

FOLIA FORESTALIA 310

ETSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1977

PERTTI HARSTELA, JUHANI JÄRVINEN,
LEO TERVO JA RAIMO AHOLAINEN

TUTKIMUS ERAISTÄ HARVENNUS-
HAKKUUMENETELMISTÄ
(Levälle teko ja LEKA-menetelmä)

THE STUDY OF SOME SHORT WOOD
METHODS OF CUTTING IN THINNINGS
(Cutting without bunching and
SCAPE method)

- 1975
- No 232 Seppo Ervasti ja Kullervo Kuusela: Suomen metsätase vuosina 1965—72 ja metsäteollisuuden raaka-ainenäkömät vuoteen 2000.
Forest balance of Finland in 1965—72 and the prospects of industrial wood until 2000.
- No 233 Jouko Laasasenaho: Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta.
Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter.
- 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.
- No 235 Seppo Kaunisto: 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.
- No 236 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Kuitupuupinon kiintotilavuuden määrittystä koskevia tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuun, järeä kuitupuun sekä likipituinen havukuitupuun. Studies on the determination of the solid volume of a pulpwood pile. Crooked broadleaved pulpwood, large-sized pulpwood and coniferous pulpwood of approximate length.
- No 237 Markku Mäkelä: Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus.
Bunching and transportation of branch raw material.
- No 238 Mirja Ruokonen: Lehtien kautta annetun fenoksiherbisidin käyttäytyminen kasvissa. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
The behaviour of leaf-applied phenoxy-herbicides in plants. A study based on literature.
- No 239 Eero Paavilainen: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa.
On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat.
- No 240 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä: Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna.
Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees.
- No 241 Victor Ipatiev ja Eero Paavilainen: Lannoituksen vaikutuksen kesto aika vanhassa tupasvillarämeen männikössä.
Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cuttongrass pine swamp.
- 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.
- No 243 Paavo Valonen: Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä.
The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods.
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen.
Learning of grapple loading.
- No 245 Pentti Nisula: Kantoloukku.
Stump Crusher.
- No 246 Hans G. Gustavsen ja Erkki Lipas: Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä.
Effect of nitrogen dosage on fertilizer response.
- No 247 Yrjö Vuokila: Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana.
Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production.
- No 248 Timo Kurkela ja Yrjö Norokorpi: Kuusen lumikaristesien (*Lophophacidium hyperboreum* Lagerb.) esiintyminen Suomessa.
Occurrence of spruce snow blight fungus, *Lophophacidium hyperboreum* Lagerb. in Finland.
- No 249 Pentti Hakkila ja Markku Mäkelä: Pallarin vesakkoharvesteri.
Pallari Bushharvester.
- No 250 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikonen: Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät.
Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it.
- No 251 Veijo Heiskanen: Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vuosina 1974—1975.
Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975
- 1976
- No 252 Jyrki Raulo ja Eino Mälkönen: Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla.
Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil.
- No 253 S.-E. Appelroth: Työntutkimus Lamu-kylvökoneesta.
Work Study of the Lamu Seeding Machine.
- No 254 Matti Kärkkäinen: Havutukkien kiintomittausmenetelmän seurantajärjestelmä.
A control method for the measurement of pine and spruce logs.
- No 255 Metsätalastollinen vuosikirja 1974.
Yearbook of forest statistics 1974.

Luettelo jatkuu 3. kansisivulla

Muutos Folia Forestalian numeroon 293.
Taulukko 1 sivulla 7 korvataan cheisella taulukolla.

The correction for Folia Forestalia 293.
The Table 1 on the page 7 is replaced with the enclosed table.

Taulukko 1. Kuoretoman runkopuun tehollisia lämpöarvoja, MJ/kg.
Table 1. Effective heating values of stemwood without bark, MJ/kg.

Puulaji Tree species	Kosteus Moisture content %	Kiinto- ainetta Solid material %	Irttohihas tuoreena Apparent density, unseasoned wood kg/m ³	Lämpöarvo (Weff) Heating value		Irttilaavuusyksikön suhteellinen lämpö- arvo Relative heating value of apparent density
				MJ/kg	MJ/m ³ 1)	
Koivu Birch	25	63	435	13,61	6029	100 2)
Mänty Pine	20	65	380	14,91	5652	94 2)
Kuusi Spruce	20	67	345	14,82	5108	85 2)
Haapa Aspen	25	57	355	13,02	4731	78 2)
Lehti Alder	25	62	3810	.. 3)

FOLIA FORESTALIA 310

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1977

Pertti Harstela, Juhani Järvinen,

Leo Tervo ja Raimo Aholainen

TUTKIMUS ERÄISTÄ HARVENNUSHAKKUUMENETELMISTÄ

(Levälle teko ja LEKA-menetelmä)

The study of some short wood methods of cutting in thinnings

(Cutting without bunching and SCAPE method)

ODC 333:326
ISBN 951-40-0276-8
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P., JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälle teko ja LEKA-menetelmä). Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method). *Folia For.* 310: 1-29.

Tutkittiin levälleen teon ja ns. LEKA-menetelmän käyttöä harvennushakkuussa tavanomaiseen palstatiin varteen tekoon verrattuna. Työn tuotoksen ja kustannusten lisäksi tutkittiin työntekijän fyysisistä kuormittumista ja jäävän puuston vaurioitumista. LEKA-menetelmässä suunnatun kaadon jälkeen suuret pölkkyt jätetään paikoilleen, keskikokoisia ainoastaan suoritetaan ja pienet kasataan suurempien viereen. Esikasaus suoritettiin 10 ja 12 metrin ulottuvuuden omaavilla VALMET-esikasuskoneilla tai pölkkyt kuormattiin suoraan palstalta liukupoimilla varustetulla kuormaimella.

Levälle tekoon perustuva korjuuketju oli kallein vaihtoehto. Työ levälleen teossa oli yksipuolista moottorisahan käsittelyä, mutta ihmistyöpanos oli pienin ja samoin työntekijän fyysinen kuormittuminen. LEKA- korjuuketjun kustannukset olivat samaa suuruusluokkaa tai vähän pienemmät kuin palstatiin varteen tekoon perustuneen korjuuketjun. Fyysinen kuormittuminen oli myös vähäisempää LEKA-menetelmässä. Jäljelle jäävän puuston vaurioituminen oli vähäisintä palstatiin varteen teossa, mutta jäi kaikissa menetelmissä alle 5 % jäljelle jäävän puuston runkoluvusta.

A study was made of the use of the cutting without bunching (scattered) and the so-called SCAPE (LEKA) method in thinnings compared with the conventional method of cutting to the side of the strip road. In addition to the output and costs of the work, the physical strain on the workers and damage to the residual growing stock were also studied. In the SCAPE method large bolts are left where they fall after directed felling, medium-sized bolts are merely straightened and small ones are bunched alongside the larger bolts. Preliminary skidding was done with VALMET preliminary skidding machines with a slide-boom loader a radius of which was 10 and 12 m and with a winch, or the bolts were loaded directly from the cutting area by a loader-cum-slide-boom.

The logging system based on scattered cutting was the most expensive alternative. Scattered cutting involved simple handling of the power saw, but human labour input and physical strain on the worker were smallest. Logging costs in the SCAPE-logging system were the same as or less than in the logging system based on cutting to the side of the strip road. Physical strain on the worker was also less in the SCAPE method. The method based on cutting to the side of the strip road caused the least damage to residual trees, but the number of damaged trees was less than 5 % with all the logging methods.

SISÄLLYS

	Sivu
1. JOHDANTO	4
2. LEVÄLLEEN TEKO- JA LEKA-KORJUUKETJUT	4
3. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	7
4. KORJUUN TULOKSET	9
41. Puutavaran teko	9
42. Metsäkuljetus	12
43. Korjuukustannukset	15
5. JÄLJELLE JÄÄVÄN PUUSTON VAURIOITUMINEN	17
6. TULOSTEN TARKASTELUA	17
7. YHDISTELMÄ	18
KIRJALLISUUS	20
SUMMARY	21
LIITTEET	22

1. JOHDANTO

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa oli tavoitteena vähentää ihmistyöpanosta ja työntekijän kuormittumista jättämällä kasausta kokonaan pois. Levälleen tekoon perustuvien korjuuketjujen korjuukustannukset olivat kuitenkin verraten suuret, ja työntekijän sahan käsittelyaika lisääntyi siinä määrin, että menetelmäkehittelyä päätettiin jatkaa.

Kasausmatka on todettu oleelliseksi kasaustavaiheen fyysistä kuormittavuutta sääteleväksi tekijäksi. Kasattavien pölkkyjen paino on taas tärkeintä tuki- ja liikuntaelinten kuormittumisen kannalta. Kasauksen säilyttäminen työmenetelmässä vähentää sahan käsittelyaikaa ja siten sahan aiheuttamia haitallisia altistuksia (Harstela 1976a, b).

Kasauksen tarkoituksena on riittävän suurien käsittely-yksiköiden aikaan saaminen metsäkuljetusta varten, ja sitä onkin yleensä perusteltu korjuukustannuksilla. Kasaus vähentänee myös jäljelle jäävän puuston vaurioitumista harvennusmetsissä, koska koneiden tai koneelimien liikkumistarve palstalla vähenee (Harstela 1976b). Kasaus on kaadon ja siirtymisen lisäksi viimeinen ihmistyövältäisen teon työvaihe, jota ei ole vielä yksinkertaistettu. Siten se lienee ainut työvaihe, jota yksinkertaistamalla ihmistyöpanosta voidaan vähentää.

Edellä esitetyt seikat huomioon ottaen pyrittiin kehittämään tekomenetelmä seuraavien tavoitteiden mukaisesti:

– Työntekijään kohdistuvaa fyysistä kuormitusta vähennetään kasausta yksinkertaistamalla, mutta työ säilytetään vaihtelevana kevennetyn kasauksen avulla.

– Ihmistyöpanosta pienennetään kasausta yksinkertaistamalla.

– Korjuukustannusten lisääntymistä vältetään suorittamalla esijuontoa varten kevennettyä kasausta ja kokeilemalla pitkän puutavaran tekoa, jolloin käsittely-yksiköt muodostuvat verraten suuriksi.

– Jäljelle jäävän puuston vaurioitumista vältetään kevennetyn kasauksen avulla.

Esikasaus- ja metsäkuljetusmenetelmäksi valittiin liukupuomin käyttöön perustuvat menetelmät kirjallisuuden perusteella tehdyn vertailun jälkeen.

Tutkimus on tehty METLAN ja Tehdaspuu Oy:n yhteistyönä. Tekijöiden kesken työ jakaantui siten, että Harstela johti tutkimuksen ja kirjoitti pääosin käsikirjoituksen. Tervo osallistui tutkimuksen ja työmenetelmien suunnitteluun sekä johti kenttätöitä ja aineiston käsittelyä Harstelan valvonnassa. Järvinen ja Holainen osallistuivat työmenetelmien suunnitteluun ja yhteistyössä VALMET OY:n kanssa suunnittelivat esikasauskoneet. Tutkimuksen eri vaiheisiin osallistuivat mm. Antero Harstela, Juhani Korhonen, Urpo Paananen, Hannele Tervo ja Kaarina Niskanen. Käännöksen englanniksi suoritti Päiviikki Ojansuu. Käsikirjoituksen lukivat Pentti Hakki, Matti Kärkkäinen ja Yrjö Vuokila. Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

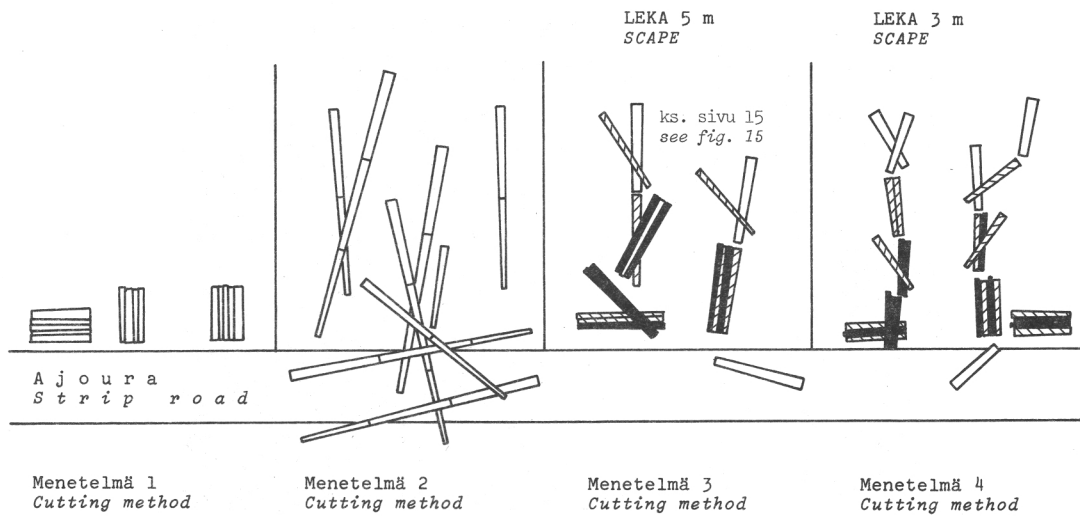
2. LEVÄLLEEN TEKOA JA LEKA-KORJUUKETJUT

Levälleen tekomenetelmässä (Tekomenetelmä 2) pyrittiin suunnatun kaadon avulla muodostamaan kouraisutaakkoja. Suunnatulla kaadolla pyrittiin myöskin kasat tai yksittäiset pöllit saamaan siten, että koneellinen kasaus on mahdollista. Metsuri ei siis tehnyt muuta kasausta kuin ajouran aukaisun suori-
malla (koehenkilö 1). Koehenkilö 2 ei aukaissut ajouraakaan. Ajouraväli oli noin 30 m, ja pölkkyjen pituus n. 5 m.

