

FOLIA FORESTALIA 242

METSÄNTUTKIMUSLAITOS • INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE • HELSINKI 1975

PERTTI HARSTELA

TYÖN TUOTOS JA TYÖNTEKIJÄN
KUORMITTUMINEN VYÖHYKEKATSAUS-
MENETELMÄÄ KÄYTETTÄESSÄ

THE EFFECT OF BUNCHING
INTO ZONES ON PRODUCTIVITY
AND STRAIN OF THE WORKER
CUTTING PULPWOOD

- 1973
- No 173 Matti Palo & Esko Fälä: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1970 (1964, 1967).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1970 (1964, 1967), by districts. 5,—
- No 174 Jorma Riikonen: Kuitupuun kuoren kutistuminen metsävarastoinnissa.
The volumetric shrinkage of pulpwood bark. 1,50
- No 175 Lauri Heikinheimo, Matti Heikinheimo & Aarne Reunala: Earnings of forest workers in Scandinavia, especially in Finland.
Metsätyömiesten ansiot Suomessa ja muissa pohjoismaissa. 8,—
- No 176 Matti Palo & Mikko Tervo: Hakkuumäärien lyhytjaksoinen ennustaminen.
Short-term forecasting of cut in Finland. 5,—
- No 177 Olavi Huuri: Taimitarhanoston suoritustavan vaikutus kuusen ja männyn taimien alkukehitykseen.
The effect of nursery lifting methods on initial development of spruce and pine transplants.
- No 178 Matti Leikola & Jyrki Raulo: Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten III. Taimien morfologisten tunnusten muuttuminen kasvukauden aikana.
Investigations on the basis for grading nursery stock III. Changes in morphological characteristics of nursery stock during the vegetation period. 2,—
- No 179 Paavo Valonen & Matti Ahonen: Vajaakarsinta ja silmävarainen apteeraus kuusisaha-puun teossa.
The partial limbing and ocular marking for crosscutting in the preparation of spruce sawlogs. 4,—
- No 180 Pentti Rikkonen: Havusahatukkien latvamuotoluvut erilaisia läpimittaluokituksia käytettäessä. 1,—
- No 181 Veijo Heiskanen: Havusahatukkien kapeneminen ja latvamuotoluku Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla.
Taper and top form factor of coniferous sawlogs in Kainuu and North Ostrobothnia regions. 2,—
- No 182 Veijo Heiskanen & Jorma Riikonen: Kuitupuun kehysmitta ja pinotiheys autokuljetuksen eri vaiheissa.
Piled measure and solid volume content of pulpwood piles in various phases of truck transportation. 2,50.
- No 183 Heikki Nikkilä: Kylkitiheysmenetelmä kuitupuupinon kiintomitan määrittämisessä.
The pile face density method in measuring the solid volume of a pulpwood pile. 4,—
- No 184 Olavi Saikku: Lannoituksen vaikutuksesta männyn kuoren määrään kangasmaalla.
The effect of fertilization on the amount of the bark of Scotch pine in forest land. 1,50
- No 185 Kaj Aspund, Erkki Lähde & Erkki Numminen: Vajaasti kypsyneen männyn siemenen kehitys käpyjen varastoinnin aikana.
On the development of incompletely ripened seeds of Scots pine in cones under storage. 1,50.
- No 186 Esko Jaatinen: Recreational utilization of Helsinki's forests. 4,—
- No 187 Markku Mäkelä: Kanto- ja liekopuun korjuu polttoturvesoilta.
Harvesting of stump and moor wood from fuel peat bogs. 2,—
- 1974
- No 188 Pirkko Velling: Männyn (*Pinus silvestris* L.) puuaineen tiheyden fenotyypisistä ja geneettisestä vaihtelusta.
Phenotypic and genetic variation in the wood basic density of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) 3,—
- No 189 Risto Seppälä: Yksityismetsänomistajien hakkuukäyttätyminen Suomen itäosissa.
Cutting behaviour of private forest owners in eastern Finland. 4,—
- No 190 Risto Seppälä: Raakapuun tarjonnasta Suomessa.
On the supply of roundwood in Finland. 4,—
- No 191 Kullervo Kuusela & Alli Salovaara: Ahvenanmaan maakunnan, Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon ja Etelä-Karjalan piirimetsälautakunnan metsävarat vuosina 1971—72.
Forest resources in the District of Ahvenanmaa, and the Forestry Board Districts of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pirkka-Häme, Itä-Häme, Etelä-Savo and Etelä-Karjala in 1971—72. 7,—
- No 192 Paavo Tiuhonen: Puutavaralajirakenteen likimääräisarvioinnissa käytettäviä menetelmiä.
Methoden für die annähernde Schätzung des Holzsortenstruktur.
- No 193 Terho Huttunen: Suomen sahateollisuus vuonna 1972.
The sawmill industry in Finland in 1972. 4,—
- No 194 Ukko Rummukainen: Herbisidiraikeden männyn- ja kuusentaimille aiheuttamista kuorivioituksista.
On bark damages caused to Scots pine and Norway spruce plantations by granular herbicides. 2,—
- No 195 Metsätalastollinen vuosikirja 1972.
Yearbook of forest statistics 1972. 12,—
- No 196 Erkki Lähde: The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of Pine (*Pinus silvestris* L.) seed.
Kylvösuojan ja kylmästratifioinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. 2,—

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1975

Pertti Harstela

TYÖN TUOTOS JA TYÖNTEKIJÄN KUORMITTUMINEN
VYÖHYKEKASAUSMENETELMÄÄ KÄYTETTÄESSÄ

The effect of bunching into zones on productivity and strain of the worker
cutting pulpwood

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston ergonomisten tutkimusten eräänä aihe-ryhmänä on ihmistyönä suoritettava puutavaran kasaus. Nyt julkaistava tutkimus kuuluu osana työmenetelmien kehittämistutkimuksiin, joiden tarkoituksena on vähentää kasaustyön fyysistä kuormittavuutta ja tukielimiin kohdistuvaa kuormitusta. Tutkimukset jatkuvat mm. työmenetelmistä luikupuomilla varustettua kuormainta varten, tavanomaisesta palstalle kasauksesta sekä eräistä uusista tekemieskohtaisista kasauslaitteista.

Enso-Gutzeit Osakeyhtiön metsäosasto ja metsäntutkimuslaitoksen kokeilualue toimisto

luovuttivat käyttööni koehenkilöt ja tutkimus-työmaat. Erityisesti avustivat piirityönjohtaja HANNES NENONEN ja metsäteknikot ANTTI NIEMELÄ ja RISTO HELKIÖ:

Prof. PENTTI HAKKILA on lukenut käsi-kirjoituksen ja esittänyt huomion arvoisia parannusehdotuksia. Kenttä- ja laskentatöihin osallistui kenttämestari SAULI TAKALO, metsäteknikko PERTTI LAAKSO, työnjoht. KARI SAVALA, tutk.apul. JUSSI KORHONEN ja koeapul. URPO PAANANEN. Käännöstyön suoritti Dr. KIM von WEISSENBERG ja konekirjoituksesta huolehti neiti RAIJA SIEKKINEN. Kiitän kaikkia työhön osallistuneita.

Suonenjoki 3. 4. 1975

Pertti Harstela

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
SUMMARY	3
TIIVISTELMÄ	3
1. JOHDANTO	5
2. TUTKITUT TYÖMENETELMÄT	5
3. TUTKIMUSAINEISTO	6
4. TUTKIMUSTULOKSET	8
41. Tehotyöajanmenekki	8
42. Työntekijän fyysinen kuormittuminen	9
43. Kasojen koot ja keskimääräiset kasaumatkat	10
44. Kasaustavat ja tukielimien kuormittuminen	11
45. Vyöhykekasauksen vaikutus metsäkuljetukseen ja työkustannuksiin	14
5. TULOSTEN TARKASTELUA	15
KIRJALLISUUSLUETTELO	16
LIITTEET	17

SUMMARY

The objective of the study was to investigate the strain on a worker and time consumption during a work method the aim of which was to reduce the carrying distance of pulpwood. This method was compared to ordinary cutting of pulpwood and bunching it next to the strip road (Method 1). Method 2 consisted of cutting and bunching pulpwood into 5 m wide zones on both sides of the strip road. The minimum size of the bunch was 0.3 m³. The hauling was to be done with a forest tractor equipped with a standard grapple loader.

Time consumption in Method 2 was found to be on an average 8 % smaller compared to Method 1. Since the difference was the same during bunching it was concluded that bunching into zones was done at a faster pace. Assuming that bunching into zones only affects the phase of bunching it was concluded that the increase in productivity was 2 %.

The physical strain on the worker when bunching into zones was reduced by an average of 6 %. This reduction was not found for all

subjects which may have been a result of the faster pace. On the bases of limited EMG-studies and observations of methods of bunching it was concluded that bunching into zones does not, however, reduce the strain on supporting parts of the body – especially the back – since the lifting is the heaviest work phase during bunching and this occurs more frequently during bunching into zones due to the increased productivity.

In a limited study of hauling with a forest tractor equipped with a standard grapple loader it was found that bunching into zones reduced productivity of hauling with an average of 11.5 %. According to previous studies the reduction would be estimated to 5 %. No important saving in costs are to be gained by bunching into zones. The situation is different, however, when new grapple loaders with longer booms are used. Then bunching into zones can be used when widely spaced strip roads, poor terrain and the remaining crop hinders bunching on the cutting chance.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää työntekijän kuormittumista ja työajanmenekkiä työmenetelmässä, jossa kuitupuupölkkyjen kantamismatkaa pyrittiin lyhentämään. Vertailumenetelmänä oli tavanomainen kuitupuun teko ajouran varteen kourakasoihin (työmenetelmä 1). Tutkittavana työmenetelmänä oli ns. vyöhykekasaus, jossa kourakasat sai tehdä viiden metrin levyiselle vyöhykkeelle ajouran molemmin puolin (työmenetelmä 2). Myös kasojen kokovaatimus alennettiin 0.3 m³ :iin. Tarkoituksena oli, että vakiokuormaimella varustettu metsätraktori voi suorittaa metsäkuljetuksen.

Tehotyöajan todettiin olevan vyöhykekasauksessa keskimäärin 8 % pienemmän kuin vertailumenetelmässä. Koska kasaustyövaiheessa ero oli yhtä suuri, pääteltiin vyöhykekasasta tehdyn nopeammalla työtahdilla. Olettaen, että vyöhykekasaus vaikuttaa vain kasaustyövaiheeseen, hakkuutyön tuotoslisäys olisi n. 2 %.

Työntekijän fyysistä kuormittumista vyöhykekasaus alensi runkokohtaisena keskiarvona keskimäärin 6 %. Kaikilla työntekijöillä alenemista ei tapahtunut, mikä voi olla em. nopeamman työtahdin seurauksena. Suppeita EMG-mittauksia ja kasaustapoja tarkastelemalla päätel-

tiin, ettei vyöhykekasaus kuitenkaan vähennä tukielimiin – erikoisesti selkään – kohdistuvaa kuormitusta, koska nosto on tässä suhteessa kasauksen kuormittavin vaihe ja vyöhykekasauksessa nostetaan useampia pölkkyjä lisääntyneen työntuotoksen seurauksena.

Vakiokuormaimella varustetulla metsätraktorilla suoritetussa suppeassa metsäkuljetuskokeessa vyöhykekasaus alensi työn tyotosta keskimäärin 11.5 %. Kirjallisuustietojen perusteella

tuotoksen aleneminen olisi arvioitava pienemmäksi, n. 5 %:ksi. Ainakaan olellisia kustannussäästöjä ei vyöhykekasauksella ole saavutettavissa. Tilanne kuitenkin on toinen silloin, kun käytetään uusia aikaisempaa ulottuvampia kuormaimia. Tällöin vyöhykekasauksista voidaan soveltaa tilanteessa, jossa suuri palstatieväli, huono maasto tai jäävä puusto estävät palstalle kasauksen käytön.

1. JOHDANTO

Kasaus on useissa tutkimuksissa todettu puutavaran teon fyysisesti kuormittavimmaksi työvaiheeksi (esim. SAMSET ym. 1969, LEVANTO 1970, HARSTELA 1971). Kasauksen kuormittavuuteen on todettu vaikuttavan puutavaran pituuden (HARSTELA 1970, KLEN 1973, VALONEN 1974, WUOLIJOKI 1974), siirrotavan (RÖNNHOLM ym. 1963) ja työvaiheiden jaksottamisen (HARSTELA 1971). Lisäksi kasausmatkan pituus on VALOSEN (1974) tutkimuksessa osoittautunut merkittäväksi fyysisen kuormittumisen selittäjäksi.

Työmenetelmien kehittämisen siihen suuntaan, että pölkkyjen kantamismatkat lyhenevät ja osa kantamisesta voidaan korvata suorimisella, oletetaan vähentävän työntekijän kuormittumista. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kokeilla ns. vyöhykekasausta n. 5-metrin ulottuvuuden omaavaa kuormainta varten. Tutkimuksessa selvitetään työntekijän fyysinen kuormittuminen sykkeen perusteella, tiettyjen tukielinten lihaksiin kohdistuva kuormitus EMG-mittauksin ja työajanmenekit.

2. TUTKITUT TYÖMENETELMÄT

Tutkittiin seuraavia työmenetelmiä:

1. Teko ajouran varten n. 20 metrin ajouravälillä. Kasojen kokovaatimus oli työvaihetaksojen mukainen. Kasat tehtiin joko kohtisuoraan ajouraa vasten tai ajouran suuntaiseksi siten, että kasan ajouranpuoleinen sivu oli 0.5 . . . 1.0 metrin päässä ajouran reunasta. Muilta osin noudatettiin vakiintuneita kasausohjeita.

2. Vyöhykekasaus, jossa kourakasat tehtiin palsttien reunasta laskien kumpaankin suuntaan n. 4 metrin vyöhykkeelle. Näin kasat olivat metsätrktorin vakiokuormaimen ulottuvilla. Vyöhykekasauksessa vyöhykkeen leveys on siis riippuvainen käytettävän kuormaimen ulottuvuudesta. Palstalle kasaus on näin ollen vyöhykekasauksen erikoistapaus, jossa vyöhykkeen leveys on puolet ajouravälistä. Jotta vyöhyke voitaisiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyväksi pienennettiin kasan kokovaatimusta. Muilta osin käytettiin seuraavia työohjeita.

– Pölkkyjen kantamista on vältettävä mahdollisimman paljon muodostamalla pieniä kouraisuyksiköitä aikaisempaa leveämmälle alueelle.

Kantamisen sijasta pyritään kasojen viereen jääneet pölkkyt ”pyöräyttämään” tai ”suorimaan” kasaan.

– Kasojen muodostamisessa käytetään suunnattua kaatoa hyväksi mahdollisimman tehokkaasti, joten kaatosuunnat on harkittava hyvin.

– Kouraisutaakkojen päät sijoitetaan 0.5 . . . 4.0 metrin etäisyydelle ajouran reunasta niin, kourakuormain voi tarttua niihin.

– Kouraisutaakkojen suunta määräytyy puiden kaatosuunnan mukaan. Kuitenkin on vältettävä kasaamista pölkkyjä selvästi kouraisua haittaaviin paikkoihin.

– Hakkuutahteitä ei tarvitse poistaa kasan alta, mutta kasan välissä tai päällä ei saa olla oksia.

– Kouraisutaakan toiseen päähän (n. 1.0 metrin etäisyydelle kasan päästä) sijoitetaan yksi aluspuu.

– Kouraisutaakan ajouranpuoleinen pää pyritään saamaan tasaiseksi.

– Kouraisutaakan koon tulee olla vähintään 0.3 m³.



Kuva 1. Vyöhykasausta
Figure 1. Bunching into zones

– Eri puulajit kasataan omiksi kouraisutakkoiksi.

Kuvassa 1 nähdään vyöhykasaamisen työjälkeä.

3. TUTKIMUSAINEISTO

Aineisto kerättiin kolmelta työmaalta, joista kaksi sijaitsee Suonenjoella ja yksi Padasjoella. Aineistoa on käytetty ja selostettu aikaisemmassa työntutkimuksen teoriaa selvittäessä tutkimuksessa (HARSTELA 1975). Aineiston koko ja tärkeimmät työvaikeustekijät on esitetty taulukossa 1.

Vyöhykasaamisen osalta aineisto on verraten suuri ja suhteelliset työajat ja sykearvot saadaan verraten luotettavasti esiin.

