

FOLIA FORESTALIA 464

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1981

PERTTI HARSTELA JA KIMMO PIIRAINEN

ESITUTKIMUS PIKA 75 HARVESTERIN
AUTOMAATIOASTEEN VAIKUTUKSISTA
TUOTOKSEEN, MITTAUSTARKKUUTEEN JA
KULJETTAJAN KUORMITTUMISEEN

OUTPUT, ACCURACY OF MEASURING AND
STRAIN OF THE DRIVER AT THREE
AUTOMATION LEVELS OF PIKA 75 HARVESTER
A PILOT STUDY



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja neljä luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and four strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 464

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1981

Pertti Harstela ja Kimmo Piirainen

ESITUTKIMUS PIKA 75 HARVESTERIN
AUTOMAATIOASTEEN VAIKUTUKSISTA TUOTOKSEEN,
MITTAUSTARKKUUTEEN JA KULJETTAJAN
KUORMITTUMISEEN

Output, accuracy of measuring and strain of
the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester

A pilot study

ODC 323.13:352:303
ISBN 951-40-0509-0
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P. & PIIRAINEN, K. 1981. Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mittaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen. Summary: Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A pilot study. *Folia For.* 464:1—14.

Tutkittiin automaattisen apterauksen ja mittauksen vaikutuksia työn tuottavuuteen, apterauksen laatuun, mittaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen. Kysymyksessä oli esitutkimus vain yhden kuljettajan työstä yhdellä leimikolla talviolosuhteissa.

Työajan menekki oli pienin suurimmalla automaatioasteella 3, mutta tämän kanssa ristiriitainen tulos saatiin automaatioasteen 2 ja 1 välille. Tähän lienee vaikuttanut puuston suurempi lahoisuus automaatioastetta 2 käytettäessä. Apterauksen laatu oli paras automaatioasteella 2. Puutavaran automaattisesti mitattu tilavuus poikkesi vain n. 0,5 % jälkimittauksen perusteella saadusta määrästä. Kuitenkin pituuden mittauksessa oli pituudesta ja läpimitasta riippuvaa virhettä. Kuljettajan kuormittuminen pieneni automaatioasteen suuretessa. Myös koneen aiheuttama koko kehon värinä mitattiin.

The effects of automation of cross-cutting and measuring on the output of work, quality of cross-cutting, accuracy of measurement and strain of the driver were studied. This was a pilot study on one driver in one marked stand.

Work time expenditure was lowest at the highest automation level 3, but it was not the same between automation levels 2 and 1. This may be caused by the fact that there were more rotted trees when using the automation level 2. The quality of cross-cutting improved with the rise in the automation level. There was only ca. 0,5 % difference between timber amount measured manually and by machine. But there was a systematic error in length depending on the diameter and the length of the log. The strain of the driver was lowest at the highest automation level. Whole body vibration was also measured.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	5
3. AUTOMAATIOASTEEN VAIKUTUS TUOTOKSEEN JA MITTAUSTARKKUUTEEN	7
31. Työajan menekki	7
32. Apteerauksen laatu	7
33. Mittaustarkkuus	8
4. KULJETTAJAN PSYKO-FYSIOLOGINEN KUORMITTUMINEN	10
5. TULOSTEN TARKASTELU	12
KIRJALLISUUS	13
SUMMARY	13

1. JOHDANTO

Mikroelektroniikan kehityksen on ennustettu johtavan nopeaan automaatiokehitykseen. Puunkorjuussa monitoimikoneet ovat verraten kiitollinen automatisointikohde, vaikka vaihtelevat metsäolosuhteet asettavatkin rajoituksia. PIKA 75 harvesteri on esimerkki monitoimikoneesta, jossa automaattista apteerausta ja mittausta on sovellettu verraten pitkälle. Toisaalta se on sykeperiaatteella karsiva ja käsittelee vain yhtä puuta kerrallaan, mikä rajoittaa tuottavuuden kohottamista automatiikan avulla. Automatiikka tarjoaa kuitenkin monia mahdollisuuksia vaikuttaa puutavaran arvoon. Voidaan esimerkiksi joustavasti muuttaa mittajakaumia markkinatilanteen mukaan vaihtamalla apteerausohjelmaa. Tällaisen joustavan järjestelmän mukanaan tuomiin hyötyihin ei tässä tutkimuksessa puututa.

Automaattinen apteeraus saattaa vaikuttaa työn tuottavuuteen, työn laatuun ja työntekijään kohdistuvaan neurosensoriseen kuormittumiseen. Automaattinen mittaustaus korvaa erillismittauksen ja voi siten alentaa hankintakustannuksia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli verrata kolmen apteerauksen automaatiotason vaikutusta työn tuottavuuteen, apteerauksen laatuun ja työntekijän kuormittumiseen. Lisäksi tutkittiin automaattisen mittauksen tarkkuutta. Koska tutkittiin vain yhtä kuljettajaa, on aineistoa pidettävä hypoteesien johtamiseen oikeuttavana esitutkimuksena.

Automaattisen apteerauksen oletettiin vaikuttavan koneen toimintaperiaatteen vuoksi vain vähän työn tuottavuuteen, mutta tukkien laatuun sillä oletettiin olevan vaiku-

tusta. Työn tuottavuus voi lisääntyä siinä tapauksessa, että automaattiset toiminnot tapahtuvat nopeammin kuin käsin ohjatut, työntekijä voi suorittaa automaattisten toimintojen aikana tulevan työn suunnittelua tai automaatio vähentää työntekijän kuormittumista, mikä pitäisi paremmin yllä suorituskykyä.

On olemassa viitteitä siitä, että maastossa toimivan metsäkoneen kuljettajan työ ei ole luokiteltavissa monotoniseksi toistotyöksi, vaan siinä on pikemmin mahdollisuus huomattavaan psyko-fysiologiseen kuormittumiseen (L e h t o n e n 1977, N e m t s o v 1978). Tämän vuoksi automaatioasteen kohottamisen oletettiin vähentävän kuljettajan psyko-fysiologista kuormittumista. Optimaalisen automaatioasteen määrittämisen onkin sanottu olevan erään tärkeimmistä metsäkoneiden ergonomisista tutkimustehtävistä.

Tekijöiden kesken tutkimus jakautui siten, että tutkimus suunniteltiin yhdessä ja Piirainen hoiti aineiston keruun ja alustavan käsittelyn sekä kirjoitti alustavasti työn tuottavuutta ja laatua käsittelevät luvut. Harstela kirjoitti ergonomiaa käsittelevät luvut ja valvoi koko tutkimuksen suorittamista.

Aineiston keruun kenttätöitä johti mt. Pertti Laakso ja mittaustyöryhmää tj. Tapio Nevalainen. Konekirjoituksesta huolehti yo. merkonomi Leena Hakulinen. Merkittävästi tutkimuksen suorittamista auttoivat toim.joht. Sakari Pinomäki, DI Raimo Harju ja urakoitsija Taavi Lehtela. Käsikirjoituksen tarkastivat tai työn kuluessa konsultoivat prof. Pentti Haktila, prof. Matti Kärkkäinen, MH Juhani Salmi ja FK Marja-Liisa Salminen. Englanninkielisen tiivistelmän tarkasti maist. Päivikki Ojansuu.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

PIKA 75 harvesterin tarkemmat tekniset tiedot on esittänyt Peltola (1976). Harvesteri käsittelee puuta ns. sykeperiaatteella ja se on varustettu mikroprosessorilla, mikä tekee mahdolliseksi täysautomaattisen apteerauksen ja puutavaran mittauksen. Mikroprosessorin ohjelmalla pyritään tavanomaiset puut apteeraamaan optimaalisesti siten, että kaato- ja kar-sintavaiheessa ennen ensimmäistä apteerauspäätöstä mitataan puun kantoläpimitta ja läpimitta 8,1 m päästä tyvestä. Ohjelma tarkentaa apteerausta kar-sinnan edistyessä uusien läpimittatietojen perusteella. Kuljettaja voi valita tyvitukin pituuden tai suorittaa kokonaan poikkeuksellisten ja viallisten puiden apteerauksen. Puutavaralajien määrä mitataan, tallennetaan ja tulostetaan automaattisesti.

Automaatioasteen vaikutuksia tutkittiin vertailevana tutkimuksena siten, että kuljettaja käytti koneen automaatiikkaa seuraavasti:

Automaatioaste 1: Kuljettaja apteerasi kaikki puut käsin ohjauksella.

Automaatioaste 2: Kuljettaja määrittä tyvitukin pituuden ja loppuosa apteerauksesta tapahtui automaattisesti. Poikkeukselliset puut kuljettaja apteerasi käsin ohjauksella.

Automaatioaste 3: Apteeraus suoritettiin täysin automaattisesti muilta osin, paitsi kuljettaja apteerasi poikkeukselliset puut.

Kuljettajan EKG rekisteröitiin telemetrisesti ja siitä laskettiin sydämen sykintä (HR), sydämen sykinnän hajonta (HRD) ja vaihtelevuus (HRV) sekä sydämen sykinnän vaihtelun spektrit. Adrenaliinin (EPI) ja noradrenaliinin (NOREPI) erityys määritettiin virtsanäytteistä Eulerin ja Lishajkon fluorimetrisellä menetelmällä. Verenpaine (BP) mitattiin työpäivän alussa ja lopussa.

Tavallisimmat työvaikeustekijät määritettiin puitain tai leimikkokohtaisesti. Tukkien mitat, laatuluokat ja selvät apteerausvirheet määritettiin jälkikäteen automaatioasteittain. Automaattisen mittauksen tarkkuutta tutkittiin erikseen mittaamalla puittain jälkimittauksena tukkien ja kuitupuupölkkyjen mitat. Tutkimusolosuhteet olivat taulukon 1 mukaiset. Ainut merkitsevä ero tutkimusolosuhteissa oli se, että automaatioasteella 2 oli enemmän lahoja puuta kuin muilla automaatioasteilla.

Esitutkimusluonteesta johtuen tutkittiin vain yhtä kuljettajaa yhdellä leimikolla. Tutkimus tehtiin keski-talvella Etelä-Suomessa keskilämpötilan ollessa n. -5 °C.

Taulukko 1. Tutkimusolosuhteet ja aineiston määrä.
Table 1. Working conditions and amount of material.

Automaatio-aste Automation level	Päivä, no Working day, number	Puiden lukumäärä Number of trees	Rungon keskikoko, m ³ Average stem size, m ³	Lahot puut, % Rot trees, %	Oksaisuus luokka, \bar{x} Branchiness class, \bar{x}	Puulajit, % Tree species, % kuusi koivu spruce birch	Leimikon tiheys, puita/ha Density of stand, trees/ha	Lumen syvyys, cm Depth of snow, cm
1	1	114	0,403	11	2,2	87 12	1100	15
	2	120	0,358	12	2,4	78 20	1000	15
2	1	84	0,525	51	2,4	96 3	1100	10
	2	128	0,299	6	2,3	84 12	1100	15
3	1	90	0,518	36	2,2	93 6	900	10
	2	116	0,310	4	2,5	81 18	1000	15



Kuva 1. PIKA 75 harvesteri.
Fig. 1. PIKA 75 harvester.



Kuva 2. Mikroprosessori PIKA 75:n ohjaamossa.
Fig. 2. Microprocessor in the cabin of PIKA 75.

3. AUTOMAATIOASTEEN VAIKUTUS TUOTOKSEEN JA MITTAUSTARKKUUTEEN

31. Työajan menekki

Työajan menekkiä kuvaamaan laskettiin regressioyhtälöt, jotka yhden muuttujan tapauksessa ovat:

$$y_1 = 63,8 + 52,6x_1, \text{ jossa } y_1 = \text{tehotyöaika, s/puu}$$

$$y_2 = 70,7 + 39,3x_1, \quad i = \text{automaatioaste}$$

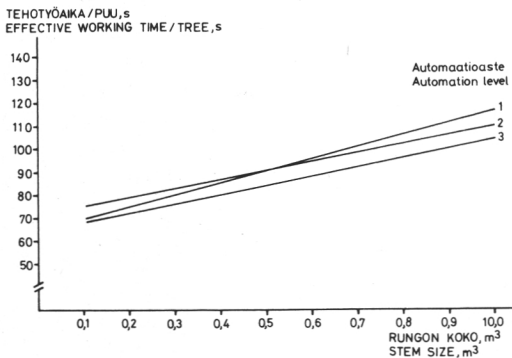
$$y_3 = 64,3 + 40,0x_1, \quad x_1 = \text{rungon tilavuus, m}^3$$

Useamman selittävän muuttujan lisääminen malliin ei oleellisesti lisännyt mallien antamaa informaatiota.

Käyttäen 0,4 m³ rungon kokoa saatiin eri automaatioasteille seuraavat runkokohtaiset työajat:

Automaatioaste 1	85 s/puu
Automaatioaste 2	86 "
Automaatioaste 3	80 "

Täysautomaattinen apteeraus näyttäisi oletusten mukaisesti vähentävän työajan menekkiä, mutta automaatioasteen 2 osalta tulos ei ole tämän oletuksen mukainen muuta kuin suurimpien runkojen osalta. Syynä tähän saattaa olla se, että automaatioasteesta 2 käytettäessä metsikössä oli eniten lahoisuutta. On myös huomattava, että yhden tukin puilla eivät automaatioasteet 1 ja 2 paljoa eroa toisistaan.



Kuva 3. Puukohtainen tehotyöaika rungon tilavuuden funktiona.

Fig. 3. Effective working time as a function of stem size.

Kuvan 3 mukaan työajan menekki lisääntyy rungon koon funktiona jyrkemmin käsin ohjatussa kuin automaattisessa apteerauksessa. Tämä saattaa johtua siitä, että suurten puiden apteeraus edellyttää enemmän harkintaa. Näin ollen automaattinen apteeraus olisi työajan menekin suhteen sitä edullisempi mitä suuremmasta puustosta on kyse.

32. Apteerauksen laatu

Tukkien laatuluokitustulokset on esitetty taulukossa 2. Parhaita laatuluokkia I ja II oli automaattista apteerausta sovellettaessa hieman enemmän kuin käsiohjausta käytettäessä. Suurin U/S -tukkien osuus oli automaatioasteella 2. Jos tukit jaetaan U/S -tukkeihin ja muihin tukkeihin, eroaa automaatioasteen 3 jakauma automaatioasteesta 1 nelikenttätestin mukaan 5 % riskillä. Vastaavasti eroaa automaatioasteen 2 jakauma automaatioasteesta 1 jo 1 % riskillä.

Tukkien, erityisesti tyvitukkien, keskipituus oli täysin automaattista apteerausta sovellettaessa suurin:

Automaatioaste 1	48,1 dm
Automaatioaste 2	48,4 "
Automaatioaste 3	49,5 "

Tätä suhdetta voidaan helposti muuttaa mikroprosessorin ohjelmaa muuttamalla.

Selvästi virheellisesti apteerattuja tukkeja oli eniten käsiohjausta sovellettaessa. Vähiten virheellisesti apteerattuja tukkeja oli automaatioasteella 2 (taulukko 3). Ennen työtä rungot luokiteltiin pystyssä oksaisuuden, mutkaisuuden ja lenkouden perusteella ja työn jälkeen määritettiin lahojen puiden osuus. Eri lohkojen (automaatioasteiden) välillä ei havaittu merkitseviä eroja muuta kuin lahoisuuden osalta.

Taulukko 2. Tukkien jakaantuma laatuluokkiin.
Table 2. Quality classes of logs.

Laatuluokka Quality class	Automaatioaste — Automation level					
	1		2		3	
	lukum. number	%	lukum. number	%	lukum. number	%
I	19	5,9	8	3,1	24	8,5
II	112	34,9	133	51,1	118	42,0
III	165	51,4	103	39,6	124	44,1
IV	25	7,8	16	6,2	15	5,4
Keskim. laatuluokka Average quality class		2,6		2,5		2,5

Taulukko 3. Havaitut apteerausvirheet.
Table 3. Observed mistakes in cross-cutting.

Virheen syy Cause of mistake	Automaatioaste — Automation level					
	1		2		3	
	kpl number	%	kpl number	%	kpl number	%
Laho — rot	11	3,4	11	4,2	18	6,5
Mutka — crook	20	6,3	7	2,7	8	2,9
Lenkous — sweep	9	2,8	2	0,8	4	1,4
Oksaisuus — branchiness	6	1,9	4	1,5	2	0,7
Muu — other	—	—	3	1,2	—	—
Yhteensä — total	46	14,4	27	10,4	32	11,5

Tukkien keskimääräinen nimellispuuden ylitys oli seuraava:

Automaatioaste 1	6,0 cm
Automaatioaste 2	8,0 ”
Automaatioaste 3	8,5 ”

Kuitupuuksi mahdollisesti joutuneen tukkiosan määrän selvittämiseksi mitattiin tyviläpimitaltaan minimitukin latvaläpimitan ylittävien pölkkyjen lukumäärä. Tulos ei kuitenkaan välttämättä osoita em. siirtymää, koska mm. vikaisuuden tai laadun muutoksen vuoksi voi olla järkevää katkaista tukkiosa ennen minimimittaa. Tulos oli seuraava:

	Tukin minimimitan ylittäviä kuitupuupölkkyjä, %
Automaatioaste 1	28,2
Automaatioaste 2	30,6
Automaatioaste 3	27,3

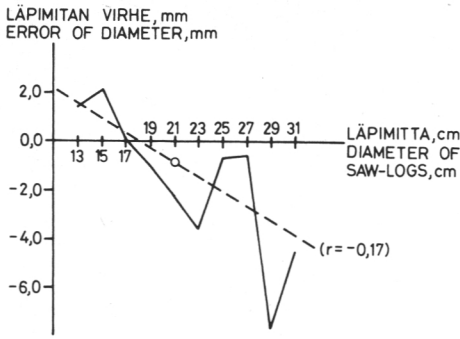
Mekaanisesti vaurioituneita (revennyt) tukkeja oli vain muutama kappale (< 1 %). Aikaisemmassa tutkimuksessa sykesyöttöisen PIKA 75 aiheuttamat mekaaniset vauriot olivat hieman suuremmat, mutta samaa suuruusluokkaa kuin rullasyöttöisten koneiden. Vastaavasti sinistymävauriot PIKA 75:llä olivat pienemmät ja hyönteisvauriot kuusella pienemmät, mutta männyllä suuremmat (M ä k e l ä ja P e n n a n e n

1980). Apteeraustulos taas on ollut männyllä parempi kuin vertailtavana olevilla prosessoreilla, mutta kuusikossa tyvilaho aiheutti päinvastaisen tuloksen. Tällöin apteerausmenettely lienee vastannut tämän tutkimuksen automaatioastetta 1 (E s k e l i n e n ja P e n n a n e n 1979).

33. Mittaustarkkuus

Koneen automaattisesti mittaamien tukkien latvaläpimita erosi tarkistusmittauksesta keskimäärin -0,8 mm (s = 9,0). Mittausvirhe oli 95-prosenttisesti alueella -18...+17 mm. Koneen mittaama läpimitaluokka oli suurempi 10 % ja pienempi 10 % tukeista kuin jälkimitattu läpimitaluokka. Mittausvirhe riippui läpimitasta kuvan 4 mukaisesti.

Tukkien pituuden mittausrvirhe koneella oli keskimäärin +5,7 cm (s = 8,0). Mittausvirhe oli 95-prosenttisesti alueella -10...+21 cm. Koneen mittaama nimellispuutus oli suurempi 21 % ja pienempi 1 %:ssa tukeista kuin jälkimitattu nimellispuutus. Kuvissa 5 ja 6 on pituuden mittausrvirhe esitetty tukin läpimitan ja pituuden funktiona. Kuten läpimitankin oli pituudenkin mittausrvirhe sitä suurempi mitä pienemmäs-



Kuva 4. Tukkien läpimitan mittausvirhe eri läpimitaluokissa.

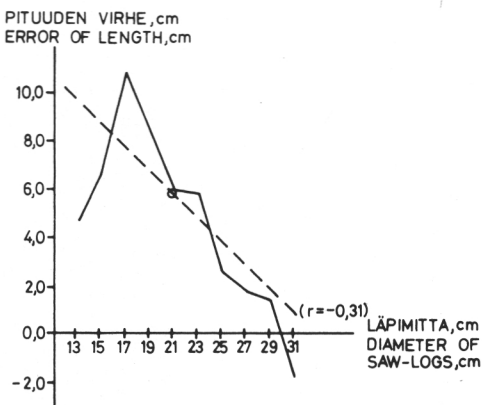
Fig. 4. Measuring error of diameter of saw-logs measured by machine as a function of diameter.

tä tukista oli kysymys.

Kaksimetrusten kuitupuupölkkyjen keskipituus oli 202,7 cm ($s = 7,9$) ja kolmimetrusten 306,0 cm ($s = 12,7$).

Taulukossa 4 verrataan tukkien osalta koneen mittaamista ja jälkimitatuista läpimitaluokista ja nimellispituuksista Heiskan (1976) havusahatukkien yksikkökuutioluvuilla laskettuja kuorellisia kiintoilavuuksia. Kuitupuun osalta verrattiin koneen mittaamaa tilavuutta jälkimitattuun keskuskiintotilavuuteen.

Koneen mittaama tukkien tilavuus oli vain 0,5 % suurempi ja kuitupuun 0,4 % pienempi kuin jälkimittauksella saatu. Tukkien tilavuusvirheen keskihajonnaksi saatiin 10 %. Tämän perusteella voidaan ennustaa, että suurilla tukkimäärillä kokonaistilavuuden virhe on 95 %:n todennäköisyydellä



Kuva 5. Tukkien pituuden mittausvirhe eri läpimitaluokissa.

Fig. 5. Measuring error of length of saw-logs measured by machine as a function of diameter.

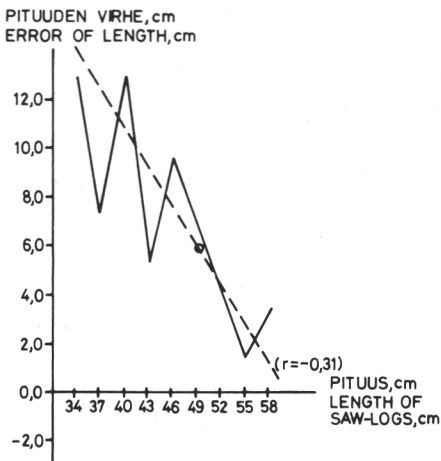
Taulukko 4. Koneen mittaustulosten ja jälkimittauksen perusteella lasketut puutavaramäärät.

Table 4. Amount of timber according to measuring by machine and manually.

	Tukit Saw-logs	Kuitupuun Pulpwood
Lukumäärä, kpl Amount, number	400	393
Koneen mittaama tilavuus, m ³ Volume measured by machine, m ³	89,08	22,25
Jälkimitattu tilavuus, m ³ Manually measured volume, m ³	88,64	22,33

alueella $-0,7... + 1,7$ %. Vastaavasti voidaan ennustaa, että kuitupuun kokonaismäärän virhe on 95 %:n todennäköisyydellä alueella $-2,2... + 1,5$ %.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa pituuden mittausvalseilla varustettujen monitoimikoneiden keskimääräinen mittausvirhe vaihteli tukeilla $-9,6...14,6$ cm ja kuitupuulla $-4,0...19,0$ cm. Lähimmän pituusmodulin ylityksen keskiarvo vaihteli $4,3...14,6$ cm (Nordström 1978). Näihin tuloksiin verrattuna PIKA 75 pituuden mittaustarkkuus oli hyvä. Myöhemmin on kuitenkin eräistä prosessoreista saatu jonkin verran pienempiä pituuden mittausvirheitä (esim. Ylä-Hemmilä 1979, 1980). Automaattista tilavuuden mittausta on tutkittu yhdellä rullasyöttöisellä prosessorilla. Mittaustarkkuus oli pääasiassa huonon läpimitan mittaustarkkuuden vuoksi selvästi huonompi kuin tässä tutkimuksessa (Mäkelä 1980).



Kuva 6. Tukkien pituuden mittausvirhe eri pituusluokissa.

Fig. 6. Measuring error of length of saw-logs measured by machine as a function of length.

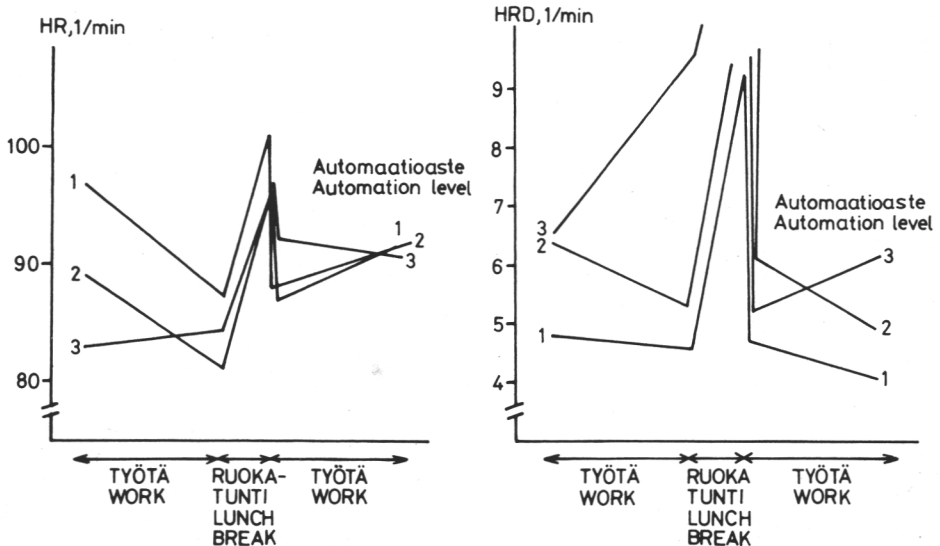
4. KULJETTAJAN PSYKO-FYSIOLOGINEN KUORMITTUMINEN

Kuvissa 7—8 on esitetty saman kuljettajan sydämen sykintä (HR), sydämen sykinnän vaihtelevuus ns. camma-indeksinä (HRV) ja sydämen sykinnän hajonta (HRD). Neurosensorisessa työssä sydämen sykinnän ja sen hajonnan nousua työpäivän lopussa on pidetty kuormittumisen merkkeinä, mutta muuten neurosensorinen kuormitus alentaa sydämen sykinnän hajontaa. Sydämen sykinnän vaihtelevuus myös laskee neurosensorisen kuormituksen seurauksena.

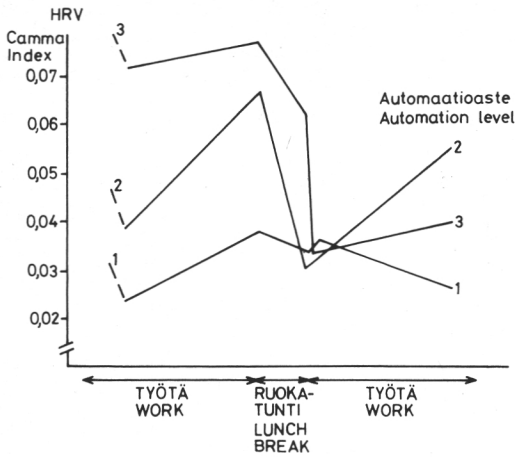
Aamupäivällä HR oli sitä korkeampi mitä alhaisempi oli automaatioaste. Vastaavasti HRV ja HRD olivat sitä pienempiä mitä alhaisempi oli automaatioaste. Kuvasta 9 havaitaan, että myös adrenaliinin (EPI) ja noradrenaliinin (NOREPI) erityksen tason verrattuna noussut alhaisimmalla automaatioasteella 1 enemmän kuin automaatioasteilla 2 ja 3, joiden välillä ei ole merkittävää eroa. Iltapäivällä erot HR:n arvoissa eri automaatioasteiden välillä pienenevät ja HRV:n arvo laski automaatioasteella 3 automaatioasteen 2 alapuolelle. Iltapäivän alussa HR:n ja HRV:n arvoihin vaikutti ruokatunnin aikainen fyysinen

aktiiviteetti.

Koska HRV näyttää selvästi laskevan lepotasoon verrattuna ja HR on verraten korkea, on työssä mieluummin piirteitä, jotka ovat tyypillisiä korkeaa vireystasoa ylläpitävälle työlle kuin helpolle ja monotoniselle toistotyölle (Baschera ja Grandjean 1979, Raouf ja Sethi 1976). Tähän viittaa myös katekolamiinien erityksen lisääntyminen automaatioasteen laskiessa. Toisaalta työhön liittyvä verraten voimakas koko kehon värinä (kuva 10), joka kuitenkin oli alle ISON normin vaarallisen työn rajan 8 h:n päivittäisellä työajalla ja myös pienempi kuin eräillä muilla monitoimikoneilla (Hansson ja Wikström 1974), ja ohjaustoimintojen fyysinen vaikutus. Nämä molemmat tekijät häiritsevät HRV:n käyttöä mentaalisen kuormituksen mittarina (Luczak 1979, Harstela ja Salminen 1980). Merkittävän mentaalisen kuormituksen olemassa oloa kuitenkin tukevat HRV:n spektrit, joissa oli tyypillisiä mentaalisen kuormituksen piirteitä, kuten alhainen painotus hengitystä edustavilla taajuuksilla



Kuva 7. Kuljettajan sydämen sykintä ja sykinnän keskihajonta työpäivän aikana.
Fig. 7. Heart rate and standard deviation of heart rate during a working day.

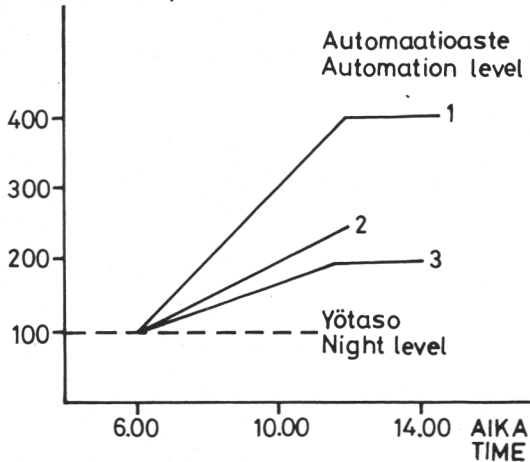


Kuva 8. Kuljettajan sydämen sykkinnän vaihtelevuus työpäivän aikana.
 Fig. 8. Heart rate variability during a working day.

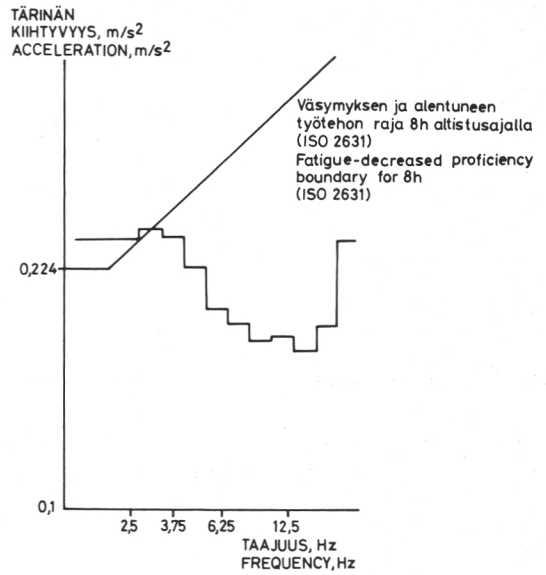
(vrt. Harstela ja Salminen 1980). Yhden kuljettajan esitutkimusaineiston perusteella ei kuitenkaan voida päätellä kuormituksen tasoa.

Apteerauksen automaatioasteen kohoaminen puhtaasta käsinohjauksesta näyttäisi katekolamiinien, HR:n (erityisesti aamupäivällä), HRD:n ja HRV:n perusteella vähentävän kuormittumista. Sen, että työjakson lopussa HR:n ja HRV:n arvot eivät täysin vastaa tätä säännönmukaisuutta, on voinut, aineiston pienuuden huomioon ottaen, aiheuttaa jokin satunnainen tekijä. Päätelmää tukevat vielä ennen työpäivän

EPINEPH.
 (Suhteellinen arvo)
 (Relative value)



Kuva 9. Kuljettajan katekolamiinien erittyminen työpäivän aikana.
 Fig. 9. Catecholamines excretion during a working day.

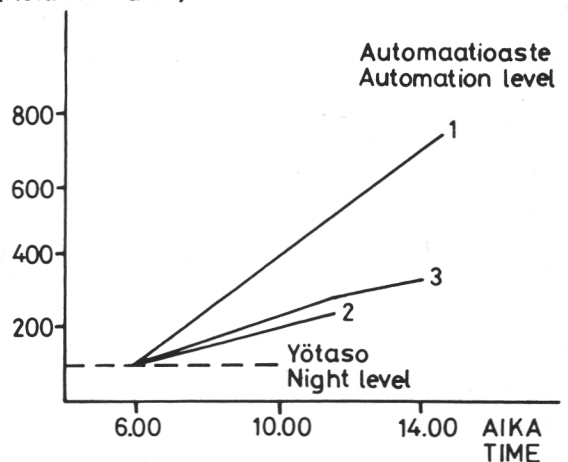


Kuva 10. PIKA 75 koko kehon värinän pituussuuntaisessa tasossa (a_x), joka oli haitallisin suunta.
 Fig. 10. Whole body vibration of the PIKA 75 in the back-to-chest direction (a_x), which was the worst direction.

alkua (m) ja työpäivän jälkeen (a) suoritettut reaktioaika- (RT) ja verenpainemittaukset (BP):

	RTm-RTa, cmin	BPm	BPa
Automaatioaste 1	-1	129/83	143/99
Automaatioaste 2	+1	136/88	132/90
Automaatioaste 3	+4	144/84	141/83

NOREPINEPH.
 (Suhteellinen arvo)
 (Relative value)



5. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimus käsitti vain yhden työntekijän, joten tuloksia on pidettävä lähinnä hypoteettisina. Vaikka PIKA 75:n mittaus-, karsinta- ja apteerausautomaatiikka on varsin pitkälle kehitetty, on vielä runsaasti käsin ohjattavia vaiheita: puun kaato, puutavaran lajittelu, siirtyminen puulle ja viallisten puiden apteeraus. Kun työ tapahtuu vielä maastossa, on luonnollista, ettei työntekijän fysiologisessa vasteessa näy monotonisen toistotyön piirteitä.

Koska kone on sykeperiaatteella yhtä puuta kerrallaan käsittelevä, ei kuljettaja voi tehdä suunnittelua ja lajittelua lukuun ottamatta muuta työtä automaattisen työvaiheen aikana. Tätä taustaa vasten selittyvät fysiologisten mittausten tulokset, joiden mukaan kuormittuminen väheni automaatioasteen kohotessa. Kuitenkin aihetta varovaisuuteen päätelmien suhteen antavat iltapäivällä havaittu erojen pieneneminen HR:n ja HRV:n osalta.

Koneen toimintaperiaate selittää myös automatisoinnin verraten vähäisen vaikutuksen työn tuottavuuteen. Tilanne on erilainen koneissa, joissa kaatoelimet on erotettu karsinta-katkontaelimistä. Toisaalta rullasyöttöisissä koneissa lienee enemmän vaikeuksia tarkan apteerausautomaatiikan rakentamisessa. Esim. puun runkomuodon riittävän ennakoiva mittaaminen ennen automaattisia apteerauspäätöksiä on rullasyöttöisillä koneilla vaikeampi järjestää. Myös katkonta ja karsintavaihe saattavat vaatia valvontaa, mikä vaikeuttaa muun työn tekemistä samanaikaisesti.

Tulokset viittasivat siihen, että automaattinen apteeraus olisi vähentänyt runko-kohtaista työaikaa käsin ohjaukseen verrattuna. Tämä saattaa johtua siitä, että

työvaihe on nopeampi automaattisena kuin käsin ohjattuna. Periaatteessa myös kuljettajan vähäisempi kuormittuminen ja siten paremmalla tasolla säilyvä työkyky ja automaattisen työvaiheen ajankäyttö esim. työn suunnitteluun voivat vaikuttaa tähän suuntaan. Lisää tutkimuksia kaivattaisiin, jotta automaatioasteella 2 saatu tämän kanssa ristiriitainen tulos voitaisiin selvittää, vaikka ilmeinen syy tähän olikin puuston suurempi lahoisuus.

Tuottavuuden nousua suurempi taloudellinen merkitys automaatiikalla lienee silloin, kun mittaus erillisenä työvaiheena voidaan jättää pois ja automaattiseen apteeraukseen voidaan joustavasti soveltaa puutavaran ostajan kulloinkin markkinatilanteen mukaisia ohjelmia. Vaikka tulokset apteerauksen laadun osalta viittaavatkin parempaan apteeraustulokseen automaattisessa kuin manuaalisessa apteerauksessa, on tulos vain yhtä kuljettajaa yhdellä leimikolla kuvaava esimerkkitulokset. Yleistysten tekoon tarvittaisiin laajempaa aineistoa. Kuitenkin eräs automaatiikan etu lienee se, että kuljettaja voi ongelmattomien puiden automaattisen apteerauksen aikana tarkkailla pystyssä olevia puita ja suunnitella niiden apteerausta. Automaattista apteerausta sovellettaessa oli kuitenkin suurempi nimellispituuden ylitys kuin käsin ohjauksessa. Tämän poistamiseksi tarvitaan teknistä kehittämistä.

Automaattisen mittauksen tarkkuutta kokonaisuutena voidaan jo nykyisin pitää hyvänä. Ainoa ongelma oli pienien tukkien pituuden mittausvirhe. Kun pituuden mittauksen virhe riippuu lineaarisesti läpimitasta ja pituudesta, voidaan sitä korjata lisäämällä mikroprosessorin ohjelmaan korjausfunktio.

KIRJALLISUUS

- BASCHERA, P. & GRANDJEAN, E. 1979. Effects of repetitive choice reaction tasks on activation level and subjective state. *Ergonomics* 22(6):717.
- ESKELINEN, A. & PENNANEN, O. 1979. Havupuiden apteeraus ja puutavaralajijakauma eri korjuumenetelmissä. *Metsätehon kats.* 20:1—4.
- HANSSON, J.-E. & WIKSTRÖM, B.-O. 1974. Vibrationsbelastning på skogsmaskinförare. Summary: Vibration stress on forest drivers. *Rapp. Upps. Inst. Skogstek. Skogshögsk.* 67.
- HARSTELA, P. & SALMINEN, M.-L. 1980. Heart rate variability and some other psycho-physiological variables when driving some forest machines. Paper for IUFRO Project Group P 3.03. Seminar at Garpenberg, Sweden, Sept. 21—26, 1980.
- HEISKANEN, V. 1976. Tarkistetut havusahatukkien kuorelliset yksikkökuutioluvut. *Folia For.* 290.
- LEHTONEN, E. 1977. Inläring av griplastning och förutsägande av förarens prestation. *Driftstekn. Rapp. Norsk. Inst. for Skogforsøksv.*, 16:303—310.
- LUCZAK, H. 1979. Fractioned heart rate variability, Part II. Experiments on superimposition of components of stress. *Ergonomics* 22(12):1315—1324.
- MÄKELÄ, M. 1980. Tuotosselvitys Marttiini-prosessorista. *Metsätehon kats.* 2:1—4.
- & PENNANEN, O. 1980. Sahatukkien valmistus- ja varastointivaurioiden merkitys eri karsintamenetelmissä. Summary: Damage to saw-logs during processing and storage in the different delimiting methods. *Metsätehon tied.* 361:1—14.
- NEMTSOV, V.P. 1978. Mekaanisen metsäteollisuuden koneellistamisen näköalat ja ergonomiset ongelmat. *Moniste. (Käännös).*
- NORDSTRÖM, S. 1978. Resultat från längdsättningsstudien. *Redog. Forskn. Stift. Skogsarb.* 3:29—31.
- PELTOLA, H. 1976. PIKA 75 harvesteri. *Metsätehon kats.* 6:1—8.
- RAOUF, A. & SETHI, H.S., 1976: Pulse rate difference as a function of information reduction in a combined manual and decision task. *Ergonomics* vol. 19, no. 3, pp. 394.
- YLÄ-HEMMILÄ, V. 1979. Ösa 705/260 -harvesteri. *Metsätehon kats.* 19:1—7.
- 1980. Rottne Blondin 750/Snoken 780 -prosessori. *Metsätehon kats.* 9:1—6.

SUMMARY

The aim of this study was to compare the effects of three automation levels of cross-cutting on the output of work, quality of cross-cutting and strain of the driver. In addition, the accuracy of automatic measuring of timber was studied. As only one driver was studied, this is only a pilot study as regards most of the results.

The PIKA 75 includes a microprocessor which provides fully automatic cross-cutting and measuring of output timber. Before the first automatic decision on cross-cutting, the butt diameter and diameter at the height of 8,1 m are measured by the machine. Three automation levels were studied:

- Automation level 1: Cross-cutting was manually controlled by the driver.
- Automation level 2: Cross-cutting was controlled by the microprocessor except that the length of the first sawlog was selected by the driver. Exceptional trees were cross-cut by the driver.
- Automation level 3: Fully automatic cross-cutting apart from exceptional trees that were cross-cut by the driver.

The harvester handles one tree at a time on the beat principle, which prevents to some extent the increase in output resulting from automation. However, the lowest time consumption was at the highest automation level (Fig. 3). The result may be due to the fact that automatic work elements are faster than manually controlled ones, automation prevents the fatigue of the driver or the driver is able to use automatic phases of work for planning, etc. The exceptional result of automation level 2 requires more research, although

one explanation is that there were more rotted trees when using the automation level 2.

The cross-cutting quality was somewhat better at automation levels 2 and 3 than at level 1 (Tables 2 and 3). There were more logs in the best quality classes (U/S) and the number of clear cross-cutting mistakes was fewer. The greatest share of U/S -logs was when using automation level 2. Exceeding of the nominal measure in average was a little greater when using automatical cross-cutting.

Only minor differences were observed between the timber amount calculated by manual measuring and automatic measuring by machine (Table 4). The difference is between $-0,7...+1,7\%$ for saw-logs and $-2,2...+1,5\%$ for pulpwood at the 95 % probability level. The diameter error measured by the machine was only $-0,8$ mm on average (Fig. 4). But the length error was $+5,7$ cm and the measuring accuracy of small logs, in particular, needs to be improved (Figs. 5 and 6).

All the psycho-physiological variables indicated lower strain of the driver at automation levels 2 and 3 than at automation level 1 (Figs. 7—9). Because the PIKA 75 works on the beat principle and processes one tree at a time, a driver is not able to do other work elements than planning during the automatic work phases. This explains the decreasing strain of the driver when the automation level increases. But there was no sign of monotonous work. Although the automation of cross-cutting, branching and measuring is far advanced, there are still many manually controlled work elements. In addition, the driver works in variable forest terrain.

Whole body vibration of the driver's seat was also measured (Fig. 10). Although it was above the "fatigue" boundary of ISO standard, it was below "exposure" limit, and also below the measured values for some other multiprocess machines. In the PIKA 75 the booms and the tree stay throughout near the centre of gravity of the machine.

The automation of the PIKA 75 may be of great economic importance by making it possible to use different cross-cutting programmes flexibly in accordance with the marked stand and marked situation. These factors were not, however, studied in this investigation.

ODC 323.13:352:302
ISBN 951-40-0509-0
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P. & PIIRAINEN, K. 1981. Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mitaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen. Summary: Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A pilot study. Folia For. 464:1—14.

The effects of automation of cross-cutting and measuring on the output of work, quality of cross-cutting, accuracy of measurement and strain of the driver were studied. This was a pilot study on one driver in one marked stand. The whole body vibration was also measured.

Authors' addresses: H a r s t e l a: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland. P i i r a i n e n: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 323.13:352:302
ISBN 951-40-0509-0
ISSN 0015-5543

HARSTELA, P. & PIIRAINEN, K. 1981. Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mitaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen. Summary: Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A pilot study. Folia For. 464:1—14.

The effects of automation of cross-cutting and measuring on the output of work, quality of cross-cutting, accuracy of measurement and strain of the driver were studied. This was a pilot study on one driver in one marked stand. The whole body vibration was also measured.

Authors' addresses: H a r s t e l a: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland. P i i r a i n e n: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please, send me following publications (add numbers of the publications on the backside of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communications Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia & tiedusteluja
Remarks & calls for information

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoelasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 142

Ojajoen koelasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* c/o Joensuun korkeakoulu
c/o Joensuu University
PL 111
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 311

Ruotsinkylän jalostuskoelasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1980

- No 447 Uusvaara, Olli: Pelkkahakkureilla tehdyn hakkeen ja sahatavaran pinnan laatu.
Quality of chips and surface of sawn timber made by chipper headrigs.
- No 448 Vuokila, Yrjö: Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotokseen.
The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland.
- No 449 Kinnunen, Kaarlo & Mäki-Kojola, Sakari: Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa.
Natural regeneration of Scots pine in western Finland.
- No 450 Isomäki, Antti & Väisänen, Jarmo: Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään.
Thinning method and its influence on the remaining growing stock and on the thinning yield.
- No 451 Varmola, Martti: Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. The external quality of pine plantations.
- No 452 Roiko-Jokela, Pentti: Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa.
The effect of altitude on the forest yield in northern Finland.
- No 453 Pohtila, Eljas & Timonen, Mauri: Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys.
Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland.
- No 454 Gustavsen, Hans Gustav: Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla.
Site index curves for conifer stands in Finland.

1981

- No 455 Salminen, Marja-Liisa: Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä.
Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods.
- No 456 Raitio, Hannu: Pääravinneannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla.
Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog.
- No 457 Huttunen, Terho: Suomen piensahat 1980.
Small sawmills in Finland, 1980.
- No 458 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Länsi-Uudenmaan rannikon mäntytukkien ominaisuudet eräällä sahalaitoksella.
Properties of pine logs in a coastal sawmill in southern Finland.
- No 459 Kärkkäinen, Matti: Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet.
Foundations of leaf-seasoning and other drying methods of fuelwood.
- No 460 Metsätilastollinen vuosikirja 1980.
Yearbook of Forest Statistics, 1980.
- No 461 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun kylvökokeita Lapissa.
Sowing experiments with *Betula pendula* in Finnish Lapland.
- No 462 Raulo, Jyrki & Rikala, Risto: Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsitellyllä viljelyalalla.
Initial development of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings planted on a forestation site prepared in different ways.
- No 463 Hyppönen, Mikko: Eräiden metsikönkasvatusvaihtoehtojen edullisuus metsähallituksen Pohjois-Suomen metsissä.
Profitability of some stand growing alternatives in the State forests of northern Finland.
- No 464 Harstela, Pertti & Piirainen, Kimmo: Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mittaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen.
Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A pilot study.
- No 465 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1978—80.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1978—80.
- No 466 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Pitkän puutavaran esijuonto vinttureilla ja hevosella.
Bunching of timber by winches and horse.
- No 467 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: KOPO palahakejärjestelmä.
KOPO block chip system.
- No 468 Vuokila, Yrjö: Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen.
The growth reaction of young pine stands to the first commercial thinning.
- No 469 Rummukainen, Ukko & Voipio, Pekka: Ahavan tuhot kuusentaimissa Suonenjoen taimitarhalla keväällä 1978.
Winter wind damage on Norway spruce seedlings at Suonenjoki seedling nursery in spring 1978.
- No 470 Hallaksela, Anna-Maija & Nevalainen, Seppo: Juurikäävän torjunta urealla kuusenkannoissa.
Control of root rot fungus (*Heterobasidion annosum*) by treating Norway spruce stumps with urea.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat tilaukset osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0509-0
ISSN 0015-5543