

Timo Lötjönen Ossi Mäkelä Jukka Pietilä

Oksainen hake pienpolttimissa

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimuslaitos

Osoite
Vakolantie 55
03400 VIHTI

Puhelin
(90) 224 6211

Telefax
(90) 224 6210

Institute of Agricultural Engineering

Address
Vakolantie 55
FIN-03400 VIHTI
FINLAND

Telephone int. +
358-0-224 6211

Telefax int. +
358-0-224 6210

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	3
1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
2.1 Kokeissa käytetty hake	4
2.2 Syöttökokeet	4
2.3 Polttokokeet	4
2.4 Viretulen säilyminen	4
2.5 Syöttöhäiriön vaikutus kattilan suurimpaan tehoon	5
2.6 Seulontakokeet	5
2.7 Asettumiskulmat	6
3. TULOKSET	6
3.1 Viretulen säilyminen	6
3.2 Tehokäynti rankahakkeella	7
3.3 Syöttökokeiden tulokset	9
3.4 Heikoin hyväksyttävä hakkeen laatu	9
3.5 Oksien määrän vaikutus verrattuna oksien pituuden vaikutukseen ..	11
3.6 Seulontakokeiden tulokset	11
3.7 Asettumiskulmat hakkeen laadun mittareina	12
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	13
4.1 Hakelämmitys	13
4.2 Kokopuuhakkeen sopivuus pienpolttimiin	13
4.3 Seulontatulokset	14
5. KIRJOITUKSESSA KÄYTETYJÄ KÄSITTEITÄ	15
KIRJALLISUUSLUETTELO	17

ESIPUHE

Tämä tiedote on tiivistelmä maat.-metsät. yo. Timo Lötjösen pro gradu -työstä, joka tehtiin Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitokselle VAKOLAssa vuonna 1993. VAKOLAssa tutkimuksen suunnittelivat ja sitä valvoivat tutkimusteknikko Ossi Mäkelä ja MML Jukka Pietilä. Timo Lötjönen teki kokeet, käsitteli aineiston sekä kirjoitti tutkimusraportin opinnäytetyöksi, josta Jukka Pietilä muokkasi tämän tiedotteen. Yliopistolla työtä ohjasi ja valvoi professori Aarne Pehkonen.

1. JOHDANTO

Polttohake on kooltaan sahanpurun ja klapien väliin jäävää, hakkurilla lastuttua tai murskattua puupolttoainetta. Pienpolttimiin hake tehdään yleisimmin karsituista rangoista, mutta jonkin verran käytetään myös koko- tai osapuuhaketta. Kokopuuhake tehdään hakettamalla puu oksineen ja latvoineen. Osapuuhake tehdään puista, joista on kaadon yhteydessä katkaistu latva pois, mutta joita ei ole karsittu. Sahapintoja ym. jätepuuta voidaan myös hakettaa poltettavaksi.

Nykyiset pienet stokerisyöttimet toimivat luotettavasti ja hyvällä hyötysuhteella käytettäessä tikutonta, pienipalaista ja tasalaatuista haketta. Tällaista haketta saadaan karsituista rangoista. Karsinnassa nähty vaiva korvaantuu metsäkuljetuksen, haketuksen ja ennen kaikkea lämmitystyön helpottumisena (KARES 1983). Kuitenkaan ei ole selvitetty, voiko hakkeen joukossa olla lainkaan tikkuja, ja jos voi, miten paljon.

Kokopuuhake on tikkuista, joten sen käyttö stokerissa ei onnistu yhtä hyvin kuin rankahakkeen. Pahin ongelma on kokopuuhakkeen holvaantuminen varastosäiliössä. Risut, lehdet ja neulaset takertuvat toisiinsa, eikä hake valu säiliössä alaspäin. Tällöin syöttölautanen ja ruuvi saavat huonosti otteen hakkeesta, joka siirtyy palopäähän epätasaisesti. Tämän seurauksena palamisteho heikkenee ja säädettävyys vaikeutuu. Samalla tavalla vaikuttaa risujen lajittuminen tiettyihin osiin hakesäiliötä. Kokopuuhakkeen kosteusvaihtelut ovat myös rankahaketta suurempia.

Tärkein syy koko- tai osapuuhakkeen kiinnostavuuteen on ajansäästö puun korjuussa. Karsimattomien puiden hakkuu on 2 - 3 kertaa nopeampaa kuin karsittujen puiden ja ajansäästö korostuu hakattaessa pieniläpimittaisia puita (KAHALA 1984, SIEKKINEN 1986).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon ja minkä kokoisia oksia ja tikkuja hakkeessa voi olla, jotta sen syöttö polttoon onnistuu häiriöttömästi pienitehoisella (< 50 kW) stokeripolttimella. Myös neulasjakeen vaikutus syöttöön tutkittiin. Lisäksi etsittiin seulontamenetelmä, jolla polttimiin sopivan hakkeen palakokojakauma voidaan luotettavasti mitata.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Kokeissa käytetty hake

Syöttökokeissa käytettiin rankahakkeesta, oksista ja neulasmassasta valmistettuja seoksia, joilla matkittiin erilaisia kokopuuhakkeita, jotta koehakkeiden tikku- ja neulaspiteisyydet olisi tiedetty tarkasti.

Rankahake tehtiin mäntykuitupuista, joiden latvaläpimitta oli 10 - 20 cm. Hake kuivattiin 20 - 25 %:n kosteuteen. Oksajae tehtiin koivun oksista katkomalla ne 100 tai 200 mm:n pätkiksi. Oksien paksuus vaihteli 2 - 12 mm:iin. Neulasmassa hakettiin männyn oksista, joiden kosteus oli noin 30 %. Syntyneen aineksen pituus vaihteli 1 - 10 cm ja se vastasi hyvin kokopuuhakkeiden neulasmassaa.

Koehakkeiden seossuhteet valittiin VAKOLAssa keväällä 1993 tehdyn esitutkimuksen perusteella (MÄKELÄ ja PIETILÄ 1993). Seossuhteet on esitetty taulukossa 3.

2.2. Syöttökokeet

Syöttökokeissa tutkittiin tikkuisuudeltaan erilaisten hakkeiden syötettävyyttä vakioituilla stokeripolttimen säädöillä. Koehakkeita ei poltettu, vaan syötön tasaisuutta mitattiin punnitsemalla aikayksikössä syötetyn hakkeen määrä. Näin saatiin esiin pienetkin häiriöt hakkeen syötössä. Kokeissa käytettiin 20 kW:n Veto-Talkkari-stokeripoltinta, jonka varastosäiliön tilavuus oli 450 l.

Jokaiselle seokselle laskettiin syöttökeskiarvot (g/min), keskihajonnat (g/min) ja variaatiokertoimet (%). Samanlaistenkin seosten syöttökeskiarvo vaihteli suuresti.