Metsäkuljetus suoritettiin korjuuketjussa 3 Marttiin liukupuomilla varustetulla Volvo BM 868 metsätraktorilla (kuva 1). Liukupuomikuormaimen ulottuvuus oli n. 10 m. Korjuuketjussa 2 suoritettiin esikasaus liukupuomikuormaimella ja Normet hydraulivintturilla varustetulla esikasauskoneella. Jatkokuljetus suoritettiin vakiovarusteisella Volvo BM 868 metsätraktorilla. Esikasauskone I oli tehty Valmet CK metsätraktorista, joka oli ilman teliä ja jonka raide-



Kuva 1. Marttiin liukupuomilla varustettu kuormatraktori sekä Valmet-esikasauskoneet II ja III
Fig. 1. Forwarder equipped with Marttiin's slide-boom and Valmet preliminary skidding machines II and III



Kuva 2. Tekomenetelmät
Fig. 2. Cutting methods



Kuva 3. LEKA-menetelmän hakkuujälkeä
Fig. 3. Cutting by the SCAPE method

leveyttä oli lisätty 3,0 metriin. Kuormain sijaitsi taka-akselilla (kuva 1).

LEKA-menetelmän (Tekomenetelmä 3) työohjeiden (liite 6) mukaan pyritään suunnatun kaadon avulla muodostamaan kouraisutaakkoja siten, että ne voidaan esteettä juontaa ajouralle. Suuret pölkkyt (> 50 kg) jäävät paikoilleen, keskikokoiset (35–50 kg) suoriin ja pieniä (< 35 kg) kannetaan taakkoihin seuraavasti:

Pölkyn pituus, m	d, latva, cm	kasaus	suorinta	jää paikal- leen
5	6,0– 9,0	x		
5	9,1–11,0		x	
5	11,1–			x
3	6,0–12,0	x		
3	12,1–15,0		x	
3	15,1–			x

Aluspuita ei käytetä. Kasoja ei saa tehdä hakkuutahteiden päälle, eikä myöskään hakkuutahteita saa jäädä pölkkyjen ja kasojen päälle. Kasoja ei saa muodostaa ajouralle. Kaadon suuntaus suoritetaan siten, että kasaamattakin jäänyt yksittäinen pölli kuten kasatkin ovat koneellisesti kasattavissa. Palstalla olevien kasojen ajouran puoleinen pää tulee olla mahdollisimman tasainen, samoin ajouran vieressä

olevan ajouran suuntaisen kasan ajosuunnan puoleinen pää. Ajouraväli oli n. 30 metriä.

Kasan kokoa ei erikseen määritelty. Yleisohjeena oli pienien kasattavien pölliin siirtäminen isompien (paikalleen jäävien tai suorittavien) pölliin viereen. Samalla pölkkyjen ja kasojen sijoittelussa pyrittiin muodostamaan kasasuria (kts. kuva 2 ja 3) koneellisen kasauksen helpottamiseksi. Puutavaralajien tuli olla eri kasoissa.

Korjuuketjussa 4 metsäkuljetus suoritettiin Marttiin liukupuomilla (ulottuvuus n. 10 m) varustetulla Valmet CK kuormatraktorilla. Korjuuketjussa 5 suoritettiin ensin esikasaus Valmet-esikasauskone II:lla ja metsäkuljetus vakiovarusteisella Valmet CK kuormatraktorilla. Korjuuketju 6 oli muuten samanlainen kuin edellä kuvattu, paitsi esikasauskoneena oli versio III. Esikasauskoneen versio II erosi I:stä siten, että kuormain oli traktorin katolla. Versio III taas erosi I:stä siten, että liukupuomia oli jatkettu 2 m, joten kuormaimen ulottuvuus oli noin 12 m.

Vertailu tekomenetelmänä (1) oli *noin 3-metriseen kuitupuun teko ajouran varteen* ja ajo vakiovarusteisella kuormatraktorilla (korjuuketju 1). Pieni aika-tutkimusaineisto kerättiin myös LEKA-menetelmästä tehtäessä kuitupuun n. 3-metriseksi (Tekomenetelmä 4, korjuuketjut 7 ja 8). Esikasaus tällöin suoritettiin liukupuomikuormaimella varustetulla kuormatraktorilla.

3. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimustyömaat sijaitsivat Punkaharjulla ja Joensuuissa. Aineiston koko ja tärkeimmät työvaikeustekijät on esitetty taulukossa 1. Aineisto käsittää hakkuututkimuksen osalta osittain kahden osittain yhden koehenkilön työtä, joten aineisto on suppea ja rajoittuu vain yhdenlaisiin korjuuolosuhteisiin. Tulokset ovat menetelmien suhteellisenkin vertailun osalta siis vain suuntaa-antavia (H a r s t e l a 1976a). Metsäkuljetuksen suoritti yksi kuljettaja yhdellä työmaalla, joten aineisto on tältäkin osin suppea.

Työntekijät olivat ammattitaitoisia Tehdaspuu Oy:n vakinaisia metsätyöntekijöitä. Tekomiesten ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Sykemittaukset tehtiin telemetrisesti Medicin Biotelemetry System IC-45 laitteistolla. Aikatutkimus- ja sykeaineiston työvaihteellinen koodaus tehtiin laitteistoon liitetyllä koodinäppäimistöillä. Ääninauhat tulostettiin Työterveyslaitoksella. Tehotyöaika jaettiin vakiintuneisiin työvaiheisiin. Analyysissä käytetyt työvaikeustekijät mitattiin puu- ja taakkakohtaisesti. Uutta tekomenetelmää (LEKA) koehenkilö harjoitteli n. 5 työpäivää.

Taulukko 1. Aineisto
Table 1. Material

Leimikko - Marked stand	Työntekijä - Worker	Tekomenetelmä - Cutting method	Runkoja, kpl Number of stems			kuusi spruce	Rungon kes- kikoko, m ³ Average stem size		Oksaisuus- luokka Branchiness		Maas- to- luokka Terrain class	Leimi- kon ti- heys, m ³ /ha Stand density m ³ /ha	Jäävä puusto, m ³ /ha Remain- ing stock, m ³ /ha	Lämpötila, C ^o Temperature		Lumen syvyys, cm Snow depth	
			männi Scotch pine	koivu birch	kuusi spruce		\bar{x}	s	\bar{x}	s				\bar{x}	s	\bar{x}	s
Puutavaran teko - Cutting of timber																	
I	1	1	172	21	62	0,06	0,04	2,2	0,49	1	33	157	-13,1	2,34	23	3,6	
		2	239	32	111	0,07	0,04	2,1	0,54	1	36	187	-10,7	9,39	25	2,9	
	2	1	185	8	27	0,06	0,04	2,2	0,52	1	29	156	-3,9	1,17	35	3,6	
		2	293	2	19	0,06	0,04	1,9	0,46	1	37	163	-1,8	0,85	37	3,0	
II	1	1	319	11	12	0,06	0,05	2,1	0,46	1	35	122	12,5	5,52	-	-	
		3	436	4	10	0,06	0,05	2,1	0,46	1	44	137	9,8	5,66	-	-	
III	1	1	237	52	-	0,08	0,074	1,8	0,55	1	37	138	19,4	3,20	-	-	
		4	302	32	-	0,09	0,077	1,8	0,55	1	26	143	18,9	3,60	-	-	
Ajo - Forwarding																	
IV	3	1	1226	84	-	0,08	-	-	-	1	-	144	-	-	-	-	
		3	6041	330	-	0,08	-	-	-	1	-	139	-	-	-	-	

Taulukko 2. Työntekijöiden ominaisuuksia
Table 2. Some properties of the workers

Työntekijä Worker	Ikä, v Age, years	Pituus, cm Height, cm	Paino, kg Weight, kg	Hapenotto- kyky, ml/kg/min Oxygen intake capacity, ml/kg/min	Terveydentila State of health	Verenpaine mm Hg Blood pressure mm Hg
1	48	165	70	34	lievä skolioosi slight scoliose	120/80
2	39	178	83	29	hyvä - good	130/78

4. KORJUUN TULOKSET

41. Puutavaran teko

Tehotyöajan menekki ja ihmistyöpanos

Tehotyöajan jakaantuma on esitetty liitteessä 4. Runkokohtaista tehotyöaikaa kuvaavat regressiomallit laskettiin valikoivan analyysin tekniikkaa käyttäen (liite 1). Kuvassa 4 on esitetty m. malleista samalla työvaikeustekijäyhdistelmällä lasketut tehotyöajan menekit ja niiden suhteelliset arvot.

LEKA-menetelmässä runkokohtaisen työajan säästö oli tutkimusolosuhteissa n. 20 % tehtäessä kuitupuu n. 5-metriseksi ja 14 % tehtäessä kuitupuu n. 3-metriseksi. Levälleen tehtäessä runkokohtaisen työajan säästö oli 31–36 % n. 3-metrisen kuitupuun palsttien varteen tekon verrattuna. Vastaavat säästöt kasaus-työvaiheessa olivat LEKA-menetelmässä 59 ja 30 %. Kuvassa 5 on työajan menekkiä tarkasteltu rungon koon funktiona. Voidaan todeta suhteellisen työajan menekkieron LEKA-menetelmän ja palsttien varteen teon välillä kasvavan rungon koon suuretessa. Sama suuntaus on myös levälleen teon ja palsttien varteen teon

työajan menekkieron välillä, mutta ei yhtä voimakkaana.

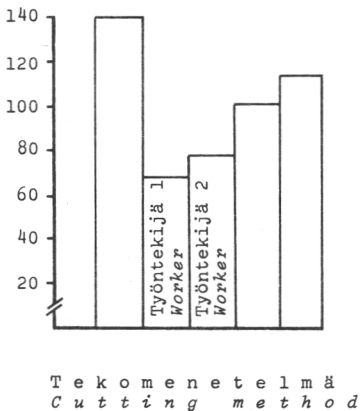
Liitteen 1 regressiomalleissa työmenetelmä on merkittävästi selittänyt eräissä tapauksissa myös kaato- ja karsinta-ajan menekkiä. Suhteelliset ajanmenekit olivat seuraavat, kun luvulla 100 on merkitty työmenetelmän 1 kaadon ja karsinnan aikaa.

Työmenetelmä	Kaato	Karsinta
1	100	100
2 (työntek. 1)	100	95*
2 (—" — 2)	96**	100
3	109***	93***
4	87**	96*

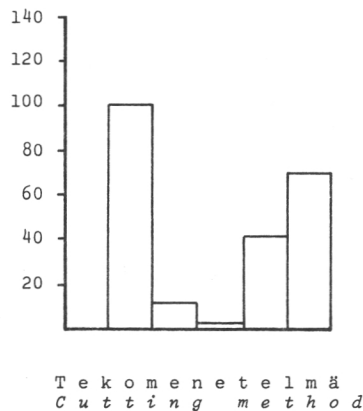
Levälleen teossa em. tulokset olivat risti-riittaiset työntekijöiden välillä. LEKA-menetelmässä pitkän tavaran teossa kaato oli hitaampaa, mutta lyhyen tavaran teossa nopeampaa kuin palsttien varteen teossa.

Taulukon 3 mukaan kasausmatka lyheni selvästi LEKA-menetelmässä palsttien varteen tekon verrattuna. Myös pölkkyjen kantaminen vähentyi vetämisen, suorinnan ja pölkkyjen

Suht. runkokohtainen työajan menekki
Relative working time per stem

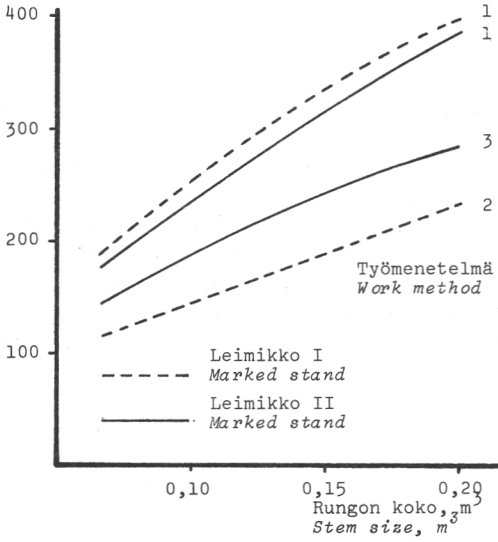


Suht. kasausajan menekki
Relative bunching time

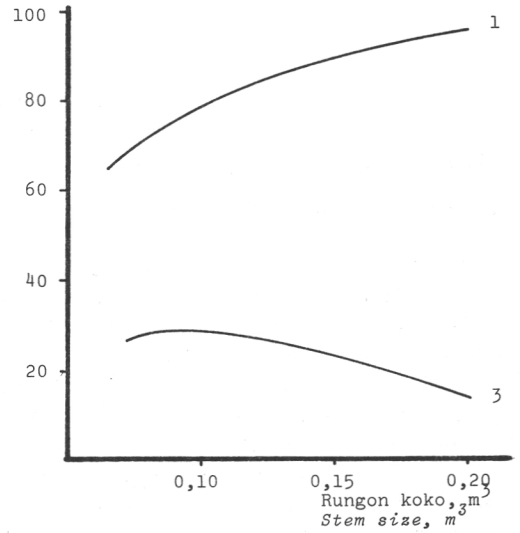


Kuva 4. Suhteelliset tehotyöajan menekit eri tekomenetelmissä tutkimusolosuhteissa
Fig. 4. Relative working times for the different cutting methods

Runkokohtainen
työajan menekki, cmin
Working time per stem, cmin



Kasausajan menekki, cmin
Bunching time per stem, cmin



Kuva 5. Tehotyöajat rungon koon funktiona eri tekomenetelmissä
Fig. 5. Effective working times as a function of stem size for the different cutting methods

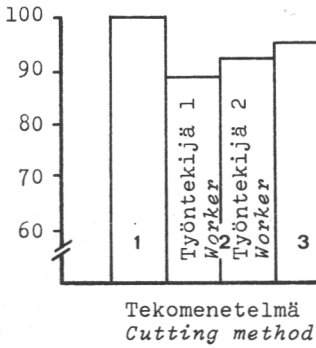
Taulukko 3. Kasaumatkat, kasojen sijainti ja kasaustapojen osuudet eri tekomenetelmissä
Table 3. Distance of bunching, location of bunches and methods of bunching in the different cutting methods

Tekomenetelmä Cutting method	Työntekijä Worker	Kasaumatka, m Distance of bunching, m		Kasan etäisyys ajouran reunasta, m Distance of bunch from edge of strip road, m		Kasaustavat – Bunching method			
						Kantoi Carried	Veti Dragged	Suori Straightened	Ei liikuttanut Not moved
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	%pölkkyjen määrästä – % of bolts			
1	1	3,2	2,2	1,6	2,2	94,9	0,3	3,0	1,8
1	2	3,2	2,2	1,6	2,2
1	3	4,3	2,7	2,4	3,6	87,6	1,9	4,9	5,6
2	1	—	—	5,6	2,3	—	—	—	—
2	2	—	—	5,5	2,7	—	—	—	—
3	1	1,1	0,9	3,0	3,5	45,2	14,6	13,0	27,2
4	3	2,1	1,0	3,3	3,7	69,9	4,4	12,7	13,0

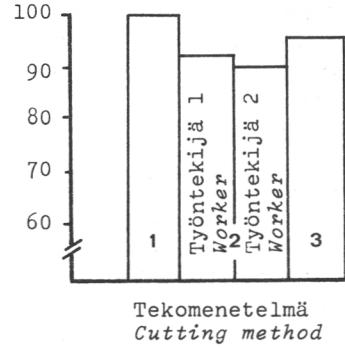
paikalleen jättämisen lisääntyessä. Noin 5-metrinen teossa tämä suuntaus oli voimakkaampi kuin n. 3-metrinen teossa.

LEKA-menetelmässä suhteessa levälleen teokoon työajan säästö ajouran varten tekoon verrattuna oli pienempi kuin kasaumatkan ly-

Suht. runkokohtainen sydämen sykintä
Heart rate per stem

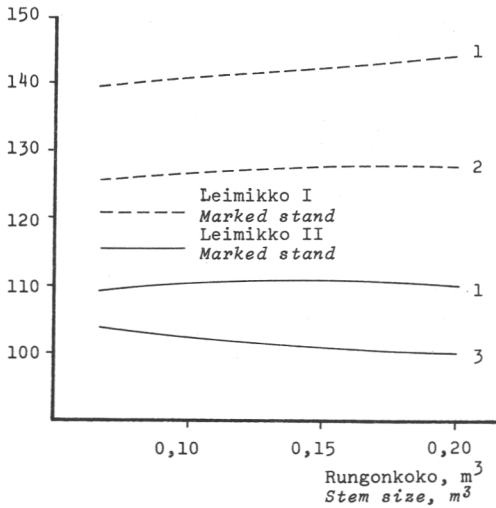


Suht. sydämen sykintä kasauksessa
Heart rate in bunching

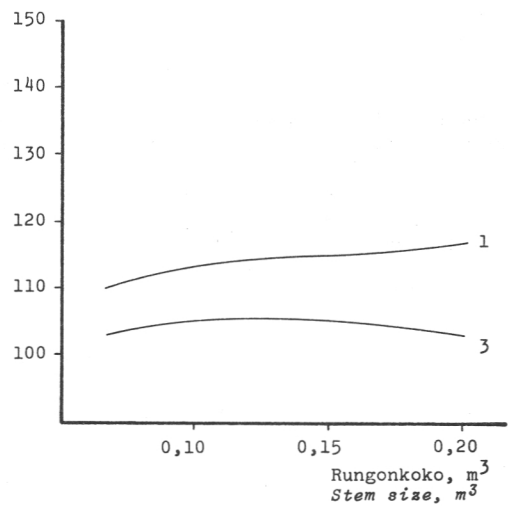


Kuva 6. Suhteellinen sydämen sykintä eri tekomenetelmissä tutkimusolosuhteissa
Fig. 6. Relative heart rate in the different cutting methods

Runkokohtainen sydämen sykintä, krt/min
Heart rate per stem



Kasausvaiheen sydämen sykintä, krt/min
Heart rate in bunching



Kuva 7. Sydämen sykintä rungon koon funktiona eri tekomenetelmissä
Fig. 7. Heart rate as a function of stem size in the different cutting methods

heneminen edellyttäisi. Tämä on seurausta siitä, että kaikissa kasausten menetelmissä menee aikaa kasaustuodostelman valmisteluun sekä pölkkyjen nostoon ja laskemiseen varsinaisen kantamisen lisäksi.

Työntekijän fyysinen kuormittuminen

Työntekijän tuki- ja liikuntaelimiä kuormittumisen arvioitiin olevan levälleen teossa ja LEKA-menetelmässä pienemmän kuin palstatiin varteen teossa, koska yli 35 kg painavien pölkkyjen nostelua ei niissä esiinny ja 35–50 kg painavia pölkkyjä ainoastaan suoritetaan LEKA-menetelmissä. Levälleen teossa voi kuitenkin esiintyä yksipuolista, staattista lihasjännitystä, koska sahausaika on verraten suuri.

Energian kulutusta mitattiin välillisesti sydämen sykinnän avulla. Sykinnän regressiomallit ovat liitteessä 2. Niistä laskettiin oheiset kuvat 6 ja 7. LEKA-menetelmässä työvaiheiden kestoajalla painotettu runkokohtainen sydämen sykintä oli 5 % ja levälleen teossa 8–10 % pienempi kuin palstatiin varteen teossa. Vastavasti kasaussykintä oli LEKA-menetelmässä 6 % pienempi tutkimusolosuhteissa. Rungon koon suuretessa sekä LEKA-menetelmän että levälleen teon kuormittavuus väheni suhteessa palstatiin varteen tekoon. Tämä johtui siitä, että palstatiin varteen teon kuormittavuus hieman lisääntyi puuston koon suuretessa, mutta LEKA-menetelmän hieman väheni ja levälleen teon lisääntyi vähemmän kuin palstatiin varteen teon.

Moottorisahan käsittelyajat

Alttiina oloa moottorisahan aiheuttamille haitoille tutkittiin määrittämällä tehotyöajan suhteelliset jakaantumukset (taulukko 4). Selvästi suurin sahan käsittelyaika oli levälleen teossa. Erityisesti tehokäyntiaika oli levälleen teossa suuri. Lisääntynyt sahan käsittelyaika lisää melu-, värinä- ja pakokaasuallistusta ja yksipuolista staattista lihasjännitystä. Erityisesti tehokäyntiajan lisääntyminen lisää myös moottorisahakustannuksia.

42. Metsäkuljetus

Metsäkuljetuksen työajan jakautumat on esitetty liitteessä 5. Käyttöaikaan liittyvät alle 15 min. keskeytykset ja siirtoajat ovat aikaisempien tutkimusten perusteella tehtyjä oletuksia, koska tutkimus oli liian lyhykestoinen näiden aikojen luotettavaan selvittämiseen. Taakkakohtaisia esikasaus- ja kuormausaikoja kuvaavat regressiomallit ovat liitteessä 3. Niistä on samalla tutkimusleimikon keskimääräisillä työvaikeustekijäyhdistelmillä laskettu kuvan 8 taakkakohtaiset ajat kasan tai pölkkyjen etäisyyden funktiona. Kasojen tai pölkkyjen etäisyys ajo-urasta keskimäärin eri menetelmissä on esitetty taulukossa 3. Taulukossa 5 on esitetty keskimääräiset taakan koot eri menetelmissä ja kuvassa 9 kuormausuotokset sekä kuvassa 10 korjuuketjujen konetyöuotokset.

Aikaisemmista tutkimustuloksista poiketen olivat taakkakohtaiset kuormaus- ja esikasaus-

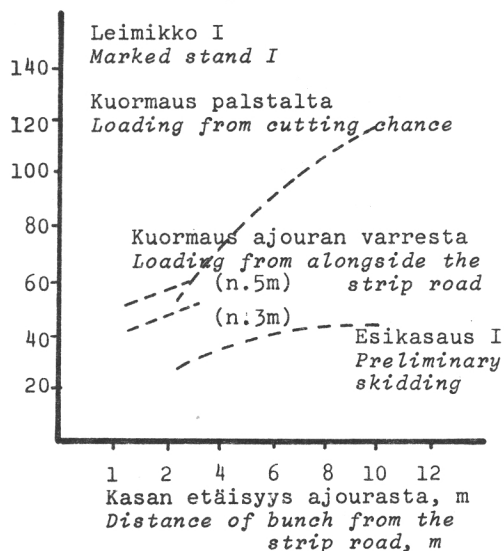
Taulukko 4. Tehotyöajan jakautuminen sahan teho- ja joutokäyntiin sekä sahan maassa oloaikaan
Table 4. Distribution of effective working time between effective and idle running of the power saw and saw on the ground

Tekomenetelmä Cutting method	Työntekijä Worker	Saha kädessä Saw in hand		Saha maassa Saw on the ground	Yhteensä Total
		Tehokäynti Eff. running	Joutokäynti Idle running		
		% tehotyöajasta — % of effective working time			
1	1 2	42,2	20,3	37,5	100
2	1 2	61,3	31,5	7,2	100
3	1	48,2	30,2	21,6	100
4	3	52,0	20,0	28,0	100

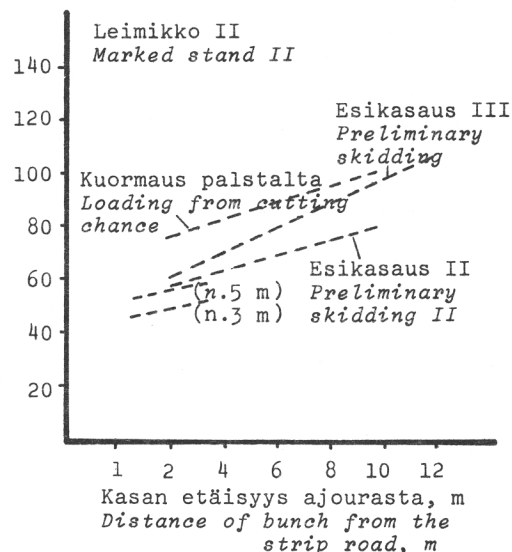
ajat kasan etäisyyden funktiona lineaarisia tai levälleen teon yhteydessä negatiivisesti toisen asteen käyriä (Harstela 1976b, Berg ja Jonsson 1976, Taipale 1976). Esikasauksessa taakkakohtainen ajanmenekki oli pienempi kuin liukupuomilla kuormauksessa, mut-

ta LEKA-menettelmän yhteydessä ero oli yllättävän pieni. Tämä johtuu siitä, että esikasauksen yhteydessä puutavara lajiteltiin ja osittain käännettiin ajouran suuntaiseksi. Pitkän rankatavaran kuormauksessa taakka-ajan menekki oli suurempi kuin noin 3-metrisen kuormauksessa.

Taakka-aika, cmin
Work time/burden, cmin



Taakka-aika, cmin
Work time/burden, cmin



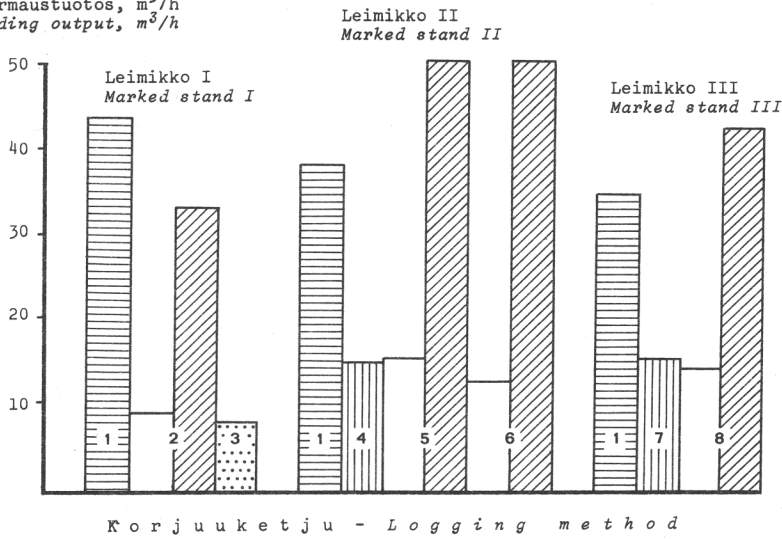
Kuva 8. Taakkakohtaiset esikasaus- ja kuormausajat palstalta






Fig. 8. Preliminary skidding and loading time per burden when loading from the cutting chance

Taulukko 5. Taakkojen keskimääräiset koot eri menetelmissä
Table 5. Average sizes of the burdens in the different methods

Menetelmä Method	Leimikko I Marked stand I		Leimikko II Marked stand II		Leimikko III Marked stand III	
	Taakan koko, m ³ Size of the burden, m ³					
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ajo ajouran varresta, n. 3 m Forwarding from the side of the strip road, ca. 3-m bolts	0,30	141,1	0,3	167,4	0,27	145,3
Esikasaus Preliminary skidding	0,06 ^I	33,2	0,15 ^{II} 0,14 ^{III}	92,7 75,9	0,15 ^{IV}	86,5
Ajo ajouran varresta, n. 5 m Forwarding from the side of the strip road, ca. 5-m bolts	0,28	110,0	0,45	207,6		
Ajo palstalta – Forwarding from cutting chance	0,11	71,3	0,2	116,3	0,17	100,8

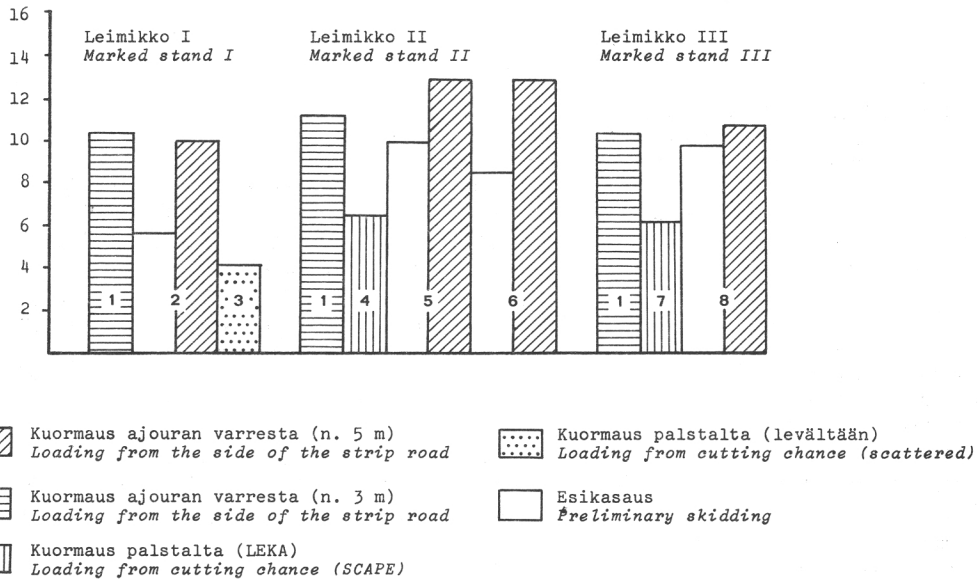
Kuormaustuotos, m³/h
Loading output, m³/h








- | | |
|---|---|
|  Kuormaus ajouran varresta (n. 5 m)
Loading from the side of the strip road |  Kuormaus palstalalta (levältään)
Loading from cutting chance (scattered) |
|  Kuormaus ajouran varresta (n. 3 m)
Loading from the side of the strip road |  Esikasaus
Preliminary skidding |
|  Kuormaus palstalalta (LEKA)
Loading from cutting chance (SCAPE) | |

Kuva 9. Kuormaus- ja esikasaustuotokset eri ajomenetelmissä
Fig. 9. Loading- and preliminary skidding outputs for the different forwarding methods

Konetuotos, m²/h
Machine output, m³/h



- | | |
|---|---|
|  Kuormaus ajouran varresta (n. 5 m)
Loading from the side of the strip road |  Kuormaus palstalalta (levältään)
Loading from cutting chance (scattered) |
|  Kuormaus ajouran varresta (n. 3 m)
Loading from the side of the strip road |  Esikasaus
Preliminary skidding |
|  Kuormaus palstalalta (LEKA)
Loading from cutting chance (SCAPE) | |

Kuva 10. Korjuuketjujen konetyötökset
Fig. 10. Machine outputs of the logging systems

Kuormaustuotos oli kuitenkin leimikolla II suurempi n. 5-metrinen kuin n. 3-metrinen kuitupuun kuormauksessa ajouran varresta. Tämä johtui suuremmasta taakan koosta. Lähi-kuljetustuotoksiin on lisäksi vaikuttanut erilainen kuorman koko.

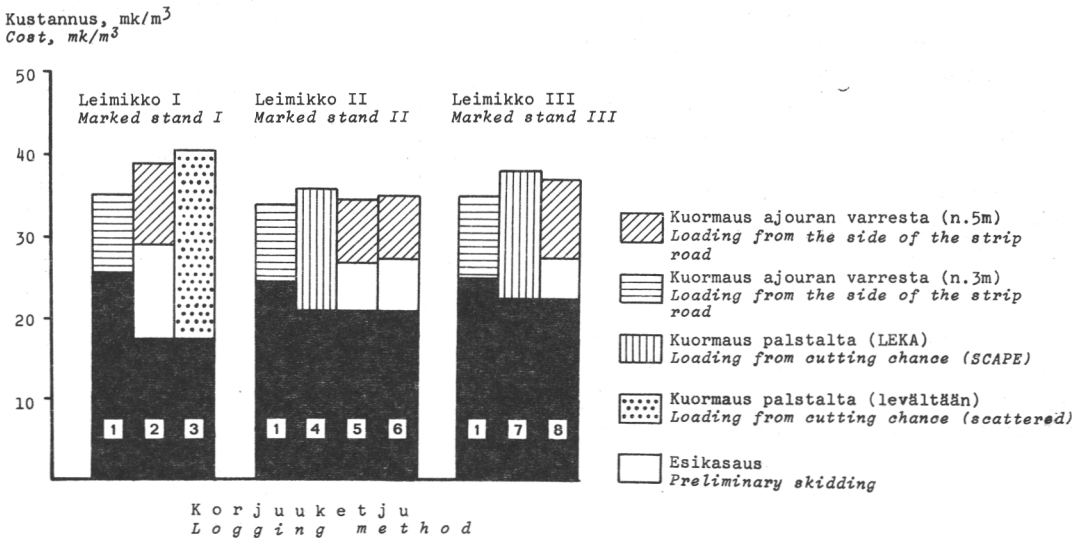
43. Korjuukustannukset

Korjuuketjujen kokonaiskustannukset tutkimusolosuhteissa on esitetty kuvassa 11. Käyttö-tuntikustannuksina käytettiin esikasuskoneelle 68 mk/h, kuormatraktorille 95 mk/h, liuku-puomikuormaimella varustetulle kuormatrakto-rille 97 mk/h ja moottorisahamiehelle vuoden 1976 taksojen edellyttämää kustannustasoa, johon oli lisätty 38 % sosiaalikuluja. Erot leväl-leen tekoon ja palsttien varteen tekoon perus-tuvien korjuuketjujen kustannusten välillä olivat verraten suuret, mutta LEKA-korjuuketjujen (n. 5-m kuitupuun) ja palsttien varteen tekoon perustuvan korjuuketjun välillä pienet. LEKA-menetelmän soveltaminen n. 3-metrinen kuitu-puun tekoon lisäsi kuitenkin korjuukustannuk-sia verraten selvästi.

Esikasatun ja lajitellun puumäärän osuudet koko puumäärästä olivat seuraavat:

Leimikko	I: esikasuskone	1	Esikasattu puumäärä, %
—”—	II: —”—	2	92,3
—”—	II: —”—	3	82,5
—”—	III: —”—	4	78,5

Esikasauksen määrä on suuri, koska esi-kasuskoneella tehtiin samalla puutavaran lajit-telu ja sitä osittain käännettiin ajouran suun-taiseksi. Taulukossa 6 on laskennallisesti ver-rattu LEKA-menetelmän kustannuksia palstia-tien varteen tekoon uusimpien tutkimustulosten perusteella erikokoisessa puustossa, kun lajit-telua ei suoriteta siinä määrin kuin tässä tutki-muksessa ja kun esikasuskoneena on nopea NORMET-yksikkö. Tekokustannukset ovat tä-män tutkimuksen mukaiset. Esikasauustuotok-sena käytettiin 15 m³/h ja kasuskoneen kus-tannuksina 75 mk/h (Taipale 1976). Puuston koon oletettiin vaikuttavan vain tekokustannuk-siin. Ajon esikasauksen jälkeen oletettiin tämän tutkimuksen tuloksiin verrattuna olevan purka-misessa 75 % hitaampaa lajittelutarpeen vuoksi, ja heikomman esikasausjärjestyksen vuoksi teho-työajanmenekin oletettiin kasvavan 0,4 min/m³. (Kahala ja Rantapu 1970). Esikasatuk-si puumääräksi oletettiin 40 % koko puu-määrästä (Orth 1975, Taipale 1976).



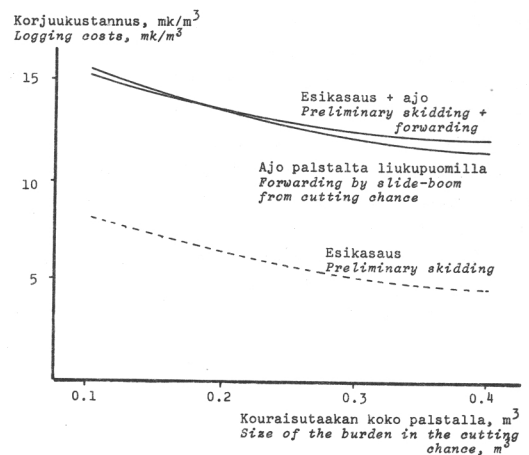
Kuva 11. Korjuuketjujen kustannukset
Fig. 11. Costs of the logging systems

Taulukko 6. Laskennallinen esimerkki rungon koon vaikutuksesta LEKA-korjuuketjun kannattavuuteen
 Table 6. Imputed example of the effect of stem size on the economicalness of the SCAPE logging system

Työvaihe Work phase	Korjuuketju – Logging system			
	LEKA (n. 5 m) SCAPE (ca. 5 m bolts)		Teko ajouran varteen Cutting to the side of the strip road	
	Rungon keskikoko, m ³ – Average stem size, m ³			
	0,065	0,125	0,065	0,125
	Korjuukustannus mk/m ³ – Logging costs mk/m ³			
Teko – Cutting	20,74	16,39	24,66	20,08
Esikasaus – Preliminary skidding	2,00	2,00	–	–
Ajo – Forwarding	8,90	8,90	8,45	8,45
Yhteensä – Total	31,64	27,29	33,11	28,53

Jos laskelman oletukset pitävät paikkansa, on LEKA-menetelmää sovellettaessa mahdollista päästä jo nykytekniikalla kustannussäästöihin keskikokoisessa harvennuspuustossa. On kuitenkin korostettava laskelman hypoteettisuutta.

Korjuuketjujen käyttökustannukset pitkällä aikavälillä riippuvat monista korjuun ohjelmointiin liittyvistä tekijöistä. Aikatutkimusten perusteella voidaan laskea vain työmaakohtaisia kustannuksia. Kuvassa 12 esitetään esikasaukseen ja palstalta kuormaukseen perustuvien korjuuketjujen kustannusvertailu taakan koon funktiona. Kun taakan koon oletetaan riippuvan tekomenetelmästä, voidaan tarkastella esikasauksen kannattavuutta suhteessa liukupuomikuormaukseen eri tekomenetelmissä. Kasan koko palstalla ei enää vaikuta kuormaukseen esikasauksen jälkeen. Koska esikasaukseen tuntikustannus on pienempi kuin kuormatruktorin, lisääntyy esikasaukustannus merkittävästi hitaammin kuin kuormaus palstalta taakan koon pienetessä. Tästä seuraa se, että mitä vähemmän tekomenetelmään sisältyy hakkuumiehen kasausta sitä kannattavammaksi suhteellisesti esikasaus tulee palstalta kuormaukseen verrattuna. Esikasaukseen ja palstalta kuormaukseen perustuvien korjuuketjujen kustannustasot ja siten keskinäinen kannattavuus riippuu luonnollisesti käytettävissä olevista koneista.



Kuva 12. Esikasaukseen ja palstalta kuormaukseen perustuvien korjuuketjujen kustannusvertailu taakan koon funktiona

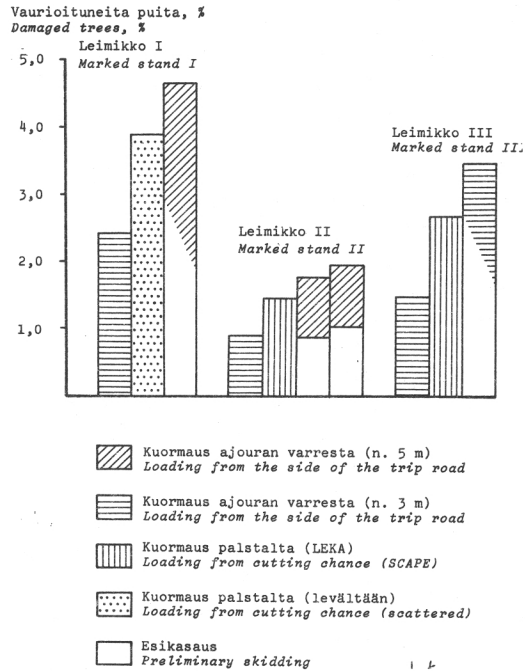
Fig. 12. Cost comparison, as a function of the burden size, of the logging systems based on preliminary skidding and loading from the cutting chance

5. JÄLJELLE JÄÄVÄN PUUSTON VAURIOITUMINEN

Metsäkuljetuksen aiheuttamat vauriot inventoitiin (kuva 13). Aineisto käsitti yhden työmaan menetelmää kohti, joten tulokset ovat vain suuntaa-antavia. Oletuksia työmenetelmän vaikutuksesta vaurioitumiseen on esitetty aikaisemmissa julkaisuissa (esim. Harstela 1976b).

Teko palstalle levälleen tai LEKA-menetelmällä on lisännyt vaurioitumista. Tämä johtuu kone-elimien liikkumistarpeesta palstalla, jolloin vaurioitumiselle alttiiden puiden lukumäärä lisääntyy. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna (esim. Hannelius ja Lillandt 1970, Harstela 1976b) vaurioita syntyi kaikissa menetelmissä, mutta erityisesti Joensuun työmaalla, vähän.

LEKA-menetelmää ja levälleen tekoa ei tämän aineiston perusteella voida verrata toisiinsa erilaisten olosuhteiden ja eri koehenkilön vuoksi. On oletettava, että LEKA-menetelmässä kuitenkin syntyy vähemmän vaurioita, koska siinä puita kootaan ihmistyönä juontourille. Erillisen esijuontoyksikön ja liukupuomikuormauksen käyttöön perustuvien kuljetusketjujen vaurioitumisprosenttien erot ovat pienet. Kaikilla työmailla kuitenkin erillinen esikasaus ja ajo on aiheuttanut enemmän vaurioita. Syy saattaa olla kahden koneen perättäisessä työskentelyssä, jolloin sama reitti ajetaan kahteen kertaan.



Kuva 13. Puuston vaurioituminen
Fig. 13. Damage to the residual growing stock

6. TULOSTEN TARKASTELUA

LEKA-menetelmällä teossa työajan menekin säästö 3-metrinen kuitupuun ajouran varteen tekoon verrattuna johtuu kasausmatkan lyhenemisestä, paikoilleen jäävien pölkkyjen määrän lisääntymisestä sekä pitkän puutavaran nopeamasta katkonnasta ja suuremmasta taakan koosta. Työajan menekin ero lisääntyy absoluuttisesti ja suhteellisesti rungon koon suuretessa, koska siirrettävien pölkkyjen suhteellinen osuus vähenee painorajoitusten vuoksi. Levälleen teko on nopein työmenetelmä, koska siinä kasaus jää kokonaan pois.

Työntekijän fyysinen kuormittuminen oli LEKA-menetelmässä selvästi pienempi kuin

palstatie varteen teossa. Ero on seurausta kasausvaiheen osuuden vähenemisestä ja yhtäjaksoisen kantamistyön keston lyhenemisestä. Tämä johtui kasattavan puumäärän suhteellisen osuuden vähenemisestä ja pölkkyjen siirtelymatkan lyhenemisestä. Myös kantamisen korvaaminen suorinnalla ja siirrettävien pölkkyjen painon aleneminen lienevät vähentäneet energian kulutusta, mutta näillä tekijöillä on suurempi merkitys tuki- ja liikuntaelinten kuormittumisen vähenemiseen (H a r s t e l a 1976b). Rungon koon suureudessa kuormittavuusero palstatie varteen tekoon lisääntyi. LEKA-menetelmässä kasattavan puumäärän ja erityisesti kannettavan puumäärän suhteellinen osuus pienenee painorajoitusten vuoksi rungon koon kasvaessa. Tämä aiheuttaa työn kuormittavuuden vähenemisen.

Levälle teko oli energian kulutuksen suhteen vähiten kuormittava menetelmä, mutta työn yksipuolistumisen ja sahan käsittelyaikojen suuren lisääntymisen vuoksi menetelmä arvioitiin ergonomisesti LEKA-menetelmää huonommaksi. Pienempi energian kulutus on raskeimman työvaiheen, kasauksen poisjännin seurausta.

Ihmistyöpanos oli selvästi pienin levälleen teossa, mutta myös LEKA-menetelmässä saavutettiin huomattava ihmistyöpanoksen säästö pitkän runkotavaran katkontaa nopeuttavan vaikutuksen ja kasauksen yksinkertaistumisen vuoksi.

Korjuukustannukset tämän tutkimuksen mukaan ovat selvästi suurimmat levälleen tekoon perustuvassa korjuuketjussa. N. 5-metrinen kui-

tupuun tekoon LEKA-menetelmällä perustunut korjuuketju oli kustannuksiltaan samaa suuruusluokkaa kuin n. 3-metrinen kuitupuun palstatie varteen tekoon perustunut korjuuketju. Puuston koon kasvaessa LEKA-korjuuketju kuitenkin tulee suhteessa halvemmaksi. Samoin on ilmeistä, että tässä tutkimuksessa esikasauskoneella tehtiin liian hyvää työtä, jolloin esikasauskustannus nousi enemmän kuin varsinaisessa metsäkuljetuksessa säästettiin. Esikasauskoneen käyttö tulee suoraan palstalta tapahtuvaan liukupuomikuormaukseen verrattuna suhteellisesti sitä edullisemmaksi, mitä vähemmän tekomenetelmään sisältyy kasausta.

Koneellinen operointi palstalla lisää puuston vaurioitumisriskiä, mutta kaiken kaikkiaan vaurioituminen oli verraten vähäistä. On kuitenkin ilmeistä, että kuljettajan ammattitaidon ja huolellisuuden merkitys on suuri työskennellessä pitkälle ulottuvilla kuormaimilla. Mm. I s o m ä k i (1976) on osoittanut, että alle 30 metrin ajouraväliä käytettäessä ajourien alle jäävän metsikön osuus kasvaa nopeasti. Näin ollen 10 metrin ulottuvuuden omaava kuormain on liian lyhyt sekä levälleen tekoa että LEKA-menetelmää sovellettaessa, ellei koneyksikkö ole varustettu apuvintturilla. Sen käyttö taas lisää pääomakuluja ja hidastaa työtä. Tässä tutkimuksessa käytettyjen esikasauskoneiden ja liukupuomikuormainten heikkoutena metsikön tuoton kannalta onkin verraten rajoitettu ulottuvuus. Markkinoilla on jo kuitenkin 15 metrin ulottuvuuden omaavia puomeja. LEKA-menetelmää voidaan käyttää myös vintturi- ja pien-traktoriesikasauksen yhteydessä.

7. YHDISTELMÄ

Tutkittiin levälleen teon ja ns. LEKA-menetelmän käyttöä harvennushakkuussa tavanomaiseen palstatie varteen tekoon verrattuna. Työn tuotoksen ja kustannusten lisäksi tutkittiin työntekijän fyysistä kuormittumista ja jäävän puuston vaurioitumista. LEKA-menetelmässä suunnatun kaadon jälkeen suuret pölkkyt jätetään paikoilleen, keskikokoisia ainoastaan suorietaan ja pienet kasataan suurempien viereen.

Esikasausta suoritettiin 10 ja 12 metrin ulottuvuuden omaavilla VALMET-esikasauskoneilla tai pölkkyt kuormattiin suoraan palstalta liukupuomilla varustetulla kuormaimella.

Levälle teko n. 5-metrisenä oli 31–36 %, teko LEKA-menetelmällä n. 5-metrisenä n. 20 % ja n. 3-metrisenä 14 % nopeampaa kuin n. 3-metrinen kuitupuun teko ajouran varteen. Puuston koon kasvaessa LEKA-menetelmän

ajanmenekki pienenee suhteessa palsttien varteen tekoon. Sydämen sykintä oli levälleen teossa 8–10 % ja LEKA-menetelmässä 5 % pienempi kuin palsttien varteen teossa.

Tuki- ja liikuntaelinten kuormitus arvioitiin sekä levälleen teossa että LEKA-menetelmässä vähäisemmäksi kuin palsttien varteen teossa. Sen sijaan levälleen teko oli yksipuolista moottorisahan käsittelyä. LEKA-menetelmässä saha oli poissa kädestä 21,6 % tehotyöajasta ja palsttien varteen teossa 37,5 %.

Työajan menekin ja fyysisen kuormittumisen väheneminen olivat seurausta kasaustyövaiheen osuuden vähenemisestä ja yhtäjaksoisen kantamistyön keston lyhenemisestä. Tämä johtui LEKA-menetelmässä etupäässä kasattavan puumäärän osuuden vähenemisestä ja pölkkyjen siirtelymatkan lyhenemisestä. Siirrettävien pölkkyjen painon aleneminen ja kantamisen korvaaminen suorinnalla lienevät eniten vähentäneet tuki- ja liikuntaelinten kuormittumista.

Levälleen teon jäljiltä esikasaustuotokset ja palstalta kuormaustuotokset olivat suhteessa palsttien varresta kuormaukseen alhaiset. LEKA-menetelmällä kasatun puutavaran esikasa- ja kuormaustuotokset olivat huomattavasti paremmat.

LEKA-menetelmän jäljiltä taakan koko oli suurempi kuin levälleen teon, ja kasoja tarvitsi vähemmän yhdistellä ennen riittävän taakan syntymistä. LEKA-menetelmän yhteydessä esikasatun n. 5-metrinen kuitupuun kuljetustuotos

oli suurempi kuin ajouran varteen kasatun n. 3-metrinen kuitupuun suuremman taakan koon ja kuorman koon vuoksi.

Korjuukustannukset olivat tutkimusolosuhteissa levälleen tekoon perustuvassa korjuuketjussa 38,66–40,18 mk/m³, LEKA-korjuuketjussa n. 3-metrinen kuitupuun kyseessä ollen 36,63–40,18 mk/m³ ja n. 5-metrinen 34,40–35,50 mk/m³ sekä palsttien varteen (n. 3-m) tekoon perustuneessa korjuuketjussa 33,45–34,44 mk/m³. Esimerkkilaskelman perusteella oletettiin LEKA-menetelmän tulevan suhteellisesti edullisemmaksi puuston koon suuretessa kohti keskimääräistä harvennuspustoa. Ilmeisesti myös esikasauksen laadun huonontaminen lisää korjuuketjun kannattavuutta, koska esikasaukustannus vähenee enemmän kuin kuormaustaktorin kustannus lisääntyy.

Periaatetasolla osoitettiin, että esikasaukseen perustuva korjuuketju on suhteellisesti sitä edullisempi mitä vähemmän hakkuumenetelmään kuuluu kasausta suoraan palstalta tapahtuvaan liukupuomikuormaukseen verrattuna.

Jäljelle jäävien vaurioituneiden puiden lukumäärä oli kaikissa korjuumenetelmissä alle 5,0 % puiden lukumäärästä. Vähiten vaurioita (0,9–2,4 %) syntyi palsttien varteen tekoon perustuneessa menetelmässä. Jotta voidaan soveltaa keskimäärin 30 metrin ajouraväliä, tulee kuormaimen ulottuvuuden olla yli 12 metriä tai koneyksikkö tulee varustaa apuvintturilla.

KIRJALLISUUS

- BERG, H. & JONSSON, Y. 1976. Lång kran i gallring. Summary: Long booms in thinning. Redog. ForsknStift. Skogsarb. 7:1-28.
- HANNELIUS, S. & LILLANDT, M. 1970. Puuston vaurioituminen harvennusleimikoiden koneellisessa korjuussa. Summary: Damaging of Stand in Mechanized Thinning. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 4:1-32.
- HARSTELA, P. 1976a. Puutavaran kasausongelman ratkaisuvaihtoehtoja. Metsä ja Puu 4:22-25.
- 1976b. Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen tehtäessä kuitupuuta liukupuomikuormausta varten. Summary: Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading. Folia For. 260:1-23.
- ISOMÄKI, A. 1976. Ajourat puunkorjuun piilokustannuksena. Summary: Hauling tracks — a hidden cost of thinning. Metsä ja Puu 2:9-11.
- KAHALA, M. & RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikkotekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen. Summary: Study of the effect of the method of timber preparation and marked-stand factors on cutting and forwarding with a forwarder. Metsätehon tiedotus 292:1-58.
- ORTH, L. 1975. Vinch i gallring. Ekon. ForsknStift. Skogsarb. 8:1-4.
- TAIPALE, J. 1976. Normetin kasauslaite. Summary: Normet's bunching device. Metsätehon katsaus 19:1-16.

SUMMARY

A study was made of the use of the short wood cutting without bunching (scattered) and the so-called SCAPE (LEKA) method in thinnings compared with the conventional method of cutting to the side of the strip road. In addition to the output and costs of the work, the physical strain on the workers and damage to the residual growing stock were also studied. In the SCAPE method large bolts are left where they fall after directed felling, medium-sized bolts are merely straightened, and small ones are bunched alongside the larger bolts. Preliminary skidding was done with VALMET preliminary skidding machines with a slide-boom loader, the radius of which was 10 and 12 m and with a winch, or the bolts were loaded directly from the cutting area by a slide-boom loader.

Scattered cutting into about 5-m bolts was 31–36 %, with the SCAPE method into about 5-m bolts 20 % and into about 3-m bolts 14 % faster than the cutting of about 3-m pulpwood to the side of the strip road. When the size of the growing stock increases, the expenditure of time with the SCAPE method decreases in proportion to cutting to the side of the strip road. The worker's heart rate in the scattered method was 8–10 %, and in the SCAPE method 5 %, lower than in cutting to the side of the strip road. Physical strain on the skeleton was estimated to be smaller in both the scattered and SCAPE methods than in cutting to the side of the strip road. On the other hand, cutting by the scattered method was simply handling of the power saw, but in the SCAPE method the saw was out of the worker's hand for 21,6 %, and in cutting to the side of the strip road for 37,5 %, of the effective working time.

The expenditure of working time and the physical strain were reduced by decreasing the proportion of the bunching phase of the work and shortening the duration of the uninterrupted carrying work. This was attributable in the SCAPE method mainly to decreasing the amount of timber to be bunched and to shortening the distance over which the bolts must be moved. Reduction of the weight of the bolts to be moved and replacement of carrying by straightening were probably the factors that most reduced the physical strain on the skeleton.

The outputs on preliminary skidding after scattered cutting and the outputs in loading from the cutting chance were low compared with loading from the side of the strip road. The preliminary skidding and loading outputs for timber bunched by the SCAPE method were considerably better than after scattered cutting.

With the SCAPE method the size of the burden was greater, and it was necessary to combine fewer bunches to achieve the right burden. With the SCAPE method the forwarding output for the 5-m pulpwood which had been preliminary skidded was greater than for 3-m pulpwood bunched to the side of the strip road. The reason for this was the larger bunch size and load size.

Logging costs under the investigation conditions in the system based on scattered cutting were 38,66–40,18 marks/m³ in the SCAPE logging system, 36,63–40,18 marks/m³ for 3-m pulpwood and 34,40–35,50 marks/m³ for 5-m pulpwood, and in the system based on cutting to the side of the strip road (3-m pulpwood) 33,45–34,44 marks/m³. It was assumed from the calculation that the SCAPE method is relatively more economical as the size of the growing stock increases towards and average thinning growing stock. Lowering the quality of preliminary skidding obviously also increases the profitability of the SCAPE logging system as the cost of preliminary skidding decreases more than the cost of the forwarding rises.

It was shown that, in principle, a logging system based on preliminary skidding is relatively more economical the smaller the amount of bunching included in the cutting method is compared to slide-boom loading directly from the cutting chance.

The number of damaged residual trees was less than 5,0 % of the number of trees with all the logging methods. The method based on cutting to the side of the strip road caused the least damage (0,8–2,4 %). To be able to apply the average strip road spacing of 30 m, the radius of the loader must be over 12 m of the machine unit must be equipped with an auxiliary winch.

LIITTEET

Liite 1. Työajan menekkiä kuvaavat regressiomallit
App. 1. Regression models describing expenditure of working time

	100 R ²
Levälle ja palstien varteen teko: <i>Cutting scattered and to the side of the strip road:</i>	
$y_{11} = 13,1 + 0,80x_{30}^{***} - 3,02x_{31}^{**} + 0,63x_{35}^{***} - 3,33x_1^{***}$	6,9 %
$y_{12} = 5,05 + 1,6x_{30}^{***} + 5,91x_{31}^{***}$	34,0 %
$y_{13} = -35,9 + 8,03x_{30}^{***} + 14,72x_{31}^{**} + 2,45x_1^{**} + 1,32x_{36}^{**} - 2,19x_{31}^{2**}$	74,8 %
$y_{14} = 59,3 + 7,05x_{30}^{***} - 28,3x_{31}^{**} + 6,09x_{31}^{2**}$	47,7 %
$y_{15} = 62,1 + 14,8x_{30}^{***} + 10,19x_{31}^{**} + 0,64x_{35}^{**} - 1,07x_{31}^{2**}$	68,7 %
$y_{16} = y_{11} + y_{12} + y_{13}$	
$y_{21} = 16,2 + 2,94x_{30}^{**} + 12,68x_{31}^{**} + 0,84x_{30}^{2***} - 3,1x_{31}^{2**} - 0,004x_{30}x_{39}^{**} - 4,34x_1^{***}$	4,7 %
$y_{22} = 25,18 - 1,03x_{30}^{**} - 13,77x_{31}^{***} - 0,1x_{30}^{2**} + 4,53x_{31}^{2***} + 0,003x_{30}x_{39}^{***} + 1,22x_1^{**}$	42,8 %
$y_{23} = -19,45 + 11,39x_{30}^{***} + 14,89x_{31}^{**} + 0,07x_{30}^{2**} - 0,42x_{31}^{2**} - 0,002x_{30}x_{39}^{**} - 0,22x_1^{**}$	75,7 %
$y_{24} = -6,4 + 22,77x_{30}^{***} + 13,28x_{31}^{**} - 2,93x_{30}^{2***} - 0,008x_{30}x_{39}^{**}$	47,9 %
$y_{25} = 59,2 + 43,65x_{30}^{***} + 8,52x_{31}^{**} - 0,78x_{30}^{2**} + 4,02x_{31}^{2**} - 0,024x_{30}x_{39}^{***}$	71,2 %
$y_{26} = y_{21} + y_{22} + y_{23}$	

$y_{n_1n_2}$ = tehotyöajan menekki, cmin – *expenditure of effective working time, cmin*

n_1 = työntekijä, n:o – *worker, no*

n_2 = työvaihe – *work phase*: 1 = siirtyminen – *moving*, 2 = kaato – *falling*, 3 = karsinta ja katkonta – *branching and bucking*, 4 = kasaus palstien varteen teossa – *bunching in cutting to the side of the strip road*, 5 = runkokohtainen aika palstien varteen teossa – *per stem time in cutting to the side of the strip road*, 6 = runkokohtainen aika levälle teossa – *per stem time in cutting scattered*

x_1 = valemuuttuja, työmenetelmä 1 = 1, 2 = 0
dummy variable, cutting method 1 = 1, 2 = 0

x_{30} = rungon koko, 0,01 m³ – *stem size, 0,01 m³*

x_{31} = oksaisuusluokka – *branchiness class*

x_{35} = lumen syvyys, cm – *snow depth, cm*

x_{36} = lumen upottavuus, cm – *sinking into the snow, cm*

x_{39} = jäävä puusto, runkoa/ha – *remaining growing stock, stems/ha*

100R² = selitysaste – *degree of explanation*

LEKA menetelmä ja palstatien varteen teko:
SCAPE method and cutting to the side of the strip road:

(n. 5 m) – (ca. 5 m)	100 R ²
$y_{11} = 35,4 + 2,71x_{30}^* + 1,38x_1^* - 2,05x_{31}^* - 0,028x_{30}^{2***} - 0,021x_{30}x_{40}^{***} - 0,015x_{39}^{**}$	10,6 %
$y_{12} = 2,74 + 3,27x_{30}^{***} - 2,56x_1^{***} + 5,15x_{31}^{***} + 0,83x_1x_{30}^{***} - 0,002x_{30}x_{39}^{***}$	5,3 %
$y_{13} = 13,9 + 7,07x_{30}^{**} + 4,30x_1^{**} - 22,74x_{31}^{**} + 8,36x_{31}^2 - 0,083x_{30}^{2***} + 1,19x_{30}x_{31}^{***}$	77,8 %
$y_{14} = 2,85 + 16,51x_1^{***} + 6,48x_{31}^{**} + 2,51x_{30}^{***} - 0,13x_{30}^{2***} + 3,29x_1x_{30}^{***}$	47,5 %
$y_{15} = -16,9 + 4,26x_1^{***} + 33,07x_{31}^{***} + 15,64x_{30}^{**} - 0,19x_{30}^{2***} + 4,68x_1x_{30}^{***}$	75,0 %

(n. 3 m) – (ca. 3 m)	
$y_{31} = 27,6 + 0,43x_{30}^{***} + 1,98x_1 - 1,97x_{31} - 0,003x_{40}^{2**}$	2,2 %
$y_{32} = -43,7 + 13,13x_{30}^{***} + 3,03x_1^{***} + 1,67x_{31}^* - 0,079x_{30}x_{40}^{***} + 0,36x_{40}^{***} - 0,016x_{30}x_{41}^*$	54,1 %
$y_{33} = -72,6 + 34,09x_{30}^{***} + 3,10x_1^* - 58,49x_{31}^{**} - 0,0012x_{30}^2 - 3,25x_{30}x_{31}^{***} + 28,23x_{31}^{2***}$ $- 0,14x_{30}x_{40}^{***} + 0,005x_{40}^{2***}$	76,0 %
$y_{34} = -13,6 + 15,83x_{30}^{**} + 25,20x_1^{***} + 45,01x_{31}^{***} - 0,86x_{30}x_{31}^* - 0,062x_{30}^{2***}$ $- 0,006x_{41}^{2***} - 0,069x_{30}x_{40}^{***} - 9,58x_{31}^{2**}$	41,1 %
$y_{35} = -411,8 + 63,92x_{30}^{***} + 29,87x_1^{***} + 21,59x_{31}^{***} - 0,17x_{30}^{2***} - 0,33x_{30}x_{40}^* + 3,14x_{40}^{***}$	68,6 %

$y_{n_1n_2}$ = tehoyöajan menekki, cmin – *expenditure of effective working time, cmin*

n_1 = työntekijä, n:o – *worker, no*

n_2 = työvaihe, 4 = kasaus, 5 = runkokohtainen aika
work phase, 4 = bunching, 5 = per stem time

x_1 = valemuuuttuja, työmenetelmä 1 = 1, 3 = 0, 4 = 0
dummy variable, cutting method 1 = 1, 3 = 0, 4 = 0

x_{40} = jäävä puusto, m³/ha – *residual growing stock, m³/ha*

x_{41} = leimikon tiheys, m³/ha – *stand density, m³/ha*

muut kuten edellä – *the other symbols as before*

Liite 2. Sydämen sykintää kuvaavat regressiomallit

App. 2. Regression models describing heart rate

Levälle ja palstatiin varteen teko

Cutting scattered and to the side of the strip road

y_{11}	$= 12,3 + 5,71x_{30}^{**} - 0,32x_{31} + 17,02x_1^{***} + 0,67x_{36}^{***} + 0,085x_{39}^{***} - 0,005x_{30}x_{39}^{**}$	100 R ² 37,4 %
y_{12}	$= 24,26 + 5,66x_{30}^{**} - 0,55x_{31} + 17,1x_1^{***} + 0,73x_{36}^{***} + 0,0073x_{39}^{***} - 0,005x_{30}x_{39}^{**} + 0,07x_{35}$	49,2 %
y_{13}	$= 59,32 + 1,6x_{30} - 0,65x_{31} + 15,03x_1^{***} + 0,99x_{36}^{***} + 0,048x_{39}^{***} - 0,002x_{30}x_{39} - 0,25x_{35}$	45,1 %
y_{14}	$= 44,46 + 3,12x_{30}^{**} - 2,65x_{31}^{**} + 0,085x_{39}^{***} + 0,35x_{30}x_{31}^{**} - 0,003x_{30}x_{39}^{**}$	32,2 %
y_{21}	$= 114,5 + 0,92x_{30} - 2,4x_{31} + 11,59x_1^{***} + 0,65x_{35}^{***} - 0,001x_{30}x_{39} + 0,64x_{31}^2$	43,5 %
y_{22}	$= 106,2 - 0,55x_{30} - 0,91x_{31} + 11,09x_1^{***} + 0,79x_{35}^{***} + 0,0004x_{30}x_{39} + 0,27x_{31}^2$	37,4 %
y_{23}	$= 111,8 + 0,69x_{30} - 1,92x_{31} + 7,79x_1^{***} + 0,69x_{35}^{***} - 0,0007x_{30}x_{39} + 0,53x_{31}^2$	27,9 %
y_{24}	$= 135,7 + 4,23x_{30}^{**} + 3,44x_{31}^{***} - 0,43x_{30}x_{31}^{***} - 0,0023x_{30}x_{39}$	38,5 %

x_1 = valemuuttuja, työmenetelmä 1 = 1, 2 = 0
dummy variable, cutting method 1 = 1, 2 = 0

Teko LEKA-menetelmällä ja palstatiin varteen teko

Cutting with SCAPE method and to the side of the strip road

y_{11}	$= 106,5 - 4,54x_1^{***} - 0,014x_{30} + 2,03x_{31} - 0,22x_1x_{30} + 0,00073x_{30}^2 + 0,00055x_{30}x_{31}$	5,9 %
y_{12}	$= 106,3 - 4,37x_1^{***} - 0,61x_{30} + 1,47x_{31} - 0,20x_1x_{30} + 0,16x_{30}x_{31} - 0,0044x_{30}^2$	9,7 %
y_{13}	$= 109,3 - 5,00x_1^{***} - 0,64x_{30}^{**} + 0,18x_{30}x_{31} + 0,056x_1x_{30} - 0,0017x_{30}^2 - 0,0022x_{31}$	7,2 %
y_{15}	$= 103,6 - 2,46x_1^{**} + 0,75x_{30}^{**} - 0,56x_1x_{30}^{***} - 0,017x_{30}^2 + 1,12x_{31} + 0,090x_{30}x_{31}$	11,9 %
y_{16}	$= 105,4 - 3,15x_1^{***} + 0,16x_{30} + 1,10x_{31} - 0,40x_1x_{30}^{**} - 0,015x_{30}^2 + 0,15x_{30}x_{31}$	11,1 %

$y_{n_1n_2}$ = sydämen sykintä, kertaa/min – heart rate, beats/min

n_1 = työntekijä, n:o – worker, no

n_2 = työvaihe, 1 = siirtyminen, 2 = kaato, 3 = karsinta,
work phase, 1 = moving, 2 = felling, 3 = branching
4 = kasaus palstatiin varteen teossa,
4 = bunching in cutting to the side of the strip road
5 = kasaus LEKA-menetelmässä ja palstatiin varteen teossa,
5 = bunching in SCAPE method and cutting to the side of the strip road
6 = runkokohtainen – per stem

x_1 = valemuuttuja, työmenetelmä 1 = 0, 3 = 1 – dummy variable, cutting method 1 = 0, 3 = 1

x_{30} = rungon koko, 0,01 m³ – stem size, 0,01 m³

x_{31} = oksaisuusluokka – branchiness class

x_{35} = lumen syvyys, cm – snow depth, cm

x_{36} = lumen upottavuus, cm – sinking into the snow, cm

x_{39} = jäävä puusto, runkoa/ha – remaining growing stock, stems/ha

Liite 3. Esikasaus levälleen teon jälkeen

App. 3. Preliminary skidding after cutting scattered

100 R²

$$y_1 = -2,9 + 7,09x_9^{***} - 0,40x_9^{2***} + 17,08x_{15}^{**} - 2,52x_{15}^{2**} - 0,079x_{13}^{*} + 0,00034x_{13}^{2*} \quad 17,3 \%$$

$$y_2 = 44,9 + 2,02x_9^{***} - 0,096x_9^{2***} + 1,15x_{15}^{***} + 0,0016x_{28}^{2***} - 0,52x_{28}^{***} \quad 14,2 \%$$

$$y_3 = -6,6 + 0,91x_9^{**} + 6,16x_{15}^{**} - 1,16x_{15}^{2*} - 0,053x_9^{2*} \quad 1,6 \%$$

$$y_4 = -2,2 + 3,91x_9^{***} - 0,23x_9^{2***} + 7,30x_{15}^{***} - 0,91x_{15}^{2*} + 0,010x_{28} \quad 16,5 \%$$

Esikasaus LEKA-menetelmässä (n. 5 m, VALMET esikasauskone II)

Preliminary skidding in SCAPE method (ca. 5 m, VALMET preliminary skidding machine II)

$$y_1 = 42,76 + 0,26x_7 + 1,51x_3^{***} + 0,0095x_7x_3^{**} + 1,02x_{15}^{*} - 0,26x_{13}^{***} + 0,0024x_{13}x_3^{*} + 0,00088x_{13}x_{28} - 0,0011x_7x_{28} + 0,066x_{31} - 0,077x_{28} + 0,00048x_7x_{13} \quad 37,9 \%$$

(n. 5 m, VALMET esikasauskone III) – (ca. 5 m, VALMET preliminary skidding machine III)

$$y_1 = 30,41 + 0,36x_7^{***} - 0,62x_3 + 0,018x_7x_3^{***} + 3,14x_{15}^{***} - 0,00041x_7x_{13} - 1,02x_{27} + 1,27x_{26} - 0,00073x_7^2 - 0,0006x_{13}^{2***} + 0,0095x_{13}x_3^{***} + 0,056x_{13} \quad 49,8 \%$$

(n. 3 m) – (ca. 3 m)

$$y_1 = -39,85 - 0,59x_7 + 3,04x_3^{***} + 0,017x_7x_{15} - 0,00032x_{13}x_3 + 0,0012x_7x_{13}^{*} + 0,37x_{28}^{*} - 0,0072x_7x_3 - 0,0052x_{13}x_{28} + 0,79x_{13}^{***} - 0,00012x_{13}^{2*} + 0,0042x_7x_{28} \quad 53,7 \%$$

y_n = työajan menekki, cmin – expenditure of working time, cmin

n = työvaihe, 1 = taakkakohtainen aika, 2 = kouran vienti kasalle, work phase, 1 = loading time per burden, 2 = taking the grapple to the bunch, 3 = kouraisu ja taakan muodostaminen, 4 = taakan tuonti ajouran varteen 3 = grasping and making up the burden, 4 = bringing the burden to the side of the strip road

x_3 = kasoja taakassa, 0,1 kpl – number of bunches in the burden x 0,1

x_7 = kasojen suurin etäisyys ajourasta, dm – maximum distance of the bunch from the strip road, dm

x_9 = kasan etäisyys ajourasta, m – distance of the bunch from the edge of the strip road, m

x_{13} = taakan koko, dm³ – size of the burden, dm³

x_{15} = pölkkyluku/taakka – number of bolts/burden

x_{26} = kasan sijainti (1 = pitkittäinen, 2 = kohtisuorassa, 3 = vinossa) location of the bunch (1 = longitudinally, 2 = perpendicularly, 3 = slantingly)

x_{27} = ajouralla olevien pölkkyjen lukumäärä, kpl – number of bolts on the strip road

x_{28} = jäävän puuston tiheys, m³/ha – density of the residual growing stock, m³/ha

x_{31} = taakkaan tulleiden kasojen keskipölkkykoko, m³ – average size of the bunches included in a burden, m³

Kuormaus liukupuomilla palstalta levälleen teon jälkeen

Loading with slide-boom from the cutting chance after cutting scattered

100 R²

$$\begin{aligned}
 y_1 &= -205,0 + 16,54x_9^{**} + 16,38x_{15}^{***} + 0,00049x_{13}^{2***} - 0,47x_{15}^2 + 2,16x_{28}^* - 0,62x_9^{2**} + 21,14x_{27}^{***} \\
 &\quad - 4,77x_{27}^{2***} - 0,0060x_{28}^{2*} && 38,9\% \\
 y_2 &= 9,4 + 1,04x_9 + 2,94x_{27}^{***} - 0,60x_{27}^{2**} + 0,16x_9^{2*} + 0,0085x_{13}^* && 25,4\% \\
 y_3 &= -288,7 + 15,43x_9^{**} + 12,41x_{15}^{***} + 2,83x_{28}^* + 0,00026x_{13}^{2**} - 0,90x_9^{2*} - 0,0080x_{28}^{2*} && 34,2\% \\
 y_4 &= 153,7 + 1,31x_9^{***} + 0,00038x_{13}^{2***} - 1,46x_{28}^{***} - 0,097x_{13}^{***} + 0,0041x_{28}^{2**} + 1,55x_{15}^{**} && 20,3\%
 \end{aligned}$$

Kuormaus liukupuomilla palstalta LEKA-menetelmässä

Loading with slide-boom from the cutting chance in the SCAPE method

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 14,57 + 0,13x_7^{***} + 2,59x_3^{***} + 1,47x_{15}^{**} - 0,0014x_7x_{28} + 0,021x_7x_{15}^{**} + 3,64x_{26}^{**} \\
 &\quad - 0,00056x_{13}x_{28}^* + 0,07x_{13} && 53,3\%
 \end{aligned}$$

(n. 3 m) – (ca. 3 m)

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 10,63 + 0,36x_7^{***} + 1,50x_3^{***} + 0,00024x_{13}x_{28} - 0,0018x_7^{2***} + 0,015x_7x_{15} \\
 &\quad - 3,17x_{26}^* - 0,43x_{15} + 0,11x_{28} + 0,00030x_7x_{13} && 57,1\%
 \end{aligned}$$

x_{27} = pölkkyjä ajouralla, kpl – number of stems on the strip road

muut samat kuin edellä – the other symbols as before

Ajo palstatién varresta (n. 3 m ja n. 5 m)

Forwarding from the side of the strip road

$$\begin{aligned}
 y_{11} &= 38,1 + 23,00x_1^* - 20,62x_{25}^{***} + 0,15x_{25}x_{28}^{***} - 0,20x_1x_{28}^{***} + 0,43x_{15}^{**} + 2,87x_{26}^* && 10,5\% \\
 y_{12} &= 11,9 - 1,48x_1^* - 1,28x_{25}^* + 1,36x_1x_{25}^* + 0,77x_{26}^* + 0,008x_{25}x_{28}^* && 4,0\% \\
 y_{13} &= 30,5 + 20,29x_1^* - 18,45x_{25}^{***} + 0,13x_{25}x_{28}^{***} - 0,18x_1x_{28}^* + 0,37x_{15}^{**} && 10,3\%
 \end{aligned}$$

(n. 3 m) – (ca. 3 m)

$$\begin{aligned}
 y_{21} &= 20,34 + 1,23x_7^{**} + 2,69x_3^{***} - 0,0041x_{31} - 0,0022x_7^{2*} - 0,014x_7x_{15} + 0,00050x_{13}x_{28} \\
 &\quad - 0,0045x_{13}x_3^* - 0,0048x_7x_{28} - 0,39x_{15}^* - 0,11x_{28} - 0,00005x_{13}^{2*} + 0,048x_{13} && 33,9\% \\
 y_{31} &= 43,24 - 2,67x_7^{***} + 0,72x_3^{***} + 0,02x_7x_{28} + 0,29x_{15}^* + 0,00062x_7x_{13} - 0,078x_{28} \\
 &\quad - 0,000006x_{13} && 26,3\%
 \end{aligned}$$

(n. 5 m) – (ca. 5 m)

$$y_{21} = 40,05 - 0,93x_7 + 0,56x_{15}^{***} + 0,45x_{27}^{**} + 0,055x_{28} - 1,75x_{26} + 0,0069x_7x_{28} \quad 6,8\%$$

$y_{n_1n_2}$ = työajan menekki, cmin – expenditure of working time, cmin

n_1 = työmaa n:o – working place, no

n_2 = työvaihe, 1 = taakkakohtainen aika, 2 = kouran vienti kasalle, 3 = taakan teko ja tuonti ajouran varteen
work phase, 1 = loading time per burden, 2 = taking the grapple to the bunch, 3 = making up the burden and bringing the burden to the side of the strip road

x_1 = valemuuttuja, 1 = n. 3 m ajouran varteen tehty puutavara, 0 = n. 5 m esikasattu puutavara
dummy variable, 1 = about 3-m bolts cutted to the side of the strip road, 0 = about 5-m preliminary skidded bolts

muut kuten edellä – the other symbols as before

Liite 4. Puutavaran teon tehotyöajan jakautumat
 App. 4. Distribution of effective working time in cutting

Työvaihe <i>Work phase</i>	Leimikko I <i>Marked stand I</i>				Leimikko II <i>Marked stand II</i>		Leimikko III <i>Marked stand III</i>	
	Työntekijä 1 <i>Worker 1</i>		Työntekijä 2 <i>Worker 2</i>		Työntekijä 1 <i>Worker 1</i>		Työntekijä 2 <i>Worker 2</i>	
	Men. 1 <i>Meth- od 1</i>	Men. 2 <i>Meth- od 2</i>	Men. 1 <i>Meth- od 1</i>	Men. 2 <i>Meth- od 2</i>	Men. 1 <i>Meth- od 1</i>	Men. 2 <i>Meth- od 2</i>	Men. 1 <i>Meth- od 1</i>	Men. 2 <i>Meth- od 2</i>
Siirtyminen – <i>Moving</i>	12,4	22,0	13,3	20,3	10,6	14,8	11,9	13,2
Tyven raivaus – <i>Clearing of the end next to the ground</i>	2,1	3,2	1,8	1,8	0,4	0,4	0,3	0,4
Kaato – <i>Felling</i>	12,8	19,0	12,9	20,4	12,6	16,2	11,2	11,2
Kaadon apuajat – <i>Auxiliary times of felling</i>	2,8	4,4	3,5	3,3	0,8	1,9	1,2	0,2
Karsinta – <i>Branching</i>	24,7	39,7	30,9	48,7	30,6	39,1		
Katkonta – <i>Bucking</i>	6,7	6,7	4,5	4,8	6,2	5,3	38,2	44,7
Kasaus – <i>Bunching</i>	37,2	4,7	31,8	0,1	37,2	21,6	33,8	28,9
Aluspuun teko – <i>Preparation of bed timber</i>		–		–		–	2,6	–
Latvusten siirto – <i>Moving of left leafy heads of trees</i>	1,3		1,3		1,6			
		0,3		0,6		0,7	0,8	1,4
Tehotyöaika – <i>Effective working time</i>	100	100	100	100	100	100	100	100

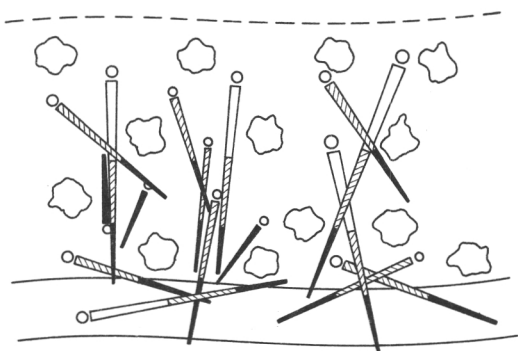
Liite 6. LEKA-menetelmän hakkuuohjeet

Seuraavassa selostetaan LEKA-hakkuumenetelmää, sen eri työvaiheita ja suoritusjärjestystä. Ohjeet perustuvat tutkimusten aikana tehtyihin havaintoihin ja kokemuksiin:

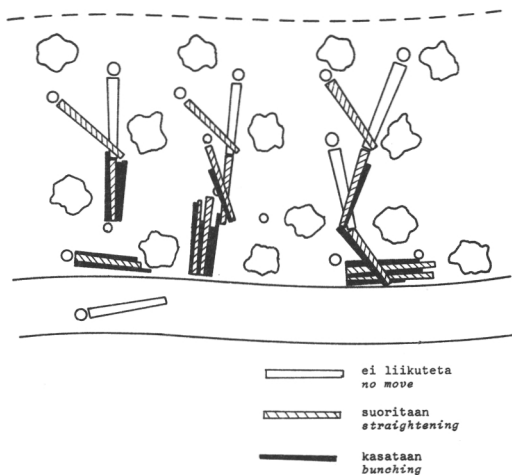
- Kaatosuunta LEKA-menetelmässä on tärkeä. Kaadon merkitys korostuu silloin, kun tehdään yli 3 metriä pitkää tavaraa. Lyhyemmällä pöllillä kaadossa tapahtunut virhe on helpommin korjattavissa suorinnalla ja kasauksella. Kaato suunnataan ajouralla yleensä ajouran suuntaan tai hieman vinottain ajouran keskeltä reunaan päin. Ajouralle jäävät ainoastaan ne pöllit, joita ei tarvitse liikuttaa.
- Palstalla pääkaatosuunta on yleensä kohtisuoraan ajouraa vastaan (kuva 14) tai hieman vinottain. Varsinkin pienillä rungoilla kaatosuuntaa määrää jo kaadetun tai kaadettavan suuremman rungon pölkkyjen sijainti. Suuntauksessa tulee myös huomioida työpenkkiteknikan hyväksikäyttö.
- Vinottain kaato auttaa kouraisutaakkojen muodostumista, ja puut kerääntyvät juontourille. Etäämmällä ajourasta olevat pöllit (= taakkaa joudutaan vetämään) saavat muodostaa ristikkäisen kasan. Ristikkäisyyskohdan tulee kuitenkin sijaita lähellä ajouran puoleista päätä ts. kouraisukohdassa.
- Ajouran vieressä ristikkäisyys sallitaan ellei

esteenä ole esim. jääviä puita, tällöinkin ristikkäisyyskohta sijoitetaan kouraisukohtaan.

- Pienet rungot (= pöllit) voidaan kaataa myöskin ajouralta pois päin, mikäli se tällöin helpottaa kasausta tai mikäli runko kaatuu suoraan kasaan.
- Suunnatulla kaadolla on myös pyrittävä muodostamaan juontouria.
- Siirtymisvaiheessa voidaan pieniä pölkkyjä siirtää kaadettavien puiden kaatosuunnan mukaisesti määräytyviin kasoihin. Ne pöllit ja kasat, joihin kuormain ei yllä, voidaan tehdä yhden aluspuun päälle vinssauksen helpottamiseksi.
- Kasan kokoa ei määrätä, mutta pyrkimyksenä on kuitenkin muodostaa tarkoituksenmukainen kouraisu- tai vinssaustaakka (kuva 15).
- Pöllit ja kasat on sijoitettava siten, että koneellinen korjuu on mahdollinen. On vältettävä kasojen ja pölkkyjen sijoittelua jäävien puiden, kivien ja kantojen taakse.
- Harvahkossa metsässä voidaan teko aloittaa ajouran reunasta, edetä ajouravälin keskikohtaan ja viimeksi tehdä puut ajouralta. Kannattaa kuitenkin harkita ajouralla olevien puiden kaatamista työpenkiksi karsintaa varten.
- Tiheässä leimikossa hakataan ensin ajourasta puolet, jonka jälkeen edetään hakatun ajouran puoleisen osan ajouravälin keskikohtaan.



Kuva 14. Kaato LEKA-menetelmässä
Fig. 14. Felling in the SCAPE method



Kuva 15. Kasaus LEKA-menetelmässä
Fig. 15. Bunching in the SCAPE method

ODC 333:326
ISBN 951-40-0276-8
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P., JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälleen teko ja LEKA-menetelmä). Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method). *Folia For.* 310: 1-29.

A study was made of the use of the cutting without bunching (scattered) and the so-called SCAPE (LEKA) method in thinnings compared with the conventional method of cutting to the side of the strip road. In addition to the output and costs of the work, the physical strain on the workers and damage to the residual growing stock were also studied.

Authors' addresses: Harstela, P. & Tervo, L. The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Experiment Station for Forest Regeneration, SF-77800 Iisvesi.

External researchers: Järvinen, J. Tehdaspuu Oy, Salpausselänkatu 26, SF-45101 Kouvola 10. Aholainen, R. Tehdaspuu Oy. PL 138, SF-78201 Varkaus 20.

ODC 333:326
ISBN 951-40-0276-8
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P., JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälleen teko ja LEKA-menetelmä). Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method). *Folia For.* 310: 1-29.

A study was made of the use of the cutting without bunching (scattered) and the so-called SCAPE (LEKA) method in thinnings compared with the conventional method of cutting to the side of the strip road. In addition to the output and costs of the work, the physical strain on the workers and damage to the residual growing stock were also studied.

Authors' addresses: Harstela, P. & Tervo, L. The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Experiment Station for Forest Regeneration, SF-77800 Iisvesi.

External researchers: Järvinen, J. Tehdaspuu Oy, Salpausselänkatu 26, SF-45101 Kouvola 10. Aholainen, R. Tehdaspuu Oy. PL 138, SF-78201 Varkaus 20.

ODC 333:326
ISBN 951-40-0276-8
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P., JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälleen teko ja LEKA-menetelmä). Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method). *Folia For.* 310: 1-29.

A study was made of the use of the cutting without bunching (scattered) and the so-called SCAPE (LEKA) method in thinnings compared with the conventional method of cutting to the side of the strip road. In addition to the output and costs of the work, the physical strain on the workers and damage to the residual growing stock were also studied.

Authors' addresses: Harstela, P. & Tervo, L. The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Experiment Station for Forest Regeneration, SF-77800 Iisvesi.

External researchers: Järvinen, J. Tehdaspuu Oy, Salpausselänkatu 26, SF-45101 Kouvola 10. Aholainen, R. Tehdaspuu Oy. PL 138, SF-78201 Varkaus 20.

ODC 333:326
ISBN 951-40-0276-8
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P., JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälleen teko ja LEKA-menetelmä). Summary: The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method). *Folia For.* 310: 1-29.

A study was made of the use of the cutting without bunching (scattered) and the so-called SCAPE (LEKA) method in thinnings compared with the conventional method of cutting to the side of the strip road. In addition to the output and costs of the work, the physical strain on the workers and damage to the residual growing stock were also studied.

Authors' addresses: Harstela, P. & Tervo, L. The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Experiment Station for Forest Regeneration, SF-77800 Iisvesi.

External researchers: Järvinen, J. Tehdaspuu Oy, Salpausselänkatu 26, SF-45101 Kouvola 10. Aholainen, R. Tehdaspuu Oy. PL 138, SF-78201 Varkaus 20.

- No 256 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Yrjö Schildt: Bobcat M-721 kaatokasauskone männikön ensiharvennuksessa.
Bobcat M-721 feller-buncher in early thinning of Scots pine.
- No 257 Pirkko Velling: Mänty- ja kuusiprovenienssien puuaineen tiheyden vaihtelusta.
The wood basic density variation of pine and spruce provenances.
- No 258 Pentti Nisula: Muovihuoneen sadetuskone.
A sprinkler for a plastic greenhouse.
- No 259 Matti Uusitalo: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972 ja 1973.
Costs of timber production in Finland in 1972 and 1973.
- No 260 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen tehtäessä kuitupuuta liuku-puomikuormausta varten.
Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading.
- No 261 Eero Lehtonen: Pienpuun kaato moottori- ja raivaussahoihin perustuvilla laitteilla.
Felling of small-size trees with felling devices based on the chain saw and clearing saw.
- No 262 Olli Saikku ja Pentti Rikkinen: Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät.
Bark amount of pulpwood and factors affecting it.
- No 263 Reino Saarnio: Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa.
The quality and development of cultivated curly-birch (*Betula verrucosa f. carelica* Sok.) stands in southern Finland.
- No 264 Yrjö Vuokila: Ensiharvennuskertymä.
Yield from the first thinning.
- No 265 Olavi Huuri: Kallistusilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia.
Tilting of planted pines; survey results.
- No 266 Proposed tree breeding programme in Finland 1976—1985.
Abbreviation of the report issued by the Tree Breeding Committee (Committee Report 1975:25).
- No 267 Jari Parviainen: Taimien juurten leikkaaminen kasvatuksen ja istutuksen yhteydessä.
Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Root pruning in the nursery and at planting. A study based on literature.
- No 268 Jari Parviainen: Männyn eri taimilajien juuriston alkukehitys.
Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine.
- No 269 Heikki Seppälä: Metsäsektorin alueellinen merkitys Suomessa.
Regional importance of the forest sector in Finland.
- No 270 Jaakko Virtanen: Metsänomistaja tienrakennuttajana.
The role of the forest owners in logging roads construction.
- No 271 Pertti Elovirta: Metsätalouden työvoiman tarjonta Suomessa 1945—1974 ja ennuste vuosille 1975—1985.
Forest labour supply in Finland 1945—1974 and a forecast to years 1975—1985.
- No 272 Eero Paavilainen: Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä.
Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps.
- No 273 Paavo Simola ja Markku Mäkelä: Rasiinkaato kokopuiden korjuussa.
Leaf-seasoning method in whole-tree logging.
- No 274 Kullervo Kuusela ja Sakari Salminen: Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973—74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala in 1973—74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975.
- No 275 L. Runeberg: Driftsresultat från Skogsforskningsinstitutets företagekonomiska forskningsskogar åren 1945—74.
The business economics result from the Forest Research Institute's research forests 1945—74.
- No 276 Pentti Iisalo, Jukka Sorsa ja Paavo Tiiponen: Suomen metsien rakenteen seuranta-menettelmä.
Eine methode zur laufenden Überprüfung der Struktur der Wälder Finnlands.
- No 277 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1973—75.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1973—75.
- No 278 Heikki Juslin: Metsäalan toimihenkilöiden täydennyskoulutustarve.
The need for future education in forestry
- No 279 Jyrki Raulo ja Erkki Lähde: Ennakkotuloksia rauduskoivun kylvökokeista Lapissa.
Preliminary results on sowing experiments with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 280 Veijo Heiskanen: Havusahatukien kuorelliset keskusmuotoluvut.
Middle form factors of pine and spruce sawlogs.
- No 281 Yrjö Vuokila: Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveystilaan.
Effect of green pruning on the health of pine and birch.
- No 282 Yrjö Vuokila: Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana.
The boring of standing trees as a source of defects.
- No 283 Leevi Pajunen: Metsurin työvälinekustannukset 1975—1976.
Forest worker's equipment costs 1975—1976
- No 284 Paavo Juutinen, Timo Kurkela ja Sakari Lilja: Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun voittajana sekä voitusten sienisaastunta.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Metsätalouden tutkimusosasto

Puun tuotoksen tutkimussuunta

Luettelo jatkuu 4. kansisivulla

- 1976 *Cicadella viridis* (L.) as a wounder of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi.
- No 285 Timo Nyrhinen: Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa. A test of two-step forest inventory in South-West Finland.
- No 286 Matti Kärkkäinen: Pohjoissuomalaisen koivukuitupuun tilavuusmittauksia. Volume measurement of birch pulpwood in Northern Finland.
- No 287 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Koivutukkien latvamuotoluvut ja yksikkökuutiot. Top form factors and unit volumes of birch logs.
- No 288 Matti Leikola: Taimitarhamaan lämpöolot muovihuoneessa ja avomaalla. Soil temperature conditions in plastic greenhouse and in open nursery.
- No 289 Lehkoinen, Tapio: Pohjois- ja Etelä-Suomen väliset kantohintaerot. Stumpage price differences between Northern and Southern Finland.
- No 290 Heiskanen, Veijo: Tarkistetut havusahatukkien kuorelliset yksikkökuutioluvut. The checked unit volumes for pine and spruce sawlogs.
- 1977 No 291 Uusitalo, Matti: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972—74. Costs of timber production in Finland in 1972—74.
- No 292 Hakki, Pentti: Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Stumpwood as industrial raw material.
- No 293 Lehtonen, Irja: Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Wood as a fuel. A study based on literature.
- No 294 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia. Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stage stands (Scots pine).
- No 295 Metsätalastollinen vuosikirja 1975. Yearbook of Forest Statistics 1975.
- No 296 Heiskanen, Veijo: Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuero. Quality differences of timber between Southern and Northern Finland.
- No 297 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä. Effect of spreading method on forest fertilization results.
- No 298 Vuokila, Yrjö: Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Selective thinning from above as a factor of growth and yield.
- No 299 Vuokila, Yrjö: Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvystä. On the growth capacity of aspen stands on good sites.
- No 300 Paavilainen, Eero: Helttopoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levitysaikakohdasta turvemaalla. Effect of application time on growth response to easily dissolving fertilizers on peatlands.
- No 301 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen tukkipuutaulukot. Tukkien minimiläpimittaluokka männynällä 13 cm ja kuusella 13 ja 15 cm. Massentafeln für Kiefern- und Fichtenblochholz. Mindestdurchmesserklassen der Blöcher für Kiefer 13 cm und für Fichte 13 und 15 cm.
- No 302 Simola, Paavo: Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. The biomass of small-sized hardwood trees.
- No 303 Vuokila, Yrjö: Talvikittyypin puuntuotannollinen asema metsätyypijärjestelmässä. Position of the Pyrola type in the forest site type system of Cajander.
- No 304 Puro, Tiina: Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta. Results of the second fertilization with nitrogen.
- No 305 Virtanen, Jaakko & Ylinen, Mikko: Ojitusalueiden lentolannoitus. Aerial spreading of fertilizers on peatlands.
- No 306 Astorga S., Luis E.: Effectuating possibilities of waste wood utilization in Finland. Step 1. Jätepuun käytön tehostamismahdollisuudet Suomessa. Osa 1.
- No 307 Kilkki, Pekka, Kuusela, Kullervo & Siitonen, Markku: Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille. Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland.
- No 309 Mäkelä, Markku: Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen. Changes in the quality of logging residues.
- No 308 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1974—76. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1974—76. harvennushakkuumenetelmistä (Levälleento ja LEKA-menetelmä).
- No 310 Hastela, Pertti, Järvinen, Juhani, Tervo, Leo & Aholainen, Raimo: Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälleento ja LEKA-menetelmä). The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method).

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10,
p. 611 022

Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää

127704944A

ISBN 951-40-0276-8
ISSN 0015-5543