

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN  
TIEDONANTOJA 268



METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO  
METSÄTYÖTIETEEN TUTKIMUSSUUNTA



HANNU KALAJA

RUMPUHAKKURI TT 54 R 12

HELSINKI 1987



METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 268

Metsäteknologian tutkimusosasto

Metsätyötieteen tutkimussuunta

HANNU KALAJA

RUMPUHAKKURI TT 54 R 12

SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	1
1. PUIDEN BIOMASSA REHUNA JA MAANPARANNUSAINENA ..	4
2. HAKKURIN TEKNISET TIEDOT .....	9
3. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO .....	11
4. HAKKURIN TUOTOS .....	12
5. HAKKURIN VOIMANKÄYTTÖ .....	16
6. HAKKEEN PALAKOKO JA PAINO .....	19
7. YHTEENVETO .....	25
KIRJALLISUUS .....	28

## ALKUSANAT

Öljyn hinnan jyrkkä kohoaminen antoi 1970-luvulla vauhtia kotimaisen energian käytölle. Varsinkin maatilataloudessa, missä on noin 200 000 aktiivitilaa, puun käyttö hakkeena lisääntyi voimakkaasti. Hakkeen syöttölaitteet ovat automatisoituneet, minkä seurauksena hakkeen laatuun joudutaan kiinnittämään yhä enemmän huomiota.

Markkinoilla olevissa hakkureissa on usein heikkoutena se, että pienestä kokopuusta tai hakkuutähteestä tehtyyn hakkeeseen jää tikkuja ja kapuloita. Nämä tukkivat ja rikkovat hakkeen syöttö- ja kuljetinlaitteita aiheuttaen lämmityksessä häiriöitä.

Suomessa mautilojen pienpuuhake ohjautuu lähes yksinomaan polttoon, mutta esimerkiksi Neuvostoliitossa ja Filippiineillä käytetään puun viherosia karjan rehuna. Perusyhtymän Hämeenlinnan konepaja on kehittänyt kevyen maataloustraktorisoitteen rumpuhakkurin, joka on tarkoitettu sekä rehu- että polttihakkeen valmistukseen ja lisäksi metsäbiomassan kompostointikäyttöön. Tällä TT 54 R -hakkurilla suoritettiin vuoden 1986 kevään ja kesän aikana useita haketuskokeita. Mitauksia tehtiin Vihdissä Laalahden tilalla. Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla suoritettiin kompostointikokeita.

Kokeissa olivat mukana Vihdissä Risto ja Timo Laalahti ja Suonenjoella taimitarhanhoitaja Leo Tervo ja kenttämestari Jussi Nuutinen. Perusyhtymän Hämeenlinnan konepajan puolesta tutkimuksen suorittamista edesauttoi vientipäällikkö Pekka Salonen.

Metsäntutkimuslaitoksessa aineiston keruusta vastasi metsätalousteknikko Tapio Nevalainen. Työssä avustivat myös tutkimusmestari Tapio Järvinen sekä tutkimusapulainen Jaakko Kalaja. Hakkeen voimankäytön mittauksen tulostuksen suoritti kenttämestari Kari Sauvala. Konekirjoitustyön tekivät Heidi Koskinen ja Maija Tuuri. Painatukseen liittyvistä töistä vastasivat tutkimussihteerit Pirkko Kinanen ja Raija Siekinen. Kansikuvan on kuvannut Erkki Oksanen. Käsikirjoituksen tarkasti professori Pentti Hakkila.

Parhaat kiitokset kaikille mukana olleille.

Helsingissä huhtikuussa 1987

Hannu Kalaja

## 1. PUIDEN BIOMASSA REHUNA JA MAANPARANNUSAINEENA

Puiden lehtiä on perinteisesti käytetty eläinten rehuna. Lehdksillä on katsottu olevan ravinnon lisäksi tärkeä terveydellinen merkitys puutostilojen estämisessä ja parantamisesakin. Puiden vihreissä osissa, joita ovat lehdet, neulaset, silmut ja nuoret versot, on runsaasti klorofylliä, karotiiinia, eteerisiä öljyjä, E- ja B-ryhmien vitamiineja ja monia muita aineita. Puun viherainesta ja siitä saatavia tuotteita käytetään pienessä määrin karjataloudessa, parfyymiteollisuudessa ja lääketieteessä.

Puiden biomassan vitamiinipitoisuus riippuu useasta tekijästä. Puun ikä, lehtien ja neulasten ikä, kasvupaikka, vuodenaika, valaistusolosuhteet ym. vaikuttavat lähes kaikkien vitamiinien, erityisesti karoteenin ja C-vitamiinin määriin. Eniten vitamiineja on puun viherosissa, vähiten puuaineessa vaihdellen vuodenaikojen mukaan (Voipio 1987).