Syöttökokeista saaduille aikasarjoille laskettiin liukuvat keskiarvot. Laskentajaksone käytettiin 10 minuuttia ja askeleena yhtä minuuttia. Keskiarvoistuksen tarkoituksena oli suodattaa pois satunnaisvaihtelua. Näitä sarjoja verrattiin polton asettamiin vaatimuksiin.

2.3. Polttokokeet

Polttokokeissa stokerilla poltettiin tikutonta rankahaketta ja syöttöön aiheutettiin eripituisia katkoksia. Katkosten vaikutukset tehoon ja viretulen säilymiseen selvitettiin. Tulosten perusteella voitiin päätellä, mitkä syöttökokeiden hakeseokset olisivat poltettaessa aiheuttaneet liian pitkiä häiriöitä.

Kokeissa kattilaa kuormitettiin lämmönvaihtimella. Polttimen puhaltimen ilmamäärä säädettiin siten, että savukaasujen CO₂-pitoisuus oli > 12 % ja CO < 0,1 %. Hakkeen syöttönopeus valittiin niin, ettei palamatonta hiiltä tippunut tuhkatilaan.

2.4. Viretulen säilyminen

Polttimen tyhjäkäyntikokeilla selvitettiin, paljonko haketta polttimen piti vähintään saada, jotta viretuli säilyi. Koe tehtiin siten, että syöttöruuvin taukoajan pituudeksi

säädettiin valmistajan suosittelema 6 minuuttia ja ruuvin käyntiaikaa muuteltiin. Näin saatiin selville, mikä on pienin hakkeen syöttömäärä, jolla polttimen viretuli säilyy luotettavasti vähintään 7 tuntia.

Edelleen kokeiltiin, kauanko viretuli säilyy, jos syöttö on vain puolet 7 tunnin viretulen keston vaatimasta vähimmäissyötöstä. Myös nollasyöttöä kokeiltiin. Siinä kattilaa ja poltinta lämmitettiin kuumaksi noin tunnin ajan, jonka jälkeen polttimesta katkaisiin virta. Kokeilemalla etsittiin pisin seisonta-aika, jonka jälkeen poltin saatiin vielä syttymään.

2.5. Syöttöhäiriöiden vaikutus kattilan suurimpaan tehoon

Suurimman tehon kokeita edelsi kattilaveden kuumentaminen 80 °C:een ja lämmönvaihtimen kuormituksen vakioiminen. Kokeissa lämmönvaihtimen kuormitus pidettiin vakiona ja hakkeen syöttöön aiheutettiin häiriöitä, jotka kestivät kahdesta minuutista puoleen tuntiin. Häiriöiden aikana hakkeen syöttömäärää pienennettiin 0, 25 tai 50 %:iin normaalista.

Hakkeen syöttömäärän muutos ei vaikuta paljonkaan kattilan antamaan tehoon, koska kolmitieventtiili pyrkii antamaan lämmönvaihtimelle vakiotehon. Jos kattilaveden lämpötila alenee, niin kolmitieventtiili avautuu ja lisää vaihtimen ensiöpuolen virtausta aina siihen asti kunnes venttiili on täysin auki. Kattilasta saatu teho alkaa laskea vasta silloin kun kattilaveden lämpö laskee samaksi kuin on vaihtimesta lähtevän jäähdytysveden lämpötila (noin 70 °C).

Paluuveden lämpötila ei saisi laskea alle 70 °C:n, koska tällöin voi olla seurauksena kastepisterajan alittuminen ja tulipintojen syöpyminen. Tämä oli yhtenä kriteerinä syöttökokeiden tuloksia arvioitaessa (WAHLROOS 1979).

2.6. Seulontakokeet

Polttihakkeen laadun määrittämiseksi kehitettiin seula, jolla voidaan mitata hakenäytteiden sisältämien 10 cm pidempien tikkujen osuus. Seulatyypiksi valittiin vaakatasossa ravistava täryseula, koska niistä on parhaimmat kokemukset selluhakkeen koe-seulonnassa (VERKASALO 1989).

Kirjallisuuden perusteella seulojen reikien muodoksi valittiin ympyrä, koska se lajittelee parhaiten haketta pituuden mukaan (KALLIO 1983). Seuloja valmistettiin kolmea eri reikäkokoa, halkaisijoiltaan 39, 54 ja 79 mm. Jokaisessa seulassa vierekäiset reikärivit olivat limittäin toisiinsa nähden. Reikärivien keskilinjojen etäisyydet olivat pienimmässä seulakoossa 50 · 50 mm, keskimmaisessä 68 · 58 mm ja suurimassa 75 · 75 mm.

Seulontakokein valittiin valmistettujen seulojen joukosta parhaiten toimiva ja selvitetiin, säästetäänkö seulonnalla aikaa tikkujen käsinpoimintaan verrattuna.

2.7. Asettumiskulmat

Kokeilemalla tutkittiin, voiko hakkeen asettumiskulmia käyttää nopeana hakkeen valumisominaisuuksien ja tikkuisuuden arviointimenetelmänä. Oletus oli, että mitä tikkuisempaa hake on, sitä heikommin se valuu. Kokeissa käytettiin keskeltä katkaistua laatikkoa, joka sijoitettiin tukien päälle niin, että laatikon keskeltä valuva hake voi pudota vapaasti. Puoliskot vedettiin tasaisella nopeudella erilleen, jolloin keskelle muodostuneet seinämät sortuivat hakkeen valumisominaisuuksia vastaaviin kulmiin. Kokeissa vertailtiin hyvän rankahakkeen (seos 1) ja noin 6 % tikkuja sisältävän hakkeen (seos 10) valumisominaisuuksia.

3. TULOKSET

3.1. Viretulen säilyminen

Taulukossa 1 on esitetty, miten viretuli säilyi polttimessa, kun hakkeen syöttömäärä vaihteli. Kokeessa käytettiin suositeltua kuuden minuutin taukoaikaa ja 15 sekunnin käyntiaikaa.

Tulen pysyvyys	Syöttömäärä
> 7 h	40 g/min
2 h	20 g/min
20 min	0 g/min

Taulukko 1. Hakkeen syöttömäärien vaikutus viretulen säilymiseen.