Koehenkilöt olivat kaikki ammattimaisia Enso-Gutzeit Oy:n ja Metsäntutkimuslaitoksen koekelualetuimiston metsätyömiehiä. Heidän fyysiset ominaisuutensa on esitetty taulukossa 2.

Koehenkilöiden psyykkiset ja psykomotooriset ominaisuudet vaihtelivat teollisuustyöntekijöihin verrattuna keskiarvon molemmiin puolin. Subjektiiivisesti arvosteltu työtaito vaihteli myös huomattavasti. Fyysinen suorituskyky on ollut muuhun väestöön verrattuna hyvää keskitasoa ja lienee keskimäärin lähellä metsätyömiesten keskimääräistä tasoa (vrt. HEIKINHEIMO ym. 1974).

Sykemittaukset suoritettiin telemetrisesti Medicin Biotelemetry System IC-45 laitteistolla, johon oli liitetty koodinäppäimistö työvaiheiden merkitsemistä ja aikatutkimusta varten. Teho-työaika jaotettiin vakiintuneisiin työvaiheisiin.

Taulukko 1. Aineiston koko ja laatu
 Table 1. Amount and quality of data

Työntekijä, no — Subject no	Runkoja, kpl — Number of stems		Rungon keski- koko, m ³ Average size of stem, m ³	Oks. lk, — Average Branch- iness Class	Maas- tolk., ksm. Aver- age Ter- rain Class	Leimi- kon tihe- ys, m ³ / Density of cut- ting chance, m ³ /hec- tare	Jäävä m ³ /ha Remain ing crop, m ³ /hec- tare	Lumen syvyys cm — Snow depth, cm		Upottavuus, cm — Sinjing into the snow, cm		Lämpötila, C° — Temp., C		
	Mänty Pine	Kuusi Spruce						Koivu Birch	— x	s	— x	s	— x	s
Työmenetelmä 1 — Method 1														
1	87	4	8	0.07	1.6	I	40	120	40.6	7.2	6.0	0.1	8.4	7.5
2	262	—	11	0.07	1.6	I	46	120	50.3	6.3	7.0	0.1	5.8	7.3
3	107	—	14	0.07	2.1	I	44	140	—	—	—	—	21.1	1.9
4	—	61	10	0.07	2.2	I	55	140	—	—	—	—	10.8	1.2
5	—	140	3	0.10	2.6	I	47	130	—	—	—	—	7.9	1.3
Työmenetelmä 2 — Method 2														
1	263	—	7	0.06	1.2	I	45	120	45.1	5.2	5.0	0.1	5.2	7.1
2	270	—	9	0.07	1.3	I	44	120	38.5	5.3	5.0	0.1	5.3	7.2
3	66	—	14	0.07	2.4	I	42	140	—	—	—	—	18.5	2.8
4	1	76	8	0.08	2.2	I	50	140	—	—	—	—	12.1	2.4
5	—	139	2	0.06	1.7	I	55	130	—	—	—	—	10.0	0.2

x = Keskiarvo — mean

s = Keskihajonta — standard deviation

Taulukko 2. Koehenkilöiden fyysiset ominaisuudet ja taito.
 Table 2. Physical properties and working skill of the subjects.

Koehenkilö, no Subject, no.	Ikä, v Age, yrs	Pituus, cm Height, cm	Paino, kg Weight, kg	Hapenotto- kyky, ¹⁾ ml/kg/min Oxygen up- take, ¹⁾ ml/ kg/min	Terveystila ²⁾ Health condition ²⁾	Verenpaine, mmHg Blood press- ure, mmHg	Työtai- to ³⁾ Working ³⁾ skill
1	26	179	76	45	hyvä	115/75	4
2	39	176	73	55	lieviä hartia- ja jalkakipuja, hyvä	114/68	1
3	32	168	78	30	hyvä	130/75	5
4	52	170	73	48	jalkojen väsymistä	148/98	3
5	32	178	69	43	hyvä	124/74	2

- 1) Submaksimaalisella pyöräergometritestillä
- 2) EKG-tutkimus ja haastattelu
- 3) Subjektiiivisesti arvosteltu 1 (hyvä) . . . 5 (huono)
- 1) *Submaximum bicycle ergometer test*
- 2) *EKG-study and interview*
- 3) *Subjective grading 1 (good) . . . 5 (poor)*

Puukohtaisesti mitattiin läpimitat ja puun pituus kuutiointia varten, oksaisuusluokka, maaston kaltevuus, lumen syvyys ja upottavuus sekä jäävän puuston määrä, siirtymismatka ja keskimääräinen pölkkyjen kasusmatka.

EMG-kokeita on suoritettu erikseen sykemittauslaitteisiin liitetyn integraattorin, EMG-

lähettimen ja Honeywell 1706- valolaikkapiirturin avulla.

Kaikille työntekijöille koulutettiin tutkittujen työmenetelmien käyttöä metsätyön opettajan avulla yhden päivän ajan. Osalla miehistä näytti olevan vaikeuksia omaksua vyöhykekasausmenetelmää.

4. TUTKIMUSTULOKSET

4.1. Tehotyöajanmenekki

Tehotyöajanmenekin työntekijäkohtaiset regressioyhtälöt on esitetty liitteessä 1. Tavanomaisten työvaikeustekijöiden lisäksi malleissa ovat merkitsevinä selittäjinä leimikon tiheyden vaikutusta kuvaava siirtymismatka puulta puulle, siirtymisnopeus, joka kuvaa työtahtia, lämpötila tai työpäivän ajankohta sekä erällä työntekijöillä työpäivän järjestysnumero, joka selittää työn oppimista.

Regressioyhtälöistä on laskettu kaikille työntekijöille samaa työvaikeustekijäkombinaatiota vastaavat tehotyöajanmenekin puukohtaiset keskiarvot.

Vyöhykekasauksessa on sekä runkokohtainen aika että kasusaika ollut keskimäärin 8 % pienempi kuin vertailumenetelmässä. Koska vyöhykekasauksen ei pitäisi kovin voimakkaasti vaikuttaa muuhun kuin kasaustyövaiheeseen, näyttää siltä, että vyöhykekasaukselta on tehty nopeammin työtahdilla. Vaikka regressioyhtälöissä siirtymisnopeus onkin ollut selittäjänä, ei se välttämättä kuvaa työtahtia muuta kuin siirtymisen osalta.

Vaikka testiedellytysten voimassa oloa ei voitu todeta pienen vapausastemäärän vuoksi, testattiin menetelmittäisten työaikojen keskiarvojen eron merkitsevyyttä Studentin t-testillä.

Taulukko 3. Runkokohtaiset ja kasaustyövaiheen tehotyöajan menekit sekä suhteelliset työajat työmenetelmiä 1 ja 2 käytettäessä
 Table 3. Effective work time by stems and for the bunching phase and relative work time for work methods 1 and 2

Työntekijä, no Subject no	Tehotyöaika Effective work time		Suhteellinen tehotyöaika Relative effective work time	
	Työmenetelmä Work method		Työmenetelmä Work method	
	1	2	1	2
	Runkokohtainen By stems			
1	305	268	100	88
2	202	189	100	94
3	316	307	100	97
4	175	157	100	90
5	373	337	100	90
\bar{x}	274	252	100	92
t-arvo t-value	0.44			
	Kasaustyövaiheen – During bunching phase			
1	74	59	100	80
2	41	38	100	93
3	86	87	100	101
4	76	70	100	92
5	77	71	100	92
\bar{x}	71	65	100	92
t-arvo t-value	0.51			

Erot eivät osoittautuneet merkitseviksi. Sen sijaan vertailevan aikatutkimuksen periaatteen mukainen suhteellisen arvon hajonta edellyttää yksinkertaisen satunnaisotannan kaavalla lasketuna vain n. kolmen miehen otosta runko-kohtaisen ajan osalta, jotta voitaisiin 95 % riskillä olettaa, ettei saatu suhteellisten arvojen keskiarvo eroa yli 5 %:a koko populaation keskiarvosta (vrt. SNEDECOR ym. 1972). Kasaustajan osalta tarvittaisiin vastaavasti 11 koehenkilöä.

Voidaan siis verraten pienellä riskillä väittää, että vyöhykekasauksessa työajanmenekki on pienempi kuin normaalissa kuitupuunteossa ajouran varteen. Kun runko-kohtaiseen tehotyö-aikaan lisätään 20 % yleisiä aikoja ja keskeytyksiä, voidaan todeta, että tunkokohtaisten aiko-

jen perusteella vyöhykekasaus on ollut 8 % nopeampaa, mutta kasausaikojen perusteella laskettuna (kasausten osuus 25 %) 2 % nopeampaa työmaa-aikana ilmaistuna kuin normaali kuitupuun teko. Jälkimmäisessä laskutavassa on oletettu, ettei vyöhykekasaus nopeuta muita työvaiheita kuin kasausta eli siinä on työtahdin ero pyritty eliminoimaan pois. Oletuksen paikansa pitävyyttä ei kuitenkaan voida varmistaa.

42. Työntekijän fyysinen kuormittuminen

Työntekijän sykettä selittävät regressioyhtälöt on esitetty liitteessä 2. Merkitsevinä selittäjinä malleissa esiintyvät rungon tilavuus, oksaisuusluokka, siirtymismatka puulta puulle, siirty-

Taulukko 4. Runkokohtaiset ja kasaussykkeet sekä suhteelliset sykearvot työmenetelmiä 1 ja 2 käytettäessä.

Table 4. Pulse rate by stems and during bunching and relative pulse rate for work methods 1 and 2.

Työntekijä, no Subject no.	Sydämen syke Pulse rate Työmenetelmä Work method		Suhteellinen syke Relative pulse rate Työmenetelmä Work method	
	1	2	1	2
Runkokohtainen – By stems				
1	149	150	100	101
2	132	133	100	101
3	157	146	100	93
4	106	107	100	101
5	138	122	100	88
\bar{x}	136	132	100	97
t-arvo t-value	0.40			
Kasaustyövaiheen – During bunching phase				
1	149	150	100	101
2	133	129	100	97
3	125	114	100	91
4	104	107	100	103
5	147	133	100	91
\bar{x}	132	126	100	97
t-arvo t-value	0.44			

misnopeus, työpäivän ajankohta, lämpötila ja työmenetelmä.

Regressioyhtälöiden perusteella lasketut sykkeen puukohtaiset keskiarvot on esitetty taulukossa 4. Sykearvoina on käytetty kunkin työvaiheen lopussa havaittua frekvenssiä ja runko-kohtainen syke on työvaiheiden kestoajalla painotettu keskiarvo.

Työntekijöillä 1 ja 2 sekä kasaussykkeen osalta työntekijällä 4 ei työmenetelmä ole merkittävästi selittänyt sykettä. Voidaan siis todeta, että kahdella työntekijällä fyysinen kuormittuminen on ollut pienempää vyöhykekasauksessa kuin tavanomaisessa ajouran varteen teossa. Kolmen työntekijän osalta kuormittumisessa ei ole eroa. Tämä saattaa johtua siitä, että työntekijät ovat tehneet vyöhykekasausmenetelmää nopeammalla työtahdilla, kuten edellisessä luvussa on päätelty.

Menetelmien keskiarvojen ero ei ole tilastollisesti merkitsevä. Myös vertailevan työntutkimuksen periaatteen soveltaminen edellyttäisi suurempaa koehekiljoukkoa, jotta voitaisiin väittää, että yleensä hakkuumiespopulaatioissa vyöhykekasaus pienentää fyysistä kuormittumista. Koehenkilöjoukon koko on riittävä vain toteamukseen, ettei 95 % todennäköisyydellä tulos eroa enempää kuin $\pm 5\%$ koko populaation keskiarvosta. Hypoteettisesti tulos kuitenkin viittaa siihen, että vyöhykekasaus keventää työtä,

Sykearvoja vastaavat kuormittumisprosentit laskettiin submaksimaalisen pyöräergometritestin perusteella määritettyä maksimaalista sykettä käyttäen. Kuormittamisprosentti saatiin kaavasta:

$$K\% = \frac{100 (\text{työsyke} - \text{leposyke})}{\text{maks. syke} - \text{leposyke}}$$

Tulokset on esitetty taulukossa 5.

Keskimääräisesti vyöhykekasaus on ollut runko-kohtaisen kuormittavuuden osalta 6 % ja kasaustyövaiheen osalta 7 % vähemmän kuormittavaa kuin tavanomainen ajouran varteen kasaus. Kuormittamisprosenttien suhteellinen varianssi on kuitenkin vielä suurempi kuin sykearvojen, joten kuormittavuuseron varmistamiseksi tarvittaisiin huomattavasti suurempi aineisto, joka käytännössä kuitenkin on resurssien rajallisuuden vuoksi mahdotonta, koska tämän aineisto on jo tavanomaista suurempi.

43. Kasojen koot ja keskimääräiset kasaumatkat

Kasojen keskikoot, keskimääräiset kasaumatkat sekä kasojen etäisyydet ajouran reunasta eri työmenetelmiä käytettäessä kuvaavat omalta osaltaan sitä, kuinka työntekijät ovat pystyneet käyttämään hyväkseen kasojen kokovaatimuksen pienenemistä ja kasaussyöhykettä.

Keskimääräiset kasaumatkat ovat olleet jonkin verran lyhyempiä kuin HAAJAN (1970) ja VALOSEN (1975) tutkimuksessa. Tähän on vaikuttanut se, että kasojen keskikokokin on verraten pieni. Kaikilla työntekijöillä on kasojen koko ollut pienempi vyöhykekasauksessa. Samoin ainakin työntekijät 1 ja 2 ovat sijoittaneet

Taulukko 5. Sykekeskiarvoja vastaavat kuormittumisprosentit sekä suhteelliset kuormittumisarvot
 Table 5. Work strain percentages corresponding to average pulse rates and relative values of strain

Työntekijä, no Subject no	Runkokohtainen – By stems				Kasaustyövaiheen – During bunching phase			
	K-% Work strain-%		Suhteellinen k-% Relative work strain-%		K-% Work strain-%		Suhteellinen k-% Relative work strain-%	
	Työm. 1	Työm. 2	Työm. 1	Työm. 2	Työm. 1	Työm. 2	Työm. 1	Työm. 2
	Method 1	Method 2	Method 1	Method 2	Method 1	Method 2	Method 1	Method 2
1	65	66	100	102	65	66	100	102
2	58	59	100	102	59	56	100	95
3	69	59	100	86	40	30	100	75
4	39	40	100	103	37	40	100	108
5	56	43	100	77	63	52	100	83
\bar{x}	57	53	100	94	53	49	100	93
t-arvo t-value	0.55				0.46			

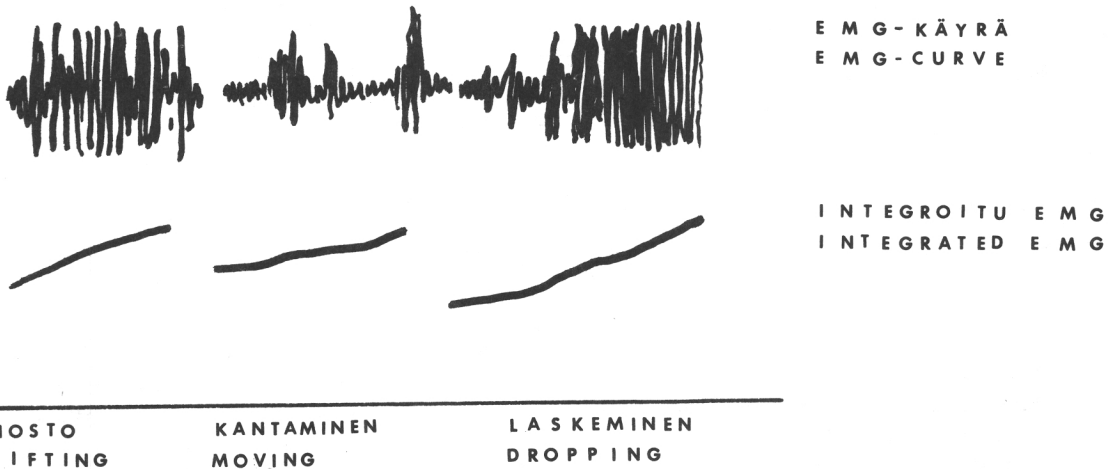
kasoja vyöhykkeen eri syvyyksille. Työntekijöillä 2 ja 3 on keskimääräinen kasaumatka ollut pitempi vyöhykekasauksessa. Tähän ainakin osasyynä lienee se, että heillä oli myös liemikon tiheys pienempi vyöhykekasauspalstalla kuin vertailumenetelmäpalstalla.

Tässä tarkasteltujen tunnusten arvojen hajonta on ollut suhteellisen suuri ja tulokset on käsitettävä vain suuntaa antavaksi. Näyttää kui-

tenkin siltä, että vyöhykekasausmenetelmä mahdollistaa pölkkyjen kasaumatkan lyhentämisen.

44. Kasaustavat ja tukielimien kuormittuminen

Kenttätöiden aikana otettiin ylös jokaisen pölkyn kasaustapa, jolloin erotettiin:



Kuva 2. Tyypillistä EMG-käyrää kasauksen aikana
 Figure 2. A representative EMG-chart obtained during bunching

Taulukko 6. Kourakasojen keskikoko ja sijainti sekä keskimääräinen kasaumatka työmenetelmiä 1 ja 2 käytettäessä
 Table 6. Average size and location of bunches and average distance of bunching for work methods 1 and 2

Työntekijä, no Subject no.	Kasan koko, m Size of bunch, m				Kasan etäisyys ajouran reunasta, m Distance of bunch from edge of strip road, m				Kasaumatka, m Distance of bunching, m			
	Työmenet. 1 Method 1		Työmenet. 2 Method 2		Työmenet. 1 Method 1		Työmenet. 2 Method 2		Työmenet. 1 Method 1		Työmenet. 2 Method 2	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	0.56	0.83	0.20	0.35	0.9	0.2	1.9	1.2	3.3	2.1	2.5	1.6
2	0.28	0.57	0.25	0.29	0.7	0.9	1.2	2.0	2.2	1.3	2.5	2.5
3	0.35	0.22	0.25	0.33	—	—	—	—	3.1	1.8	3.4	2.0
4	0.42	0.31	0.32	0.20	—	—	—	—	2.7	1.3	2.0	1.1
5	0.30	0.12	0.28	0.14	—	—	—	—	2.2	1.1	1.6	0.8
\bar{x}	0.38	0.41	0.26	0.26	0.8	0.5	1.6	1.6	2.7	1.5	2.4	1.6

\bar{x} = Keskiarvo — mean

s = Keskihajonta — standard deviation

- kantaminen, joka tarkoittaa pölkyn nostamista kokonaan ylös maasta ja siirtämistä kantamalla kasaan
- pyöräytys, joka tarkoittaa sitä, että pölkyn toisesta päästä pölkky ”pyöräytetään” pystyasennon kautta ympäri

- vetäminen, joka tarkoittaa sitä, että pölkyn toinen pää nostetaan irti maasta ja pölkky vedetään kasaan
- suoriminen, joka tarkoittaa sitä, että pölkyn toinen pää kohotetaan maasta ja pölkyn kohotettua päätä siirretään sivusuuntaan.

Taulukko 7. Kasaustavat työmenetelmiä 1 ja 2 käytettäessä.
 Table 7. Methods of bunching in work methods 1 and 2.

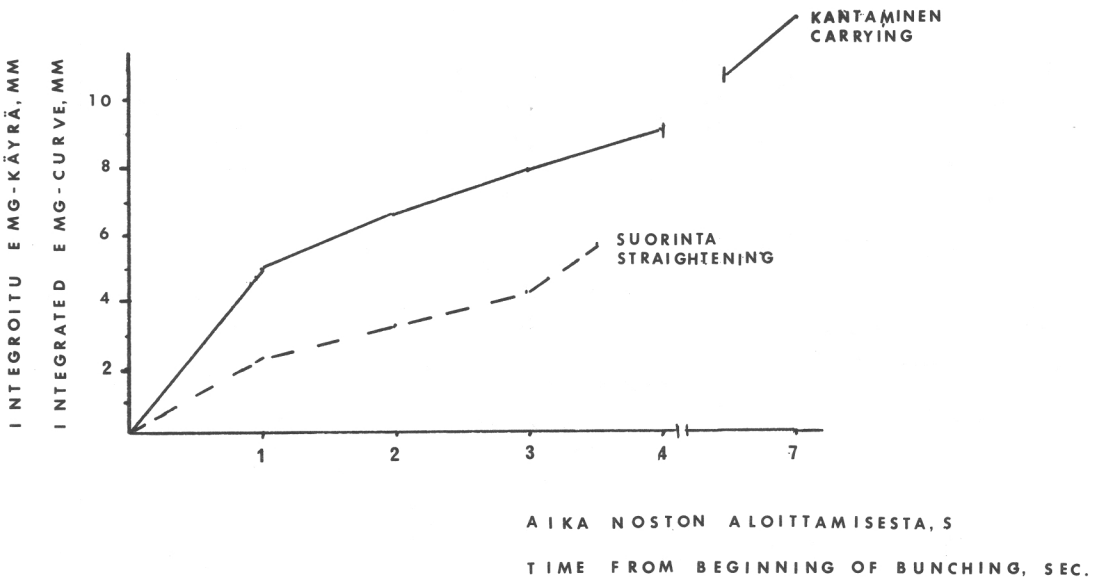
Työntekijä, no Subject no.	Kantoi Carried		Pyöräytti Rolled		Veti Rulled		Suori Straightened	
	työm. 1 Method 1	työm. 2 Method 2	työm. 1 Method 1	työm. 2 Method 2	työm. 1 Method 1	työm. 2 Method 2	työm. 1 Method 1	työm. 2 Method 2
	% pölkkyjen lukumäärästä — % of bolts							
1	52	44	3	6	41	39	4	10
2	78	65	2	9	19	24	1	2
3	68	71	9	6	21	20	2	3
4	94	89	1	3	4	8	1	1
5	87	87	3	2	9	9	1	2
\bar{x}	76	71	4	2	19	20	2	4

Kasaustavat eri työmenetelmiä käytettäessä on esitetty taulukossa 7.

Suurin osa kasauksesta on ollut kantamista kummassakin työmenetelmässä. Yhtä poikkeusta lukuunottamatta näyttää kuitenkin siltä, että vyöhykekasauksessa pölkkyjä on kasattu kantamalla hieman vähemmän kuin normaalissa ajouran varteen teossa.

Vyöhykekasauksessa työntekijä kantaa pölkkyjä lyhemmän matkan, mutta hän ehtii kuitenkin siirtää useamman pölkyn työpäivän aikana. Epätasaisessa maastossa pölkkyjä kannet-

taessa saattaa väsymisen ja maaston epätasaisuuden vuoksi sattua horjahtelua, joka aiheuttaa kuormitusta tukielimiin. Kuvassa 2 on esitetty tyypillistä EMG-käyrää selkälihaksesta pölkyn noston ja kantamisen aikana. Siinä näkyy veraten suuria hetkellisiä lihasjännityksiä myös kantamisen aikana. Kuitenkin suurin kuormitus selkälihakseen yleensä kohdistuu nosto- ja laskeumisvaiheissa kuten kuvasta 3 voidaan havaita. Siinä eri ajankohtien keskiarvojen perusteella piirretty integroitu EMG-käyrä on noussut eniten nostovaiheessa.



Kuva 3. Integroitu EMG-käyrä kasauksen aikana
 Figure 3. An integrated EMG-chart obtained during bunching

Nostoon liittyy lisäksi selkärangan kannalta se haitallinen piirre, että selän ollessa kaarevassa asennossa selkälihakset eivät jännity, vaan taakan paino kohdistuu kokonaan nikamien välilevyihin. Metsässä nosto suoritetaan usein hällisä olosuhteissa, joten on luultavaa, että oikeaa nostotekniikkaa on vaikea soveltaa. Järjestetyssä kokeessa työntekijä nosti ensin normaalisti pöllejä tasaisella lattialla ja sen jälkeen kiinnittäen erityistä huomiota siihen, että selkä oli noston alkaessa suorana. Noston alkuhetki huomioitiin subjektiivisesti painamalla EMG-piirturiin koodi. Voitiin todeta, että selkälihaksen EMG-käyrän mukainen jännittyminen alkoi jälkimmäisessä tapauksessa koodimerkkiin nähden aikaisemmin. Ero oli t-testin mukaan merkitsevä 7 % riskillä. Hartialihaksesta saatiin vastaava ero, mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tulosta on kuitenkin pidettävä hypoteettisena menettelyn subjektiivisuuden ja vain yhden koehenkilön vuoksi.

Kuvan 3 mukaan pölkyn suoriminen on ollut vähemmän selkälihasta kuormittavaa kuin nostaminen. Tuloksista ei kuitenkaan voi päätellä sitä, liittyykö suorimiseen kurkottelua, joka helposti lisää edellisessä kappaleessa selitettävä välilevyjen kuormittumista. Kurkottamiseen viittaa kuvassa 3 suorimista kuvaavan käyrän loppuosan suuri kulmakerroin. Vaikka suoriminen voitaisiinkin todeta vähemmän kuormittavaksi kuin kantaminen, on suorinnan osuus molemmissa työmenetelmissä ollut niin vähäi-

nen, että se ei oleellisesti muuta menetelmien välistä edullisuutta tukielinten kuormittumisen suhteen.

Voidaan todeta, että vaikka vyöhykekausaus pienentää pölkkyjen kantomatkoja ja kokonaiskausausaika sekä lisää hieman suorinnan ja pölkkyjen vetämisen osuutta, lisää se myös siirrettävien pölkkyjen määrää. Näin ollen se ei vähentäne tukielimiin – erikoisesti selkään – kohdistuvaa kuormitusta.

45. Vyöhykekausauksen vaikutus metsäkuljetukseen ja työkuuluiuksiin

Koska työntutkimusaineisto ajon osalta jäi pieneksi, perustetaan tässä luvussa esitetyt päätelmät suurelta osin kirjallisuustietoihin. Hakattu puutavara ajettiin vakiovarusteisella Volvo-BM-868 metsätraktorilla, joten tulokset perustuvat n. 5-m ulottuvuuden omaavan kuormaimen käyttöön. Ulottuvampien kuormaimien ilmestyminen markkinoille avaa kuitenkin uudet näkymät myös vyöhykekausauksen käytön suhteen.

Metsäkuljetuksen suorittivat kaksi kuljettajaa, joille on laskettu regressioyhtälöt taakakohtaisista työajoista (liite 3). Kuormauksen tehotyöaika muodostui seuraavaksi kasan koon ja sen sijainnin funktiona.

Taulukko 8. Kuormausajanmenekki kasan koon ja sijainnin funktiona.
Table 8. Consumption of loading time as a function of size and location of bunch.

Kasan koko, m ³ Size of bunch m ³	Taakkojen lukumäärä/ kasa Number of Burdens/ bunch	Tehotyöaika, cmin/m ³ Effective work time, cmin/m ³				
		Kasan etäisyys ajouran reunasta, m Distance of bunch to edge of strip road, m				
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Kuljettaja 1 – Operator 1						
0.2	1.0	260	270	290	310	330
0.4	1.1	147	153	164	175	186
0.6	1.3	117	122	130	139	148
Kuljettaja 2 – Operator 2						
0.2	1.0	173	197	243	289	337
0.4	1.1	112	124	146	169	191
0.6	1.3	104	113	130	143	161

Vyöhykekasauksen työohjeiden mukaan kasojen keskimääräinen koko pienenee n. 0.1 m^3 ja etäisyys ajouran reunasta lisääntyy n. 0.8 :sta 2 :een metriin. Nämä muutokset lisäsivät kuormausajanmenekkiä vakiokuormaimella taulukon 8 mukaan $30 \dots 45 \%$. Koska kuormausaika on n. 30% työajasta aleni metsäkuljetustuotos tämän aineiston mukaan n. $9 \dots 14 \%$.

KAHALAN ja RANTAPUUN (1970) ja KAHALAN (1972) tutkimuksissa kasan koon pieneminen 0.45 m^3 :sta 0.35 m^3 :een on lisännyt työajanmenekkiä 3 -metrisellä kuitupuulalla n. 3% . KAHALAN (1972) tutkimuksessa lisäksi kuormausetäisyyden kasvu yhdellä metrillä on lisännyt työajanmenekkiä n. 2% . Pelkkä kasan koon pieneminen lisäsi tässä tutkimuksessa työajanmenekkiä $4 \dots 5 \%$ ei hieman enemmän kuin Rantapuun ja Kahalan tutkimuksissa. Kasojen sijainnin vaikutus oli verrattain suuri esim. Kahalan tutkimukseen verrattuna.

5. TULOSTEN TARKASTELUA

Tulokset viittaavat siihen, että työmenetelmä, jossa pölkkyjen kantamismatka lyhenee, on fyysisesti vähemmän kuormittava kuin perinteellinen kuitupuunteko ajouran varteen. Kuormittumisen aleneminen lienee seurausta kasaustyövaiheen suhteellisen työaikaosuuden vähenemisestä sekä siitä, että suurempi osa pölkkyistä voidaan suorita kasaan.

On kuitenkin päätelty, ettei vyöhykekasaus ainakaan oleellisesti vähennä tukielimiin kohdistuvaa kuormitusta, vaikka se pienentääkin energiankulutusta. Tästä syystä vyöhykekasauksen tapaiset työmenetelmät eivät poista tarvetta alentaa kasattavien pölkkyjen kokoa. Sen sijaan menetelmä vähentää ylijäreiden pölkkyjen esikasaustarvetta, koska kasat vyöhykkeellä voidaan tehdä ylijäreiden pölkkyjen mukaan ja ainoastaan vyöhykkeen ulkopuolelta tarvitsee ylijäreät pölkkyt esikasata. Näin menetelmä pienentää ylijäreiksi katsottavien pölkkyjen koon alentamisesta aiheutuvia lisäkuluja.

Näyttäisikin siltä, että vyöhykekasauksen metsäkuljetustuotoksen aleneminen tulee tämän aineiston perusteella yliarvioiduksi.

Vyöhykekasaus lisäsi hakkuutyön tuotosta keskimäärin 8% , mikä v. 1974 tason mukaan tutkimusolosuhteissa merkitsi n. 80 p/m^3 säästöä. Vastaavasti kuljetustuotoksen aleneminen aiheutti tutkimusolosuhteissa (kuljetusmatka $101 \dots 200 \text{ m}$) $70 \dots 98 \text{ p/m}^3$ lisäkustannuksen lähikuljetuksessa. Hakkuutyön tuotosero ei kuitenkaan liene näin suuri, jos työn keventämismahdollisuus käytetään hyväksi eikä työtahtia kiristetä vyöhykekasauksessa. Kasausajanmenekin perusteella säästö hakkuussa olisi vain n. 20 p/m^3 . Toisaalta taas kirjallisuustietojen perusteella laskettu metsäkuljetuskustannusten nousu olisi n. 40 p/m^3 . Uusien ulottuvien kuormaimien käyttöönotto muuttaa kuitenkin laskentaperusteita.

Vyöhykekasaus n. 5 metrin vyöhykkeelle on lisännyt hakkuutyön tuotosta, mutta tässä saatu 8% :n tehotyöajanmenekin vähennys lienee kuitenkin osittain seurausta kiivaammasta työtahdista vyöhykekasauksessa normaaliin ajouran varteen tekoon verrattuna. Samalla työajanmenekin ero pieneni arviolta $4 \dots 6$ prosenttiyksiköllä, ja jos kasan kokovaatimus olisi sama molemmissa työmenetelmissä, pieneni ero edelleen.

Vaikka vyöhykekasaus lisää hakkuutyön tuotosta, ei se pienennä korjuukustannuksia vakiokuormaimia käytettäessä, koska vyöhykekasaus lisää ajokustannuksia. Käytettäessä uusia, aikaisempaa ulottuvampia, kuormaimia tilanne voi olla aivan toinen. Vyöhykekasausta voitaisiin tällöin soveltaa tapauksiin, joissa palstalle kasaus ei ole mahdollista leveän ajouravälin, huonon maaston tai tiheän jäävän puuston vuoksi.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- HAAJA, R. 1970. Tutkimus hakkuumiehen suorittamasta kuitupuun kasauksesta. Summary: Study of manual pulpwood bunching. Metsätehon tiedotus 299. Helsinki.
- HARSTELA, P. 1970. Kasausajan ja valtimonlyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla. Summary: Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests, pulse study and frequency analyses. Folia Forestalia 80. Helsinki.
- HARSTELA, P. 1971. Työjärjestyksen vaikutus tynkäarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. Summary: The effect of sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood. Folia Forestalia 105. Helsinki.
- HARSTELA, P. 1975. Työajan menekkiin ja työntekijän kuormittumiseen vaikuttavista tekijöistä kuitupuun teossa ja eräissä taimitarhatoista. Konekirjoite (Julkaistaan Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja-sarjassa).
- HEIKINHEIMO, L., HEIKINHEIMO, M., LEHTINEN, M., REUNALA, A. 1974. Level of living of forest workers in Finland. Tiivistelmä: Metsätyömiesten elintaso. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 81.1. Helsinki.
- KAHALA, M. 1972. Puutavaran metsäkuljetus kuormatraktorilla. Summary: Forest haulage of timber by forwarder. Metsätehon tiedotus 310. Helsinki.
- KAHALA, M., RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikko-tekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen kuormaakantavalla metsätraktorilla. Summary: Study of the Effect of the Method of Timber Preparation and Market-Stand Factors on Cutting and Forwarding. Metsätehon tiedotus 292. Helsinki.
- KLEN, T. 1973. Tutkimus 2- ja 3-metrisen kuusikuitupuun kasauksesta. Koneviesti 21. Helsinki.
- LEVANTO, S. 1970. Työtahdin vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Summary: The effect of work pace on logger stress. Työtehoseuran julkaisuja 148. Helsinki.
- LEVANTO, S., MÄLKIÄ, E. 1971. Työn vaihtelun vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Summary: The influence of work variation on physiological strain in loggers. Työtehoseuran julkaisuja 152. Helsinki.
- SAMSET, I., SROMNES, R., VIK, T. 1969. Hogstundersokelser i norsk gran- og furuskog. Summary: Cutting studies in Norwegian spruce and pine forests. Meddelser fra Det norske skogforsoksvesen nr 95. Vollebakk.
- SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. 1967. Statistical methods. Iowa.
- VALONEN, P. 1974. Kuitupuun teon rationalisoinnin vaikutus tekomiehen fyysiseen kuormittumiseen. Konekirjoite. (Julkaistaan Folia Forestalia-sarjassa).
- WUOLIJOKI, E. 1974. Tutkimus 2- ja 3-metrisen kuitupuun kasauksesta. Työtehoseuran metsätiedotus 227. Helsinki.

Runkokohtainen tehotyöaika:

	R^2
$y_1 = 140,1 + 18,6x_{30}^* - 36,9x_{26}^* + 2,3x_{30} \cdot x_{31}^* - 0,2x_{30}^{2*} + 0,1x_{33}^{2*}$	62,1 %
$y_2 = 64,4 + 16,3x_{30}^* + 7,7x_{31}^* + 1,8x_{33}^* - 0,2x_{30}^{2*} - 0,04x_{32}^* - 14,1x_{26}^*$	56,6 %
$y_3 = 232,9 - 8,73x_{26}^* + 25,4x_{30}^{**} + 0,08x_{33}^* + 26,26x_{31}^* + 0,008 \frac{x_5^{2**}}{x_{33}} - 0,37x_{30}^{2**} + 1,05x_{33}^{**}$ $- 6,25x_{38}^*$	74,2 %
$y_4 = 48,81 - 17,63x_{26}^* + 4,73x_{30}^* - 1,00x_{33}^{**} + 22,26x_{31}^{**} + 85,57 \log x_{30}^{**} + 1,62x_{30} x_{33}^{**} + 2,76 \frac{x_5^*}{x_{33}}$	87,1 %
$y_5 = 303,77 - 35,60x_{26}^* + 23,74x_{33}^* - 13,52x_{30}^{**} - 26,19x_{31}^* + 7,23x_{31}^{**} + 0,11x_{30} x_{32}^{**} + 1,99x_{30} x_{33}^{**}$ $- 0,67x_{32}^{**} - 3,21x_{33}^{2*} - 85,00 \log x_{40}^*$	88,4 %

Kasausaika:

$y_1 = 29,77 + 2,74x_{30}^{**} - 15,15x_{26}^{**} + 0,005x_{30} x_{32}^{**} + 1,03x_{30} x_{31}^{**}$	56,5 %
$y_2 = 11,32 + 3,74x_{30}^{**} - 3,84x_{26}^*$	53,9 %
$y_3 = 1,66 + 1,57x_{26}^* + 10,50x_{30}^{**} + 0,95x_{33}^* + 4,93x_{21}^* - 0,13x_{30}^{2**}$	43,0 %
$y_4 = 39,58 - 5,89x_{26}^* + 7,48x_{30}^{**} - 0,24x_{33}^* - 3,63x_{31}^* - 1,35x_{40}^{2**}$	77,9 %
$y_5 = 42,63 - 6,06x_{26}^* - 3,00x_{32}^* - 0,0031x_{30} - 2,79x_{31}^* + 0,024x_{30} x_{32}^{**} + 0,66x_{30} x_{33}^*$	63,1 %

y_i = runkokohtainen tehotyöaika, cmin

i = työntekijän no

x_{30} = rungon tilavuus, 1/100 m³

x_{26} = työmenetelmä 1 = 1, työmenetelmä 2 = 0

x_{31} = oksaisuusluokka

x_{33} = siirtymismatka puulta puulle, m

x_{32} = ajankohta työpäivän aloittamisesta lukien, 1/100 tuntia

x_5 = siirtymisaika puulta puulle, cmin

x_{38} = lämpötila, C^o+20

x_{40} = työpäivän järjestys no

Liite 2. Sydämen syketaajuutta kuvaavat regressioyhtälöt

Runkokohtainen syke:

	R ²
$y_1 = 141,96 + 0,10x_{30}x_{31}^* + 1,96x_{33}^{**} + 0,94x_{26} - 10,83 \log x_{40}^{**} - 0,089x_{33}^{2**} + 0,23 \frac{x_5^*}{x_{33}}$	31,0 %
$y_2 = 112,13 + 0,98x_{26} + 0,17x_{30} + 0,26x_{33} + 0,90x_{31} + 0,55x_{38}^{**}$	10,1 %
$y_3 = 130,73 - 10,96x_{26}^* + 0,21x_{30} - 0,82x_{33}^* + 10,24x_{31}^{**} - 0,000051x_{32}^{2*} + 1,36x_{40}^{2*}$	9,7 %
$y_4 = 60,42 + 18,68x_{26}^* - 0,02x_{30} + 2,0x_{33}^* + 1,44x_{31}^* - 3,52x_{26}x_{33}^* - 0,79x_{40}^{2*} + 1,15x_{38}^* + 0,013 \frac{x_5^{2*}}{x_{33}}$	12,9 %
$y_5 = 142,34 - 8,70x_{26}^* - 0,76x_{33}^* + 0,30x_{30}^* + 1,61x_{31}^* + 9,75x_{38}^* - 0,0051 \frac{x_5^2}{x_{33}} - 0,069x_{32}^{**} - 2,86x_{26}x_{31}^*$	68,2 %
$y_A = 113,01 - 5,21x_{26}^* + 0,18x_{30}^* - 0,0062 \frac{x_5^{2*}}{x_{33}} + 0,73x_{41}^* + 0,61x_{51}^*$	7,1 %

Kasaussyke:

$y_1 = 145,62 + 0,24x_{30}x_{31}^{**} + 0,40x_{33}^{**} + 0,89x_{26} - 0,75x_{40}^{2**}$	29,5 %
$y_2 = 109,18 - 3,72x_{26} + 0,72x_{30}^{**} + 0,15x_{33} - 1,26x_{31} + 0,58x_{38}^{**}$	5,8 %
$y_3 = 74,07 + 34,81x_{26}^* - 0,72x_{30}^* + 0,80x_{33}^* + 34,94x_{31}^* - 18,33x_{26}x_{31}^{**} - 0,14x_{32}^* + 14,62 \log x_{30}^{**} - 4,84x_{31}^{2*} + 4,79 \log x_{32}^*$	27,8 %
$y_4 = 101,53 + 2,85x_{26} + 0,20x_{30}^* - 0,0016x_{33} + 0,88x_{31} - 0,0097 \frac{x_5^{2*}}{x_{33}}$	6,4 %
$y_5 = 90,40 + 11,79x_{26}^* + 15,4x_{33}^{**} + 1,36x_{30}^{**} + 2,74x_{31}^* - 1,47x_{33}^{2**} + 6,04x_{38}^* - 5,07x_{26}x_{33}^* - 0,006 \frac{x_5^{2*}}{x_{33}}$	37,4 %

y_i = syke, kertaa/min, i = työntekijän no

x_{26} = työmenetelmä 1 = 1, 2 = 0

x_5 = siirtymisaika, cmin

x_{30} = rungon tilavuus, 1/100 m³

x_{31} = oksaisuusluokka

x_{32} = aika työpäivän alusta, 1/100 tuntia

x_{33} = siirtymismatka puulta puulle, m

x_{38} = lämpötila, C°+20

x_{40} = työpäivän järjestysnumero

Liite 3. Metsäkuljetuksen kuormaustyövaihetta kuvaavat regressioyhtälöt

$$y_1 = 40.9 + 5.89x_1^{**} + 4.37x_2^* + 0.045x_3 - 0.05x_1^2^*$$

R^2
63.1 %

$$y_2 = 23.9 + 9.20x_2^* + 0.30x_3$$

—

y_i = taakkakohtainen kuormausaika siirtymisineen, cmin, i = kuljettajan no

x_1 = siirtymismatka kasalta kasalle, m

x_2 = kasan etäisyys ajouran reunasta, m

x_3 = kasan koko, 1/100 m³

- No 197 Erkki Lähde & Kaarlo Kinnunen: Paperikennon ja turveruukun seinän lujuus ja taimien alkukehitys Pohjois-Suomessa.
The relationship between the wall strength of paper and peat pots and the initial development of seedlings in Northern Finland. 2,—
- No 198 Esko Jaatinen: Metsäteollisuusyhtiöiden omien metsien hakkuupolitiikan motiivit.
Timber cutting motives of forest industry enterprises. 4,—
- No 199 Esko Leinonen: Purunäytteeseen perustuvasta kuivapainomittauksesta.
Dry-weight scaling based on chip samples. 3,—
- No 200 Pentti Hakkila & Markku Mäkelä: Jatkotutkimuksia Pallarin kantoharvesterista.
Further studies of the Pallari Stumpharvester. 2,—
- No 201 Matti Leikola & Risto Rikala: Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmailla.
The effect of fertilization on the initial development of pine and spruce on mineral soils. 2,—
- No 202 Paavo Tiihonen: Leimikon pystymittauksen tarkistaminen.
Zur Kontrolle einer am stehenden zum Einschlag ausgezeichneten Holz durchgeführten Messung. 2,—
- No 203 Seppo Kaunisto: Männyn kylvöajankohta ojitetulla suolla.
Date of direct seeding on drained peatlands. 3,—
- No 204 Pentti Hakkila & Hannu Kalaja: Oksaraaka-aineen kasaus Melroe Bobcat M-600 kuormaajalla.
Bunching of branch raw material by Melroe Bobcat M-600 loader.
- No 205 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1971—73.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1971—73. 5,—
- No 206 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista 2 päivänä toukokuuta 1969 annetun päätöksen muuttamisesta.
Skogsforskningsinstitutets beslut angående ändring av institutets beslut av den 2 maj 1969 om omvandlingskoefficienter och kuberingsstabeller för virkesmätning. 8,—
- No 207 Kullervo Kuusela ja Allj Salovaara: Etelä-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Itä-Savon metsävarat vuonna 1973.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Karjala, Pohjois-Savo, Keski-Suomi and Itä-Savo in 1973. 4,—
- No 208 Tapani Hänninen: Harvennusemetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa.
The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland. 4,—
- No 209 Heikki Nikkilä: Ratapölkkytukkien kuutiointi.
Measurement of railwaytie-logs. 1,50
- No 210 Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset.
By-effects of the harvesting of logging residues. 2,50.
- No 211 Paavo Tiihonen: Mäntypylväiden kuutioimismenetelmä.
Eine Kubierungsmethode für Kiefernastholz. 2,—
- No 212 Kaarlo Kinnunen, Juha Lind ja Erkki Lähde: Eri ajankohtina istutettujen männyn kennotaimien alkukehitys Pohjois-Suomessa.
Initial development of Scots pine paper pot seedlings planted on different dates in northern Finland. 3,—
- No 213 Kullervo Etholén: Kaatoajankohdan vaikutus koivun ja haavan vesomiseen taimistonhoitoaloilla Pohjois-Suomessa.
The effect of felling time on the sprouting of *Betula pubescens* and *Populus tremula* in the seedling stands in northern Finland. 2,—
- No 214 Veikko Heiskanen ja Jorma Riikonen: Tukkien lajittelu sahauksen kuoren päältä mitatun läpimitan perusteella.
Sorting of logs according to the top diameter on bark. 4,—
- No 215 Pertti Harstela ja Sauli Takalo: Kokeita oksaraaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta.
Experiments on loading and transportation of branch raw material. 1,50
- No 216 Gunnar Wilhelmsen: Puutavaran käsittely. 7,—.
- No 217 Pentti Rikkinen: Koivuvaneritukkien kuutiointi. 1,50.
Calculation of the volume of birch veneer logs.
- No 218 Pentti Nisula: Makroilmaston vaikutus varastoidun pinotavaran painoon.
Effect of macroclimate on the weight of stored cordwood. 2,50
- No 219 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1972—74.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1972—74. 6,—
- No 220 Pentti Nisula: Eräs herbisidien levityslaitte.
An apparatus for the application of herbisides. 2,50
- 1975 No 221 Simo Penttilä ja Jouko Hämäläinen: Päiväansio ja työn tuotos urakkapalkkaisessa istutustyössä 1972.
Daily earnings and work output in piece rate planting in Finland 1972. 4,—
- No 222 Veli-Pekka Järveläinen: Yksityismetsänomistajien metsätaloudellinen käyttäytyminen.
Forestry behaviour of private forest owners in Finland. 20,—
- No 223 Jan Heino: Finlands stadsägda skogar betraktade speciellt ur friluftssynvinkel. 5,—

- No 224 Pentti Hakkila: Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteitten määrä.
Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root wood. 1,50
- No 225 Metsätilastollinen vuosikirja 1973.
Yearbook of forest statistics 1973.
- No 226 Bo Långström: Eräiden insektisidien testaus tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae), tuhojen torjumiseksi.
Testing of some insecticides for the control of damages caused by the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). 1,50
- No 227 Veijo Heiskanen: Kuitupuun latvaläpimitaan perustuva työmittausmenetelmä ("pölkky-menetelmä").
A wage-payment measuring method based on pulpwood top diameter (Bolt method). 4,—
- No 228 Pentti Nisula: Liikkuva sadetuslaitteisto.
Revolving Sprinkler. 3,—
- No 229 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkonen: Sahatukkien todellisen kiintomitan määrittämismenetelmät.
Methods for the measurement of softwood sawlogs. 3,—
- No 230 Aulikki Kauppila ja Erkki Lähde: Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa.
On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. 3,—
- No 231 Olli Uusvaara ja Kari Löytyniemi: Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon.
Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) on sawn timber quality and value. 1,50
- No 232 Seppo Ervasti ja Kullervo Kuusela: Suomen metsätase vuosina 1965—72 ja metsäteollisuuden raaka-ainenäykymät vuoteen 2000.
Forest balance of Finland in 1965—72 and the prospects of industrial wood until 2000. 1,50
- No 233 Jouko Laasasenaho: Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan karkaisuläpimitasta.
Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter. 2,—
- No 234 Olli Uusvaara ja Veijo Heiskanen: Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadunmääritys Suomessa.
Preparation, handling, measurement and quality determination of sawmill chips in Finland. 3,—
- No 235 Jyrsintämuokkaus ja lannoitus männyn ja kuusen kylvön yhteydessä turvemaalla.
Rotavation and fertilization in connection with direct seeding of Scots pine and Norway spruce on peat greenhouse experiments 1,50
- No 236 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Kuitupuupinon kiintotilavuuden määrittystä koskevia tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuu, järeä kuitupuu sekä likipituinen havukuitupuu.
Studies on the determination of the solid volume of a pulpwood pile. Crooked broadleaved pulpwood, large-sized pulpwood and coniferous pulpwood of approximate length. 3,—
- No 237 Markku Mäkelä: Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus.
Bunching and transportation of branch raw material. 2,—
- No 239 Eero Paavilainen: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa.
On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. 1,—
- No 240 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä: Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna.
Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized tress. 8,—
- No 241 Victor Ipatiev & Eero Paavilainen: Lannoituksen vaikutuksen kesto aika vanhassa tupasvillärämeen männikössä.
Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cottongrass pine swamp. 1,50.
- No 242 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen vyöhykekasausmenetelmää käytettäessä.
The effect of bunching into zones on productivity and strain of the worker cutting pulpwood. 2,—
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen.
Learning of grapple loading. 4,—

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 645 121
Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää