

FOLIA FORESTALIA 496

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1981

TIMO HEIKKA JA KIMMO PIIRAINEN

PIENHAKKUREIDEN VOIMANKÄYTTÖ

POWER CONSUMPTION OF SMALL CHIPPER



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-Ahvonen
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 viisi 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 five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 496

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1981

Timo Heikka ja Kimmo Piirainen

PIENHAKKUREIDEN VOIMANKÄYTTÖ

Power consumption of small shippers

ODC 363.7
ISBN 951-40-0547-3
ISSN 0015-5543

HEIKKA, T. & PIIRAINEN, K. 1981. Pienhakkureiden voimankäyttö. Summary: Power consumption of small chippers. *Folia For.* 496:1—22.

Tutkimuksessa vertailtiin toimintaperiaatteeltaan erilaisten pienhakkureiden voimankäyttöä. Ensiksi tutkittiin traktorin voimansiirtojärjestelmään ja nivel-akseliin kohdistuvaa rasi- tusta mittaamalla voimanottoakselilla esiintyvä vääntömomentti. Toiseksi verrattiin tehontarpeita keskenään laskemalla hakkurityyppien vaatima keskiteho. Kolmanneksi tutkittiin haketustyön energiankulutusta sekä sen suhdetta valmistetun hakkeen energiasisältöön eri hakkureilla.

Hakkurityyppien välisen vertailun lisäksi tutkittiin pyörimisnopeuden vaikutusta kartioruuvihakkurilla sekä eri puulajien välisiä eroja käsisyöttöisellä laikka- hakkurilla.

On ilmeistä, että hakkurin teräpyörän suurella massalla ja läpimitalla sekä hydraulisella syötöllä on traktorin voimansiirtoon kohdistuvia iskumaisia rasituksia pienentävä vaikutus.

Teholliseen haketukseen käytetyn traktorin polttonesteen energiasisältö vastasi 0,1...0,6 % hakkeen energiasisällöstä hakkurityypistä riippuen.

This study compared the power consumption of various small chippers which operate according to different working principles. Firstly, an examination was made of the strain on the tractor power transmission system and drive shaft, by measuring the torque produced. Secondly, the mean power requirement of chipper types were compared. Thirdly, a study was made of the energy consumed by different chipper types, also in proportion to the energy content of chips produced.

In addition to the comparison of chipper types, the study also examined the effect of speed of revolution in the conescrew chipper and differences between tree species when using a hand fed disc chipper.

It is evident that the use of hydraulic feed and heavy, large diameter cutting wheels dampens the strain on the power transmission caused by sudden loads.

The tractor fuel used during effective chipping corresponded to 0,1—0,6 % of the energy content of chips produced, depending on chipper type.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. KATSAUS AIKAISEMPIIN TUTKIMUKSIIN	4
3. AINEISTO JA MENETELMÄ	6
31. Hakkurityypit	6
32. Peruskone	6
33. Haketettu puutavara	6
34. Voimankäytön mittaus	10
4. HAKKURITYYPPIEN VERTAILU	11
41. Vääntömomentti	11
42. Tehontarve	13
43. Energiankulutus	14
44. Palakoko	16
5. KIERROSLUVUN VAIKUTUS KARTIORUUVIHAKKURILLA	18
6. PUULAJIN VAIKUTUS LAIKKAHAKKURILLA	19
7. TIIVISTELMÄ	20
KIRJALLISUUS	21
SUMMARY	21

1. JOHDANTO

Viime vuosina voimakkaasti yleistyneiden pienhakkureiden teknisiä ominaisuuksia on tutkittu varsin vähän. On kuitenkin havaittu, että joillakin hakkurityypeillä voimansiirtojärjestelmään kohdistuva rasitus on tavallista suurempi. Lisäksi hakkureiden tehontarpeista on vähän tietoa, joskin merkikohtaisia testaustuloksia on rajoitetusti saatavilla. Edelleen tietoa puuttuu haketuksen energiankulutuksesta. Yksittäisiä haketustyön polttoaineenkulutuksen mittausta on tosin tehty käytännön työmailla.

Tässä tutkimuksessa selvitetään tällä hetkellä yleisimpien pienhakkurityyppien eroja edellä mainittujen seikkojen suhteen. Tutkimuksen kohteeksi valitut viisi hakkurityyppiä soveltuvat lähinnä isännänlinjan ja pienurakoitsijoiden käyttöön polttohakkeen valmistuksessa. Hakkureiden voimankäyttöä verrataan erityisesti niiden erilaisten toimintaperiaatteiden ja teknisten ominaisuuksien osalta. Tarkoituksena ei siis ole suorittaa merkki- tai valmistajakohtaista vertailua.

Hakkurityyppien vertailun lisäksi selvitetään haketuksen voimankäyttöön vaikuttavia tekijöitä osittain aikaisempien erityi-

sesti kiinteillä tehdashakkureilla tehtyjen tutkimusten perusteella. Hakkurin pyörimisnopeuden vaikutusta sekä puulajien välisiä eroja voimankäyttöön selvitetään suoritettujen mittausten perusteella. Tutkimuksia on tarkoitus jatkaa hakkurin leikkaavien terien kunnon ja palakoon osalta.

Tämä tutkimus kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen PERA (puu energian raaka-aineena) -projektin korjuututkimuksiin osaselvityksenä polttopuun hankinnan energiataseen parantamiseen ja koneitten toimintavarmuuden lisäämiseen tähtäävässä ohjelmassa.

Kirjoittajien kesken työ jakaantui siten, että Heikka vastasi kokeitten käytännön järjestelyistä ja Piirainen mittausjärjestelmän suunnittelusta ja tulosten laskennasta. Voimankäytön mittaukset ja käsikirjoitus tehtiin yhdessä.

Puutavaran keruun ja mittauksen suoritti Tapio Nevalainen työryhmineen. Tietokonelaskennasta vastasi Hannu Aaltio. Konekirjoituksesta huolehti Aune Rytönen ja piirroksista Leena Muronranta. Englanninkieliset tekstit tarkasti Mark Werren. Hannu Kalaja ja Hyytiälän metsäaseman henkilökunta avustivat merkittävästi tutkimuksen suorittamista. Käsikirjoituksen lukivat Pentti Hakkila ja Matti Kärkäinen. — Kiitämme saamastamme avusta.

2. KATSAUS AIKAISEMPIIN TUTKIMUKSIIN

Haketuksen voimankäyttöä on aikaisemmin tutkittu erityisesti kiinteillä tehdashakkureilla laboratorio-olosuhteissa. Tutkimusten mukaan voimankäyttöön vaikuttavat pääasiassa seuraavat tekijät:

- puun syöttökulmat
- terän teroituskulma
- terän kunto
- leikkausnopeus
- puun tiheys
- puun kosteus
- puun jäätyneisyys
- hakkeen palakoko

Puun paloitteluun tarvittavaan leikkausvoimaan vaikuttaa suuresti leikkaussuunta puun syihin nähden. Puun syiden ja leikkaussuunnan välisen kulman kasvaessa kas-

vaa myös tarvittava leikkausvoima. Papworth ja Erickson (1966) eivät havainneet laikkahakkurin vertikaalisen syöttökulman muuttamisella olevan selvää vaikutusta haketuksen voimankäyttöön. Syöttökulman muuttaminen hakkurin pituusakseliin nähden vaakatasossa 0°:sta 30°:een sen sijaan pienensi jonkin verran energiankulutusta. Selvimmin haketuksen työmäärää lisäsi terän teroituskulma (taulukko 1). Samoin terien tylsyminen kasvatti selvästi energiankulutusta. Energiankulutus oli tylsillä terillä n. 50 % suurempi kuin terävillä terillä. Tämä johtuu siitä, että tylsillä terillä puuta murskaantuu enemmän suhteessa varsinaiseen leikkautumiseen. Murskaaminen puolestaan on epätaloudellisempi puun paloit-

Taulukko 1. Syöttökulman ja terän teroituskulman vaikutus laikkahakkurin energiankulutukseen vaahterapuuta hakettaessa (Papworth & Erickson 1966.)

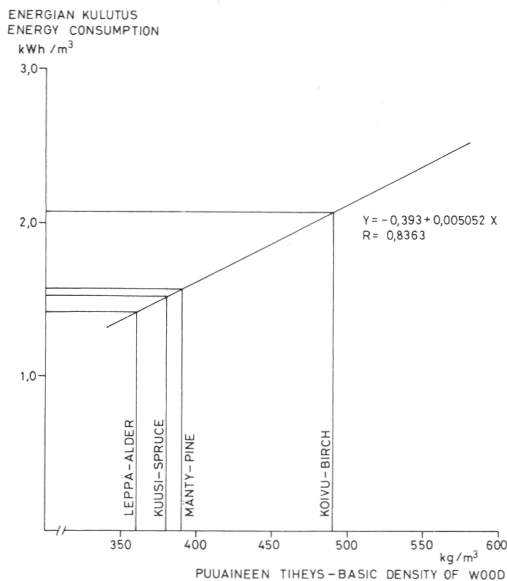
Table 1. The effect of side feed angle and knife sharpening angle on the energy consumption of a disc chipper when chipping maple wood (Papworth & Erickson 1966).

Terän teroituskulma Knife sharpness angle	Syöttökulma vaakatasossa hakkurin akseliin nähden Side feed angle	
	0°	30°
	Energian kulutus, kWh/m ³ Energy consumption, kWh/m ³	
30°	2,47	2,18
40°	3,37	3,16
50°	5,13	4,20

telutapa kuin leikkaaminen.

Pahlitzsch ja Sommer (1965) ovat tutki-neet leikkauksenopeuden vaikutusta rumpuhakkurin energiankulutukseen ja leikkausvoimaan. Tutkimuksen perusteella energiankulutus ja tarvittava leikkausvoima kasvat lievästi leikkauksenopeuden lisäämisen myötä (kuva 1).

Puuaineen tiheys vaikuttaa sen paineen suuruuteen, joka hakkurin terällä on oltava ennenkuin puun syyt rikkoutuvat. Tiheyden kasvu lisäsi selvästi puun lastutukseen tarvittavaa työmäärää Murrin ja Kivimaan (1951) kokeissa. Samoin Papworth ja Erickson (1966) esittävät lineaarisen riippuvuus-suhteen haketuksen energiankulutuksen ja puuaineen tiheyden välille kolmiteräisellä laikkahakkurilla suorittamiensa kokeiden perusteella (kuva 2). Kuvaan on lisätty ylei-

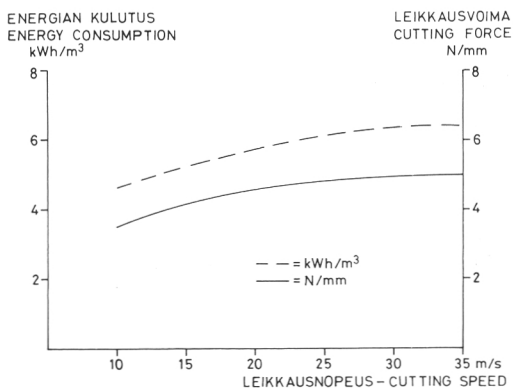


Kuva 2. Puuaineen tiheyden vaikutus laikkahakkurin energiankulutukseen (Papworth & Erickson 1966).

Fig. 2. The effect of basic density of wood on the energy consumption of a disc chipper (Papworth & Erickson 1966).

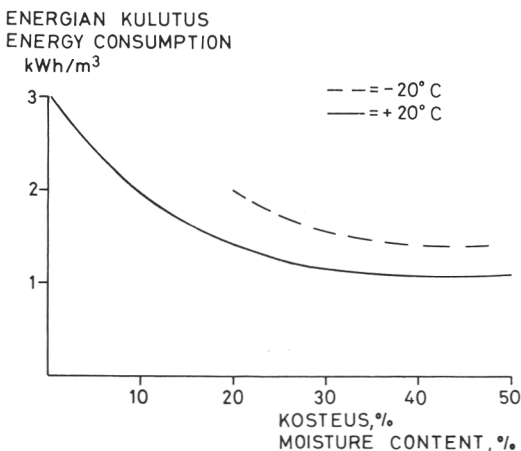
simpien suomalaisten puulajien tiheydet (Hakkila 1978) ja niitä vastaavat energiankulutukset.

Ilmakuivatun puutavaran hakettaminen vaati pohjoisamerikkalaisilla puulajeilla 10...50 % enemmän energiaa kuin tuoreen puun haketus (Papworth ja Erickson 1966). Myös Murrin ja Kivimaan (1951) kokeissa



Kuva 1. Leikkauksenopeuden vaikutus rumpuhakkurin energiankulutukseen (kWh/m³) ja leikkausvoimaan terän pituusyksikköä kohti (N/mm) 0,5 mm:n lastunpaksuudella (Pahlitzsch & Sommer 1965).

Fig. 1. The effect of cutting speed on the energy consumption (kWh/m³) and cutting force per knife length unit (N/mm) of a drum chipper producing 0,5 mm thick chips (Pahlitzsch & Sommer 1965).

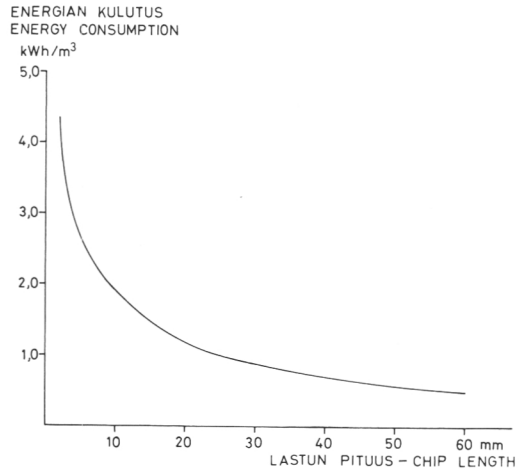


Kuva 3. Sulan ja jäätyneen kuusipuun energiankulutus puun kosteuden funktiona (Murto & Kivimaa 1951).
Fig. 3. Energy consumption for unfrozen and frozen spruce wood as a function of moisture content (Murto & Kivimaa 1951).

haketuksen työmäärä laski puun kosteuden noustessa (kuva 3).

Murto ja Kivimaa (1951) tutkivat myös jäätyneisyyden vaikutusta kuusipuun lastutuksen työmäärään kosteuspitoisuuden vaihdella. Tarvittava työmäärä oli noin 10 % suurempi jäätyneellä kuin sulalla puulla (kuva 3).

Haketuksen energiankulutuksen suhteen on hakkeen palakoko hallitsevin tekijä. Puun tilavuusyksikköä kohden tarvitaan sitä enemmän paloittelutyötä ja energiaa, mitä pienipalaisempaa haketta valmistetaan. Murron ja Kivimaan (1951) kokeissa lastun pituuden 20-kertaistaminen (2,5...50 mm) alensi energiankulutuksen 1/8:aan (kuva 4).



Kuva 4. Lastun pituuden vaikutus energiankulutukseen (Murto & Kivimaa 1951).

Fig. 4. The effect of chip length on the energy consumption (Murto & Kivimaa 1951).

3. AINEISTO JA MENETELMÄ

31. Hakkurityypit

Hakkurityyppien vertailussa tutkittiin haketuksen voimankäyttöä käsisyöttöisellä laikkahakkurilla, hydraulisyöttöisellä laikkahakkurilla, hydraulisyöttöisellä rumpuhakkurilla, käsisyöttöisellä kartioruuvihakkurilla ja käsisyöttöisellä siipiterähakkurilla (kuvat 5...9). Taulukossa 2 on esitetty tutkimuksen kannalta tärkeimpiä hakkureiden teknisiä ominaisuuksia.

Kummassakin hydraulisyöttöisessä laikkahakkurissa on oma hydraulipumppu, josta syöttölaite saa voimansa. Hakkuria traktoriin kiinnitettäessä ei näin ollen tarvita hydrauliletkuja. HS-500 HD:ssä vetäviä syöttöruullia on kaksi ja JUNKKARI HJ6:n SL6-syöttölaitteessa yksi.

32. Peruskone

Mittauksissa käytettiin peruskoneena VALMET 502 -traktoria, jonka tärkeimmät tekniset tiedot ovat seuraavat:

- 4-tahtinen suoraruiskutusdiesel
- sylinteriluku 3
- sylinteritilavuus 2685 cm³
- moottorin teho 36 kW (49 hv) DIN moottorin pyörimisnopeudella 2300 1/min
- moottorin vääntömomentti 172 Nm DIN moottorin pyörimisnopeudella 1380 1/min
- voimanottoakselin nopeus/vastaava moottorin pyörimisnopeus 540/1720 1/min.

Haketuksen aikana moottorin kierrosluku oli noin 2000 1/min, joka vastaa voimanottoakselin nopeutta 630 1/min.

Kierrosluvun vaikutuksen arvioinnissa peruskoneena oli suurilla kierroksilla MASSEY-FERGUSON 590-traktori, jonka teknisistä ominaisuuksista mainittakoon seuraavat:

- 4-tahtinen suoraruiskutusdiesel
- sylinteriluku 4
- sylinteritilavuus 4060 cm³
- teho 56 kW (75 hv) DIN moottorin pyörimisnopeudella 2200 1/min
- moottorin vääntömomentti 275 Nm DIN moottorin pyörimisnopeudella 1400 1/min
- voimanottoakselin nopeus/vastaava moottorin pyörimisnopeus 540/1895 tai 1000/1900 1/min.

Traktoria käytettiin voimanottoakselin nopeuksilla 780 ja 1000 1/min.

33. Haketettu puutavara

Hakkurityyppien välinen vertailu suoritettiin hakettamalla jäätyneitä harmaaleppärankoja. Rangat oli lajiteltu kolmeen rinnankorkeusläpimittaluokkaan: 2...5 cm, 5...10 cm ja 10...15 cm. Kullakin hakkurityypillä hakettiin erä kutakin läpimittaluokkaa. Siipiterähakkurilla hakettiin kuitenkin vain 2...5 cm:n rankaa, koska hakkurin syöttöaukon nielun koko ei salli paksumpien haketusta. Taulukossa 3 on esitetty tärkeimmät tiedot haketatusta puutavarasta.

Rankojen kosteuksia ei mitattu, mutta tuotetun hakkeen kosteus oli keskimäärin 56 % tuorepainosta. Rankaerien välillä ei ollut merkittäviä eroja kosteuden suhteen. Korkea kosteus aiheutuu osaksi rankojen pinnalla olleesta jäästä ja lumesta.

Kierrosluvun vaikutuksen arvioinnissa hakettiin kartioruuvihakkurilla voimanottoakselin nopeuksilla

Taulukko 2. Hakkureiden teknisiä ominaisuuksia.
Table 2. Technical specifications of the chippers.

Merkki ja tyyppi Mark and type	Välitys- suhde Ratio	Teräpyörä Cutting wheel		Nielu, mm Feed opening, smaller end, mm	Syöttö Feed		Lukumäärä Number	Leikkuuterät Knives	
		Halkaisija, mm Diameter, mm	Massa, kg Weight, kg		Syöttökulma, astetta Feed angle, degrees	Hakkurin pituusakse- liin nähden 2)		Mitat, mm Dimensions, mm 3)	
HAKKI H-200 Laikkahakkuri Disc chipper	1:1	1050	250	225 × 225	15	45	3	14 × 135 × 300	
JUNKKARI HJ6 + SL6 Hydr. syött. laikkahakkuri Hydr. fed disc chipper	3,6:1	630	100	160 × 160	0	57	3	10 × 100 × 200	
HS-500 HD Hydr. syött. rumpuhakkuri Hydr. fed drum chipper	1:1	450	200	200 × 200	31	90	3	14 × 135 × 400	
KOPO PH-10 Kartioruuvihakkuri Conescrew chipper	1:1	420	70	180 × 160	0	0	Kierukka Spiral	12 × 120 × 420 4)	
NEME Siipiterähakkuri Wingblade chipper	1:1	260	180	200 × 100	0	90	4	10 × 150 × 200	

1) In relation to the horizontal level

2) In relation to the longitudinal axle of the chipper

3) Terän paksuus × leveys × pituus.

Blade thickness × width × length.

4) Terän paksuus × kartioruuvihalkaisija etupäässä × kartioruuvihalkaisija takapäällä.

Blade thickness × conescrew diameter at front end × conescrew diameter at back end.

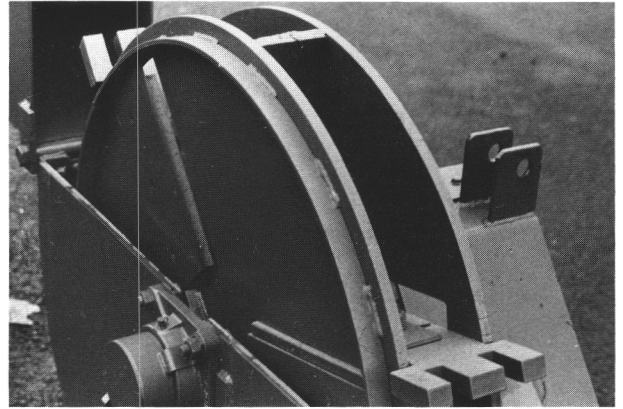
Taulukko 3. Hakkurityyppien vertailussa hakettujen rankojen keskimääräisiä mittoja.
Table 3. Average dimensions of stems chipped in the comparison of chipper types.

Hakkurityyppi Chipper type	Läpimittaluokka, cm Diameter class, cm	Rankojen lukumäärä Number of stems	D _{1,3} , cm D.b.h., cm	Pituus, m Length, m	Tilavuus, dm ³ Volume, dm ³
Laikkahakkuri Disc chipper	2—5	86	3,8	3,0	3,6
	5—10	48	7,1	5,3	17,5
	10—15	14	10,8	7,8	50,5
Hydr. syött. laikkahakkuri Hydr. fed disc chipper	2—5	50	4,4	3,2	4,6
	5—10	53	6,0	4,7	11,8
	10—15	15	10,8	7,7	48,0
Hydr. syött. rumpuhakkuri Hydr. fed drum chipper	2—5	63	3,8	2,9	3,5
	5—10	45	6,1	4,8	12,1
	10—15	15	11,4	8,3	56,2
Kartioruuvihakkuri Conescrew chipper	2—5	99	3,5	2,8	2,9
	5—10	36	7,7	5,6	21,8
	10—15	12	11,1	8,1	51,3
Siipiterähakkuri Wingblade chipper	2—5	103	3,6	2,9	3,1

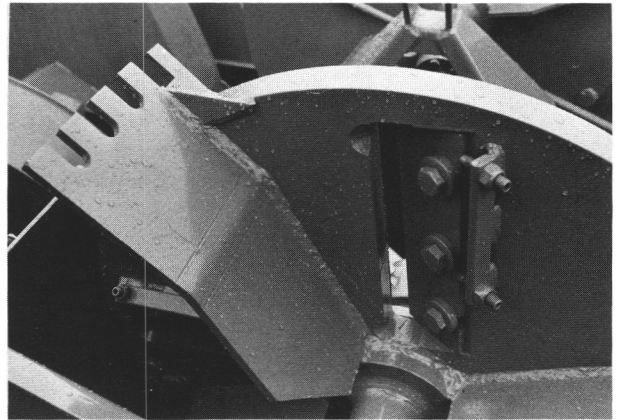
630 1/min ja 1000 1/min erä kunkin läpimittaluokan rankaa. Lisäksi hakettiin nopeudella 780 1/min erä 5...10 cm:n läpimittaluokan rankaa. Myös tässä kokeessa puutavara oli jäätynyttä leppärunkaa (taulukko 4).

Puulajien vertailussa hakettiin laikkahakkurilla läpimittaluokan 5...10 cm jäätynyttä harmaaleppä-, kuusi- ja koivurunkaa (taulukko 5).

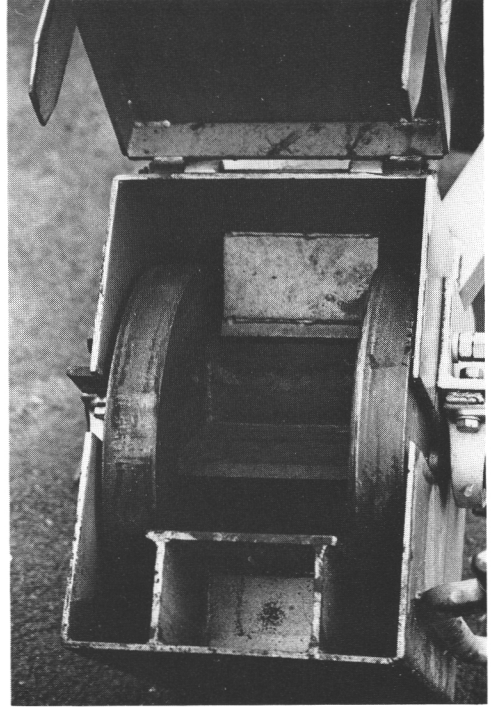
Rangat mitattiin yksitellen läpimittaluokittaisen jaottelun yhteydessä. Jokaisesta rangasta kirjattiin läpimitat tyvestä metrin välein sekä rinnankorkeusläpimitat, latvaläpimitat ja pituus. Läpimitat mitattiin mm:n tarkkuudella ja pituus dm:n tarkkuudella. Rankojen tilavuudet laskettiin splini-funktioiden avulla (Lahtinen ja Laasasenaho 1979).



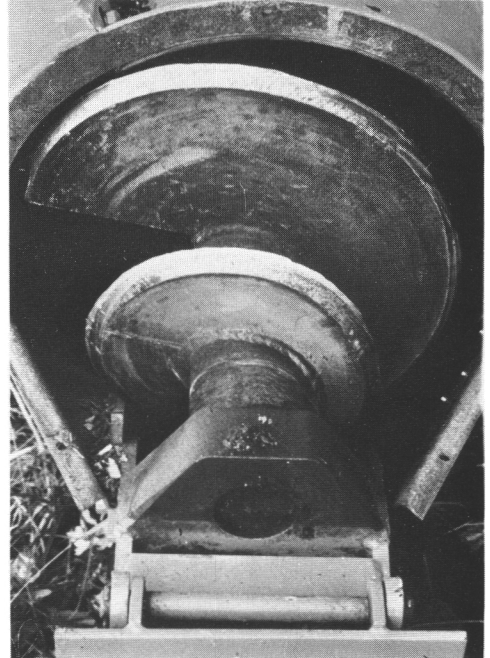
Kuva 5. Käsisyöttöinen laikkahakkuri (HAKKI H-200).
Fig. 5. Manually fed disc chipper (HAKKI H-200).



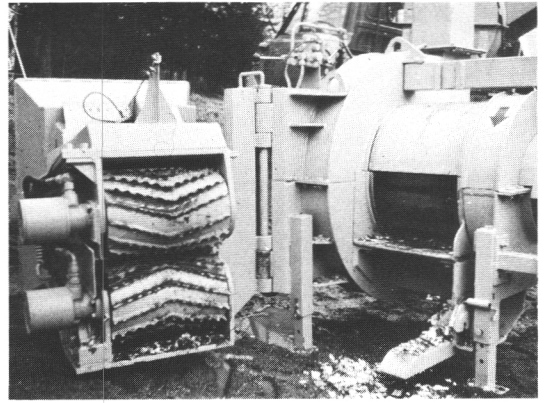
Kuva 6. Hydraulisyöttöinen laikkahakkuri (JUNKKARI HJ6+SL6).
Fig. 6. Hydraulically fed disc chipper (JUNKKARI HJ6+SL6).



Kuva 7. Käsisyöttöinen siipiterähkuri (NEME).
Fig. 7. Manually fed wingblade chipper (NEME).



Kuva 8. Käsisyöttöinen kartioruuvihakkuri (KOPO PH-10).
Fig. 8. Manually fed conescrew chipper (KOPO PH-10).



Kuva 9. Hydraulisyöttöinen rumpuhakkuri (HS-500 HD).
Fig 9. Hydraulically fed drum chipper (HS-500 HD).

Taulukko 4. Kierrosluvun vaikutuksen arvioinnissa hakettettujen rankojen keskimääräisiä mittoja.
Table 4. Average dimensions of stems chipped in the assessment of the effect of power take-off speed.

Voa:n nopeus, 1/min P.t.o. speed, 1/min	Läpimittaluokka, cm Diameter class, cm	Rankojen lukumäärä Number of stems	D _{1,3} , cm D.b.h., cm	Pituus, m Length, m	Tilavuus, dm ³ Volume, dm ³
630	2—5	41	3,0	3,2	2,2
1000	2—5	44	3,0	3,1	2,5
630	5—10	20	7,1	6,6	17,8
780	5—10	22	7,5	6,2	20,8
1000	5—10	21	6,5	5,5	14,7
630	10—15	5	12,4	3,8	37,8
1000	10—15	5	10,7	6,2	38,3

Taulukko 5. Puulajien vertailussa hakettettujen rankojen keskimääräisiä mittoja.
Table 5. Average dimensions of stems chipped in the comparison of tree species.

Puulaji Tree species	Läpimittaluokka, cm Diameter class, cm	Rankojen lukumäärä Number of stems	D _{1,3} , cm D.b.h., cm	Pituus, m Length, m	Tilavuus, dm ³ Volume, dm ³
Harmaaleppä Grey alder	5—10	48	7,1	5,3	17,5
Kuusi Spruce	5—10	39	6,8	4,6	13,0
Koivu Birch	5—10	40	7,0	5,0	15,7

34. Voimankäytön mittaus

Voimankäytön mittauksissa käytettiin seuraavaa laitteistoa (kuva 10):

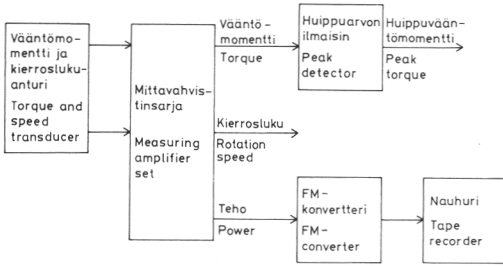
- vääntömomentti- ja kierroslukuanturi HBM T30FN
- mittavahvistinsarja MBM.N.MZ.D8
- Metsäntutkimuslaitoksella rakennettu elektroninen huippuarvonilmaisinen
- FM-konvertteri Danica FAC 1b
- nauhuri Stellavox SP 7

Vääntömomentti- ja kierroslukuanturi sijoitettiin traktorin voimanottoakselin ja nivelakselin väliin.

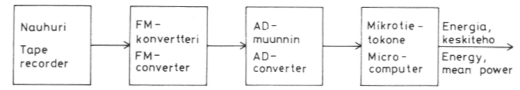
Voimanottoakselin nopeus mitattiin ennen ja jälkeen jokaisen rankaerän haketusta. Huippuarvonilmaisimella mitattiin rankakohtaiset vääntömomentin huippuarvot. Tehonkulutus, joka saadaan mittavahvistinsarjan kertojalla vääntömomentista ja kierrosluvusta, tallennettiin nauhurilla.

Mittausten jälkeen laskettiin nauhoitetusta tehonkulutuksesta eräkohtaiset energiankulutukset ja keski-tehot AD-muuntimella varustetulla ABC80-mikrotietokoneella (kuva 11).

Mittaukset suoritettiin talven 1980/81 aikana Helsingin yliopiston metsäharjoitteluasemalla Hyytiälässä. Mittauslaitteiston tarkkuuden säilyttämiseksi jäätyneet rangat tuotiin hakettavaksi metsäseman lämmitettävään konehalliin. Haketus tapahtui välittömästi, rankojen ollessa vielä jäässä.



Kuva 10. Mittauslaitteisto.
Fig. 10. Measurement equipment.



Kuva 11. Tietojenkäsittelylaitteisto.
Fig. 11. Data processing system.

4. HAKKURITYYPPIEN VERTAILU

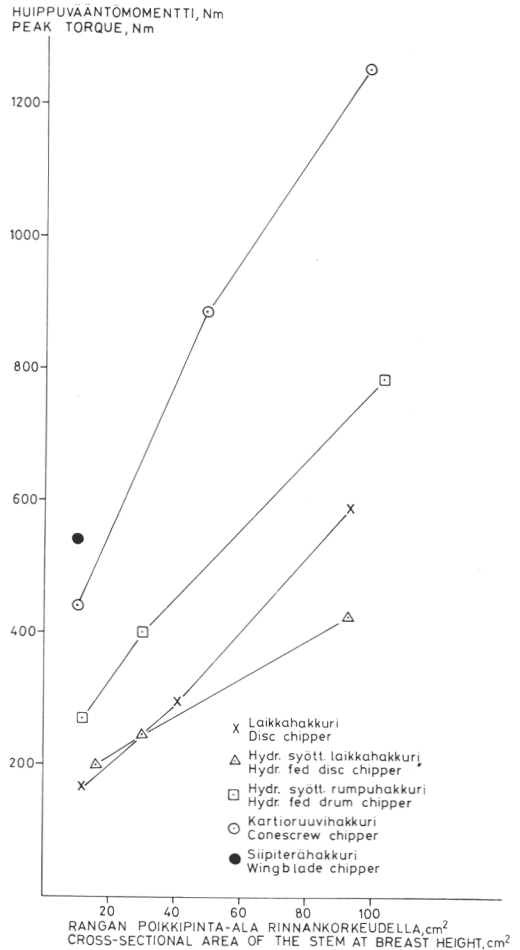
41. Vääntömomentti

Eräs pienhakkureiden käytössä esiintyvä ongelma on traktorin voimansiirtojärjestelmään ja nivelakseliin kohdistuva rasitus, joka on aiheuttanut akselirikkoja (esim. Hakkila ja Kalaja 1981). Haketuksen aiheuttama vääntömomentti on useilla hakkurityypeillä epätasainen ja saattaa ajoittain kohota hyvinkin suureksi.

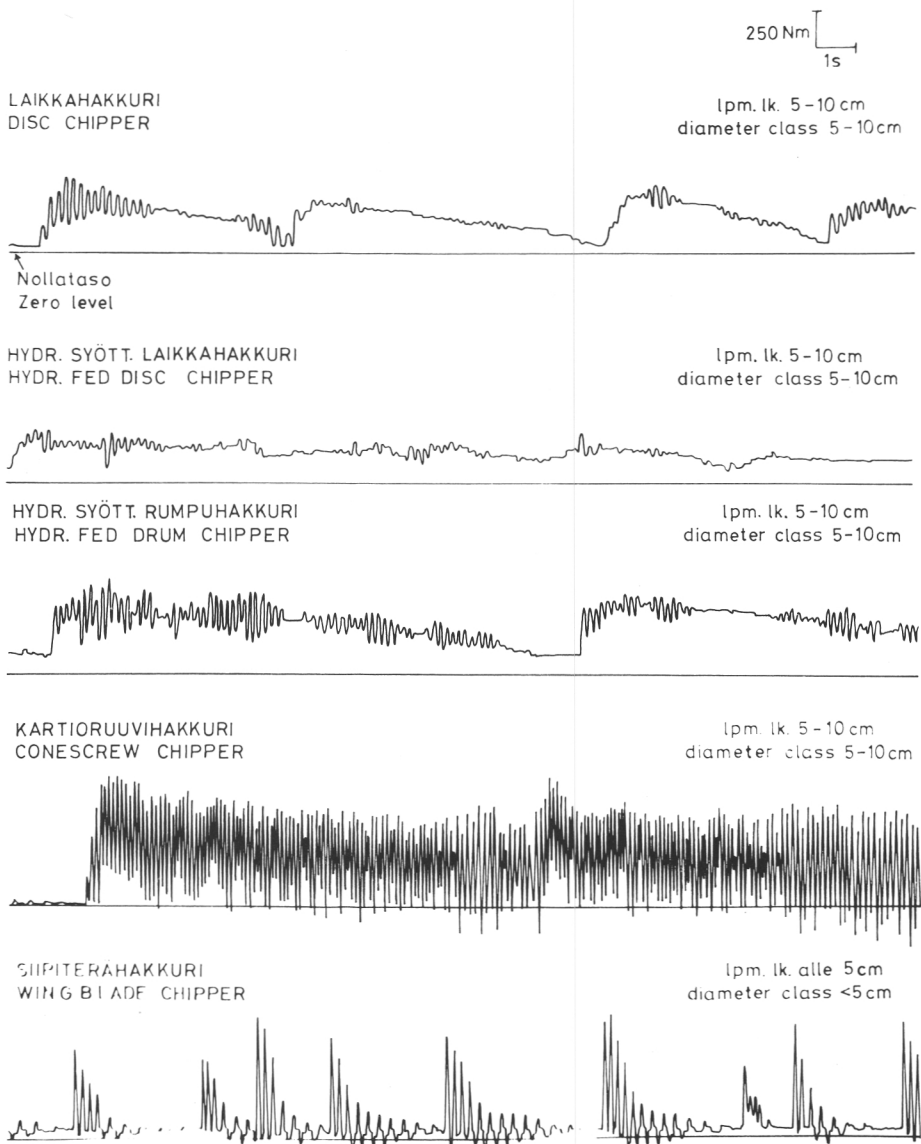
Hakkurityyppejä verrattiin em. rasituksen kannalta mittaamalla voimanottoakselin nopeudella 630 1/min vääntömomentin huippuarvo jokaista hakettua rankaa kohti. Mittausarvoista laskettiin keskiarvot läpimittaluokittain. Kuvassa 12 on esitetty huippuvääntömomentti rangan rinnankorkeudelta mitatun poikkipinta-alan funktiona.

Kaikilla hakkurityypeillä huippuvääntömomentti kasvaa lähes lineaarisesti rangan rinnankorkeudelta mitatun poikkipinta-alan suhteen. Rinnankorkeusläpimitan tai tilavuuden suhteen ei riippuvuus ole yhtä lineaarinen. Ohuilla rangoilla suurimmat arvot mitattiin siipiterähakkurille. Paksuimmilla rangoilla, joita ei siipiterähakkurilla voinut hakettaa, suurimmat arvot mitattiin kartioruuvihakkurille. Laikkahakkureille saadut huippuvääntömomentin arvot jäivät alle puoleen kartioruuvihakkurin arvoista.

Hakkurityyppien välisten huippuvääntömomenttien erojen syyt selviävät, kun tarkastellaan vääntömomentin tasaisuutta eri hakkureilla. Kuvassa 13 on esitetty kullekin hakkurille vääntömomentti ajan funktiona. Tasaisimmat vääntömomenttikäyrät saatiin molemmille hydraulisyöttöisille hakkureille sekä käsisyöttöiselle laikkahakkurille. Sen



Kuva 12. Huippuvääntömomentti rangan rinnankorkeudelta mitatun poikkipinta-alan funktiona.
Fig. 12. Peak torque as a function of the cross-sectional area of the stem at breast height.



Kuva 13. Vääntömomentti ajan funktiona.
Fig. 13. Torque as a function of time.

sijaan siipiterähakkurille ja kartioruuvihakkurille on ominaista kuormituksen epätasaisuus. Hydraulisyöttöisen rumpuhakkurin kohdalla huippuvääntömomenttien arvoja nostaa korkea keskimääräinen vääntömomentti (tehontarve) eikä kuormituksen epätasaisuus.

Tulosten perusteella näyttää hakkurin teräpyörän suurella hitausmomentilla (massalla ja läpimitalla) sekä hydraulisella syötöllä olevan voimansiirtoon kohdistuvia

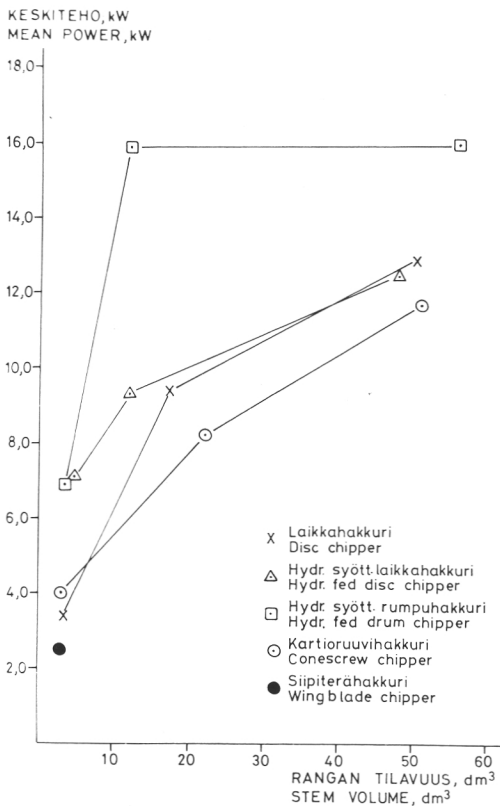
iskumaisia kuormituksia vähentävä vaikutus.

Huomautettakoon, että jokaista hakkuria käytettiin voimanottoakselin pyörintänopeudella 630 1/min, joka on saatavissa kaikista traktoreista. Hakkureilla, joiden teräpyörän hitausmomentti on pieni, voidaan vääntömomenttihiippuja pienentää huomattavasti kierroslukua lisäämällä, kuten luvussa 5 osoitetaan.

42. Tehontarve

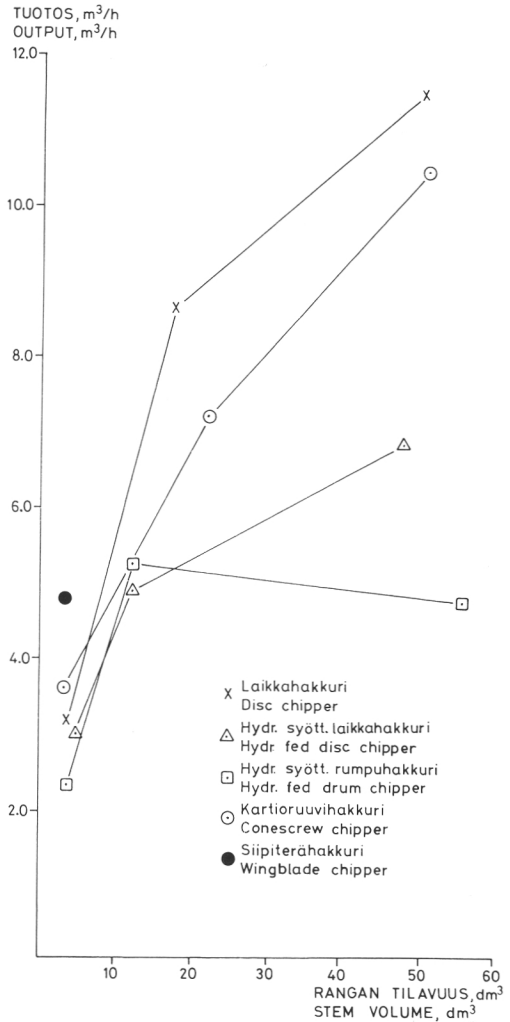
Hakkurin tehontarpeella tarkoitetaan yleensä traktorin moottorin tehoa tai voimantoakselitehoa, jonka hakkurin moitteeton toiminta vähintään vaatii. Tehontarpeen mittaaminen on kuitenkin hankalaa, koska traktorin teho määritellään tasaiselle kuormitukselle, jota haketusyö ei suinkaan ole. Tässä tutkimuksessa vertailtiin hakkurityyppien tehontarpeita mittaamalla rankaerittäin keskiteho, joka saadaan jakamalla haketukseen kulunut energia haketusajalla. Koska rangan tyviosan hakettamiseen tarvitaan suurempi teho kuin koko rankaan keskimäärin, on keskiteho huomattavasti vaadittavaa traktorin tehoa pienempi. Näiden suureiden voidaan kuitenkin olettaa olevan verrannollisia keskenään, jolloin hakkurityyppien tehontarpeita voidaan keskitehojen perusteella verrata toisiinsa.

Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi



Kuva 14. Haketuksen keskiteho rangan tilavuuden funktiona.

Fig. 14. Mean chipping power as a function of stem volume.



Kuva 15. Hakkureiden tuotokset voimankäytön mitauksissa.

Fig. 15. Chipper outputs at the power consumption measurements.

rangat syötettiin hakkuriin yksitellen ilman tyhjäkäyntiä rankojen välillä. Käytännössä saatetaan sen sijaan syöttää rankoja usein limittäin, erityisesti jos kysymyksessä on hydraulisyöttöinen kone.

Kuvassa 14 on esitetty keskiteho rangan tilavuuden funktiona. Hakkurityyppien väliset erot tulevat paremmin esille, kun tarkastellaan keskitehojen rinnalla haketusyön tuotoksia, koska molemmat riippuvat syöttönopeudesta (kuva 15). Tuotokset on saatu jakamalla rankaerän kiintotilavuus haketusajalla. Huomautettakoon, että tuotokset mitattiin em. syöttötavalla,

eivätkä siten sellaisinaan vastaa tavallisen tuotostutkimuksen arvoja.

Pienillä rangoilla tehontarve oli selvästi suurempi hydraulisyöttöisillä kuin käsisyöttöisillä hakkureilla johtuen hydrauliiikan vaatimasta tehosta ja toisaalta myös tutkittujen koneiden tekemästä pienestä palakoosta. Suuremmilla rangoilla hydraulisyöttö alensi syöttönopeutta suhteessa käsisyöttöön, minkä vuoksi tehontarpeiden väliset erot pienenevät.

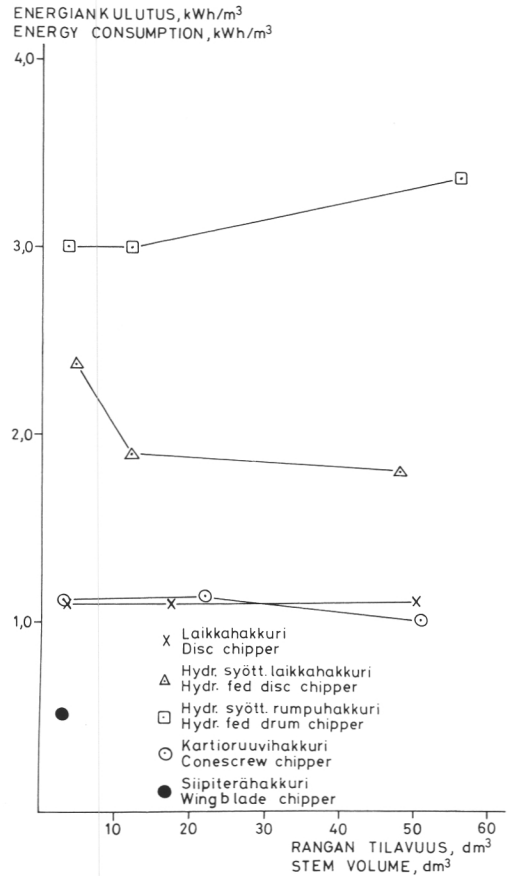
Siipiterähakkurilla oli suuren syöttönopeuden ansiosta korkein tuotos ja suuren palakoon vuoksi pienin tehontarve. Rumpuhakkurin suuri tehontarve ja alhainen tuotos etenkin järeämmillä rangoilla johtui osaksi siitä, että hakkurin puhallusteho ei riittänyt käytetyllä kierrosluvulla, vaan hakkuri tukkeutui ajoittain. Rumpuhakkurin valmistaja suosittelee nivelakselin pyörimisnopeutta 1000 1/min. On tosin mainittava, että Ruotsissa suoritetuissa kokeissa (Statens maskinprovningar 1981) sama hakkurityyppi tukkeutui myös pyörimisnopeudella 1000 1/min.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että hydraulisyötön avulla voidaan pienentää hakkurin tehontarvetta. Tämä onkin tarpeen varsinkin silloin, kun hakkeen palakoko on pieni ja haketettava puutavara järeää. Tehontarve saadaan pieneneväksi hidastamalla syöttönopeutta, mikä myös alentaa tuotosta. Kuitenkin hydraulisyöttö helpottaa puutavaran saattamista hakkurin terien ulottuville, minkä vuoksi sen käyttö kohottaa käytännössä tuotosta erityisesti vaikeasyöttöisillä puutavaralajeilla.

Mittauksissa käytetyn traktorin teho (36 kW) oli järeimmilläkin rangoilla riittävä kaikilla hakkurityypeillä lukuun ottamatta rumpuhakkuria. Huomautettakoon kuitenkin, että kunkin hakkurin leikkaavat terät olivat juuri teroitettuja ja haketettu puutavara oli tuoretta. Esimerkiksi järeää, kuivaa rankaa tylsillä terillä hakettaessa saattaa tehokkaampi traktori olla tarpeen muillakin kuin rumpuhakkurilla.

43. Energiankulutus

Tehontarvetta luotettavammin hakkurityyppien välisiä voimankäytön eroja kuvaa energiankulutus. Siihen vaikuttaa pääasiassa palakoko eli tehdyn leikkaustyön määrä eikä niinkään syöttötapa, kuten



Kuva 16. Haketuksen energiankulutus rangan tilavuuden funktiona.

Fig. 16. Chipping energy consumption as a function of stem volume.

edellä esitettyyn keskitehoon. Kuva 16 esittää hakkurityyppien voimantoakselilta mitattuja energiankulutuksia rangan tilavuuden funktiona. Energiankulutuksen arvot on saatu jakamalla rankaerän hakettamiseen kulunut energia rankaerän kiinto-tilavuudella.

Haketettavan rangan tilavuus ei vaikuta merkittävästi energiankulutukseen. Poikkeuksena oli hydraulisyöttöinen laikkahakkuri, jolla pienillä rangoilla energiankulutus oli korkeampi kuin järeämmillä. Tämä johtunee hydrauliiikan energiankulutuksen korostumisesta, kun tuotos on alhainen.

Sen sijaan hakkurityyppien väliset erot olivat selviä. Vaikka hydraulisyöttöisen rumpuhakkurin kohdalla otetaan huomioon aiemmin mainittu tukkeutuminen etenkin isommilla rangoilla, oli sen energiankulutus

Taulukko 6. Haketuksen energiankulutuksen suhde hakkeen energiasisältöön.

Table 6. Energy consumed during chipping in proportion to the energy content of chips produced.

Hakkurityyppi Chipper type	Läpimittaluokka, cm Diameter class, cm	Voimanottoakselilta mitattu energiankulutus Energy consumption measured at power take-off shaft, kWh/m ³	Traktorin polttonesteen kulutus Tractor fuel consumption l/m ³	% ¹⁾
Laikkahakkuri Disc chipper	5—10	1,09	0,4	0,2
Hydr. syött. laikkahakkuri Hydr. fed disc chipper	5—10	1,89	0,6	0,4
Hydr. syött. rumpuhakkuri Hydr. fed drum chipper	5—10	3,01	1,0	0,6
Kartioruuvihakkuri Conescrew chipper	5—10	1,14	0,4	0,2
Siipiterähakkuri Wingblade chipper	2—5	0,53	0,2	0,1

¹⁾ Energiasisällön suhde hakkeen energiasisältöön.
Energy content in proportion to the energy content of chips.

joka tapauksessa selvästi korkein. Alhaisin energiankulutus oli suuren palakoen johdosta siipiterähakkurilla. Kartioruuvihakkurilla ja käsisyöttöisellä laikkahakkurilla energiankulutukset eivät poikenneet merkittävästi toisistaan. Suurempi palakoko pienentää kartioruuvihakkurin energiankulutusta, mutta toisaalta sitä suurentaa puun ja kartioruovin välinen kitka.

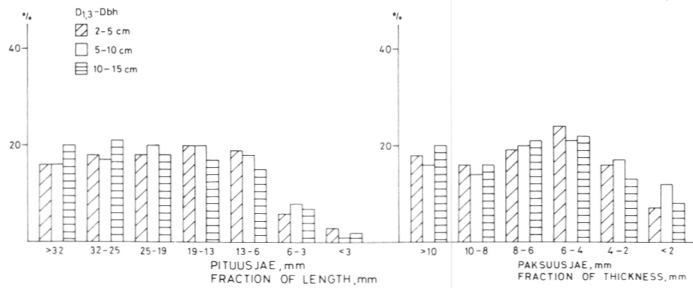
Yleisesti voidaan sanoa, että siipiterähakkurin sekä käsi- ja hydraulisyöttöisen laikkahakkurin energiankulutuksien erot johtuvat hakkeen palakoosta. Kartioruuvihakkurin ja hydraulisyöttöisen rumpuhakkurin energiankulutukset ovat suurempia kuin mitä palakoko antaisi olettaa.

Hakkurityyppien energiankulutuksien erojen käytännön merkityksen arvioimiseksi laskettiin voimanottoakselilta mitattuja energiankulutuksia vastaavat traktorin polttoaineenkulutukset traktorin moottorin ominaiskulutusta käyttäen. Lisäksi laskettiin polttoaineenkulutuksen energiasisällön suhde tuotetun hakkeen energiasisältöön eri hakkurityypeillä (taulukko 6).

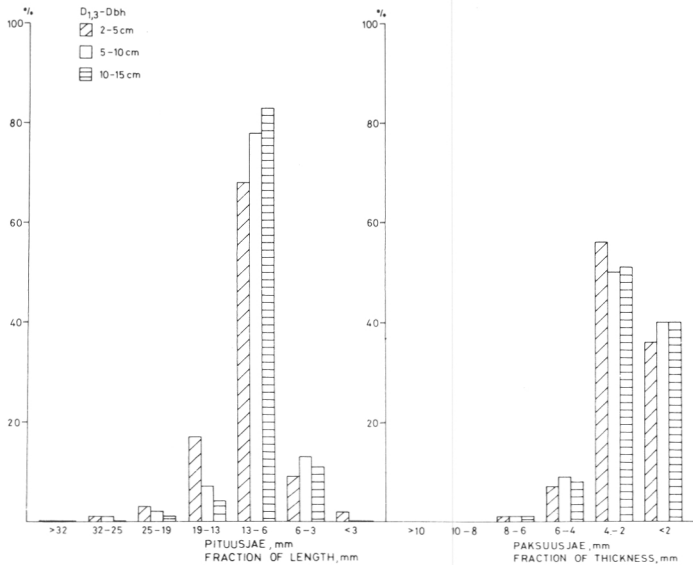
Traktorin dieselmootorin ominaiskulutuksena käytettiin 270 g/kWh (10 kW:n teholla pyörintänopeudella 2000 1/min), joka perustuu Teknillisen Korkeakoulun autotekniikan laboratorion samalla traktorityypeillä (VALMET 502) tekemiin mittauksiin. Moottorin ja voimanottoakselin välisen voimansiirron energiahäviöksi oletettiin 7 % autotekniikan laboratorion arvion mukaisesti. Dieselöljyn talvilaadun tehollisen

lämpöarvo, 42,8 MJ/kg ja sen tiheys, 0,825 kg/dm³, saatiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen poltto- ja voiteluainelaboratoriosta. Hakkeen energiasisältönä on käytetty kosteudeltaan 40 %:lle kuorelliselle leppäpinopuulle esitettyä tehollista lämpöarvoa 6268 MJ/m³ (Hakkila 1978).

Hakkurityypeistä riippuen haketukseen käytetyn polttonesteen kulutukseksi saatiin 0,2...1 litraa/m³. Polttoaineenkulutuksen energiasisältö oli vastaavasti 0,1...0,6 % tuotetun hakkeen energiasisällöstä. Huomautettakoon, että nämä lukemat sisältävät vain tehollisen haketustyön. Käytännössä haketustyön polttoaineenkulutukseen on tehollisen haketustyön lisäksi laskettava joutokäynneistä, työmaalla ja työmaiden välillä tapahtuvista hakkurin siirroista sekä hakkeen kuljetuksesta aiheutuvat polttoaineenkulutukset. Esimerkkinä mainittakoon, että kartioruuvihakkurilla suoritetussa palstahaketuskokeessa, missä ajo-matka oli 150 m, haketuksen ja hakkeen kuljetuksen polttoaineenkulutus oli 2,2 litraa/m³ ja sen energiasisällön suhde hakkeen energiasisältöön 1,4 % (Hakkila ja Kalaja 1981). Tämän perusteella voidaan sanoa, että vaikka tutkituilla hakkurityypeillä on suuriakin eroja pelkän haketuksen vaatiman energiankulutuksen suhteen, ei tällä ole käytännössä kovin suurta merkitystä, koska tehollisen haketuksen polttoaineenkulutuksen osuus on suhteellisen pieni koko haketustyön polttoaineenkulutuksesta.



Kuva 17. Käsikäyttöinen laikkahakkurin palakokojakauma.
 Fig. 17. Particle size distribution of manually fed disc chipper.



Kuva 18. Hydraulisyöttöisen laikkahakkurin palakokojakauma.
 Fig. 18. Particle size distribution of hydraulically fed disc chipper.

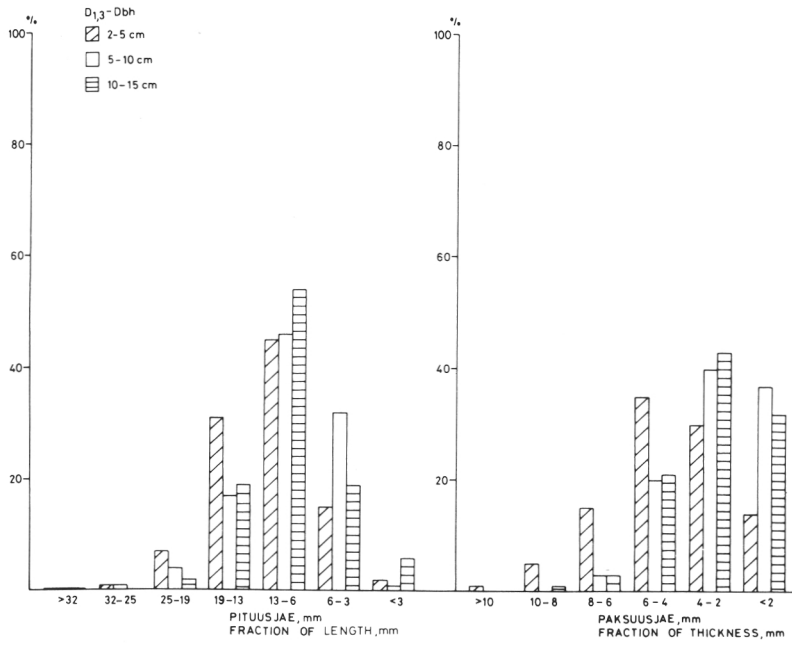
44. Palakoko

Koska haketuksen energiankulutus riippuu voimakkaasti hakkeen palakoosta, mitattiin myös eri hakkuriyppien tuottaman hakkeen palakoko. Kunkin hakkurin terät oli tehtaalla säädetty keskimääräiselle palakoolle, joten tuloksia voidaan pitää tyypillisinä. Palakokojakaumat mitattiin Williamsseulalla sekä reikä- että rakolevyin (kuvat 17...21).

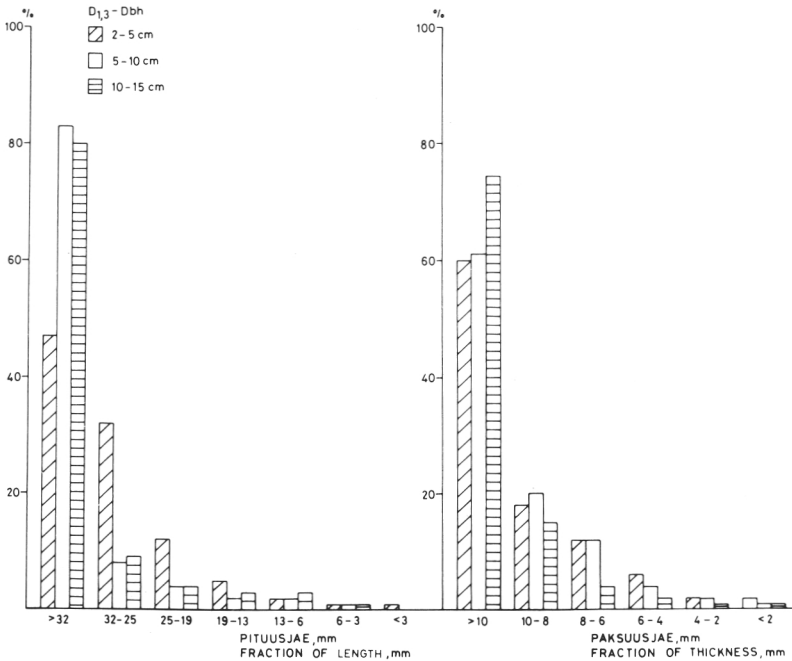
Suurin hakkeen palakoko oli nimensä mukaisesti palahakkureilla — kartioruuvihakkurilla pienempi kuin siipiterähakkurilla. Pienin palakoko oli hydraulisyöttöisellä laikkahakkurilla sekä rumpuhakkurilla, joka on varustettu tikkujen murskaamiseen tarkoitetulla seulalla.

Hydraulisyöttöisellä laikkahakkurilla hakkeen palakoko oli hyvin tasalaatuinen. Sitä vastoin käsisyöttöisellä laikkahakkurilla hake jakaantui kaikkiin läpimittaluokkiin lähes tasaisesti. Myös hydraulisyöttöisellä rumpuhakkurilla palakokojakauma hajaantui huomattavasti. Kahdella viimeksi mainitulla hakkuriyypillä oli pienimmän palakoon, niin sanotun hienojakeen, osuus suurempi kuin muilla.

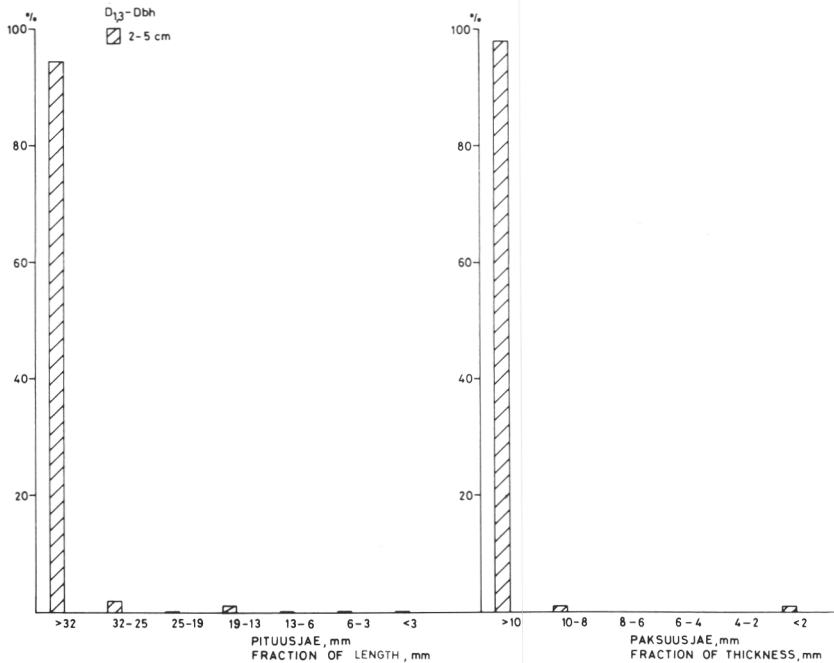
Rangan koolla ei ollut selvää vaikutusta hakkeen palakokoon. Tosin hydraulisyöttöisillä hakkureilla hake oli keskimäärin hieman suurempaa pienimmässä läpimittaluokassa kuin muissa luokissa.



Kuva 19. Hydraulisyöttöisen rumpuhakkurin palakokojakauma.
 Fig. 19. Particle size distribution of hydraulically fed drum chipper.



Kuva 20. Kartioruuvihakkurin palakokojakauma.
 Fig. 20. Particle size distribution of conescrew chipper.



Kuva 21. Siipiterähakkurin palakokojakauma.
 Fig. 21. Particle size distribution of wingblade chipper.

5. KIERROSLUVUN VAIKUTUS KARTIORUUVIHAKKURILLA

Kuten vääntömomenttimittausten tulok-
 sista edellä ilmenee, kartioruuvihakkurilla
 hakettaessa traktorin voimansiirtojärjes-
 telmään ja nivelakseliin kohdistuva rasitus
 on epätasainen ja räsitusluiput ovat varsin
 korkeita alhaisella kierrosluvulla. Kierros-
 luvun nostamisen oletettiin tasoittavan rasi-
 tusta, minkä vuoksi kartioruuvihakkurin
 voimankäyttö mitattiin perusnopeuden 630
 1/min lisäksi myös voimanottoakselin no-
 peudella 1000 1/min kaikissa läpimittalu-
 kissa. Lisäksi hakettiin erä 5...10 cm:n
 rankaa nopeudella 780 1/min (taulukko 7).

Kierrosluvun nostaminen 630:stä 1000:een
 1/min pienensi vääntömomenttihaijut noin
 puoleen. Kierrosluvulla 780 1/min rasitus
 väheni neljänneksellä. Mittaustulosten pe-
 rusteella hakkurin kierroslukusuositusta
 onkin myöhemmin nostettu 700...1000 kier-
 rokseen minuutissa. Lisäksi vauhtipyörän
 massaa ja läpimittaa on lisätty, mikä edel-

leen vähentää räsitusta.

Energiankulutus näyttää hieman lisäänty-
 vän kierroslukua nostettaessa. Haketuksen
 energiankulutus oli 1000:lla kierroksella
 minuutissa 7...13 % suurempi kuin kierros-
 luvulla 630 1/min. Pahlitzsch ja Sommer
 (1965) ovat esittäneet samansuuntaisia tulok-
 sia (kuva 1).

Yhteenvetona voidaan sanoa, että hakku-
 reilla, joiden teräpyörän hitausmomentti
 on pieni, kierroslukua nostamalla voidaan
 traktorin voimansiirtojärjestelmään ja nivel-
 akseliin kohdistuvaa räsitusta pienentää
 lisäämättä kuitenkaan huomattavasti ener-
 giankulutusta. Hakkurin pyörimisnopeutta
 voidaan lisätä kahdella tavalla: muutta-
 malla voimanottoakselin ja hakkurin välistä
 välityssuhdetta esimerkiksi "vaihdelaatii-
 kon" avulla tai käyttämällä sellaista perus-
 konetta, jolla voimanottoakselin pyörimis-
 nopeus saadaan riittävän suureksi.

Taulukko 7. Kartioruuvihakkurin voimankäyttö eri kierrosluvuilla harmaaleppärunkaa hakettaessa.
 Table 7. Power consumption of conescrew chipper for chipping grey alder stems at different power take-off speeds.

Voa:n nopeus, 1/min <i>P.t.o. speed, 1/min</i>	Läpimittaluokka, cm <i>Diameter class, cm</i>	Huippuvääntömomentti, Nm <i>Peak torque, Nm</i>	Keskiteho, kW <i>Mean power, kW</i>	Energian kulutus, kWh/m ³ <i>Energy consumption, kWh/m³</i>	Tuotos, m ³ /h <i>Output, m³/h</i>
630	2—5	440	2,6	1,11	2,4
1000	2—5	170	4,0	1,19	3,4
630	5—10	910	6,3	1,02	6,1
780	5—10	670	9,5	1,09	8,7
1000	5—10	430	8,6	1,15	7,5
630	10—15	1220	10,0	1,10	9,1
1000	10—15	690	10,7	1,18	9,0

6. PUULAJIN VAIKUTUS LAIKKAHAKKURILLA

Tutkimuksessa vertailtiin myös kolmen puulajin, harmaaleppän, kuusen ja koivun haketusta hakkurityypeistä yleisimmällä, käsisyöttöisellä laikkahakkurilla. Valmistetun hakkeen kosteus ja puulajien kirjallisuuteen perustuvat tiheydet selviävät taulukosta 8. Tulokset voimankäytön mittauksista on esitetty taulukossa 9.

Vähiten tehoa ja energiaa tarvittiin pehmeimmän puulajin, harmaaleppän hakettamiseen. Vaikka koivun tiheys on suurempi kuin kuusen, olivat niiden energiankulutukset samaa suuruusluokkaa (vrt. kuva 2). Myös Murrin ja Kivimaan (1951) suorittamissa kokeissa kuusen vaatima lastutus-työmäärä oli yhtä suuri kuin koivun. Selvimmin puulaji vaikuttaa voimansiirtojär-

jestelmään kohdistuvaan rasitukseen. Koivulla huippuvääntömomentti oli yli kaksinkertainen leppään verrattuna.

Kaikki rangat olivat voimakkaasti jäätyneitä. Sen lisäksi, että jäätyneisyys nostaa puulajikohtaista haketuksen voimantarvetta, saattaa sillä olla tiheydeltään erilaisten puulajien välisiä eroja tasoittava vaikutus.

Kuvassa 22 näkyvät puulajikohtaiset hakkeen palakokojakaumat. Lepällä sekä paksuus- että pituusjakeet ovat painottuneet pienempiin luokkiin kuin kuusella ja koivulla. Tämä saattaa johtua hakkeen puhalluksessa tapahtuvasta hakepalasten silpoutumisesta, joka näytti hauraalla leppäpuulla olevan suurempaa.

Taulukko 8. Runkopuun tiheys ja hakkeen kosteus puulajien vertailussa.

Table 8. Basic density and moisture content of chips in the comparison of tree species.

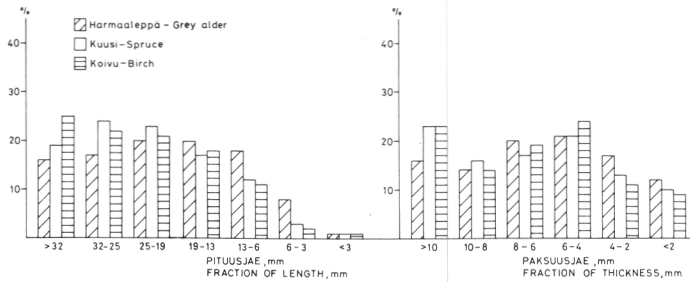
Puulaji <i>Tree species</i>	Hakkeen kosteus, % <i>Moisture content of chips, %</i>	Puuaineen tiheys, kg/m ³ ¹⁾ <i>Basic density, kg/m³</i>
Harmaaleppä <i>Grey alder</i>	56	360
Kuusi <i>Spruce</i>	61	380
Koivu <i>Birch</i>	46	490

¹⁾ Hakkila 1978.

Taulukko 9. Laikkahakkurin voimankäyttö kolmella eri puulajilla. Rinnankorkeusläpimittaluokka 5...10 cm.

Table 9. Power consumption of disc chipper for three species. Breast height diameter class 5...10 cm.

Puulaji <i>Tree species</i>	Huippuvääntömomentti, Nm <i>Peak torque, Nm</i>	Keskiteho, kW <i>Mean power, kW</i>	Energian kulutus, kWh/m ³ <i>Energy consumption, kWh/m³</i>	Tuotos, m ³ /h <i>Output, m³/h</i>
Harmaaleppä <i>Grey alder</i>	290	9,4	1,09	8,6
Kuusi <i>Spruce</i>	500	11,3	1,34	8,4
Koivu <i>Birch</i>	610	11,2	1,33	8,4



Kuva 22. Kolmen puulajin palakokojakauma laikkahakkurilla.
 Fig. 22. Particle size distribution of disc chipper for three tree species.

7. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa vertailtiin toimintaperiaatteeltaan erilaisten pienhakkureiden voimankäyttöä kolmelta taholta. Ensiksi tutkittiin hakkureiden aiheuttamaa traktorin voimansiirtojärjestelmään ja nivelakseliin kohdistuvaa rasitusta. Toiseksi verrattiin hakkurityyppien tehontarpeita keskenään. Tehontarpeen rinnalla tarkasteltiin hakkureiden tuotoksia, koska molempiin vaikuttaa puutavaran syöttötapa. Kolmanneksi tutkittiin haketustyön energiankulutusta sekä sen suhdetta hakkeen energiasisältöön eri hakkureilla. Mittauksissa valmistettu hake seuloittiin, koska palakoon oletettiin vaikuttavan voimankäyttöön.

Hakkurityyppien välisen vertailun lisäksi tutkittiin pyörimisnopeuden vaikutusta kartioruuvihakkurilla sekä eri puulajien välisiä eroja käsisyöttöisellä laikkahakkurilla.

Hakkurityyppien vertailussa haketettiin jäätyneitä harmaaleppärankoja, jotka oli lajiteltu kolmeen rinnankorkeusläpimittaluokkaan (2...5 cm, 5...10 cm ja 10...15 cm). Puulajien välisessä vertailussa käytettiin rinnankorkeusläpimitaltaan 5...10 cm:n paksuista harmaaleppä-, kuusi- ja koivurankaa. Kaikki rangat mitattiin yksitellen läpimittaluokittaisen jaottelun yhteydessä.

Hakkurityyppien vertailu suoritettiin voimannoitakselin pyörintänopeudella 630 1/min. Korkeimmat huippuvääntömomentin arvot olivat siipiterähakkurilla ja kartioruuvihakkurilla. Molemmilla laikkahakkurityypeillä huippuvääntömomentti jäi selvästi muita alhaisemmaksi kaikilla rangan paksuuksilla. Siipiterähakkurille ja kartioruuvihakkurille on ominaista rasituksen epätasaisuus, mikä näkyy selvästi ajan funktiona esitetystä vääntömomentissa. Tasaisimmat vääntömomenttikäyrät saatiin hydraulisyöttöisille hakkureille sekä käsisyöttöiselle laikkahakkurille.

Mittausten perusteella näyttää hakkurin teräpyörän suurella massalla ja läpimitalla sekä hydraulisella syöttöllä olevan voimansiirtoon kohdistuvia iskumaisia kuormituksia vähentävä vaikutus.

Hakkureiden tehontarpeita verrattiin toisiinsa mittaamalla niiden haketustyössä tarvitsema keskiteho. Hydrauliiikan vaatiman tehon ja pienen palakoon vuoksi oli pienillä rangoilla tehontarve suurempi hydraulisyöttöisillä kuin käsisyöttöisillä hakkureilla. Suuremmilla rangoilla hydraulisyöttö alensi syöttönopeutta suhteessa käsisyöttöön, minkä johdosta tehontarpeiden erot pienenivät. Kahdessa isoimmassa läpimittaluokassa suurin tehontarve oli hydraulisyöttöisellä rumpuhakkurilla.

Suuren palakoon johdosta alhaisin energiankulutus oli siipiterähakkurilla. Kartioruuvihakkurin ja käsisyöttöisen laikkahakkurin energiankulutukset olivat samaa suuruusluokkaa. Selvästi eniten energiaa käytti hydraulisyöttöinen rumpuhakkuri kaikissa läpimittaluokissa. Teholliseen haketukseen käytetyn polttonesteen energiasisältö vastasi 0,1...0,6 % hakkeen energiasisällöstä hakkurityypistä riippuen. Käytännössä koneiden välisillä eroilla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, koska tehollisen haketuksen polttoainekulutuksen osuus on suhteellisen pieni haketustyön kokonaiskulu-

tuksesta.

Kartioruuvihakkurin kierrosluvun nostaminen 630:stä 780:een 1/min pienensi vääntömomenttihuippuja noin neljänneksellä. Kierrosluvulla 1000 1/min rasiutus putosi noin puoleen alkuperäisestä.

Puulajin vaikutus näkyy selvimmin voimansiirtojärjestelmään kohdistuvassa rasiutuksessa: koivulla huippuvääntömomentti oli yli kaksinkertainen leppään verrattuna

käsisyöttöisellä laikkahakkurilla tehdyissä kokeissa.

Mittauksissa saatujen kokemusten perusteella näyttäisi tarpeelliselta tehdä vielä jatkotutkimuksia erityisesti hakkurin leikkaavien terien kunnan vaikutuksesta voimankäyttöön. Näihin mittauksiin olisi luontevasti yhdistettävissä palakoon säädön vaikutusten tutkiminen.

KIRJALLISUUS

- Flishugg Hs-500 Hd. Statens Maskinprovningar 1981. Meddelande 2669:1—7.
- HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. *Folia For.* 342:1—38.
- & KALAJA, H. 1981. Kopo palahakejärjestelmä. *Folia For.* 467:1—24.
- LAHTINEN, A. & LAASASENAHO, J. 1979. On The Construction of Taper Curves by Using Spline Functions. Seloste: Runkokäyrän muodostaminen splini-funktiolla. *Commun. Inst. For. Fenn.* 95(8).

- MURTO, J.O. & KIVIMAA, E. 1951. Selluloosapuun lastutus II. Teollisuuden keskuslaboratorion tiedonantoja 66—68.
- PAHLITZSCH, R. & SOMMER, I. 1965. Erzeugung von Holzschneidspänen mit einem Messerwellen — Spaner. *Holz Roh- u. Werkstoff.* 1965(10):403—412.
- PAPWORTH, R.L. & ERICKSON, J.R. 1966. Power Requirements for Producing Wood Chips. *For. Prod. J.* 16(10):31—36.

SUMMARY

This study made a 'three angled' examination of the power consumption of various small chippers which operate according to different working principles.

Firstly, a study was made of the effect of the chipper on the tractor power transmission and the strain on the drive shaft. Secondly, a comparison was made of the power requirements of different chipper types. Chipper output was examined simultaneously with power requirement because both are affected by the method of stem feed. Thirdly, a study was made of the energy consumed during chipping, also in proportion to the energy content of chips produced. During the investigation chips were screened because it was assumed that particle size affects power consumption.

In addition to the comparison between chipper types, studies were also made of the effects of rotation speed in the conescrew chipper and the variations in chipping properties of different tree species processed by the manually fed disc chipper.

In the chipper type comparison, the chipping material consisted of frozen grey alder stems graded into 3 dbh classes (2—5 cm, 5—10 cm and 10—15 cm). In the species comparison, 5—10 cm diameter poles of grey alder, Norway spruce and birch were used. All poles were measured individually during sorting into diameter classes.

The comparisons of chipper type were made using a p.t.o. speed of 630 revolutions per minute. The highest peak torques were registered by the wingblade chipper and the conescrew chipper. In both disc chippers the peak torque was markedly lower than in other types for all pole diameters.

The wingblade chipper and conescrew chipper have the inconvenience of uneven working, which is clearly visible when torque is expressed as a function of time. The most even torque graphs were produced by the hydraulically fed chippers and the manually fed disc chipper.

According to measurements it is evident that the use of hydraulic feed and heavy, large diameter cutting wheels dampens the strain on the power transmission caused by sudden loads.

The power requirements of the chippers were compared by measuring their mean power needs during chipping. With small stems the power requirement of hydraulically fed chippers is higher than that of manually fed chippers because of the hydraulic drive power drain and the small size of chips. With larger stems, hydraulically fed chippers have a reduced output in comparison to manually fed machines and as a result of this their power requirements are approximately similar. In the two largest diameter classes the drum

chipper possessed the highest mean power requirement.

Because of the large chip size produced the wingblade chipper had the lowest energy consumption. The conescrew chipper and manually fed disc chipper had similar energy requirements. The hydraulically fed drum chipper had clearly the highest energy consumption in all diameter classes. The tractor fuel used during chipping corresponded to 0,1—0,6 % of the energy content of chips produced, depending on chipper type.

Raising the revolution speed of the conescrew chipper from 630 r.p.m. to 780 r.p.m. and 1000 r.p.m. reduced

the peak torque by approximately one quarter and a half respectively.

The difference between tree species showed most clearly in the strain on the transmission system: in experiments with the hand fed disc chipper the peak torque with birch was double that recorded with alder.

On the basis of investigations to date it appears that further experiments are needed, especially regarding the effect of chipper knife condition on power use. It would be natural to include the effect of particle size in these studies.

ODC 363.7
ISBN 951-40-0547-3
ISSN 0015-5543

HEIKKA, T. & PIIRAINEN, K. 1981. Pienhakkureiden voimankäyttö. Summary: Power consumption of small chippers. *Folia For.* 496:1—22.

Power and energy consumption and torque caused by farm tractor fitted fuel wood chippers were studied. The measurements were based on the torque measured at tractors power take-off (p.t.o.) shaft. The publication also presents the effect of different p.t.o. speeds and tree species, both at one small chipper type.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 363.7
ISBN 951-40-0547-3
ISSN 0015-5543

HEIKKA, T. & PIIRAINEN, K. 1981. Pienhakkureiden voimankäyttö. Summary: Power consumption of small chippers. *Folia For.* 496:1—22.

Power and energy consumption and torque caused by farm tractor fitted fuel wood chippers were studied. The measurements were based on the torque measured at tractors power take-off (p.t.o.) shaft. The publication also presents the effect of different p.t.o. speeds and tree species, both at one small chipper type.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

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

Ojajoen koeasema
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:* PL 88
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 311

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

- No 475 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1980.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1980.
- No 476 Jalkanen, Risto: Harmaakariste männyllä. Kirjallisuuskatsaus.
Lophodermella sulcigena on pines. A literature review.
- No 477 Veijalainen, Heikki: Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla.
Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil.
- No 478 Kellomäki, Seppo & Tuimala, Aili: Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä.
Effect of stand density on branchiness of young Scots pines.
- No 479 Saramäki, Jussi & Valtanen, Eila: Toistuvan typpilannoituksen vaikutus nuoren metsikön rakenteeseen ja kehitykseen.
The effect of repeated nitrogen fertilization on the structure and development of the young pine and spruce stands.
- No 480 Hovila, Pekka: TT 1000 TU ja TT 1000 TS kokopuuhaakurit.
TT 1000 TU and TT 1000 TS whole-tree chippers.
- No 481 Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräällä Kainuun vaara-alueen paksuturpeisilla soilla.
Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu.
- No 482 Lipas, Erkki: Faktoriaalisen lannoituskokeen tulosten tulkinta.
Interpretation of the results from factorial fertilization experiments.
- No 483 Salminen, Sakari: Vuosien 1971—75 valtakunnallisia metsävaratietoja karttamuodossa.
A cartographic presentation of forest resources in Finland 1971—75.
- No 484 Aarne, Martti: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat 1979.
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1979 by districts.
- No 485 Kurkela, Timo: Versosyöpä (*Gremmeniella abietina*) riukuasteen männiköissä.
Canker and die-back of Scots pine at precommercial stage caused by *Gremmeniella abietina*.
- No 486 Oikarinen, Matti & Pyykkönen, Juhani: Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla.
The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtilus spruce swamp in Ostrobothnia.
- No 487 Löytyniemi, Kari: Typpilannoituksen ja neulasten ravinnepitoisuuden vaikutus hirven mäntyraivannon valintaan.
Nitrogen fertilization and nutrient contents in Scots pine in relation to the browsing preference by moose (*Alces alces*).
- No 488 Juslin, Heikki, Leinonen, Matti & Lonkila, Markku: Omat myyntikonttorit mekaanisen metsäteollisuuden vientimarkkinointikanavien kehitysvaihtoehtona.
Sales offices as an alternative of developing the export marketing channels of Finnish mechanical wood industry.
- No 489 Kellomäki, Seppo: Mäntysahatukkien laadun ja sydänpuosuuden yhteys tukin ulkoiisiin tunnuksiin.
Quality of pine logs and proportion of heartwood as related to properties of the logs.
- No 490 Hyppönen, Mikko: Kantohintojen alueittaiset muutokset Pohjois-Suomessa.
Stumpage price changes in northern Finland by districts.
- No 491 Salo, Esko & Vuorivirta, Juhani: Yksityismetsien raakapuun hakkuu-, luovutusmittaus- ja toimitustavat vuosina 1974—76.
Cutting, delivery and measurement methods of roundwood in private forests in Finland in 1974—76.
- No 492 Teivainen, Terttu, Kananen, Aino & Kuhlman, Eeva: Vesimyrän aiheuttamat tuhot männyn siemenviljelmillä Keski-Suomessa vuonna 1979/80.
Water vole (*Arvicola terrestris*) damage in Scots pine seed orchards in Central Finland during 1979/80.
- No 493 Ferm, Ari & Sepponen, Pentti: Aurasjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana.
Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years.
- No 494 Vanhanen, Heidi & Pajunen, Leevi: Metsurin työvälinekustannukset 1980.
Forest workers' equipment costs in Finland in 1980.
- No 495 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1979—81.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1979—81.
- No 496 Heikka, Timo & Piirainen, Kimmo: Pienhakkureiden voimankäyttö.
Power consumption of small chippers.
- No 497 Heikkilä, Risto: Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa.
Damage in Scots pine plantations in northern Finland.
- No 498 Rantamäula, Jari: Hakkuutähteiden haketus kevyellä kalustolla.
Chipping logging residues with light-weight equipment.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomoneiteita koskevat pyynnöt 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.