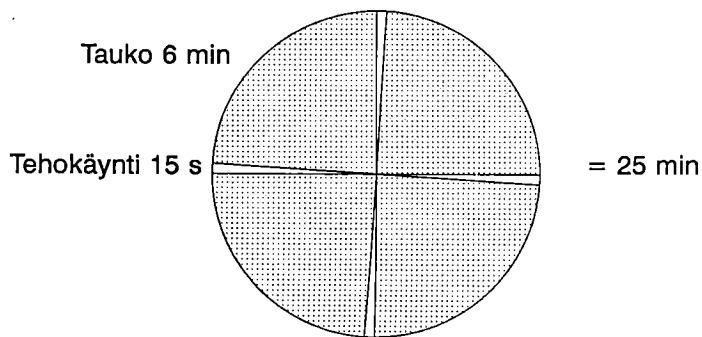
Pitkiä viretuliaikoja esiintyy erityisesti kesällä, jolloin kattilalla kuumennetaan vain käyttövetä. Seuraavassa tarkastelussa edellytetään viretulen säilymistä vähintään kaksi tuntia. Mo-

nesti käyttövesitarvetta esiintyy tätäkin harvemmin, mutta yleensä lämmitysjärjestelmän häviöistä johtuva kattilaveden lämmönlasku kytkee polttimen tehokäynnille kahta tuntia tiheämmin.

Tyhjäkäyntikokeen perusteella viretulen säilymiseksi vaaditaan että:

- 1) Syöttökokeissa ei saa olla yhtään syöttöminuuttia, jolloin syöttö on ollut 0 g/min.
- 2) Syöttökokeissa ei saa olla enempää kuin kaksi perättäistä syöttöminuuttia, jolloin syöttö on ollut < 20 g/min.

Vaatimukset ovat näin ankaria, koska 15 s:n käyntiaika jakaa syöttökokeiden havaintominuutit neljään osaan. 6 min:n tauko aika puolestaan pidentää tarkasteluajan kuusinkertaiseksi (kuva 1). Näin yksi kokeiden syöttöminuutti pitenee siis 25 minuutiksi, kun poltin on viretuliasennossa. Tämän takia on tarkasteltava alkuperäisiä syöttökokeiden antamia aikasarjoja, joita ei ole keskiarvoistamalla tasoitettu.

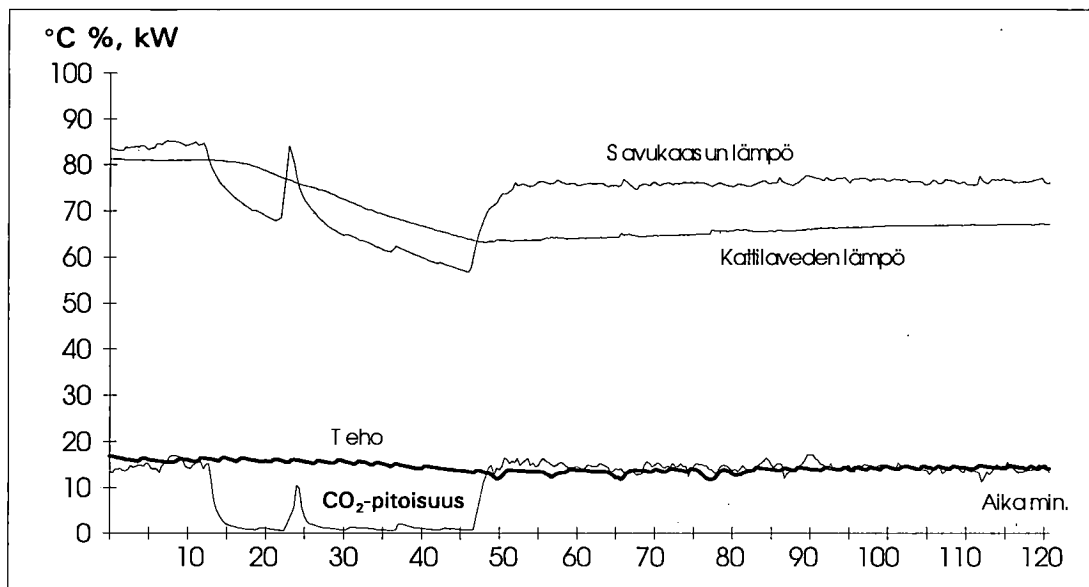


Kuva 1. Tehokäynnin ja taukojen jaksotus polttimeen viretulisäädöllä.

3.2. Tehokäynti rankahakkeella

Polttokokeissa aiheutettujen syöttöhäiriöiden vaikutukset kattilan antamaan tehoon olivat pieniä. Esimerkiksi kun hakkeen syöttö katkaistiin kokonaan 30 minuutiksi, kattilasta saatu teho laski vain yhden kW:n (kuva 2). Tärkeimmäksi kriteeriksi tulikin kattilan paluuveden lämpötilan säilyminen riittävän korkealla.

Kokeissa kattilavesi kuumennettiin aluksi aina 80 °C:seen. Vasta kun kaikki mittaukset oli tehty, selvisi että virallisissa kokeissa alkulämpötilan tavoitearvona on 85 °C (KETOLA ym. 1981). Tästä johtuen voidaan seuraavassa tarkastelussa pitää 65 °C kattilaan palaavan veden lämpötilan alarajana 70 °C:n sijasta.

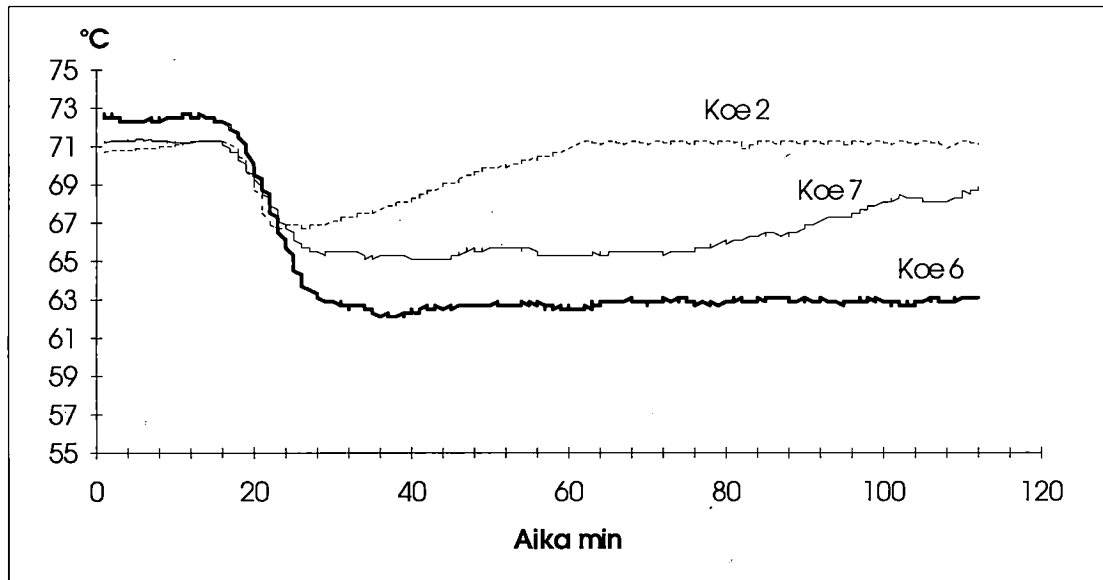


Kuva 2. Kattilan toimintaa kuvaavien suureiden vaihtelu hakkeen syötön katkettua täysin 30 min ajaksi. Savukaasun mittauksissa näkyvät piikit johtuvat viretulijakson sattumisesta tarkasteluajalle.

Taulukossa 2 on selvitetty, kuinka hakkeen syöttöhäiriöt haittaavat tehokäyntiä. Vaatimuksena oli, ettei kattilaan palaavan veden lämpötila saanut alittaa laskennallista kastepisterajaa 65 °C. Katkoksen jälkeen lämpötila nousi hyvin hitaasti minimiarvoonsaan. Jos kokeessa jouduttiin kastepisteeseen alapuolelle, kesti aina vähintään tunnin ennen kuin kattila saatiin lämpiämään takaisin sallitulle alueelle. Tämä näkyy kuvasta 3, jossa on esitetty kattilaveden lämpötilan muutokset kokeiden K2, K6 ja K7 aikana ja jälkeen.

Taulukko 2. Häiriöiden vaikutus kattilaan palaavan veden lämpöön.

Koe nro	Häiriön kesto minuiteissa	Syöttönopeus häiriön aikana % normaalista	Alin kattilaan palaavan veden lämpö °C	Haittaako palamista
K1	2	0	67,6	Ei
K2	5	0	66,2	Ei
K3	5	25	66,5	Ei
K4	5	50	68,0	Ei
K5	10	0	60,5	Kyllä
K6	10	25	62,1	Kyllä
K7	10	50	65,1	Ei
K8	30	0	40,0	Kyllä



Kuva 3. Kolmen taulukossa 2 esitetyn häiriön vaikutus kattilan paluuveden lämpötilaan. Kokeessa 6 lämpötila laski liian alas ja se nousi hyvin hitaasti.

Laskennallisesti tarkasteltiin vielä tilannetta, jossa syöttöhäiriö kesti 15 min ja syöttöteho oli tuolloin 50 % normaalista. Tällöin kattilaan palaavan veden lämpö oli noin 61 °C, eli liian vähän.

Käytetyn hakkeen polttimen edullisin syöttömäärä oli keskimäärin 73 g/min. Tehokäynnin aikana syötön tasaisuudelta vaaditaan, että syötössä ei saa olla 10 minuuttia pidempiä jaksoja, jolloin syöttömäärä on ollut alle 18 g/min (25 % edullisimmasta). Sen sijaan voi olla 10 min:n jaksoja, jolloin syöttö on ollut alle 37 g/min (50 % edullisimmasta). Niitäkään ei hyväksytä kovin tiheään, koska palamistehon nousu ennalleen häiriön jälkeen kestää kauan (kuva 3). Tehokäynnin asettamien vaatimusten toteutumista tutkittiin syöttökokeiden tuloksista.

3.3. Syöttökokeiden tulokset

Hakeseosten syöttökokeista saadut tärkeimmät tunnusluvut on esitetty taulukossa 3. Keskiarvo antaa karkean kuvan hakkeen syötettävyydestä. Koska se voidaan kuitenkin korjata stokerin edullisinta syöttömäärää (73 g/min) vastaavaksi välityssuhdetta säätämällä, kertovat hake-erän syöttömäärän vaihtelua kuvaavat keskihajonta ja variaatiokerroin keskiarvoa paremmin hakeseoksen sopivuudesta polttimeen.

Taulukko 3. Hakeseoksissa olleiden oksien ja neulasten määrät sekä syöttökokeissa syötetyn hakkeen määrät. Syöttökeskiarvo (g/min) kertoo suurimman hakemäärän, mitä poltin pystyy syöttämään toimiessaan täydellä teholla.

Seos nro	Oksat		Neulaset %	Kosteus %	Syöttö		
	100 mm %	200 mm %			Keskiarvo g/min	Keskihajonta g/min	Variaatiokerroin %
S1	0	0	0	22	130	14	11
S2	3	0	10	23	109	20	18
S3	6	0	10	20	86	27	31
S4	9	0	10	20	67	40	61
S5	0	3	5	22	108	24	22
S6	0	6	5	21	87	42	49
S7	0	9	5	22	43	46	107
S8	1,8	1,2	5	21	117	31	26
S9	1,8	1,2	10	24	104	28	27
S10	3,6	2,4	10	23	77	43	56
S11	5,4	3,6	10	22	36	44	112

Seosten 4, 7, 10 ja 11 suuresta variaatiokertoimen arvosta voidaan päätellä, etteivät ne sovi kyseisen polttimen polttoaineiksi.

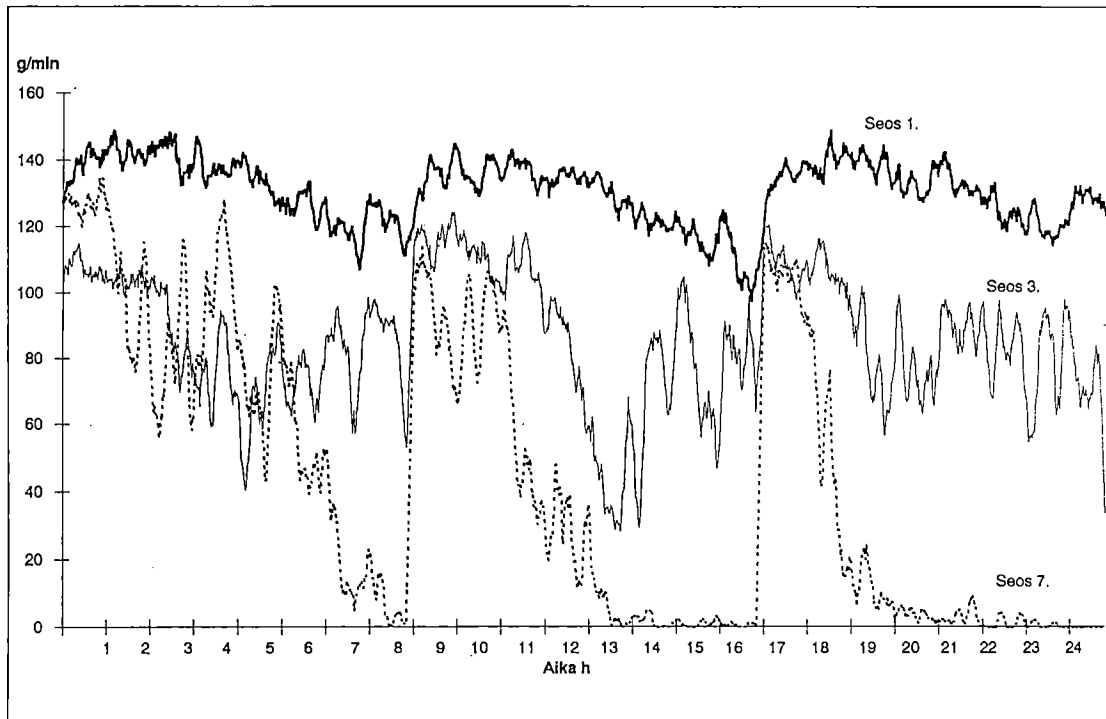
Polttimen laskennallinen syöttöteho hyvää mäntyrankahaketta käyttämällä (S1) on noin 25 kW oletettaessa kokonaishyötysuhteeksi 80 %. Tätä vastaavaa hakevirtaa 20 kW:n palopää ei kuitenkaan ehdi polttamaan.

3.4. Heikoin hyväksyttävä hakkeen laatu

Kuvassa 4 on esimerkinomaisesti kolme 10 min liukuvilla keskiarvoilla tasoitettua syöttökuvaa, joiden perusteella ratkaistiin koehakkeiden kelvollisuus tehokäynnissä.

Polttokokeissa saatujen raja-arvojen perusteella selvitettiin, kuinka suurta syötön vaihtelu saa enimmillään olla. Tyhjäkäynnin vaatimusten selvittäminen syöttökokeiden aikasarjoista oli yksiselitteistä. Seokset voitiin jakaa hyväksytyihin tai hylättyihin. Sen

sijaan tehokäynnin vaatimusten perusteella seos S8 oli rajatapaus. Se sisälsi yhden lyhyen (< 25 min) kielletyn jakson (syöttö < 37 g/min), joten se päätettiin hylätä, vaikkei häiriöstä lienekään sen lyhyen keston vuoksi suurta haittaa käytännössä. Hakkeiden arvostelu syöttökokeiden perusteella on taulukossa 4.



Kuva 4. Kolmen eri hakeseoksen syöttökuvaajat tasoitettuna 10 min:n liukuvalla keskiarvolla.

Taulukko 4. Syöttökokeiden tulosten arvostelu, + tarkoittaa hyväksyttyä ja - hylättyä.

Seos nro	Oksia %		Neulasia	Hakkeen kelpoisuus		
	100 mm	200 mm		Perusteena tyhjäkäynti	Perusteena tehokäynti	Kokonais-arvio
S1	0	0	0	+	+	+
S2	3	0	10	+	+	+
S3	6	0	10	+	+(-)	+
S4	9	0	10	-	-	-
S5	0	3	5	+	+	+
S6	0	6	5	-	-	-
S7	0	9	5	-	-	-
S8	1,8	1,2	5	+	+(-)	+
S9	1,8	1,2	10	+	+	+
S10	3,6	2,4	10	-	-	-
S11	5,4	3,6	10	-	-	-

Tulosten perusteella saadaan seuraavat hakkeen laatuvaatimukset:

- 1) 100 mm oksia saa olla hakkeen joukossa enintään 6 %. Pidempiä oksia ei saa olla ollenkaan.
- 2) 200 mm oksia voi olla hakkeessa enintään 3 %. Muun pituisia oksia ei saa olla ollenkaan.
- 3) Tikkujakauman ollessa 60 % 100 mm + 40 % 200 mm saa hakkeessa olla yhteensä enintään 3 % oksia.

Edellytyksenä on, että oksat ovat tasaisesti jakautuneina hakkeeseen.

Syöttökokeista saatuja aikasarjoja tarkasteltaessa on muistettava, että ne on ajettu suurimmalla syöttönopeudella, jolloin tiettyjen seoksien keskiarvo oli niin suuri (> 100 g/min), ettei palopää olisi ehtinyt polttaa kaikkea haketta. Polttimen säätötarvetta esiintyi poltettaessa mm. hakkeita S1, S2, S5, S8 ja S9.

Hakeseosten S1 ja S2 syöttö oli niin tasaista, että niiden syötön keskiarvo olisi voitu säätämällä alentaa lähelle optimisyöttömäärää. Sen sijaan seosten S5, S8 ja S9 syötön vaihtelu oli niin suurta, että niitä käytettäessä polttimen syöttö oli pidettävä maksimiasennossaan. Tällöin palamatonta haketta olisi ajoittain mennyt palopään lävitse. Näitäkin hakkeita käytettäessä poltin vielä toimi, mutta hyötysuhde oli huonompi kuin hyvällä rankahakkeella.

Hyötysuhteen heikkenemistä ei mitattu, joten sitä ei voida huomioida hakeseosten laatua arvosteltaessa. Palamatta jäänyt hake on kokopuun käytöstä johtuva kustannus, joka joudutaan maksamaan pyrittäessä karsintatyöstä eroon.

Neulasjakeen vaikutusta hakkeessa kuvastavat seosten S8 ja S9 tunnuslukujen erot. Syöttökeskiarvo pieneni melko vähän eli 13 g/min, kun neulasten määrä kasvoi 5 %:sta 10 %:iin. Neulasmäärän pientä vaikutusta syötettävyyteen korostaa keskihajonnan pysyminen lähes samana.

3.5. Oksien määrän vaikutus verrattuna oksien pituuden vaikutukseen

Syöttökokeiden tulosten perusteella selvitettiin laskennallisesti, haittaako oksien pituus vai lukumäärä syöttöä enemmän, jos oksien yhteenlaskettu pituus pysyy samana. Tulokset viittasivat siihen, että tikkujen lukumäärä olisi haitallisempaa kuin niiden pituus.

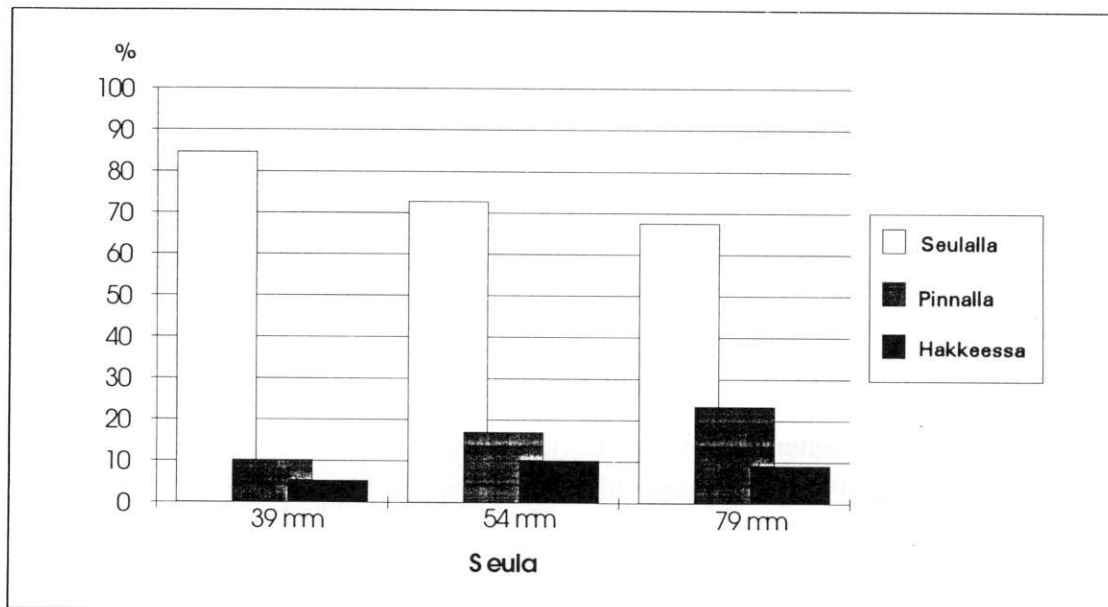
3.6. Seulontakokeiden tulokset

Kokeiltaessa erikokoisia seulontanäytteitä, osoittautui 15 l:n näyte koko suurimmaksi, joka sopii käytettyyn seulontalaatikkoon (60 · 60 cm). Kun tämä määrä haketta levitettiin tasaisesti seulan päälle, siitä muodostui noin 4 cm:n kerros, jonka seula vielä läpäisi hyvin. Paksumpi kerros heikensi seulan läpäisevyyttä ja hake kasaantui seulalaatikon pätyihin.

Seulontatuloksen luotettavuutta paransi seulonnan jälkeinen ylipitkien oksien käsinpoiminta hakkeen joukosta. Seulonta lyhensi näytteen käsittelyyn kulunutta aikaa. Kun oksat erotettiin hakkeesta seulomalla ja poimimalla, yhden näytteen käsittelyyn kului keskimäärin 10 min. Pelkästään poimien aikaa kului 15 min.

Seulottaessa sama kokopuuhaikenäyte (kosteus 20 %, tikkuisuus 6,5 %) viiteen kertaan todettiin 39 mm seulan kykenevän parhaiten erottelemaan tikut hakkeesta. Tulokset esitellään kuvassa 5.

39 mm seula pystyi erottelemaan noin 85 % näytteessä olleista tikuista, kun isompi-reikäisillä seuloilla erottelukyky oli noin 70 %.



Kuva 5. Seulojen kyky erotella tikut jakeisiin.

3.7. Asettumiskulmat hakkeen laadun mittareina

Ranka- ja kokopuuhaikkeiden asettumiskulmia määritettiin hakekerroksien paksuuden ollessa 60 ja 32 cm. Kulman määrittäminen koko hakerintauksen pituudelta mittapisteiden avulla oli luotettavampaa kuin kulmien määrittäminen laatikon laidoista. Kulmien määrittäminen laidoista oli satunnaista, koska muodostunut seinämä ei ollut suora ja hakerintausta oli monesti keskellä laatikkoa ulkonevampi kuin reunoissa.

Hakekerroksen paksuuden ollessa 60 cm hakerintausta sortui vain osittain. Tämän vuoksi siirryttiin tutkimaan 30 cm:n hakekerroksen sortumista. Nytkään ei todettu eroja hakelaatujen välillä. Hake on niin karkea materiaali, että sen valumisen ennustaminen on hankalaa. Ominaisuutta korostaa vielä tikkujen satunnainen jakauma hakkeessa. Näin ollen seulonta on hakkeen laadun kuvaajana selvästi asettumiskulmia tarkempi, joskin myös hitaampi menetelmä.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1. Hakelämmitys

Hakelämmitys on ketju, jonka muodostavat puun korjuu, kuljetus, haketus, kuivaus, varastointi ja polttaminen. Tavoitteena on mahdollisimman hyvin polttolaitteisiin sopiva hake pienimmällä työ- ja pääomapanoksella. Hakkeen teko karsimattomista puista on tietyin varauksin keino työntarpeen vähentämiseen.

Kokopuukorjuun suurin etu on kaato- ja kasaustyön tehostuminen 2 - 3 -kertaiseksi rankamenetelmään verrattuna. Lisäksi saadaan samalta pinta-alalta 30 - 50 % lisää polttoainetta. Ongelmat alkavat kokopuiden kuljetuksesta, jossa tarvitaan järeämpää kalustoa kuin rankojen kuljetuksessa. Ajanmenekki on 1,5 - 2 -kertainen karsitun puun kuljetukseen verrattuna.

Vuodessa tarvittava puumäärä on aikaisempien tutkimusten perusteella korjuun ja metsäkuljetuksen jälkeen laskettuna noin 25 % edullisempi hankkia kokopuuna kuin rankana (KAHALA 1984, SIEKKINEN 1986, SOLMIO 1990). Laskelmassa on perusteena käytetty hakkeella lämmittävien tilojen keskimäärin vuoden aikana polttamaa puumäärää (33 k-m³). Kokopuumenetelmän käyttö on järkevää, jos hinnanero onnistutaan säilyttämään haketuksen ja polton aikana ja hakkeen poltto sujuu tyydyttävästi.

4.2. Kokopuuhakkeen sopivuus pienpolttimiin

Lämmitysjärjestelmän toimintaa arvioitaessa tärkeää on viretulen pysymisen, hyvän tehontuoton ja säätyvyyden lisäksi riittävä lämpimän käyttöveden tuotto. Tätä ei kuitenkaan tarkasteltu, koska ongelma voidaan ratkaista liittämällä kattilaan muutaman sadan litran käyttövesivaraaja.

Viretulijaksojen asettamat vaatimukset hakkeen syötön tasaisuudelle olivat hieman erilaisia verrattuna tehojaksojen vaatimuksiin. Viretuli sammui kokeissa herkästi, jos syöttöön tuli lyhyt häiriö (> 1 syöttöminuutti), jonka aikana haketta ei tullut palopäähän ollenkaan. Pitkäaikainen ja osittainen häiriö ei sammuttanut viretulta. Tehontuottoon lyhyillä (<2 syöttöminuuttia) ja täydellisillä katkoksilla ei sen sijaan ollut näkyvää vaikutusta, mutta pitkät häiriöt olivat lievinäkin haitaksi.

Erot kokeiltujen hakeseosten syötettävyydessä olivat niin selvät, että seokset, jotka hyväksyttiin tarkasteltaessa viretulen pysyvyyttä, voitiin hyväksyä myös tehokäynnin osalta paitsi seos 8.

Koetulosten perusteella arvioituna hyvässä polttohakkeessa ei saa olla tikkuja enempää kuin kolme painoprosenttia. Tehdyn esikokeen ja kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, ettei kokopuuhake nykyisellään ole hyvää pienstokerin polttoainetta. Käytännön lämmitystyössä hake on monesti lajittunutta ja polttoainesäiliötä puhdistetaan harvoin, joten syöttöominaisuuksiltaan tyydyttävän hakkeen raja-arvot ylittyvät aika-ajoin. Kysymys on siitä, kuinka hyvää ja tasalaatuista haketta kokopuista onnistutaan tekemään.

Koneiden yhteisomistus ja urakoitsijoiden käyttö ovat kokopuumenetelmässä vielä ehdottomampia vaatimuksia kuin rankahaketta käytettäessä. Ketjun konekustannus nousee helposti karsimattomuudella saavutettua työnsäästöä korkeammaksi. Tilakohtaiset erot ovat suuria, mutta yleensä kokopuuhakkeen käyttö on taloudellisesti järkevää, kun hakkeen käyttömäärä on yli 150 - 200 i-m³/v.

Puiden latvojen katkaisu kaadon yhteydessä on tehokas keino hakkeen oksamäärän ja neulasten vähentämiseksi. Latva katkaistaan esimerkiksi siitä, missä puun läpimitta alittaa neljä senttimetriä. Latvus jätetään metsään ja näin vältetään metsämaalle koituvia ravinnetappioita. Kasvanut puunhukka korvaantuu työnsäästöllä, kun jäljelle jäänyttä runkoa ei karsita. Latvattomien puiden metsäkuljetus ja haketus on myös helpompaa kuin kokopuiden. Saatavassa hakkeessa on haitallisia tikkuja suunnilleen puolet kokopuuhakkeen tikkumäärästä. Poikkeuksena on kuusihake, jonka tikkuisuus ei merkittävästi vähenny kokopuuhakkeeseen verrattuna (MÄKELÄ ja PIETILÄ 1993).

Koetulosten yleistettävyyttä heikentää se, että kokeet tehtiin vain yhdellä syöttölaitteella ja haketyypillä. Pienet hakesyöttölaitteet ovat kuitenkin niin samantyyppisiä, että tässä saadut tulokset kuvannevat hyvin kaikkia pieniä syöttölaitteita. Toiseksi eri lämmittäjien hakkeen korjuu ja poltto kokonaisuudessaan vaihtelevat niin paljon, ettei yleispätevää ohjetta jonkin hakelaadun sopivuudesta tai sopimattomuudesta voi antaa. Eri hakelaatujen sopivuus kattilaan ja lämmitysjärjestelmään selviää vain kokeilemalla. Pääsääntö on, että rankahake sopii stokeriin hyvin, kokopuuhake ei sovi ja osapuuhake sopii varauksin.

4.3. Seulontatulokset

Parhaiten toimi seula, jonka reikäkoko oli 39 mm. Reikäkoko ei voitu tästä pienentää, koska seula ei olisi silloin läpäissyt kaikkea polttokelvollista haketta. Seulalla saatiin poistetuksi 80 - 85 % ylipitkäästä hakejakeesta. Kun seulottiin sama kokopuuhake-erä viiteen kertaan, oli vaihtelua tulosten välillä ± 3 %-yksikköä. Näin pelkällä seulonnalla saadaan melko luotettavasti hakkeen tikkupitoisuus, kun saatua tulosta korotetaan laskennallisesti 15 - 20 % (seulan lävitseen päästämä määrä). Tarkimpaan tulokseen kuitenkin päästään siirtämällä hyväksytyyn hakkeen joukkoon pudonneet tikut käsin takaisin ylipitkään jakeeseen. Myös kirjallisuudessa on todettu korjauksen selvästi parantavan seulontatulosten luotettavuutta (VERKASALO 1984).

Merkittävin etu verrattaessa seulontaa pelkkään käsinpoimintaan oli ajansäästö. Vaikka tulokset korjattiinkin käsinpoiminnalla seulonnan jälkeen, nopeutui analysointityö pelkkään poimintaan nähden noin 30 %. Tähän vaikuttavat tietysti huomattavasti työntekijän ominaisuudet.

Edullisin seulonta-aika oli vain 20 s. Selluhakkeen koeseulonnassa käytetyillä Williams- ja STFI-menetelmillä seulonta-aika on 5 ja 10 min (VERKASALO 1989). Ero johtuu tarpeesta jakaa selluhake polttohaketta useampiin fraktioihin. Williams-

seulonta erittelee hakkeen seitsemään jakeeseen ja STFI-seulonta viiteen jakeeseen, kun polttohakkeelle riittää jako hylättyyn ja hyväksytyyn fraktioon.

Kun hakkeessa oli 3,5 % 10 cm pitkiä oksia, tarvittiin 4 seulontanäytettä, että olisi voitu määrittää tikkupitoisuus 0,5 % tarkkuudella ja 10 % riskillä. Jos hake on lajittunutta ja tikkupitoisuus on suurempi, tarvitaan näytteitä enemmän. Hakkeen ollessa tasalaatuista ja tikkupitoisuuden ollessa pieni, riittää vähäisempikin näytemäärä. Näin karkeajakoisen materiaalin analysoinnissa ei ole tarkoituksenmukaista aina pyrkiä äärimmäiseen tarkkuuteen. Monesti riittää, että erästä analysoidaan yksi useasta edustavasta kohtaa poimittu ja yhdistetty näyte. Lajittuneisuuden välttämiseksi näyte tulisi ottaa putoavasta hakevirrasta useammasta kohtaa esimerkiksi kuormaa purettaessa (KALLIO 1983).

Tutkimuksen lopuksi seulontaa kehiteltiin edelleen rakentamalla seulasto, joka muodostui kahdesta neliöverkosta ja purulaatikosta. Verkkojen reikien sivut olivat 20 mm ja 5 mm. Seula toimii keinuttamalla.

Seulomalla reikäseulassa hyväksytty jae verkkoseulalla saadaan polttohake jaettua viiteen osaan: tikut yli 5 cm, tikut 2,5 - 5 cm, karkea hake, hieno hake ja puru. Seulonnassa oli sama vaikeus kuin tikkujen seulonnassa, osa pitkästä tai karkeasta jakeesta putosi alemmaksi kuin sen pitäisi. Suuremman palamäärän vuoksi korjaus käsinpoiminnalla on vaikeampaa kuin oksien palautus, joten hakkeen laadun arviointi pitää tehdä samoin joka seulontakerralla.

Tavallista polttohaketta ei tarvitse jakaa näin tarkasti, mutta seulastolla on käyttöä arvioitaessa esimerkiksi erilaisista hakepuista saatavan hakkeen laatua tai arvioitaessa hakkurien toimintaa.

5. KIRJOITUKSESSA KÄYTETTYJÄ KÄSITTEITÄ

Hakkeen asettumiskulma: Kulma, joka muodostuu kun hake-erä puolitetaan kahtia ja seinämien annetaan vapaasti valua hakkeen sisäisen kitkan ja maan vetovoiman määräämiin kulmiin. Asettumiskulma on muodostuneen hakkeen pinnan ja vaakatason välinen kulma. Sitä käytetään karkeana hakkeen laadun ja kosteuden mittarina (ALAKANGAS ym. 1987).

Hakkeen palakoko: Hakepalasten keskimääräinen suurin mitta. Se ei ole välttämättä puun syiden suuntainen pituus (LAINE 1987).

Holvaantuminen: Hakkeen valuminen lakkaa sitä purettaessa alhaaltapäin säiliöstä.

Kastepiste: Kattilaveden lämpötila, jonka alapuolella savukaasuissa oleva vesihöyry ja epäpuhtaudet alkavat tiivistyä kattilan tulipinnoille.

Kattilahyötysuhde (kokonaishyötysuhde): Kattilaveteen siirtyneen lämpö määrän suhde käytetyn polttoaineen sisältämään lämpö määrään.

Kokopuu hake: Karsimattomasta puusta tehty hake.

Osapuu hake: Hake, joka on tehty karsimattomista puista, joista on katkaistu latva.

Ranka hake: Karsitusta puusta tehty hake.

Syöttö minuutti: Polttimen tehokäyntiaika minuuteissa. Esimerkiksi: tarkastelujakson kokonaisaika - taukoajat = syöttö minuuttien lukumäärä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

ALAKANGAS, E., KANERVIRTA, M-L. & KALLIO, M. 1987. Kotimaisten polttoaineiden ominaisuudet. Käsikirja. Kotimaisten polttoaineiden laboratorio. VTT Tiedotteita 762. 125 s.

HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Folia Forestalia 342. 38 s.

KAHALA, M. 1984. Osapuunakorjuu eteläsuomalaisissa harvennusekosolosuhteissa. Metsätehon tiedotus 386. 19 s.

KALLIO, M. 1983. Puupolttoaineen näytteenotto, analysointi ja tyypilliset ominaisuudet. VTT Monisteita. 18 s.

KARES, M. 1983. Polttihakkeen puhallinkuivatus pientaloissa ja maataloilla. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Tutkimusraportti 25b. 81 s.

KETOLA, T., SILTANEN, T. & TUOMINEN, T. 1981. Kiinteillä polttoaineilla käytettävien pienkattiloiden testausmenetelmä. LVI-tekniikan laboratorio. VTT Tutkimuksia 42. 30 s.

LAINEN, R. 1987. Hakkeen seulonta. Kotimaisten polttoaineiden laboratorio. VTT Tiedotteita 740. 55 s.

MÄKELÄ, O. & PIETILÄ, J. 1993. Kotimainen energia. Koneviesti 11, liite. 24 s.

SIEKKINEN, A. 1986. Pienpuuston hakkuu käsityövälinein. Työtehoseuran julkaisu 280. 85 s.

SOLMIO, H. 1990. Hakkeen korjuu ja käyttö maataloilla. Työtehoseuran julkaisu 314. 139 s.

VERKASALO, E. 1984. Polttihakkeen palakokojakauma ja seulontatarve. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 59 s.

- 1989. Koeseulontamenetelmät metsähakkeen laadun arvioinnissa. Folia Forestalia 725. 28 s.

WAHLROOS, L. 1979. Kotimaiset polttoaineet ja keskuslämmityskattilat. T:mi Energiakirjat. 340 s. Kokemäki.

VAKOLAN tutkimuseloituksia

47. MÄKELÄ, J. & MIKKOLA, H. 1987. Lannoitteenlevityksen tasaisuus
48. PUUMALA, M., KARHUNEN, J., LOUHELAINEN, K. & VILHUNEN, P. 1987. Jauhatuksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen
49. SCHÄFER, W. & AHOKAS, J. 1988. Maatalouskoneiden tietokanta
50. KARHUNEN, J., AARNIO, K. & MYKKÄNEN, U. 1988. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys
51. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1988. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset
52. PUUMALA, M., MANNI, J. & SARIN, H. 1988. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä
53. MATTILA, T. & VIROLAINEN, V. 1989. Hellävarainen perunankorjuu
54. MIKKOLA, H. 1989. Syyskyltöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988
PITKÄNEN, J. 1989. Pitkääikäisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen
55. Ei julkaistu.
56. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1989. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa
57. SARIOLA, J., TUUNANEN, L., PAAVOLA, J. & AHOKAS, J. 1990. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö
58. MÄKELÄ, J. & LAUROLA, H. 1990. Leikkupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa
59. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1990. Lietelantajärjestelmien toimivuus
60. SUOKANNAS, A. 1991. Heinän varastokuivaus
61. SARIOLA, J., TUUNANEN, L., ESKELINEN, T., LOUHELAINEN, K. & RIPATTI, T. 1992. Viljan kuivauksen pölyhaitat
62. SUOKANNAS, A. 1991. Säilörehun siirto ja käsittely talvella
63. KAPUINEN, P. 1992. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset
64. KERVINEN, J. & SUOKANNAS, A. 1993. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu
65. SARIOLA, J. & LEPPÄLÄ, J. 1993. Hellävarainen perunan kaupakunnostus
66. KAPUINEN, P. 1993. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II
67. PUUMALA, M. & LEHTINIEMI, T. 1993. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
68. KAPUINEN, P. 1994. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen

VAKOLAN tiedotteita

- 41/87 PUUMALA, M. 1987. Jauhatusjärjestelyjä ja kustannuksia
- 42/88 AARNIO, K. & KARHUNEN, J. 1988. Lannanpoistolaitteiden toimivuus ja kestävyys.
- 43/88 MANNI, J. 1988. Käytännön ohjeita konevaraston hankintaa suunnittelevalle.
- 44/89 1989. Pohjoismaiset lypsykone- ja laiteohjeet
- 45/89 1989. Säilörehun korjuu pyöröpaalaimella
- 45 S/89 NYSAND, M. 1989. Rundbalsensilering
- 46/90 MANNI, J. & KAPUINEN, P. 1990. Kevytsora lietesäiliön katteena
- 47/90 KARHUNEN, J. 1990. Lietelannan kompostointi
- 48/90 LEPPÄNEN, K. & NYSAND, M. 1990. Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä
- 49/91 LEHTINIEMI, T. & PUUMALA, M. 1991. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
- 50/91 MANNI, J. 1991. Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivaamossa
- 51/92 VIROLAINEN, V. 1992. Viherkesannon perustaminen ja hoito
- 52/92 KARHUNEN, J. 1992. Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa
- 53/93 MIKKOLA, H. 1993. Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 JANTUNEN, J. 1993. Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 SUOKANNAS, A. 1993. Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 JANTUNEN, J. 1993. Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 VIROLAINEN, V. 1993. Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 KAJA, J. & KOSKIAHO, J. 1993. Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 HUOTELIN, R. 1993. Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 SALMINEN, K. & ALAKOMI, T. 1993. Tyhjien maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 MIKKOLA, H. 1994. Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 PUUMALA, M. 1994. Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 SARIOLA, J., PIETILÄ, J. & MÄKELÄ, O. 1994. Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 KARHUNEN, J. 1994. Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 LÖTJÖNEN, T., MÄKELÄ, O. & PIETILÄ, J. 1994. Oksainen hake pienpolttimissa