Energiapuutuotannon yhteydessä syntyy lehti ja muuta pehmytsolukkoa 4 - 5 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta. Tämän biomassan onnistunut säilöntä ja samalla tapahtuva sulavuuden nousu ja typpimäärän sekä sen käyttöarvon lisääntyminen eläimien ruuansulatuselimistössä voi tuoda uusia näkökohtia karjan ruokintaan ja luoda entistä paremman taloudellisen pohjan myös pienpuun perinteiselle käytölle (Tuomikoski 1981).

Peurojen talviruokinnassa on puitten biomassaa hyödynnetty AIV-menetelmää käyttäen. Riistan rehuksi parhaita viherbiomassa-ainesta saadaan 1 - 2 vuotiaasta, vähän puuainesta sisältävästä pajuvesakosta. Nämä tulee korjata alkukesällä kesäkuun loppuun mennessä, jolloin valkuaisainepitoisuus on suurimmillaan (Hänninen ja Ala-Ajos 1986).

Karjataloudessa voidaan kesäisin antaa 2 - 3 kg tuoreesta pienpuusta valmistettua puuapetta eläintä kohti päivässä. Talvella valmista säilöttyä puuapetta sekä tuoretavaraa voidaan antaa molempia parisen kiloa. Puuapteen käytön jälkeen on havaittu maidontuotoksessa nousua. Myös maidon rasva- ja valkuaisainepitoisuudessa on tapahtunut nousua. Naudan ruuansulatus käyttää puuapteen tehokkaasti hyväkseen, eikä hajotamattomia neulasia jää ruuansulatuksessa jäljelle. Havupuupitoisenkaan puuapteen ei ole todettu aiheuttavan maidossa makuhaittoja (Tuoriniemi 1985).

Tutkiessaan energiametsän kasvatuskokeissa lehtimassaa karjan rehuna ovat Näsi ja Pohjonen (1981) päässeet seuraaviin tuloksiin. Lehtien osuus vesipajulla (*Salix cv. aquatica*) oli 31 % ja koripajulla (*S. viminalis*) 16 % koko biomassan tuotannosta. Lehtien kuiva-ainetuotos oli 3 - 5 t/ha. Pajunlehtien kuiva-ainepitoisuus oli 27 % ja kemiallinen koostumus oli kuivamassasta laskettuna seuraava: tuhka 7,7 %, raakaproteiini 19,5 %, raakarasva 4,9 % ja raakakuitu 14,1 %. Pajun-

lehtien tanniinipitoisuus oli 4,1 ja lepänlehtien 3,4 %. Lannoitus vaikutti pajunlehtien raakaproteiinin ja tuhkan pitoisuuksiin. Lepänlehtien kuitupitoisuus oli korkeampi kuin pajunlehtien. Pajunlehdet sisälsivät kalsiumia 10 g/kg/ka, fosforia 3 g/kg/ka ja magnesiumia 2,8 g/kg/ka. Hivenainepitoisuudet olivat myös korkeita. Korkean raakavalkuais- ja kivennäispitoisuuden takia pienpuuston lehtimassa on suhteellisen hyvälaatuinen rehulähde sekä koti- että riistaeläimille.



Kuva 1. Nuoren kuusipuun tuoreista oksista hakettua haketta. (Valokuva Erkki Oksanen).



Taulukko 1. Ruokinnan kannalta tärkeät neulasten ja lehtien komponentit (Kalnins ja Ievin 1968).

Komponentti	Männyn havut mg/kg	Kuusen havut mg/kg	Koivun lehdet mg/kg
Klorofylli	alle 15 000	5000-14 000	380 (155-527)
Karotiini	186 (97-367)	183 (70-244)	380 (155-527)
Vitamiini E	alle 360	alle 350	-
Vitamiini B	10	11	13
Askorbiinihappo (vitamiini C)	2040-9973	2569-14430	3330-11800
Rauta	156 (100-187)	178 (116-320)	220
Mangaani	316 (292-340)	318 (53-749)	300-500
Sinkki	30 (9-94)	29 (27-32)	67-86
Kupari	7 (3-9)	14 (5-23)	6-27
Koboltti	0,05-0,16	0,075 (0,015-0,158)	0,08-0,13
Polysakkaridit, %	36	35	16-18

"Vihreä aines" sisältää karotiinia havupuissa 90 - 350 mg/kg ja lehtipuissa 180 - 380 mg/kg kuivaa ainetta kohti laskettu-  
na. Kuiva heinä sisältää vastaavasti karotiinia 70 - 420  
mg/kg. Havujen ja lehtien tärkeimmät komponentit on esitetty  
taulukossa 1 (Kalnins ja Ievin 1968).

Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla selvitet-  
tiin leppäkokopuuhaakkeen vaikutusta taimitarhamaan ominai-

suuksiin (Rikala ja Tervo 1986). Koeruuduille levitettiin tuoretta haketta 3 cm:n vahvuksena kerroksena. Hake sekoitettiin alustaan tavanomaisella maatalousjyrsimellä. Eräillä haketta saaneilla koeruuduilla taimien neulaset olivat pitempiä ja taimien kokonaiskuivapaino suurempi kuin vertailuruuduilla. Neulasten typpipitoisuus oli yleensä korkeampi kuin vertailutaimissa, mutta kaliumpitoisuuden suhteen tilanne oli päinvastainen. Hake alkaa vähitellen maatua ja vapauttaa orgaaniseen muotoon sitoutunutta typpeä, mikä näkyy myös neulasten typpipitoisuuden kohoamisena.



Kuva 2. Pienipalaisen tuoreen leppäkokopuuhakkeen levitystä taimitarhamaahan maanparannusaineeksi.

## 2. HAKKURIN TEKNISET TIEDOT

Rehuhakkuri TT 54 R 12 on rakenteeltaan yksinkertainen ja vankea. Se käsittää rumpuhakkurin, syöttölaitteen, hakeputki- ja hydraulikkajärjestelmän. Yksikkö liitetään suoraan voimakoneena toimivan traktorin kolmipistekiinnitykseen. Voimansiirto tapahtuu nivelakselin välityksellä traktorin ulosottoakselista nopeudella 1000 r/min. Valmistaja suosittelee käytettäväksi 25 - 30 kW:n maataloustraktoria.

Hakkurin rummussa on 12 terää, jotka on nopea vaihtaa. Syöttöaukon alareunassa on vastaterä, joka voidaan kääntää neljään eri asentoon ennen uutta teroitusta. Hakkeen pituutta säädetään portaattomasti syöttörullan pyörimisnopeudella.

Syöttölaitteessa on yläpuolinen syöttörulla, johon voima siirretään hydraulisesti. Hydraulikkaa käyttää traktorin pumppu. Syöttönopeutta voidaan säätää portaattomasti vastaamaan lastun pituutta 3 - 8 mm. Alapuolella on vapaasti pyörivä rulla.

Hakkuri on asennettavissa pienen hydraulinosturin runkoon, jolloin kokopuut voidaan syöttää hakkuriin hydraulinosturilla. Muu materiaali, kuten oksat, syötetään käsin.

**Rumpuhakkuri**

Rummun halkaisija	500 mm
Teriä	12 kpl
Vastateriä	1 kpl
Pyörimisnopeus	1000 r/min
Syöttöaukon leveys	350 mm
Syöttöaukon korkeus	143 mm
Hakkeen pituus säädettävissä	3-8 mm
Hakkurin ura-akseli ASEA	1 3/8 " 6-urainen
Tehontarve	10-20 kW

Hakeputki on kiinteä. Putken päässä olevaa lippaa säädetään putken kyljessä olevalla tangolla. Puhallus tapahtuu syöttösuunnasta vasemmalle.

**Hakkurin mitat**

Pituus	1700 mm
Leveys	1250 mm
Korkeus	2000 mm
Paino	550 kg

Valmistus ja myynti Perusyhtymä Oy, Hämeenlinnan konepaja, PL 37, 13101 Hämeenlinna.



Kuva 3. Hydraulisyöttöinen TT 54 R 12 -rumpuhakkuri.  
(Valokuva Perusyhtymä).

### 3. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Haketuskokeissa selvitettiin hakkurin tuotosta ja hakkeen laatua seuraavista raaka-aineista: Ensiharvennumänty- ja ensiharvennuskuusipuun oksia; pieni koivukokopuu lehdettömänä ja kesällä täydessä lehdessä. Lisäksi hakettiin vielä pientä pajuvoittoista sekalehtipuuta keväällä lehdettä ja

kesällä lehtineen. Kompostointikokeisiin haketettiin nopea- kasvuista pajua ja pientä leppäkokopuuta lehtineen. Kaikki raaka-aineet olivat tuoreita.

Hakkuria syötettiin käsin. Haketuksessa mitattiin tehollinen haketusaika sekä hakettavien puitten lukumäärä.

Haketuksen voimankäyttöä ja akseliin kohdistuvaa vääntömomenttia tutkittiin karsitulla leppä- ja koivurangalla sekä sulalla että jäätyneellä puulla.

Osalla työmaista hakkeesta mitattiin kuutiometripaino tuoreena ja otettiin kosteusnäytteet. Hakenäytteet seulottiin sekä reikä- että rakoseulalla.

Vihdin kokeissa hake käytettiin lihakarjan ruokintaan. Karjanhoitajan mukaan mieluisinta haketta oli haapa-, paju- ja koivusekahake, mutta myös männyn oksahake kelpasi hyvin.

#### 4. HAKKURIN TUOTOS

Hakkurin tuotos riippuu monesta muustakin seikasta kuin pelkästään hakkurin tehosta. Esimerkiksi puun koko ja työmaan järjestely vaikuttavat tuotokseen. Hakkeen palakokoa suurentamalla tuotos nousee. Pienhakkurin syöttö tapahtuu useimmi-

ten käsin, ja tällöin puiden syöttäjä vaikuttaa paljon tuotokseen. Pienhakkureita käytettäessä ovat hakkeen tasainen palakoko ja tikuttomuus kuitenkin usein tärkeämpiä kuin pienet tuotoserot haketuksessa.

Osa haketettavista puista ajettiin hakkurin läpi maksimipalana, osa aivan pienenä palana. Suurin osa raaka-aineesta hakettiin 5 mm:n teräsäädöllä. Tuotosmittauksissa haketettavat puut olivat rinnankorkeusläpimitaltaan alle 5 cm. Tutkimusaineiston suuruus oli noin  $75 \text{ i-m}^3$ . Taulukossa 2 on esitetty haketustuloksia erilaisilla raaka-aineilla.

Taulukko 2. TT 54 R 12 -rumpuhakkurin tuotos haketettaessa erilaista raaka-ainetta. Syöttö käsin.

Tuotostiedot	Leppä		Koivu		Seka- lehtipuu		Paju	Mänty	Kuusi
	Lehtineen	Lehti- neen	Lehti- dettä	Leh- dettä	Lehti- neen	Leh- dettä	Lehti- neen	Oksat neulasineen	
Rungon tilavuus, $\text{dm}^3$	3,7	2,6	5,4	6,5	4,2	3,8	1,1	-	-
Tuotos, $\text{i-m}^3/\text{h}$	11,8	6,9	12,0	7,8	5,2	4,2	11,5	3,6	4,6
Tuotos, t/h kuivana	*	*	2,0	1,3	0,7	0,6	*	0,3	0,5
Tyhjänäpyörimisaika, %	19	0	6	26	30	62	0	55	16
Kuivamassa, $\text{kg/i-m}^3$	*	*	165	167	140	153	*	91	112
Nimellispituus, mm	7	3	5	5	5	5	3	5	5

\* Hakkeen painotiedot puuttuvat

Puuraaka-aineitten välillä oli tuotoksissa suuriakin eroja, mutta ne johtunevat paljolti työmaajärjestelyistä. Leppä- ja koivukokopuulla tehollinen haketustuotos oli  $12 \text{ i-m}^3/\text{h}$ . Samaa suuruusluokkaa oli tuotos myös lehdellisellä pajukokopuulla puun pienestä koosta ja lyhyestä hakepalasta huolimatta. Pajut näet syötettiin nipuissa, ja lisäksi pajua haketettaessa puukasat olivat suuria ja lähellä hakkurin syöttölaitetta.

Sekalehtipuulla tuotos oli huomattavasti pienempi, mutta tämä lienee johtunut puukasojen epäedullisesta sijainnista hakkurin syöttölaitteeseen nähden. Kasat olivat näet osittain ojan penkalla, mistä siirto syöttölaitteeseen oli vaikeata ja hidasta. Samoin lehdetöntä koivukokopuuta haketettaessa kasat olivat osittain ojan takana, mikä hidastutti syöttöä.

Leppäkokopuun haketustuotos jäi minimipalakoolla lähes  $5 \text{ i-m}^3/\text{h}$  pienemmäksi kuin maksimipalakoolla. Pientä palaa haketettaessa syöttönopeus on hidas, ja tämä taas vaikuttaa hakkurin tuotokseen.

Ensiharvennumännyn ja -kuusen oksat haketettiin neulasineen. Tuotos oli männyn oksilla  $3,6$  ja kuusen oksilla  $4,6 \text{ i-m}^3/\text{h}$ .

Kun hakkuri oli säädettyä  $3 \text{ mm:n}$  minimipalalle, ei tyhjänä pyörimistä esiintynyt. Nopeus oli niin alhainen, että syöttäjä ehti aina asettaa syöttölaitteeseen uuden taakan ennen



kuin edellinen oli mennyt kokonaisuudessaan hakkuriin.

Kuiva-aineena mitattu haketustuotos oli suurin lehdellisellä koivukokopuulla, 2,0 t tehollista haketustuntia kohti. Pienten havupuiden oksilla tuotos oli tuskin 0,5 t/h.

Taulukossa 3 vertaillaan hakkurin tuotosta palan nimellispi- tuudesta riippuen. Tuotos oli pienemmästä runkokoosta huoli- matta korkein 7 mm:n säädöllä. Tuotos oli  $12 \text{ i-m}^3/\text{h}$  ja hakku- rin tyhjänäpyörimisaika 15 % tehollisesta haketusajasta. Palakoon pienentyessä 5 mm:iin tuotos pysyi lähes samana, koska runkokoko oli tuolloin hieman suurempi.

Kuivamassana mitaten tuotos oli 5 mm:n palakoolla 2,0 t teho- tuntia kohden. Maksimipalakoolla tuotos jäi hieman pienem- mäksi eli 1,8 t/h. Minimipalaa tehtäessä tuotos jäi hieman alle tonnin.

Hakkurin tyhjänäpyörimisaika oli 5 mm:n nimellispiteudella 6 % tehollisesta haketusajasta. Teräsäädön ollessa pienimmil- lään eli 3 mm:ssä tuotos oli lähes  $7 \text{ i-m}^3/\text{h}$  ja tyhjänäpyöri- misaika vain 4 %.

Taulukko 3. TT 54 R 12 -rumpuhakkurin tuotos pieniläpimitaista koivukokopuuta lehtineen haketettaessa palan nimellispiteudesta riippuen.

Tuotostiedot	Hakkeen nimellispiteus, mm		
	3	5	7
Rungon tilavuus, dm <sup>3</sup>	6,2	5,4	3,8
Tuotos, i-m <sup>3</sup> /h	6,9	12,0	12,2
Tuotos, t/h kuivana	0,9	2,0	1,8
Hakkurin tyhjänäpyörimisaika, %	4	6	15
Hakkeen paino, kg/i-m <sup>3</sup> kuivana	134	165	151

## 5. HAKKURIN VOIMANKÄYTTÖ

Voimankäyttöön vaikuttavat monet tekijät. Puun paloitteluun tarvittavaan leikkausvoimaan vaikuttaa suuresti leikkaussuunta puun syihin nähden. Puun syiden ja leikkaussuunnan välisen kulman kasvaessa kasvaa myös tarvittava leikkausvoima. Selvimmin haketuksen voimankäyttöön vaikuttaa terän teroituskulma. Samoin terien tylsyminen kasvattaa selvästi energiankulutusta. Energiankulutus on tylsillä terillä 50 % suurempi kuin terävillä (Heikka ja Piirainen 1981).

Taulukko 4. Voimankäyttötutkimuksessa hakettujen rankojen keskimääräisiä mittoja.

Puulaji	Läpimit- taluokka, cm	Rankojen lukumäärä, kpl	$D_{1,3}$ , cm	Pituus, m	Tila- vuus, $dm^3$	Rangan kosteus, %	$D_k$ , cm
Sula puu							
Leppä	0-5	25	4,0	5,1	5,4	52,3	5,2
Koivu	0-5	10	4,2	5,6	6,2	48,6	5,4
Leppä	5-10	20	6,4	7,1	15,9	53,1	7,9
Koivu	5-10	10	6,1	6,6	14,4	47,5	7,3
Jäinen puu							
Leppä	0-5	15	3,4	4,4	3,4	52,8	4,6
Koivu	0-5	15	3,9	4,0	4,7	45,6	5,6
Leppä	5-10	15	7,1	6,6	17,6	53,8	8,9
Koivu	5-10	15	7,9	7,6	25,9	47,0	9,6

Voimankäyttöä ja voimanottoakseliin kohdistuvaa vääntömomenttia tutkittiin karsitulla, tuoreella leppä- ja koivurangalla. Talvella mitatut rangat olivat vahvasti jäässä. Rangat jaettiin kantoläpimitan mukaan kahteen läpimittalukuun 0 - 5 cm ja 5 - 10 cm (taulukko 4).

Taulukossa 5 on esitetty 12-teräisen TT 54 R -rumpuhakkurin vääntömomentti ja energiankäyttö sekä sulaa että jäätyneitä kaatotuoetta leppä- ja koivurankaa hakettaessa.

Taulukko 5. 12-teräisen TT 54 R -rumpuhakkurin vääntömomentti-, teho-, tuotos- ja energiankulutustietoja.

Puutavara	Huippuvääntö- momentin keski- arvo, Nm	Akselin nopeus l/min	Keski- teho, kW	Tuotos, m <sup>3</sup> /h	Energian- kulutus, kWh/m <sup>3</sup>	Syöttö- nopeus m/min
<b>Sula puu</b>						
Leppä 0-5 cm	116	979	7	2,37	3,24	37
Koivu 0-5 cm	172	981	5	1,76	3,26	35
Leppä 5-10 cm	344	972	13	4,61	3,01	34
Koivu 5-10 cm	286	976	11	4,55	2,89	35
<b>Jäinen puu</b>						
Leppä 0-5 cm	75	923	2	1,04	2,46	21
Koivu 0-5 cm	132	974	4	1,52	3,24	22
Leppä 5-10 cm	260	970	10	3,24	3,27	20
Koivu 5-10 cm	333	969	21	4,48	4,77	22

Energiankäyttö oli samaa suuruusluokkaa kuin Heikan ja Piiraisen (1981) tutkimuksessa hydraulisyöttöisestä rumpuhakkurista: keskimäärin noin 3 kWh/m<sup>3</sup> sulalla leppä- ja koivurangalla. Tässä tutkimuksessa 5 - 10 cm:n, jäisen koivurangan haketuksen energiankulutus oli 4,8 kWh/m<sup>3</sup>, mikä oli huomattavasti muita korkeampi. Tämä johtunee isompien rankojen tyvi-leikkausten suuresta poikkipinta-alasta, jonka merkitys korostuu jäisellä puulla. Sulalla leppä- ja koivurangalla energiankulutus oli suurempi rinnankorkeudeltaan pienemmillä ran-

goilla. Tämä johtunee hydrauliiikan energiankulutuksen korostumisesta, kun tuotos on alhainen. Jäisillä rangoilla kulutus oli suurempi isoilla puilla.

Rankakohtaiset huippuvääntömomentit olivat huomattavasti alhaisemmat kuin Nurmen (1986) tutkimuksessa Sasmo 3 S -kartio-ruuvihakkurilla. Sasmo 3 S -hakkuri tekee noin 20 mm:n hakepalaa.

## 6. HAKKEEN PALAKOKO JA PAINO

TT 54 R -hakkuria valmistetaan sekä 6- että 12-teräisenä. Haketuskokeet tehtiin 12-teräisellä hakkurilla. Hakkeen palakoko riippuu mm. syöttönopeudesta ja terien säädöstä. Valmistajan ilmoituksen mukaan hakkeen palakokoa voidaan säätää 3 - 8 mm:n rajoissa. Pientä koivukokopuuta lehtineen haketettiin 3, 5 ja 7 mm:n nimellispituuksilla. Palakokoja-kaumat mitattiin Williams-seulalla sekä reikä- että rakolevyin. Taulukossa 6 on esitetty seulontatulokset.

Hakkeen laatu näytti silmävaraisesti arvioiden hyvältä. Joukossa ei ollut tikkuja eikä kapuloita, joita monella hakkurilla pyrkii syntymään haketettaessa pieniläpimittaista kokopuuta. Tikuttomuus johtunee osittain siitä, että syöttölait-

teen vetorulla on hyvin lähellä hakkurin teriä, jolloin lyhyetkään kappaleet eivät pääse kääntymään poikittain ennen teriä. Toiseksi tikuttomuus johtunee siitä, että rummun terät ovat lähekkäin toisiaan.

Lepällä oli maksimi- ja minimisäätöjen välillä hakkeen pituusjakaumassa selviä eroja. Maksimipalaa haketettaessa yli 13 mm:n palojen osuus oli 10 prosenttiyksikköä suurempi kuin minimipalaa haketettaessa. Alle 6 mm:n purun osuus oli minimipalalla kaksinkertainen verrattuna suurempaan nimellispalakokoon. Lepän kokopuuhakkeesta oli noin 70 % alle 13 mm:n jaekokoa.

Koivukokopuuhakkeessa alle 13 mm:n palakoon osuus oli 80 %, kun hakkuri oli säädetty tekemään 5 mm:n pituista palaa. Sekalehtipuulla alle 13 mm:n palakoon osuus oli noin 70 %. Pajulla vastaava alle 13 mm:n palakoon osuus oli yli 80 %. Havupuiden oksilla pienten, alle 13 mm:n palojen osuus oli männyllä 84 % ja kuusella 89 %.

Taulukko 6. Hakkeen palakokojakauma haketettaessa TT 54 R 12 -rumpuhakkurilla alle 5 cm:n ( $d_{1,3}$ ) lehtikokopuuta ja havuvupuiden oksia.

Puulaji	Nimellis- palakoko, mm	Pituus, mm						Yht.
		0-6	6-13	13-19	19-25	25-32	32+	
		Osuus, %						
Leppä								
lehtineen	7	14,6	51,6	20,2	7,1	3,3	3,2	100,0
lehtineen	3	27,8	46,9	15,3	6,2	2,9	0,9	100,0
Koivu								
lehtineen	5	34,4	46,1	12,2	4,9	1,8	0,6	100,0
lehdettä	5	21,5	57,9	14,2	3,6	1,8	1,0	100,0
Sekalehtipuu								
lehtineen	5	18,1	53,9	20,5	5,5	1,6	0,4	100,0
lehdettä	5	24,2	44,2	14,7	13,3	2,1	1,5	100,0
Paju								
lehtineen	3	30,1	51,3	15,0	2,9	0,6	0,1	100,0
Männyn oksat								
neulasineen	5	38,4	45,6	9,1	4,2	1,3	1,4	100,0
Kuusen oksat								
neulasineen	5	52,7	36,5	9,0	1,4	0,3	0,1	100,0
Vertailuna laikkahakkuri								
Koivu								
lehtineen	6	8,1	17,0	48,4	21,2	2,5	2,8	100,0
lehtineen	21	10,5	6,5	18,4	32,1	16,3	16,2	100,0

Taulukko 6 jatkuu

Puulaji	Nimellis- palakoko, mm	Paksuus, mm						Yht.
		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10+	
Leppä								
lehtineen	7	18,1	42,1	26,6	9,9	2,5	0,8	100,0
lehtineen	3	33,5	51,6	12,9	1,3	0,4	0,3	100,0
Koivu								
lehtineen	5	25,3	66,9	6,7	1,0	-	0,1	100,0
lehdettä	5	22,8	53,1	22,5	1,5	0,1	-	100,0
Sekalehtipuu								
lehtineen	5	17,1	41,4	38,3	2,6	0,5	0,1	100,0
lehdettä	5	24,5	45,9	28,1	1,4	0,1	-	100,0
Paju								
lehtineen	3	34,6	50,6	13,7	0,9	0,2	-	100,0
Männyn oksat								
neulasineen	5	47,6	24,4	22,2	4,7	0,7	0,4	100,0
Kuusen oksat								
neulasineen	5	40,3	39,3	16,2	3,6	0,2	0,4	100,0
Vertailuna laikkahakkuri								
Koivu								
lehtineen	6	45,2	40,7	9,2	1,2	1,2	2,5	100,0
lehtineen	21	14,3	14,7	15,7	16,5	17,1	21,7	100,0



Hakkeen paksuusjakaumassa ei ollut kovin suuria eroja Metsän-tutkimuslaitoksessa aiemmin tehtyihin hakkuriselvityksiin nähden (Hovila 1981, Kalaja ja Rantamaula 1982, Uusvaara ja Verkasalo 1987). Ainoastaan laikkahakkureilla tehdyissä aikaisemmissa haketuskokeissa oli yli 6 mm:n vahvuisten palojen osuus suurempi kuin rumpuhakkurilla tässä kokeessa.

Havupuiden oksia haketettaessa alle 4 mm:n vahvuisten palojen osuus oli männyllä 72 % ja kuusella 80 %. Vaikka haketettava puuaines oli pelkkää oksaa, yli 8 mm:n vahvuisten palojen osuus oli vain 1,1 % männyllä ja 0,6 % kuusella.

Haketuskokeissa tutkittiin palakokojakaumaa erilaisilla säädöillä koivukokopuusta tehdystä hakkeesta. Taulukossa 7 on esitetty palakokojakaumat erilaisille säädöille.

Taulukko 7. Koivukokopuuhakkeen todellinen palakokojakauma säädettäessä TT 54 R 12 -rumpuhakkuri 3, 5 ja 7 mm:n nimellispiteudelle ( $D_{1,3}$  alle 5 cm).

Nimellis- pituus, mm	Pituus, mm						Yhteensä
	0-6	6-13	13-19	19-25	25-32	32+	
	Osuus, %						
3	38,0	40,8	17,8	2,7	0,6	0,1	100,0
5	34,4	46,1	12,2	4,9	1,8	0,6	100,0
7	20,2	57,3	15,5	4,4	1,9	0,7	100,0

Nimellis- pituus, mm	Paksuus, mm						Yhteensä
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10+	
	Osuus, %						
3	32,0	62,3	5,2	0,4	-	0,1	100,0
5	25,3	66,9	6,7	1,0	-	0,1	100,0
7	12,8	42,2	42,6	2,3	-	0,1	100,0

Palakoon nimellispiteuden vaikutus on näkyvin pienimmän, alle 6 mm:n pituusjakeen määrässä. Paksuusjakaumassa nimellispiteuksilla 3 mm ja 5 mm oli alle 4 mm:n palakokoa yli 90 %, mutta nimellispiteudella 7 mm vain 55 %.

Koivukokopuun palan nimellispituus ei vaikuttanut kovinkaan paljon irtokuutiometrin kuivamassaan. Pienipalaisen hakkeen kuivapaino oli  $134 \text{ kg/i-m}^3$ . Painavinta hake oli 5 mm:n palakoolla, kuivapainon ollessa  $165 \text{ kg/i-m}^3$ . Sekalehtipuun hake painoi  $140 - 153 \text{ kg/i-m}^3$ . Suurinta palaa tehtäessä paino asettui hieman yli  $150 \text{ kg:n/i-m}^3$ .

Koivukokopuuhakkeen kuivamassa painoi lehdettä  $167 \text{ kg/i-m}^3$  ja lehtineen  $165 \text{ kg/i-m}^3$ . Sekalehtipuun hake painoi  $140 - 153 \text{ kg/i-m}^3$ . Havupuiden oksilla, joissa oli runsaasti neulasia mukana, paino oli sadan kilon kahden puolen, männyllä vähemmän kuin kuusella. Kuusella paino oli  $112 \text{ kg/i-m}^3$ .

## 7. YHTEENVETO

Maataloustraktorisovitteisia pienhakkureita käytetään yleensä maatiloilla polttohakkeen valmistukseen. Hakkurit ovat enimmäkseen laikkahakkureita. Tämä tutkimus selvittelee pientä hydraulisella syöttölaitteella varustettua 12-teräistä rumpuhakkuria, jonka tekemä pienipalainen hake on tarkoitettu raaka-aineesta riippuen joko karjan rehuksi tai polttoaineksi.

Haketuskokeet tehtiin käsisyöttöisesti usealla erilaisella raaka-aineella. Tuotosmittauksissa haketettavat puut olivat

rinnankorkeudeltaan alle 5 cm:n läpimittaisia. Hakkeen palakokoa suurentamalla tuotos nousee.

Leppä- ja koivukokopuuta haketettaessa tehollinen haketustuotos oli noin  $12 \text{ i-m}^3/\text{h}$ . Lähes samaan tuotokseen päästiin pienikokoisella pajukokopuulla, jota syötettiin käsin suurissa nipuissa kerralla. Havupuiden pientä oksaa haketettaessa tuotos oli noin  $4 \text{ i-m}^3/\text{h}$ .

Kuiva-aineksi laskettuna päästiin haketustuotoksessa koivukokopuulla lehtineen kahteen tonniin tehollista haketustuntia kohden. Havupuitten oksilla päästiin tuskin puolen tonnin tuntituotokseen.

Kokopuuhakkeen kuivapaino vaihteli välillä 140 - 167 kg/i-m<sup>3</sup>. Havupuiden oksista tehdyllä hakkeella paino oli sadan kilon kahden puolen. Männyllä hake oli kaikkein keveintä.

Tuotos oli korkein, kun hakkuri oli säädetty 7 mm:n nimellis-pituudelle. Tällä säädöllä päästiin hieman yli  $12 \text{ i-m}^3/\text{h}$  tyhjänäpyörimisajan ollessa 15 %. Teräsäädön ollessa pienimmillään eli 3 mm:ssä, tuotos oli vajaa  $7 \text{ i-m}^3/\text{h}$  ja tyhjänäpyörimisaika vain 4 %.

Hakkurin energiankulutuksen suhteen tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin hydraulisyöttöisen rumpuhakkurin aikaisem-

## KIRJALLISUUS

- Heikka, T. & Piirainen, K. 1981. Pienpuuhakkureiden voimankäyttö. Summary: Power consumption of small chippers. Folia Forestalia 496. 22 s.
- Hovila, P. 1981. TT 1000 TU ja TT 1000 TS kokopuuhaakurit. Summary: TT 1000 TU and TT 1000 TS whole-tree chippers. Folia Forestalia 480. 20 s.
- Hänninen, P. & Ala-Ajos, I. 1986. Uutta purtavaa riistalle. Metsästäjä 3: 24-27.
- Kalaja, H. & Rantamaula, J. 1982. Junkkari-laikkahakurit. Abstract: Junkkari disc chippers. Folia Forestalia 513. 19 s.
- Kalnins, A.I. & Ievin, I.K. 1968. Pienpuun käyttö vitamiinijauheen ja kemiallisesti käsiteltäviksi tarkoitettujen lastujen valmistukseen. Symposium on the Mechanization of Harvesting of Small Sized Wood and Logging Residues. FAO/ECE/LOG/210, Joint Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers. Varsova 10-15. kesäkuuta 1968. Esitelmämoniste. 4 s.
- Nurmi, J. 1986. Chunking and chipping with conescrew chipper. Seloste: Palahakkeen ja hakkeen valmistus kartioruuvihakurilla. Folia Forestalia 659. 23 s.
- Näsi, M. & Pohjonen, V. 1981. Green fodder from energy forest farming. Maataloustieteen aikakausikirja 53: 16-167.
- Rikala, R. & Tervo, L. 1986. Puuhakesekotuksen vaikutus männyntuotteen koulittujen taimien kasvuun taimitarhamaassa. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema. Koeselostus. 5 s.
- Tuomikoski, V. 1981. Energiapuun sivutuotteena rehun ja metsäbiomassan säilöntä ja rehuarvon parantaminen. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 4 s.
- Tuoriniemi, H. 1985. Kaikki maistuu puulta. Seura 15. s. 106-108.
- Uusvaara, O. & Verkasalo, E. 1987. Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Summary: Solid content and other technical properties of forest chips. Folia Forestalia 683. 53 s.
- Voipio, R. 1987. Puiden biomassan vitamiinipitoisuus. Abstract: Vitamin content of tree biomass. Folia Forestalia 682. 30 s.



ISBN 951-40-0842-1  
ISSN 0358-4283

Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus