikutti työjärjestystä yksi käytettäessä se, ettei kasausvaiheessa voinut puolen minuutin laskentajaksoa panna minkään erityisen puun osalle. Useamman puun ryhmissä taas esiintyi monenkokoisia runkoja, mikä aiheutti sen ettei runkokohtaisten keskiarvojen käyttö regressiomuuttujina osoittautunut hyödylliseksi. Rungon koon ja runkokohtaisen työajan ryhmittäiset keskiarvot eivät osoittautuneet tilastollisesti merkitseviksi selittäjiksi, eivät myöskään keskiarvojen erilaiset transformaatiot. Edellä mainitusta syystä jätettiin analyysin regressio-osa pois. Tässä tilanteessa "tasoituksen" (balancing) edut tulevat selvästi esiin, joskin on muistettava, että tasoituksesta johtuen F-testi antaa liian harvoin merkitseviä eroja. Mallin parametrien estimaatit olivat seuraavat, kun luokkamuuttujana oli työjärjestys ja selitettävänä kaato-, karsinta- ja varastointityövaiheiden yhteenlaskettu valtimon syke:

	\bar{x}	S	P	F
Y =	444.9	19.6	.	.
L =	.	.	13.2	14.7***
	.	.	- 0.7	.
	.	.	- 12.5	.
V =	.	.	446.1	.

- Y = kaato-, karsinta- ja kasaussyke, kertaa/min
- L = luokkamuuttuja, työjärjestys
- V = vakio
- \bar{x} = keskiarvo
- S = keskivirhe
- P = parametri
- F = F-arvo

Todetaan F-testin perusteella työjärjestysten vaikuttaneen erittäin merkitsevästi (0.1 % riskillä) työntekijän kuormittumiseen n. 3 metrisen kuusikuittupuun teossa. Varianssianalyysissä edellytetty varianssien samansuuruisuuden testauksessa ei havaittu merkitseviä eroja. Varianssit olivat seuraavat:

Työjärjestys 1	7.3
—”— 2	6.5
—”— 3	7.2

Keskiarvojen parittaista vertailua varten Tukeyn menetelmän W-arvoksi saatiin n. 3.2 ja keskiarvojen erojen itseisarvot olivat seuraavat:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = 13.9$$

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_3| = 25.7$$

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_3| = 11.8$$

Kaikkien työjärjestysten väliset erot ovat merkitseviä 5 % riskillä. Erityisen suuri ero on työjärjestyksen yksi ja kolme välillä. Tasoituksesta (balancing) ei siis ole ollut haittaa, joka saattaa esiintyä epävarmuuden muodossa silloin, kun keskiarvojen eroja ei todeta merkitseviksi.

Erityinen mielenkiinto työntekijän kuormittumisesta ja kuormittumisesta toipumisesta kohdistuu ns. rasisuippuihin. Niiden tutkimiseksi suoritettiin kasaustyövaiheen analysointi. Mallin parametrien estimaatit olivat seuraavia:

	\bar{x}	S	P	F
Y =	155.1	5.6	.	.
L =	.	.	8.4	66.2***
	.	.	- 1.3	.
	.	.	- 7.1	.
V =	.	.	154.7	.

- Y = kasaustyövaiheen syke, kertaa/min
- L = luokkamuuttuja, työjärjestys
- V = vakio

- \bar{x} = keskiarvo
- S = keskivirhe
- P = parametri
- F = F-arvo

Kasaustyövaiheessa sykkeessä on siis ollut erittäin merkitsevät erot eri työjärjestyksiä käytettäessä. Pulssien keskiarvo kasauksessa työjärjestystä 1 käytettäessä oli 163.1, työjärjestystä 2 käytettäessä 153.4 ja työjärjestystä 3 käytettäessä 147.6. Käytetty menetelmä tasaa jonkun verran rasisuippuja ja suurimmat pulssiarvot olivat työjärjestystä 1 käytettäessä 179, työjärjestystä 2 käytettäessä 170 ja työjärjestystä 3 käytettäessä 169 kertaa minuutissa.

Luokkien varianssit olivat

Työjärjestys 1	0.60
—”— 2	0.53
—”— 3	0.59

Merkittävää eroa variansseissa ei ole, joten analyysin edellytykset ovat voimassa. Tukeyn w-arvoksi saadaan n. 0.9 ja keskiarvojen parittaisten erotusten itseisarvot ovat:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = 9.5$$

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_3| = 15.4$$

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_3| = 5.8$$

Kaikkien työjärjestysten välillä on siis merkitsevä ero ja suurin se on työjärjestyksen 1 ja 3 välillä.

Valtimon sykettä yleispätevämpi mitta työntekijän kuormittumiseen on hapen kulutuksen arvo, joka ilmoitetaan prosentteina maksimaalisesta hapenottokyvystä. Ennen tutkimusta suoritetuissa kokeissa työntekijän maksimaaliseksi hapenottokyvyksi saatiin 2.9 litraa/minuutissa. Muuntotaulukoiden mukaan, joissa otetaan huomioon työntekijän ikä, tutkitulla työntekijällä valtimon syke 138 kertaa minuutissa vastaa 50 % maksimaalisesta hapenottokyvystä ja valtimon syke 162 kertaa minuutissa 70 % maksimaalisesta hapenottokyvystä (ÅSTRAND ym. 1960, LUTHMANN ym. 1966).

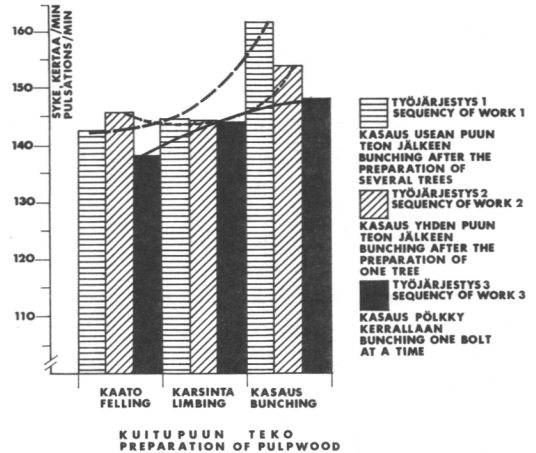
Vaikka tutkimuksessa ei varsinaisesti pyritäkään ominaisarvojen estimointiin, on katsottu aiheelliseksi esittää työntekijän hapen kulutus prosentteina maksimaalisesta hapenottokyvystä, koska se tarjoaa valtimon sykettä luotettavamman mitan todellisen kuormittavuuden arviointiin. "Kuormittavuustason" tietäminen lienee taas hyödyllinen tulosten tulkinnan kannalta, koska mm. happivelan syntyminen on 'kuormittavuustason' seurausta.

Työntekijän maksimaalinen hapenottokyky mitattiin Työterveyslaitoksella pyöräergometritestillä. Valtimon sykearvot on muunnettu vastaamaan hapen kulutusta Åstrand-Åstrandin nomogrammien avulla käyttäen iän mukaista korjauskerrointa. Nomogrammit luonnollisesti antavat vain keskiarvolukuja, mutta hajonnat eri ihmisten välillä on todettu niin pieniksi, että mainittua testimenetelyä pidetään yleensä riittävän luotettavana.

Yleissääntönä pidetään sitä että ylikuormittumisen vaara on olemassa, jos hapen kulutus jatkuvassa työssä on yli 50 % maksimaalisesta hapenottokyvystä (LUTHMANN ym. 1966).

Kuvassa 1 on esitetty työntekijän valtimon sykkeen keskiarvot kaato, karsinta ja kasaustyövaiheissa eri työjärjestyksiä käytettäessä. Mittaus-tavasta ja työn luonteesta johtuen eri työvaiheiden rasitus (ja myös elpyminen) näkyy vielä

seuraavan työvaiheen pulssissa, joten käytetty menetelmä tasoiittaa jonkin verran raskaiden ja keveämpien työvaiheiden eroja.



Kuva 1. Valtimon sykkeen keskiarvot työvaiheittain eri työjärjestyksiä käytettäessä.

Fig. 1. Mean pulse rates by work phases for different work sequences.

Kuten aikaisemmin on todettu kasauksessa valtimon syke työjärjestystä 1 käytettäessä nousee merkittävästi suuremmaksi kuin työjärjestyksestä 2 käytettäessä, jos työn tuotos pysyy samana. Vastaavasti taas työjärjestyksestä 3 käytettäessä rasitushuippu jää merkittävästi pienemmäksi kuin työjärjestyksestä 2 käytettäessä. Tulos on seurausta siitä että yhtä suurta lihasvoimaa käytettäessä happivelka kasvaa suhteellisesti ajanlisäystä voimakkaammin. Samasta syystä myös toipuminen työjärjestyksestä 1 ja 2 käytettäessä kestää suhteellisesti kauemmin kuin työjärjestyksestä 3 käytettäessä. Kaatovaiheessa näkyvät valtimon syke erot lienevätkin selitettävissä kasauksen "perinnöksi".

On ajateltavissa, että työntekijä hidastamalla työtahtia voisi pitää kuormittavuuden samana eri työjärjestyksiä käytettäessä (LEVANTO 1970). Tämä ilmeisesti aiheuttaisi eroja työn tuotoksessa eri työjärjestysten välillä. Pitkiä ja raskaita pölkkyjä kannettaessa tahdin hidastaminen merkitsee staattisen työn lisääntymistä, ja saattaa olla, ettei toivottua kuormittumisen pienenemistä tapahtuisi. Työtahdin hidastaminen uuden pölkyn noutamisen yhteydessä tuskin estää rasitushuipun nousemista, ellei pölkkyjen kantamisen välillä pidetä suoranaista taukoa, koska pölkyn noutaminen kestää niin lyhyen ajan (< 10 min), ettei toipumista käytännöllisesti katsoen ehdi tapahtua.

34. Tärinän ja melun altistus- ja elpymisajat eri työjärjestyksiä käytettäessä

Tärinän ja melun altistusaika tarkoittaa tässä aikaa, jonka moottorisaha yhtäjaksoisesti käy tekemiehen kädessä joko teho- tai tyhjäkäyntiä. Vastaavasti elpymisajalla tarkoitetaan sitä yhtäjaksoista tehotyöaikaa, jolloin saha ei ole miehen kädessä (pääasiassa kasausta). Teho- ja tyhjäkäynti on eroiteltu toisistaan oheisessa prosentuaalisessa jakautumassa ja keskiarvohajontataulukossa. Tarkemman analyysin suunnittelu on vaikeaa, koska ei tunneta sitä, kuinka pienet teho- ja tyhjäkäyntijaksot vaikuttavat fysiologisesti tekemiehen ja eri sahoissa teho- ja tyhjäkäyntitärinä vaihtelee suuresti. Uusissa tärinävaimennetuissa malleissa on mm. katsottu tyhjäkäyntitärinä tehokäyntitärinää haitallisemmaksi (AHO 1969).

Altistus- ja elpymisaikojen pituuteen vaikuttanevat työjärjestyksen lisäksi valmistettävien puiden koko, oksaisuus, puuston tiheys ja kasaumatka. Puuston tiheys ei mainittavasti vaihdellut tutkimusleimikossa ja kasaumatka pyrittiin eri työjärjestysten yhteydessä pitämään vakiona. Rungon koon ottaminen mukaan malliin tuotti vaikeuksia, koska työjärjestystä 1 käytettäessä yhtäjaksoinen altistus- ja elpymisaika kuuluu monen, erikokoisen puun osalle. Kun mainittujen aikojen erot eri työjärjestyksiä käytettäessä näyttivät varsin selviltä jätettiin mallista regressiomuuttajat pois. Varianssianalyysin tulokset altistusajoista olivat seuraavat:

	\bar{x}	s	P	F
Y =	10.9	2.0	.	.
L =	.	.	12.6	427.9***
	.	.	- 2.9	.
	.	.	- 9.7	.
V =	.	.	16.9	.

Y = yhtäjaksoinen altistusaika, cmin

L = luokkamuuttuja, työjärjestys

V = vakio

\bar{x} = keskiarvo

s = keskivirhe

P = parametri

F = F-arvo

Koska varianssit eri luokissa poikkesivat huomattavasti toisistaan, käytettiin mittaustulosten muuntamiseen neliöjuuritransformaatiota (SNEDECOR and COCHRAN 1967).

Kun $Y = f(x)$, Y:n varianssi tulee riippumattomaksi x:n keskiarvosta μ , jos $f(\mu) = \text{Taylorin kaavan mukaan tässä tapauksessa } Y = f\left(\frac{\mu}{2}\right) - \text{valitaan siten, että Y:n varianssi } \{f'(\mu)\}^2 \cdot \sigma(y) \text{ on vakio. Poissonin jakautumalle saadaan } f(\mu) = \sqrt{\mu} \text{ toisin sanoen } Y = \sqrt{X}. \text{ Neliöjuuri-muunnosta voidaan käyttää myös kun X:n varianssi } \sigma_x^2 = kX, \text{ jolloin k on vakio. (SNEDECOR and COCHRAN 1967)}$

Muunnoksen jälkeen varianssit olivat seuraavia:

Työjärjestys 1	0.20
—”— 2	0.16
—”— 3	0.14

Analyysin tuloksena saadut keskiarvot korotettuna toiseen potenssiin, jolloin päästään todellisiin keskiarvoihin, ovat seuraavat: työjärjestystä 1 käytettäessä 876.2 cmin, työjärjestystä 3 käytettäessä 53.3 cmin. Erot ovat varianssianalyysin mukaan 0.01 % riskillä ovat varianssianalyysin mukaan 0.01 % riskillä merkitseviä. Tukeyn menetelmän avulla merkitseväksi eroksi keskiarvojen välille saadaan 1.3. Keskiarvojen erotuksen itseisarvot ovat seuraavat:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = 15.5$$

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_3| = 22.3$$

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_3| = 6.8$$

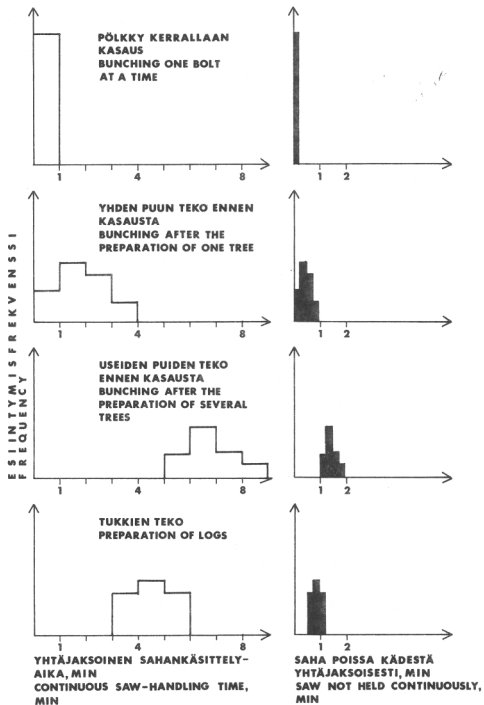
Erojen selvyys käy havainnollisesti ilmi altistusaikojen ja elpymisaikojen esiintymisfrekvenssejä kuvaavista jakautumista, jotka on esitetty kuvassa 2. Mukaan on otettu myös tukkien latvakuittupuun teossa saatu jakautuma, joka on jätetty varsinaisesta analyysistä pois aineiston pienen koon vuoksi.

Altistusajat jakaantuivat teho- ja tyhjäkäyntin osalle seuraavasti:

Taulukko 3. Moottorisahauksen altistusajan jakaantuminen teho- ja tyhjäkäyntiin.

Table 3. Distribution of the time of exposure to power-saw vibration between effective and idle running in the hand.

Työmenetelmä Method of work	Tehokäyntiä Effective running	Tyhjäkäyntiä kädessä Idle running in the hand	Saha maassa Saw on the ground
	prosenttia runkokohtaisesta ajasta percentage about time per stem		
Kuusikuitupuun teko Cutting of spruce pulpwood	60 ... 68	14 ... 18	18 ... 22
Kuusitukkien ja latvakuitupuun teko Cutting of logs	63	21	16
Puolikarsittujen kuusirunkojen teko Cutting of semi-limbed stems	88	12	—



Kuva 2. Yhtäjaksoiset altistus- ja elpymisajat eri työjärjestyksiä käytettäessä.

Fig. 2. Times of continuous exposure to vibration and recovery with different work sequences.

Jakautumassa on yli 5 cmin jaksot otettu huomioon. Tuloksia sovellettaessa on muistettava kuusitukkien ja puolikarsittujen runkojen teon pieni aineisto. Joka tapauksessa jakautumasta nähdään selvästi, että suurin osa altistusajasta, samoin kuin runkokohtaisesta ajasta, on sahan tehokäyntiä, jos alle 5 cmin tyhjäkäyntijaksoja ei oteta huomioon.

Elpymisajoista (pääasiassa kasausta) suoritettiin myös varianssianalyysi käyttäen havaintoaineiston muuntamiseen neliojuuri-transformaatiota.

	\bar{x}	s	P	F
Y =	5.9	1.5	.	.
L =	.	.	6.4	169.9 xxx
	.	.	- 1.8	.
	.	.	- 4.6	.
V =	.	.	8.9	.

Y = yhtäjaksoinen elpymisaika, cmin

L = luokkamuuttuja, työjärjestys

V = vakio

\bar{x} = keskiarvo

s = keskivirhe

P = parametri

F = F-arvo

Muunnoksen jälkeen varianssit olivat seuraavia:

Työjärjestys 1	0.76
—”— 2	0.88
—”— 3	0.67

Todelliset keskiarvot olivat työjärjestystä 1 käytettäessä 234.1 cmin, työjärjestystä 2 käytettäessä 50.4 cmin ja työjärjestystä 3 käytettäessä 18.5 cmin. Erot ovat jälleen erittäin merkitseviä Tukeyn ”merkitseväksi eroiksi” saatiin 1.1 ja keskiarvojen erotukset ovat:

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_1| = 8.2$$

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_3| = 11.0$$

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_3| = 2.8$$

joten kaikkien työjärjestysten välillä on merkitsevä ero, joka näkyy selvästi kuvasta 2.

Eri työvaiheiden yhtäjaksoiset pituudet on esitetty taulukossa 4.

Taulukosta näkyy varsin selvästi syy altistus- ja elpymisaikojen erilaisuuteen eri työjärjestyksiä käytettäessä. Mitä useampi pölkkä tehdään ennen kasausta sitä suuremmaksi kasvaa yhtäjaksoinen sahausaika. Vastaavasti mitä useampi pölkkä kasataan yhtäjaksoisesti sitä suurempi on aika, jolloin sahaa ei pidetä kädessä.

Taulukko 4. Eri työvaiheiden yhtäjaksoiset pituudet kuusikuitupuun teossa.

Table 4. Continuous times of different work phases in the logging of spruce pulpwood.

Työvaihe Work phase	Työvaiheen yhtäjaksoinen pituus, cmin Continuous time of different work phases in the logging of spruce pulpwood	
	Keskiarvo Mean	Keskihajonta Standard deviation
Yhden puun kaato – <i>Felling of one tree</i>	25	13
Karsinta pölkkä kohti – <i>Limbing per bolt</i>	30	19
Kasaus pölkkä kerrallaan – <i>Bunching one bolt at a time</i>	18	10
Kasaus yhdestä puusta tehdyt pölkyt kerrallaan <i>Bunching the bolts made of a single tree at a time</i>	66	31
Kasaus useasta puusta tehdyt pölkyt kerrallaan <i>Bunching the bolts made of several trees at a time</i>	233	29
Saha toisessa kädessä karsinnan väliaikoina <i>With the saw in one hand during the intervals between limbing</i>	6	3
Siirtyminen puulta toiselle – <i>Moving from one tree to another</i>	16	10

4. TIIVISTELMÄ

Tämän osatutkimuksen tarkoituksena on ollut laatia malli kuusikuitupuun teon erilaisen jaksottamisen (kolme erilaista työjärjestystä) vaikutuksesta työajan menekkiin, työntekijän fysiologiseen kuormittumiseen ja moottorisahan tärinän ja melun altistus- ja elpymisaikoihin.

Työmenetelmänä oli noin 3-metrinen tynkäkarsitus kuusikuitupuun teko palstatiin varteen.

Tutkitut työjärjestykset olivat seuraavat:

Työjärjestys 1. Tekomies kaatoi noin viisi puuta kerrallaan, karsi yläpuolelta yhden pölkyn verran, suoritti katkaisun ja tarvittaessa

käänsi pölkkyä alapuolen karsimisen helpottamiseksi. Näin tekemies valmisti pölkkyiksi kaikki kaatamansa puut ennen pölkkyjen kasausta.

Työjärjestys 2. Tekemies kaatoi yhden puun ja valmisti sen pölkkyiksi kuten edellä on selostettu. Sen jälkeen hän kasasi ennen seuraavan puun kaatamista tekemänsä pölkkyt.

Työjärjestys 3. Tekemies kaatoi yhden puun ja valmisti yhden pölkyn, laski sahan käymään tyhjäkäyntiä ja kasasi pölkyn ennen seuraavan tekoa. Näin hän jatkoi puulta puulle kasaten aina pölkyn kerrallaan.

Milloin puu kasvoi niin lähellä aiottua kasan paikkaa, että tyvipölkky voitiin kaataa suoraan kasan paikalle, asetti tekemies aluspuut valmiiksi maahan, jolloin raskaan tyvipölkyn siirtelyltä vältyttiin. Keskimääräinen kasaumatka vastasi noin 20 metrin palstatieväliä ja kasan kokovaatimuksena oli vähintään yhden kourataakan koko.

Koska aineisto käsitti työajan menekin osalta kahden tekomiehen ja muuten yhden tekomiehen työtä, ei tulosten invarianssia missään tunnetussa hakkuumiespopulaatiossa voida osoittaa. Kun toisaalta tarkastelu rajoitetaan syy-suhteiden selvittämiseen ei näytteen yhteyksien suhteen tehdä helposti vääriä johtopäätöksiä, jos kaikki oleelliset tutkittavien ominaisuuksien suhteeseen vaikuttavat ominaisuudet on voitu havaita. Tässä yhteydessä lähinnä tekomiehen ominaisuuksien ja eräiden käytännöllisesti katsoen vakiona pysyneiden olosuhdemuuttujien vaikutusta ei ole mahdollista ottaa huomioon.

Malli laadittiin kovarianssianalyysin avulla käyttäen parittaisten keskiarvojen vertailussa Tukeyn menetelmää ja suorittamalla aineiston keruun yhteydessä rungon koon suhteen ns. balancing ('tasoint'). Aikaisempiin tutkimuksiin perustuen pyrittiin useimpien työhön vaikuttavien tekijöiden vaikutuksen eliminointiin.

Runkokohtaista työaikaa saatiin kuvaamaan luvussa 32 esitetyt mallit. Vain rungon koko on merkitsevästi vaikuttanut työaikaan. Oksaisuusluokan vähäinen vaikutus lienee oksaisuuden pienen vaihtelun seurausta.

Malli on tulkittu siten, että kaikki kolme työjärjestystä muodostuvat samoista, periaatteessa yhtä pitkistä työvaiheista, joiden erilainen jaksottaminen ei ole lisännyt työajan me-

nekkii. Määrätyn esim. karsinta-katkonta-työvaiheen keskeyttäminen ja sahan laskeminen maahan kasauksen ajaksi on niin nopea toimenpide, ettei siitä aiheutuva ajan menekki — jos siitä ylipäänsä aiheutuu ajanmenekkiä — ole tilastollisesti merkitsevää, koska muusta työstä aiheutuva ajanmenekki ja sen hajonta ovat verrattomasti paljon suurempia.

Työn kuormittavuutta kuvasi luvussa 33 esitetty malli, jolloin työn kuormittavuuden mittarina käytettiin kaato-, karsinta- ja kasaustyövaiheiden yhteenlaskettua valtimon sykettä.

Regressiomuuttujien käyttöön ei ollut mahdollisuuksia, koska pulssimittausta ei voitu suorittaa runkokohtaaisesti. Kaikkia kolmea työjärjestystä käytettäessä valtimon sykkeiden parittaiset keskiarvot erosivat merkitsevästi toisistaan. Rasitushuippujen tutkimiseksi laadittiin malli myös pelkästään kasaustyövaiheen sykearvoista. Jälleen kaikkien työjärjestysten parittaisten keskiarvojen testaus osoitti merkitsevien erojen olemassaolon.

Mallia tulkittiin seuraavasti (vrt. kuva 1). Tulos on seurausta siitä että yhtä suurta lihasvoimaa käytettäessä työajan lisääntyessä ns. happivelka kasvaa suhteellisesti ajanlisäystä voimakkaammin. Koska työajoissa eri työjärjestyksiä käytettäessä ei ole eroja, on päätetty ettei kuormittumista kasauksessa voi tasata työtahtia muuttamalla aiheuttamatta samalla eroja tuotoksissa em. työjärjestysten välillä.

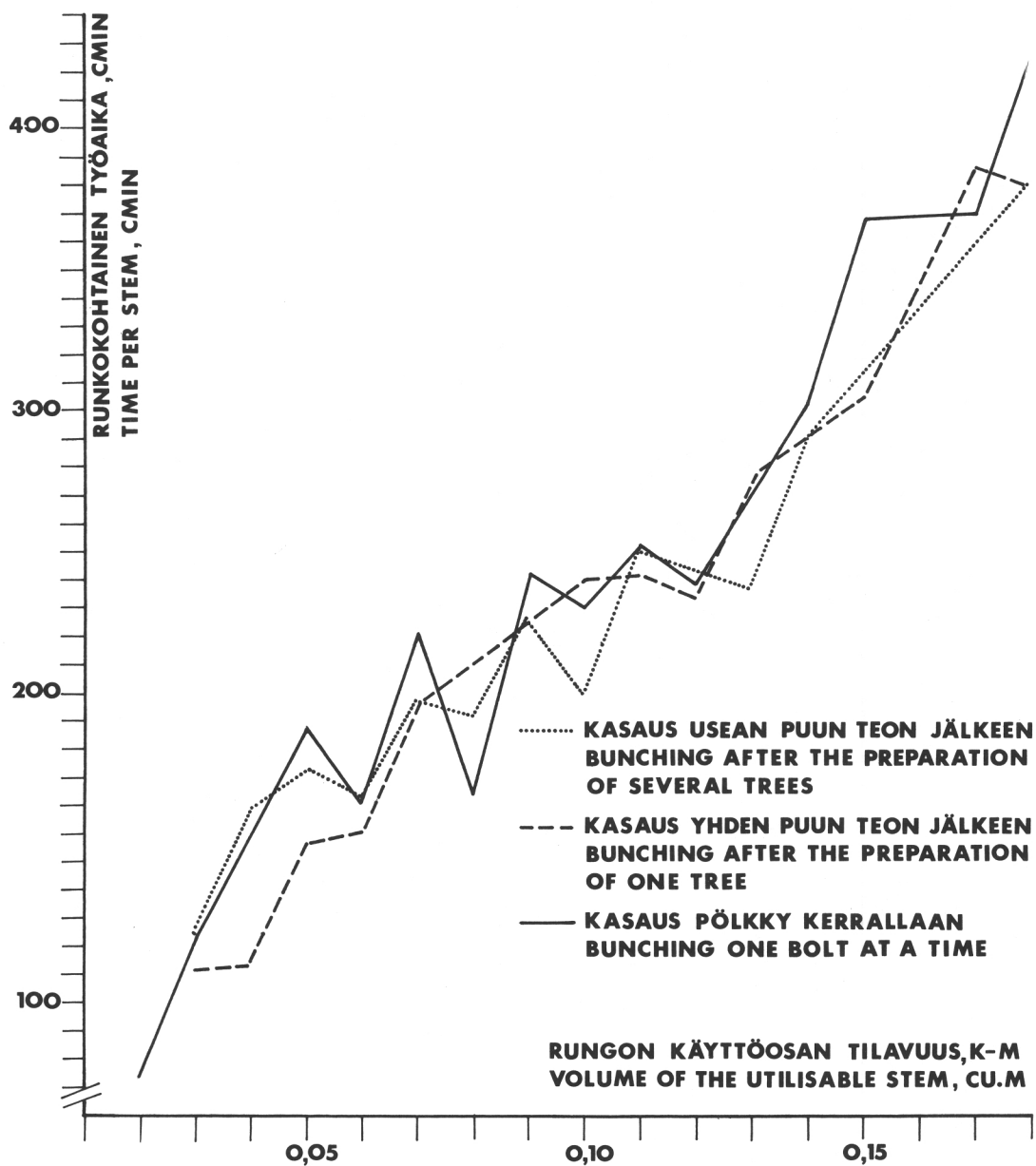
Melun ja tärinän yhtäjaksoista altistus- ja elpymisaikaa kuvaamaan saatiin neliöjuurimuunnoksen jälkeen luvussa 34 esitetyt mallit. Muunnosta käytettiin varianssien samansuuruisuuden palauttamiseksi. Yhtäjaksoista elpymisaikaa (= kasausta) kuvasi niin ikään neliöjuurimuunnoksen jälkeen luvussa 34 esitetty malli.

Taulukon 4 perusteella on helppo päätellä, että altistus- ja elpymisaikojen erilainen pituus eri työjärjestyksiä käytettäessä on suoranaista seurausta siitä, että mitä useampi pölkky tehdään yhtäaikaa sitä suuremmaksi kasvaa yhtäjaksoinen sahan käsittelyaika. Vastaavasti mitä useampi pölkky kasataan yhtäjaksoisesti, sitä suurempi on aika, jolloin saha ei ole kädessä. Taulukossa on esitetty sahan käsittelyajan jakaantuminen teho- ja tyhjäkäyntiaikaan. Tällöin vain yli 5 cmin jaksot on eroteltu.

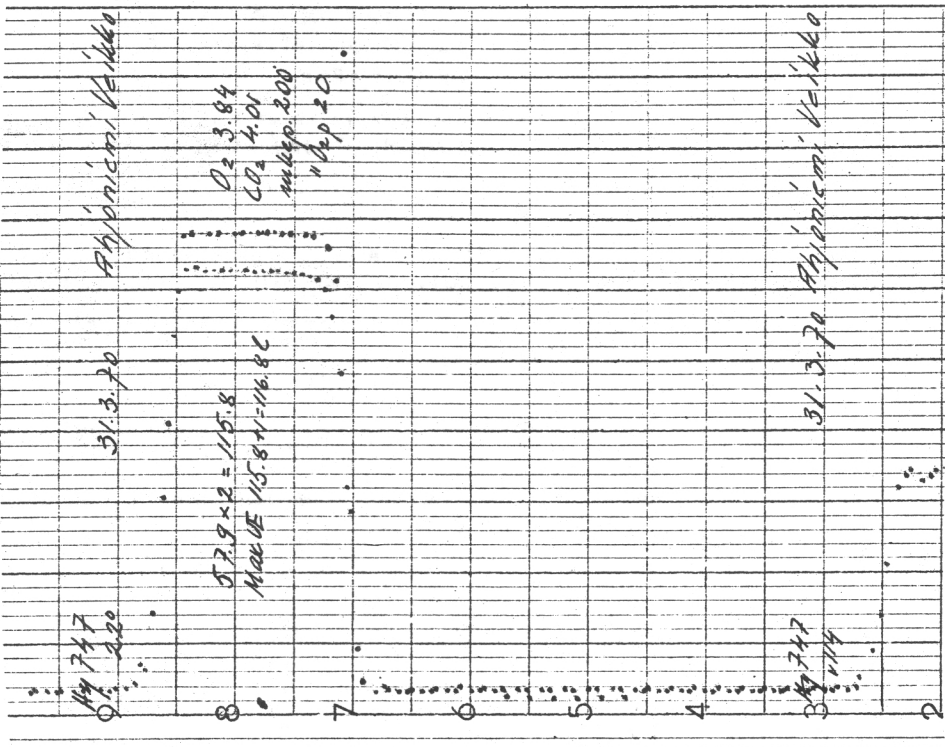
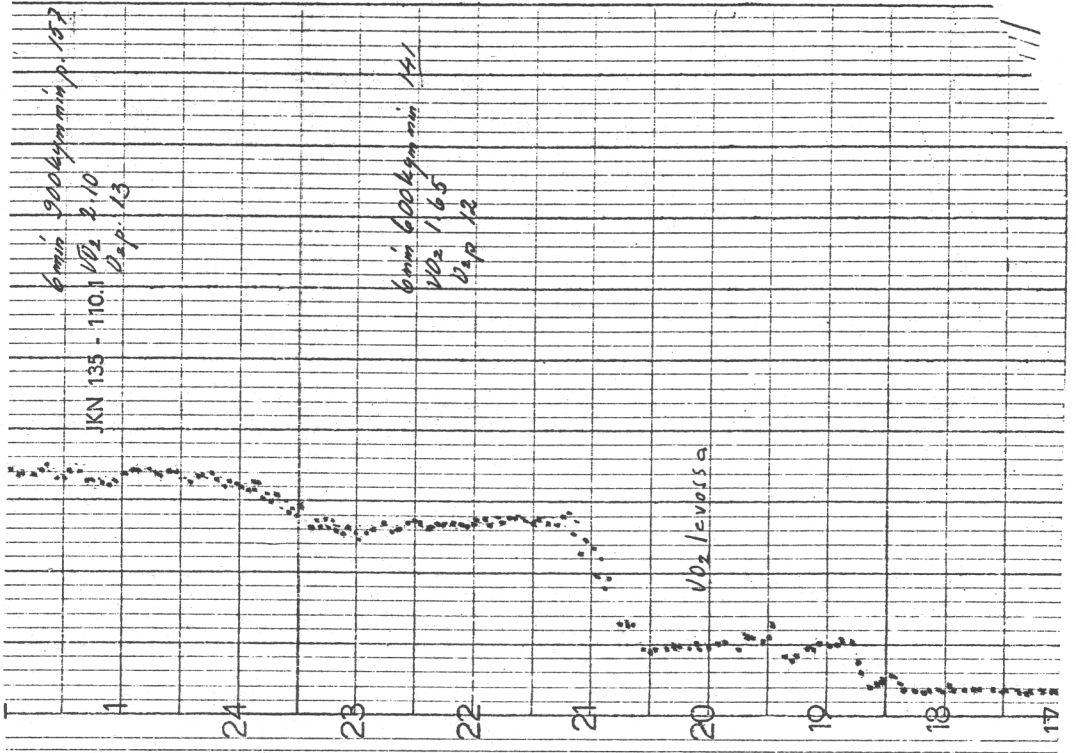
KIRJALLISUUSLUETTELO

- AGER, B.H. 1967. Tidsformler för huggning på fältstudier 1959–67. Time Formulae for Felling Operation, Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Raport 12. Stockholm.
- AHO, K. 1969. Moottorisahojen kädensijojen joustavan kiinnityksen vaikutus sahaajan tuntemaan tärinään. Työterveysuutiset 3.
- AHONEN, M. 1970. Tutkimus tynkäkarsinnan ja silmävaraisen apterauksen vaikutuksesta mäntysahapuiden tekoon. Metsäteknologian laudaturtyö maatalous- ja metsätieteen kandidaatin tutkintoa varten. Konekirjoite.
- APPELROTH, S. –E. ja HARSTELA, P. 1970. Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Studies on afforestation work I. Folia Forestalia 85. Helsinki.
- ARO, P. 1936. Aikatutkimuksia koivuhalkojen teosta. Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja 23:4.
- AXELSSON, S.–A. 1967. Analysis av motor-sågars vibrationer. Analysis of Vibrations of Power Saws. Skogshögskolan Institutionen för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser 31. Stockholm.
- BAILEY, J.R. 1963. Noise and Vibration in Chain Saws. Society of Automotive Engineers. National West Coast Meeting. Seattle.
- BENNET, E., DEGAN, J., SPIEGEL, J. 1963. Human Factors in Technology. New York – San Francisco – Toronto.
- BJERKER, N., KYLIN, B., LINDSTRÖM, I.–M. 1970. Changes in the Vibratory Sensation Threshold after Exposure to Powerful Vibration. A Preliminary Report. Work-Environment-Health. Volume 7, no. 1. Institute of Occupational Health, Helsinki.
- DIXON, W., MASSEY, F. 1951. Introduction to Statistical Analysis. New York – Toronto – London.
- CORPE, 1969. Tämän päivän liikkeenjohtoa. Helsinki.
- GROUNDS, M. 1964. Raynaud's Phenomen in Uses of Chainsaws. The Medical J. of Australia, 1,270.
- HARSTELA, P. 1970 a. Kasausajan ja valtimon-lyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulsitutkimuksen sekä frekvensianalyysin avulla. Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests, pulse study and frequency analysis. Folia Forestalia 80, Helsinki.
- HARSTELA, P. 1970 b. The effect of winter conditions on the preparation of rough-limbed spruce pulpwood of approximate length. Talviolosuhteiden vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun tekoon. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 69.2. Helsinki.
- HARVEY, 1966. Least Square Analysis of Data with Unequal Sum Numbers United States Department of Agriculture.
- HELLSTRÖM, B. og VIK, T. 1970. "Hvite fingre" hos norske skogsarbeidere. Kliniske og eksperimentelle undersøkelser. Foreløpig arbeidsrapport. "White fingers" in Norwegian forest workers. A clinical and experimental study. Preliminary report. Det Norske Skogforsøksvesen. Driftsteknisk rapport nr. 9. Oslo.
- HOEL, P. 1964. Introduction to mathematical statistics. New York – London.
- KAHALA, M. 1969. Tutkimus puutavaran valmistukseen vaikuttavista tekijöistä. Palkka-perustetutkimus. A study of the factors influencing the cutting of timber. Wage Base Study. Metsätehon julkaisu n:o 44. Helsinki.
- KAMINSKY, Von G. 1964. Motorsägenarbeit und Handgeschicklichkeit. Forstarchiv, Heft 12. Hannover.
- KARVONEN, M. 1963. Raskas ruumiillinen työ. Bioteknologia. Helsinki.
- KILANDER, K. 1961. Variationer i tidsåtgång vid huggning av obarkat virke inom Norrland och Dalarna. Time Consumption Variations for Felling of Unbarked Timber in Northern Sweden. Forskningsstiftelsen SDA, Meddelande 71. Stockholm.
- KOIVISTO, V. 1970. Moottorisahan vaarat. Valkeat sormet. Teho No 1–2. Helsinki.
- KOSKELA, A. 1963. Työliikkeitten fysiologiaa. Bioteknologia. Helsinki.
- KÄRKKÄINEN, M. 1970. Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa. The Amount of Injuries Caused by Timber Transportation in the Summer. Acta Forestalia Fennica. Vol. 100. Helsinki.
- LEVANTO, S. 1965. Tutkimuksia moottorisahakarsinnasta. Investigations into the lopping of felled trees by power saw. Työtehoseuran julkaisuja 109. Helsinki.
- LEVANTO, S. 1970. Työtahdin vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. The effect

- of work pace on logger stress. Työtehoseuran julkaisuja N:o 148.
- LUTHMAN, G., ÅBERG, U., LUNDGREN, N. 1969. Handbok i ergonomi. Uppsala.
- MAGID, E., COERMANN, R., ZIEGENRUECKER, G., 1960. Human Tolerana to Whole Body Sinusoidal Vibration. Aerospace Med. Vol. 31.
- MAKKONEN, O. 1950. Hakkuutöiden aika-tutkimustulosten soveltaminen käytäntöön. Practical Application of the Results of Time Studies in Logging. Metsätehon julkaisu n:o 25. Helsinki.
- MATTILA, S. 1961. Matematiikka ja taloustieteellinen tutkimus. Summary in English. Liiketaloustieteellinen aikakauskirja 10. Helsinki.
- MATTILA, S. 1966. Tilastotiede II. Kauppakorkeakoulu. Helsinki.
- PUTKISTO, K. 1947. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta II. Aikatutkimuksia vanerikoivujen rasiinkaadosta, karsimisesta ja katkomisesta. Investigations Concerning the Logging of Veneer Birches II. Time Studies on the summer felling, branching and bucking of veneer birches. Metsätehon julkaisu 5. Helsinki.
- SAMSET, I., STRØMNES, R. og VIK, T. 1970. Hogsfundersøkelse i norsk gran – og furuskog. Meddelelser fra det norske skogforsøksvesen. Vollebekk.
- SILANDER, S. 1967. Tutkimus eri karsinta-asteisten runkojen hakkuusta verrattuna pinotavaran palstatiin varteen hakkuuseen. Metsähallinnon hankintateknillisen toimiston tutkimusselostus 77. Hirvas.
- SILANDER, S. 1968. Tutkimus ajouravälin vaikutuksesta pinotavaran hakkuussa Pohjois-Suomessa. Metsähallituksen kehittämisjaoston tutkimusselostus 91. Hirvas.
- SNEDECOR, G.W. and COCHRAN, W.G. 1967. Statistical methods. Ames.
- SÄLLFORS. 1945. Teollisuuden työntutkimukset. Helsinki.
- TREIBERG, B., UTBULT, B., and PLEVIN, E. 1964. Om verkningar av motorsågsvibrationer i skogsarbete Institutionen för skogsteknik, Skogshögskolan, rapporter och uppsatser nr 22.
- TURPEINEN, O. 1967. Fysiologia. Porvoo–Helsinki.
- Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. 1969. Koetusselostus 719. Helsinki.
- VEHVILÄINEN, H. 1971. Metsätyömiesten moottorisahakustannukset 1969–1970. Käsikirjoitus.
- WRIGHT, I.S. 1952. Vascular Diseases in Clinical Practice. 2:d E.
- ZOTTERMAN, Y., LUNDGREN, N. 1948. Studier över tungt kroppsarbete. Förslag Ab Affärsökonomi, Stockholm.
- ÅSTRAND, I. – ÅSTRAND, P.O. – CHRISTEN, E. Hohwü och Hedman, R. Intermittent muscular work. Acta Physiol. Scand. 48. 433.



Liite 1. Runkokohtaiset luokkakeskisarvojen mukaiset työajat rungon käyttöosan tilavuuden funktiona työntekijällä yksi.
 Appendix 1. Per-stem working times as a function of the volume of the usable portion of the stem (worker 1.).



Sykemittausvälineet

KN-telemetri (Työterveyslaitoksessa valmistettu)

Kantomatka n. 20 m

Taajuus 102 MHz

Toimintaperiaate:

Sydämen toiminta synnyttää sähköisiä jännitteitä, jotka voidaan mitata iholta esim. rintakehästä. V 5 kytkennässä saadaan suurin R- piikin amplitudi (0,5–8 mV). Tätä käytetään liipaisemaan lähettimen pienjakso-oskillaattoria, joka moduloi lähettimen kantoaaltoa. Lähette vastaanotetaan normaalilla ULA-vastaanottimella (esim. matkaradiolla), josta R-piikin kestoajana kuullaan voimakas ”piippaus”. Koska R-piikit ovat ajallisesti sidottuja sydämen toimintarytmiin, voidaan ”piippauksista” sydänkellon avulla laskea syke/min. Vastaanottimena oli matkaradio, johon oli yhdistetty kuulokkeet.

- No 83 Ole Oskarsson: Pluspuiden fenotyypisessä valinnassa sovellettuja valinnan asteita. Selection degrees used in the phenotypic selection of plus trees. 1,50
- No 84 Kari Keipi ja Otto Kekkonen: Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. 2,—
- No 85 S.—E. Appelroth — Pertti Harstela: Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon. Studies on afforestation work I. The use of semi-circular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LMD-1 tree planters in planting spruce in fields. 3,—
- No 86 Pertti Veckman: Metsäalan toimihenkilöiden koulutustarve 1970-luvulla. Educational requirements of professional forestry staff in the 1970s. 4,—
- No 87 Michael Jones and David Cope: Economics Research in the Finnish Forest Research Institute, 1969—1974. 4,—
- No 88 Seppo Ervasti, Lauri Heikinheimo, Kullervo Kuusela ja Veikko O. Mäkinen: Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970—2015. 6,—
- No 89 Risto Sarvas: Establishment and registration of seed orchards. 2,—
- No 90 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1968—70. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1968—70. 5,—
- No 91 Pertti Harstela ja Teemu Ruoste: Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja riviharvennuksessa. Laitteiden ja menetelmien kehittelyä sekä tuotoskokeita. Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. 2,50
- No 92 Pentti Hakkila ja Pentti Rikkonen: Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Spruce saw logs as raw material of pulp. 1,50
- No 93 Kari Löyttyniemi: Havupunkin ja kuusen neulaspunkin torjunta. Control of mites *Oligonychus ununguis* and *Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis*. 2,50
- No 94 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 5. Koivun uudet paperipuutaulukot. Sortimentafeln 5. Neue Papierholztafeln für Birke. 2,50
- No 95 Jorma Rajala: Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964—68. 2,50
- No 96 Metsätalastollinen vuosikirja 1969. Yearbook of forest statistics 1969. 8,—
- No 97 Juhani Numminen: Short-term forecasting of the total drain from Finland's forests. Suomen metsien kokonaispoistuman lyhytjaksoinen ennustaminen. 1,50
- No 98 Juhani Nousiainen, Jukka Sorsa ja Paavo Tiihonen: Mänty- ja kuusitukkpuiden kuutiomismenetelmä. Eine Methode zur Massenermittlung von Kiefern- und Fichtenblochholz. 4,—
- 1971 No 99 Yrjö Vuokila: Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd i Finland. Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. 2,—
- No 100 Esko Leinonen ja Kalevi Pullinen: Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa. Green density sampling in pulpwood scaling. 2,—
- No 101 IUFRO, Section 31, Working Group 4: Forecasting in forestry and timber economy. 5,—
- No 102 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1969/70. Stumpage prices in private forests during cutting season 1969/70. 1,—
- No 103 Matti Ahonen: Tutkimuksia kanto- ja juuripuun korjuusta I. Kokeilu puiden kaatamisesta juurakkoineen. Studies on the harvesting of stumps and roots in Finland I. Experiment with the felling of trees with their rootstock. 2,—
- No 104 Ole Oskarsson: Plusmetsiköiden valintaero ja jalostusvoiton ennuste. Selection differential and the estimation of genetic gain in plus stands. 1,50
- No 105 Pertti Harstela: Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood. 2,50

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, Helsinki 10, p. 645 121
Merkintä O D C tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää

