

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian tutkimusosasto

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian osasto

1/1980

POLTTOPUUN KORJUUN PALLARIN LEIKKUUHAKKURILLA

Pentti Hakkila ja Hannu Kalaja

Helsinki 1980

POLTTOPUUN KORJUUN PALLARIN LEIKKUUHAKKURILLA

Pentti Hakkila ja Hannu Kalaja

Urakoitsija KYÖSTI PALLARI esitti syksyllä 1972 suunnitelman jatkuvatoimisen pienpuuharvesterin rakentamisesta tavoitteena alamittaisten lehtipuitten biomassan koneistettu talteenotto kokopuuhakkeena. Metsäntutkimuslaitoksessa 1973 käynnistetty lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojekti, jonka rahoituksesta vastasi ensisijaisesti SITRA, ryhtyi tukemaan koneen rakentamista ja kehittelyä. Ensimmäinen prototyyppi oli valmis kenttäkokeisiin syksyllä 1975. Kokeissa, joitten tulokset ovat ilmestyneet Folia Forestalia sarjan julkaisussa 249 (HAKKILA ja MÄKELÄ 1975) koneen toimintaperiaate todettiin onnistuneeksi ja koko menetelmä varsin kehityskelpoiseksi.

Mahdollisuus työn jatkamiseen järjestyi kuitenkin vasta vuonna 1978, kun valtio ryhtyi aktiivisesti edistämään heikkolaatuisen puun käyttöä energialähteenä. Toisen prototyypin, jota kutsutaan Pallarin leikkuuhakkuriksi, rakensi vuonna 1979 Tervolan Konepaja Oy yhteistyössä Kyösti Pallarin kanssa. Kenttäkokeitten suunnittelusta ja toteutuksesta vastasi Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosasto osana laajaa PERA-projektia. Tulokset esitetään tässä raportissa. Kehitystyö tulee vastaisuudessa tapahtumaan Svenska Traktor Ab:n, Kyösti Pallarin ja Tervolan Konepaja Oy:n yhteistyönä.

Tutkimuksen kenttätöitten järjestelyssä avustivat Kajaani Oy, Veitsiluoto Oy, Kannuksen metsänhoitoyhdistys, Keski-Pohjanmaan piirimetsälautakunta, Kemin kaupunki sekä Tervolan Konepaja Oy. Hakesäkkien kehittelyyn osallistui Oy Aino Lindeman Ab Vaasan Verkkotehdas (Vaasa), Turo Oy (Kuopio) sekä Oy Rukka-Products Ab (Kokkola).

Koneen miehistön muodostivat JUHANI LEINONEN, ILARI TULKKI ja OLLI PALLARI. Metsäntutkimuslaitoksen puolesta kenttätöitä johti HANNU KALAJA ERKKI SALON ja VEIKKO SALON avustamana. Tutkimuksen lopulliset tulokset julkaistaan englanninkielellä Folia Forestalia sarjassa keväällä 1980. Käsillä oleva raportti on ennakkotiedon luonteinen.

Raportin piirrokset on laatinut PIRKKO HAKKILA. Värikuvasivun on kuvannut MATTI RUOTSALAINEN ja lahjoittanut Svenska Traktor Ab. Konekirjoitustyön ovat tehneet AUNE RYTKÖNEN ja RAIJA SIEKKINEN.

Lausumme parhaat kiitoksemme kaikille työssä mukana olleille.

Helsingissä joulukuussa 1979

Pentti Hakkila

Hannu Kalaja

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1. Johdanto	4
2. Pallarin leikkuuhakkurin tekniset ominaisuudet	6
21. Peruskone	6
22. Harvesteri- ja säkityslaitteet	7
23. Hakesäkit	9
3. Pallarin leikkuuhakkurin sovellutusmahdollisuudet	11
4. Työtekniikka	13
5. Tutkimusaineisto	16
6. Kenttäkokeitten tulokset	19
61. Leikkuuhakkurin tuotos	19
62. Huomioita hakesäkeistä	21
63. Lähikuljetuksen tuotos	23
64. Korjuukustannukset	25
65. Työn laatu	27
651. Biomassan talteenoton tarkkuus	27
652. Hakkeen ominaisuudet	29
7. Johtopäätöksiä	31

Kirjallisuus

1. JOHDANTO

Puutavaran koneistetun korjuun kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä on tärkein puun koko. Tuotos romahtaa jyrkästi, kun puun rinnankorkeusläpimitta alittaa 10 cm.

Kun vaatimuksena on perinteisen pölkkymuotoisen raaka-aineen tuottaminen, puutavaraa joudutaan käsittelemään yksin kappalein. Pieniä puita talteen otettaessa kustannukset ylittävät taloudellisuuden rajan, ja lisäksi suuri osa biomassasta menetetään karsittaessa oksat ja latva pois. Tästä syystä pienten puitten polttoainekäyttö tulee vastaisuudessa perustumaan todennäköisesti kokopuunakorjuuseen, jossa karsimisesta luovutaan kokonaan tai ainakin osittain.

Pienimmän vesakkopuun laajamittainen talteenotto polttoaineeksi edellyttää korjuumenetelmää, jossa pienpuuta käsitellään massartikkelina ketjun kaikissa vaiheissa. Jo kaadettaessa on päästävää eroon puukohtaisesta suunnittelusta ja käsittelystä. Tarvitaan jatkuvasti etenevä monitoimikone, jonka tuotos yksityisen puun sijasta määräytyy pikemminkin kohdalle sattuvan puuston pohjapinta-alan tai etenevän koneen ylittämän metsämaan pinta-alan mukaan. Kone voi suorittaa jotain seuraavista toimintayhdistelmistä.

Kaato ja karhoaminen
Kaato, kasaus (ja sitominen)
Kaato ja paalaus
Kaato ja pilkkominen
Kaato ja haketus

Suomalaisen kehitystyön lähtökohdaksi on valittu haketusvaihtoehto. Kun puitten rinnankorkeusläpimitta vaihtelee esimerkiksi 1 - 10 (15) cm:n välillä, niputtaminen tai paalaus on teknisesti vaikea toteuttaa. Hakettaminen on oleellisesti yksinkertaisempaa, ja siihen on olemassa valmiita komponenttiratkaisuja. Polttoainekäytössä kokopuuhake on pitemmälle jalostettu tuote kuin nipussa oleva pienpuu.

Mutta myös hakemenetelmässä on heikko lenkki. Vaikeutena ovat haketuksen ja kuljetuksen järjestely ja ajoittaminen. Metsäkuljetuksen osalta ovat tarjolla lähinnä seuraavat ratkaisut.

- Leikkuuhakkuri puhaltaa hakkeen erilliseen ajoneuvoon, joka liikkuu koneen vieressä tai perässä. Jotta leikkuuhakkuri voisi työskennellä keskeytymättä, tarvitaan kaksi hakkeenkuljetusajoneuvoa.
- Leikkuuhakkuri vetää omaa perävaunua. Sen täytyttyä tilalle vaihdetaan uusi. Yksi traktori riittää hoitamaan hakkeen kuljetuksen tien varteen, elleivät kuljetusetäisyydet ole poikkeuksellisen pitkiä.
- Leikkuuhakkuri on varustettu kipattavalla säiliöllä, joka tyhjennetään palstalla traktoriin tai välivarastolla hakekasalle, vaihtolavalle tai kuorma-autoon.
- Leikkuuhakkuri kerää hakkeen säkkeihin, jotka se pudottaa palstalle. Kuormatraktori siirtää säkit tienvarteen.

Tämän kehitysprojektin alussa kokeiltiin ensimmäistä vaihtoehtoa siten, että harvesteri puhalsi hakkeen rinnallaan kulkevan traktorin peräkärriin (HAKKILA ja MÄKELÄ 1975). Leimikoissa, jotka ovat kooltaan pieniä ja muodoltaan epäsäännöllisiä, menetelmä osoittautui kömpelöksi.

Projektin toisessa vaiheessa päädyttiin hakesäkkien käyttöön. Ratkaisua tehtäessä nähtiin säkitysjärjestelmässä seuraavat edut ja haitat.

Etuja:

- Menetelmä takaa leikkuuhakkurille suuren vapauden mutkitella, kiertää esteitä, peruuttaa jne. Tämä on erittäin tärkeä näkökohta Suomen metsikköoloissa.
- Kuljetusten järjestely ei vie leikkuuhakkurin työaika.
- Säkkijärjestelmä mahdollistaa tarvittaessa pienen puskurivaraston muodostumisen metsään tai tien varteen. Tämä pehmentää koneitten yhteensovittamisen ongelmia.

Haittoja:

- Valmista säkkiratkaisua ei ole tarjolla. Projektiin oli sisällytettävä myös säkkien kehittäminen.
- Säkkeihin joudutaan sijoittamaan huomattavia summia, ja rikkoutuvat säkit ovat merkittävä kustannustekijä.

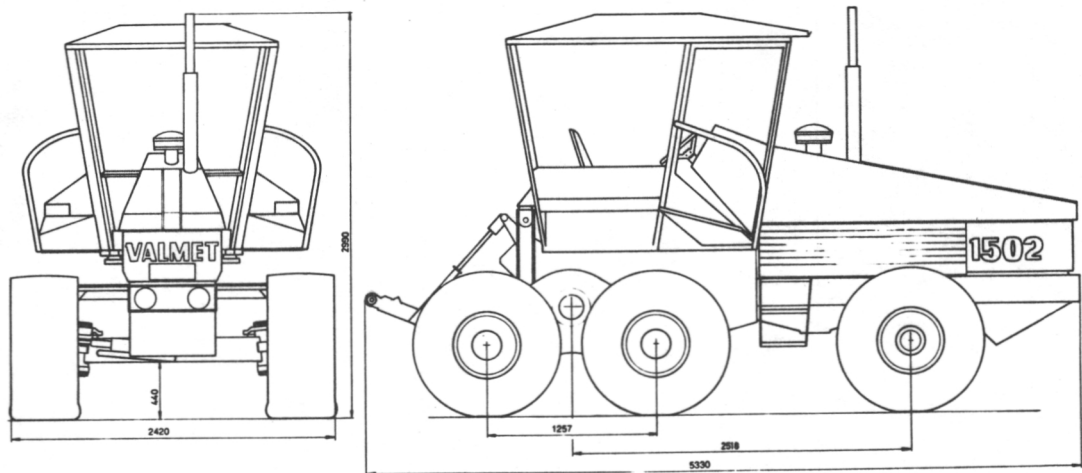
- Tyhjien säkkien siirtäminen työmaalta toiselle ja työmaan sisällä aiheuttaa kustannuksia.
- Säkitysjärjestelmä vaatii ainakin toistaiseksi ylimääräisen apumiehen sekä leikkuuhakkurille että säkkien purkamiseen välivarstolla.

2. PALLARIN LEIKKUUHAKKURIN TEKNISET OMINAISUUDET

21. Peruskone

Leikkuuhakkurin peruskoneena on 6-pyörävetoinen Valmet 1502 traktori. Vesakkoon jäävän sängyn korkeuden alentamiseksi traktorin heilunnan tulee olla mahdollisimman vähäistä, mihin pyritään traktorin telirakenteella. Traktorin alkuperäinen kulkusuunta on muutettu leikkuuhakkurissa päinvastaiseksi siten, että teli on koneen etupäässä.

Peruskoneen paino on 7,5 tonnia. Leikkuuhakkurin kokonaispaino harvesteriosia ja säkityslaitteisto mukaan luettuina on 10 tonnia.



Kuva 1. Leikkuuhakkurin peruskone, Valmet 1502 traktori.

Traktorin synkronoidussa vaihteistossa on 16 vaihdetta eteen ja neljä taakse. Alimman vaihteen nopeus on 0,9 km/h (800 rpm) - 2,5 km/h (2300 rpm). Leikkuuhakkurissa on lisäksi hydros- taattinen ryömintävaihde, jonka nopeusalue on 0 - 3 km/h.

Valmet 1502 traktorin tekniset ominaisuudet ovat seuraavat:

Mitat (kuva 1):

Suurin pituus	5 330 mm
Leveys	2 420 mm
Suurin korkeus	2 990 mm
Akseliväli	2 518 mm
Telin akseliväli	1 257 mm
Maavara	440 mm

Moottori:

4-tahtinen Valmet 611 CS suorasuihkutusdiesel
 Teho 100 kW DIN/2300 rpm
 Sylinteriluku 6

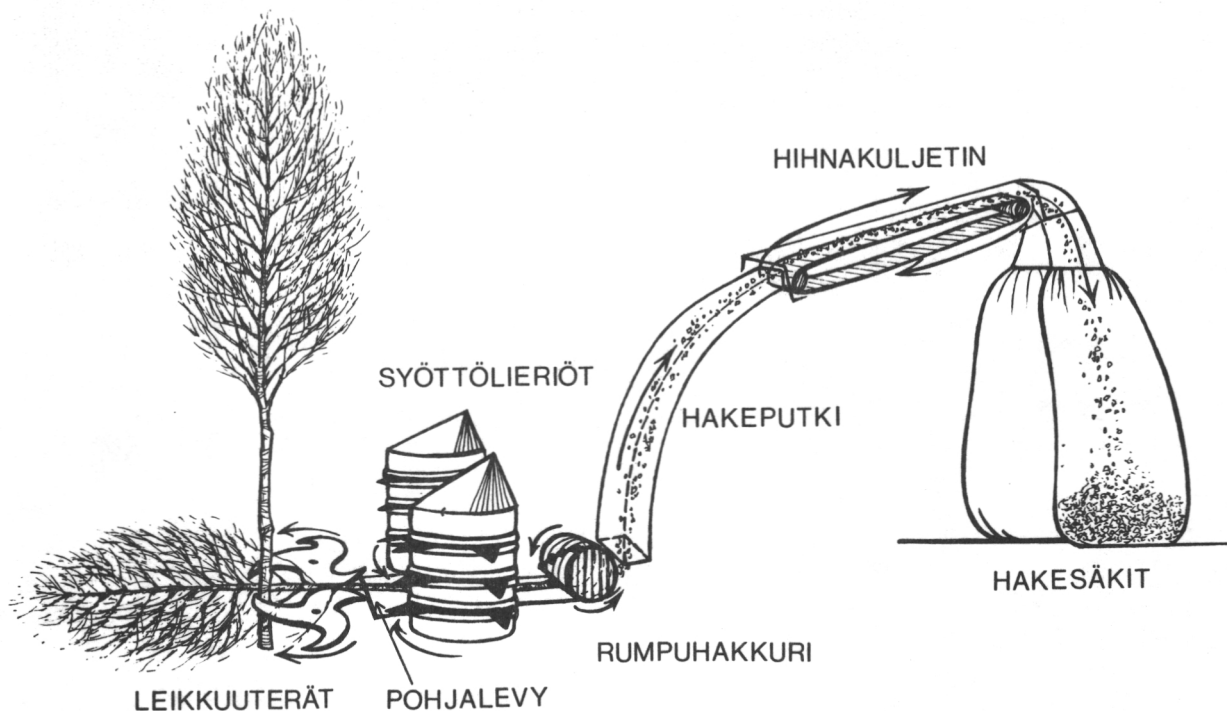
Hydraulinen järjestelmä:

Kaksoispumppu, kierrostilavuus 12/16 cm³/r
 - nostolaitteelle 26 dm³/min (2200 rpm)
 - ohjaukselle 35 dm³/min (2200 rpm)
 Nostovoima vetovarren päässä 35 000 N
 Nosto riippumaton ajo- ja voimanottokytkimestä
 Asento-, vetovastus- ja painesäätö sekä
 laskunopeuden säätö
 Kolmipistenostolaitteen kiinnityspisteet luokka II

22. Harvesteriosa ja säkityslaitteisto

Harvesteriosan paino on 3 000 kg. Se on kiinnitetty Valmet 1502:n perään. Koneen alkuperäinen kulkusuunta on käännetty siten, että harvesteriosa sijaitsee itse asiassa monitoimikon- koneen edessä. Harvesteriosan korkeutta ja kallistusta säädel- lään hydraulisen nostolaitteen avulla.

Säkitysosaa koostuu hakkeen kuljettimesta, säkkitelineestä ja hakesäkeistä. Ne on sijoitettu leikkuuhakkurin nykyiseen peräosaan, josta täysinäiset säkit pudotetaan telinettä kal- listamalla maahan.



Kuva 2. Leikkuuhakkurin toimintaperiaate.

Leikkuuhakkurissa erotetaan peruskoneen lisäksi seuraavat osat (kuva 2).

1. Suuntauskehikko, joka taivuttaa puuta eteenpäin ja estää sitä kaatumasta koneen sivulle. Työntökorkeus on 2,3 m.
2. 2 vaakatasossa pyörivää leikkuulaikkaa. Kummassakin laikassa on kolme sirppiterää, joilla puut kaadetaan. Laikan halkaisija on 110 mm ja paksuus 20 mm. Kumpaakin laikkaa pyörittää erillinen hydraulipumppu.
3. Pohjalevy, jota pitkin puut kulkeutuvat tyvi edellä hakkuriin.
4. 2 pyörivää syöttölieriötä, joitten kolmiolevyt iskevät puuta hakkuria kohti. Sylinterit sijaitsevat samoilla akseleilla leikkuulaikkojen kanssa. Niitten läpimitta on 520 mm ja korkeus 400 mm.

Kolmiolevyt, joita kummassakin sylinterissä on yhteensä 9 kappaletta, sijaitsevat 3 kerroksessa. Kolmiolevyjen leveys on 150 mm.

5. Hydraulinen rumpuhakkuri, joka hakettaa puun ja heittää hakkeen edelleen putkeen. Rummun läpimitta on 420 mm ja leveys 440 mm. Rummussa oli alunperin 24 kappaletta 55 mm:n teriä, jotka kiersivät portaittain rummun pintaa kolmessa sarjassa. Rakennetta muutettiin toisen koealan jälkeen siten, että terien leveydeksi tuli 110 mm ja lukumääräksi 12 kappaletta. Terien portaittainen asema säilyi muutoin entisellään.

6. Hakeputki, jota pitkin hake siirtyy ylös kuljettimelle. Putki koostuu kahdesta osasta siten, että se lyhenee ja pitenee teleskooppimaisesti, kun harvesteriosan korkeutta muutetaan. Suorakaiteen muotoisen putken poikkileikkaus on 200 x 400 mm.
7. Kumipäällysteinen hihnakuljetin, joka siirtää hakkeen koneen perässä sijaitseviin säkkeihin. Kuljettimen leveys on 400 mm ja pituus 3,7 m.
8. Teline, johon kiinnitetään samanaikaisesti kaksi 1,5 m³:n hakesäkkiä. Kuljettimelta putoava hake ohjataan sulkuläpällä haluttuun säkkiin. Telineessä on säilytystila tyhjille säkeille.

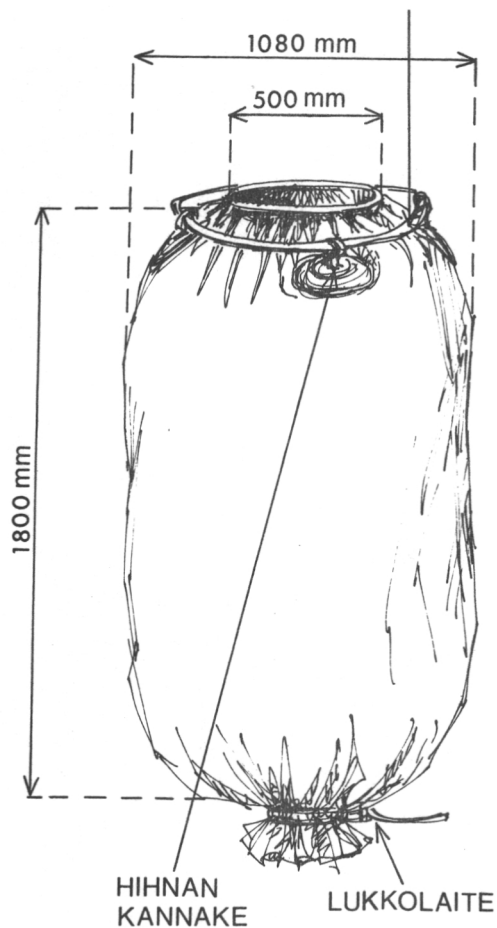
23. Hakesäkit

Hakesäkkijärjestelmä vapauttaa leikkuuhakkurin kantamasta tai vetämästä raskasta hakekuormaa. Kone voi liikkua joustavammin ja sen voimantarve pienenee.

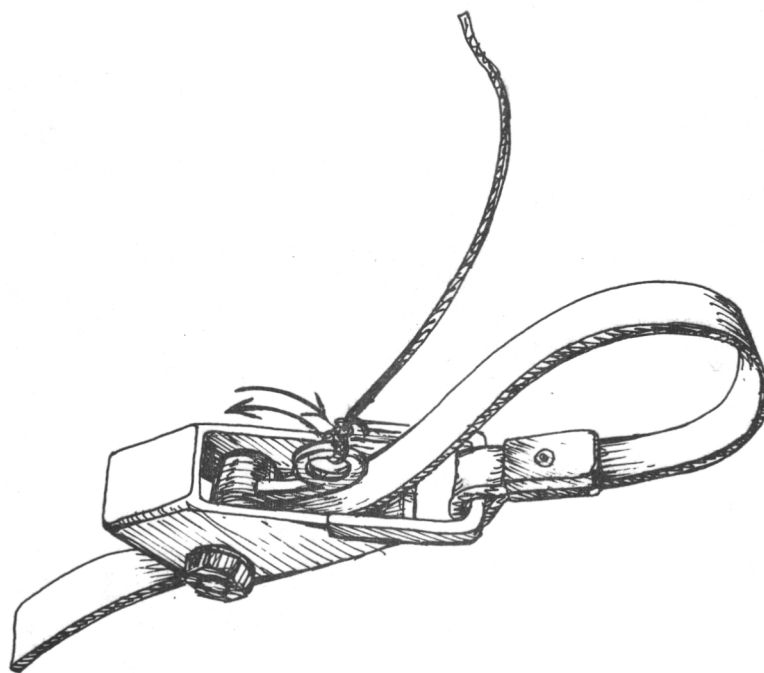
Säkkejä jodutaan pudottelemaan terävien kantojen ja muitten esteitten päälle. Säkkejä siirrellään kuormatraktorin kouralla. Kun täysinäisen hakesäkin paino saattaa olla useita satoja kiloja, siltä vaaditaan suurta lujuutta. Tämä puolestaan asettaa materiaalille korkeat laatuvaatimukset. Säkin hinta nousee väistämättä niin korkeaksi, että rajoittuminen kertakäyttöön ei tule kysymykseen.

Edullisin säkkikoko riippuu lähinnä materiaalin lujuudesta ja hinnasta sekä säkkejä käsittlevien koneitten voimasta. Tässä kehitysprojektissa päädyttiin säkkeihin, joihin voidaan varastoida irtotilavuudeltaan yhden kuutiometrin hakemäärä. Säkkien nimelliskoko on hieman suurempi, noin 1,5 m³.

Säkin suu on varustettu vahvistetulla reunuksella, josta säkki voidaan ripustaa leikkuuhakkurin telineeseen (kuva 3). Täysinäisen säkin suuta ei tarvitse sulkea kiristämällä. Yläreunassa on myös hihnat, joista säkkiä nostetaan tyhjennysvaiheessa.



Kuva 3. Hakesäkki



Kuva 4. Hakesäkin lukkolaite.

Säkin alapää suljetaan kiristyshihnalla, joka on varustettu epäkeskolla metallisalvalla (kuva 4). Salpa avautuu narusta vetämällä, kun säkki riippuu nostohihnojen varassa. Salvan on valmistanut Tervolan Konepaja.

Projektin aikana kokeiltiin useita eri säkkimateriaaleja, joista valmistajat antavat seuraavat tiedot.

Säkkityyppi 1. Materiaalina on nailonlangasta kudottu solmuverkko. Langan vetolujuus on 800 N. Verkon silmä on muodoltaan suorakulmio, jonka sivun pituus on 25 mm. Säkki on vahvistettu nailonköysillä. Suuaukko suljetaan kuristusköydellä. Säkin paino on 5,5 kg. Valmistaja Oy Aino Lindeman Ab Vaasan Verkkotehdas.

Säkkityyppi 2. Säkki on valmistettu alunperin tie- ja vesirakennustöihin tarkoitettusta Trevira spunbond polyesteri kankaasta. Sen paino on 305 g/m², paksuus 3 mm, repäisyjujuus 750 N ja repäisyvenymä 65 %. Valmistaja Turo Oy.

Säkkityyppi 3. Säkki on valmistettu Vinyplan kankaasta. Sen sidosmateriaalina on 2 mm x 2 mm välein kudottu polyamidilanka, joka on päällystetty pakkasenkestävällä, palosuojaajulla PVC-muovilla. Säkkikankaan paino on 250 g/m², repeämisjujuus 300 N, vetolujuus loimen suunnassa 1350 N/5 cm ja kuteen suunnassa 1200 N/5 cm. Nostohihnan vetolujuus 10:000 N. Säkin paino hihnoineen ilman lukkolaitetta on 6,6 kg. Säkki voidaan paikata lämpösaumauksella tai Vinstick liimalla. Valmistaja Turo Oy. Hinta ilman lukkolaitetta noin 245 mk.

Säkkityyppi 4. Säkin materiaalina on polypropeenimuovista kudottu kangas, jonka paino on 180 g/m² ja vetolujuus loimen suunnassa 1810 N/5 cm ja kuteen suunnassa 1240 N/5 cm. Kangas on suojattu ultraviolettisäteilyä vastaan. Nostohihnan vetolujuus on 31 400 N. Säkin paino ilman lukkolaitetta on 2,5 kg. Valmistaja Oy Rukka-Products Ab. Hinta ilman lukkolaitetta noin 135 mk.

Lujuuden ja hinnan perusteella lopullisiin kenttäkokeisiin valittiin säkkityypit 3 ja 4.

3. PALLARIN LEIKKUUHAKKURIN SOVELLUTUSMAHDOLLISUUDET

Leikkuuhakkurin työlle asetettavat vaatimukset riippuvat alueen myöhemmästä käytöstä. On tarjolla kaksi mahdollisuutta.

- Vaihtoehto 1. Vajaatuottoinen pienpuusto hakataan aukeaksi ja käytetään polttoaineeksi. Tämän jälkeen tavoitteena on lähinnä havupuuviljelmän perustaminen metsäteollisuuden raaka-aineeksi. Tällöin on toivottavaa, että kaadettavat puut eivät vesivoimakkaasti.

- Vaihtoehto 2. Alueella ryhdytään tuottamaan yksinomaisesti polttopuuta. Lehtipuuston avohakkuun jälkeen pyritään saamaan aikaan tiheä ja elinvoimainen vesakko, jonka biomassatuotos käytetään myös tulevaisuudessa polttoaineeksi. Tavoitteena on voimakas vesominen.

Pallarin leikkuuhakkuri soveltuu ensimmäiseen vaihtoehtoon. Nykyisen metsätalouden puitteissa jälkimmäinen vaihtoehto on Suomen oloissa vielä poikkeustapaus. Konetta ja työmenetelmää kehitettäessä ei ole toistaiseksi pyritty siihen, että juurakot säilyisivät vahingoittumattomina. Energian hintakehitys muuttaa kuitenkin tavoitteita, ja tietäntyyppisissä leppä- ja hieskoivu-metsiköissä tämä mahdollisuus saattaa piankin tulla ajankohtaiseksi.

Pallarin leikkuuhakkuri on tarkoitettu tiheässä asennossa kasvavan pienpuun korjuuseen. Mitä pienempää puusto on, sitä taloudellisempi menetelmä on muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Puitten koon kasvaessa koneen toiminta vaikeutuu teknisesti ja sen kilpailukyky muihin vaihtoehtoihin verrattuna heikkenee. Enimmäisläpimitta riippuu puulajista ja puuaineen tiheydestä. Meidän puulajeillamme nuorten puitten tiheys vaihtelee yleensä seuraavien rajojen sisällä:

	Puuaineen tiheys, kg/m ³
Pienikokoinen havupuu	330 - 390
Pienikokoinen leppä	350 - 370
Pienikokoinen koivu	440 - 480

Kone työskentelee leimikoissa, joissa puitten kantoläpimitta on 1 - 10 cm. Se voi tilapäisesti korjata myös suurempia 10 - 15 senttimetrin puita, mutta työn tuotos hidastuu ja koneeseen kohdistuva rasitus on suuri.

Leveä, 2,3 m:n leikkuukaista asettaa verraten ankarat vaatimukset maastolle. Jos kone joutuu heilumisliikkeeseen, kaatoterien rasitus kasvaa ja puita saattaa kaatua myös sivusuuntaan. Jotta terät eivät joutuisi kosketukseen maan pinnan, kivien ja suurten kantojen kanssa, leikkuukorkeutta joudutaan korottamaan epätasaisessa maastossa. Kone toimii niin ollen tehokkaimmin vähäkivisillä, tasaisilla mailla.

Valmet 1502 traktorissa on 6 vetävää pyörää. Sen maastokelpoisuus on tyydyttävä, mutta se edellyttää verraten hyvin kantavaa maastoa. Suometsissä sen käyttö on mahdollista vain talvella jäätyneen maan aikaan. Koska leikkuuhakkuria ei voida käyttää syvässä lumessa, kone on soilla käyttökelpoinen vain lyhyen ajan vuodesta. Kone voidaan varustaa teloilla, mutta niitä ei ole kokeiltu tässä tutkimuksessa.

Sovellutusalue määräytyy edellä esitettyjen rajoitusten tuloksena. Useimmiten on kysymyksessä lehtipuuvesakon avohakkuu alueen valmistamiseksi havupuun viljelylle tai raivaamiseksi muuhun kuin metsätaloudelliseen käyttöön. Mahdollisia kohteita ovat Suomen oloissa lähinnä seuraavat

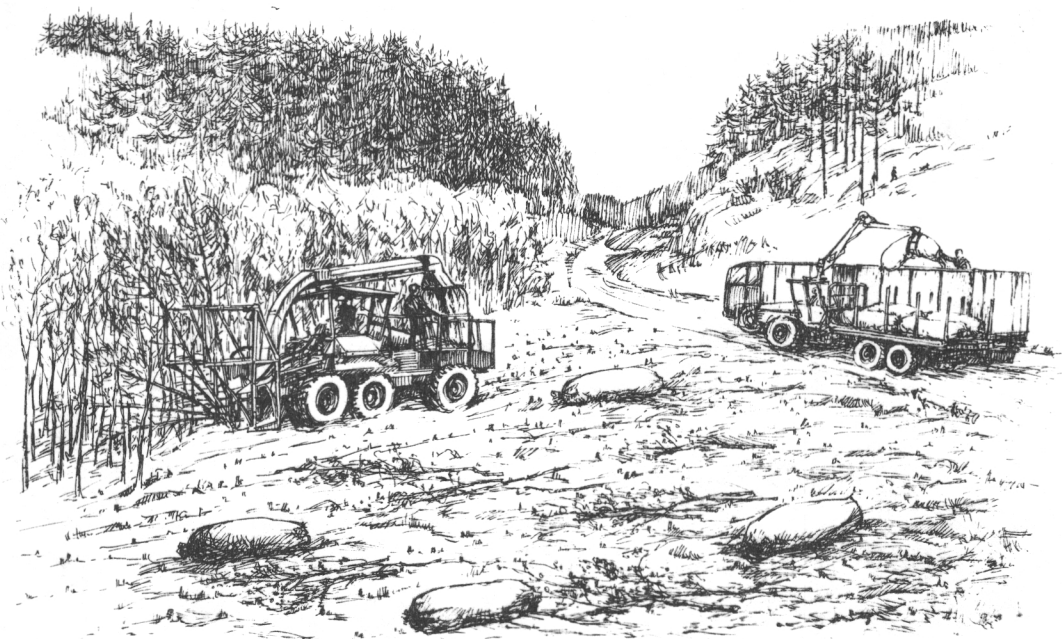
- Hylätyt pelto- ja laidunmaat, joille on luontaisesti syntynyt heikkolaatuista lehtipuustoa. Metsätalouden kannalta nämä puustot luokitellaan vajaatuottoisiksi. Metsiköt ovat kooltaan pieniä ja muodoltaan usein epä-määräisiä. Puusto keskittyy usein avo-ojien reunoille, mikä vaikeuttaa korjuuta. Tällaisten alueitten pinta-ala arvioidaan 200 000 ha:ksi.
- Entisille kaski- ja laidunmaille nousseet harmaalepiköt, jotka keskittyvät erityisesti Itä-Suomeen. Osa soveltuu korjattavaksi avohakkuulla, mutta useissa tapauksissa lepikon alle on jo istutettu kuusta, jolloin leikkuuhakkurin käyttö ei ole mahdollista. Harmaalepiköitten kokonaispinta-ala on 160 000 ha.
- Ojitetuille soille luontaisesti syntyneet hieskoivikot. Alueet ovat tehokkaan korjuun kannalta yleensä riittävän laajoja ja yhtenäisiä. Tasainen pinnanmuodostus ja kivien puuttuminen helpottavat korjuuta. Vaikeutena ovat kuitenkin turvemaan huono kantavuus sekä noin 50 m:n välein sijaitsevat avo-ojat. Korjuu on mahdollista vain rajoitettuna aikana vuodesta turpeen ollessa jäätyneenä. Tällaisia hieskoivun valtaamia soita on satoja tuhansia hehtaareita, ja ojitustoiminnan edistyessä niitä syntyy edelleen lisää.
- Voimajohtolinjoilla kasvava puusto, joka on kaadettava maahan viimeistään saavuttaessaan 4 - 5 m:n pituuden. Koska puitten runkoluku saattaa nousta 30 000 - 50 000 kappaleeseen hehtaarilla ja työ on toistettava jopa 5 vuoden välein, raivauskustannukset nousevat varsin korkeiksi. Yksinomaan Imatran Voima Oy joutuu pitämään aukeana 26 000 ha päävoimalinjojen alla olevia alueita.
- Havupuutaimistot, joita joudutaan perkaamaan ja harven-tamaan jo nuorella iällä, ennen kuin puut saavuttavat teollisuuspuun vähimmäismitat (vrt. HEINO ja RUOTSA-

LAINEN 1976). Metsikön myöhemmän tuotoksen säilyttämiseksi mahdollisimman korkeana on tavoitteena oltava valikoiva harvennus. Työvoiman ja kustannusten säästämiseksi voidaan tulevaisuudessa ehkä kuitenkin joutua turvautumaan myös koneellisiin menetelmiin ja käytäväharvennuksiin. Koneen tulee olla tuolloin mahdollisimman kapea, mieluummin alle 2 m leveydeltään. Maaston puolesta leikkuuhakkurille soveltuvat lähinnä kuivien kankaitten ja talvella myös soitten nuoret männiköt.

Kaikissa näissä tapauksissa pienpuuston poistaminen on metsänhoidollisista tai muista syistä välttämätöntä. Koska puitten lukumäärä hehtaaria kohti on suuri, raivauskustannukset ovat perinteisissä menetelmissä korkeat. Leikkuuhakkurilla korjatun polttopuun kustannuksia laskettaessa tulisi ottaa huomioon myös nämä näkökohdat.

4. TYÖTEKNIikka

Pallarin leikkuuhakkurin työtekniikka tähtää jatkuvaan etenemiseen. Kone, jonka leveys on 242 cm, kaataa ja hakettaa tielleen sattuvat puut 230 cm:n kaistalta. Hake kerätään koneen takaosassa sijaitseviin säkkeihin. Täysinäiset säkit pudotetaan säkkitelinettä kallistamalla maahan, josta kuormatraktori kuljettaa ne tien varteen. Säkit tyhjennetään hakekuorma-autoon ja palautetaan tyhjänä leikkuuhakkurille uudelleen käytettäväksi.



Kuva 5. Pallarin leikkuuhakkuriin ja hakesäkkijärjestelmään perustuva korjuuketju.

Edetessään vesakossa kone koskettaa puuta ensimmäiseksi 2,3 m:n korkeudella olevalla työntökehikolla taivuttaen sitä koneen kulkusuunnassa eteenpäin. Tämä estää puuta kaatumasta sivulle.

Puun kaato tapahtuu koneen edessä 10 - 30 cm:n korkeudella pyörivällä kahdella kaatolaikalla, joissa kummassakin on kolme sirppimäistä terää. Pieni puu kaatuu yhdellä iskulla, mutta paksummat puut vaativat useita iskuja. Laikkojen pyörimisnopeus on 60 rpm. Hitaan nopeuden ansiosta terät eivät sinkoa puunkappaleita ympäristöön, mikä lisää työturvallisuutta.

Kaatolaikkojen pyörimissuunta on etupuolelta katsoen koneen ulkoreunalta keskelle. Sirppiterät heittävät katkeavan puun tyvi edellä laikkojen takana keskellä olevalle sileälle teräspohjalle. Mikäli puun tyvi pääsee putoamaan maahan se on leikattava uudelleen tai pahimmassa tapauksessa puu saattaa jäädä koneen alle, jolloin se menetetään.

Koneen etenemisliikkeen vaikutuksesta puun tyvi liukuu teräspohjaa pitkin rumpuhakkuriin. Puun siirtämistä hakkuriin auttaa kaksi pystyä syöttölieriötä, joitten nopeus on 60 rpm. Kummassakin sylinterissä on kolmessa kerroksessa yhteensä 9 kolmiolevyä, jotka hakkaavat puuta kohti hakkuria. Syöttölieriöitten etäisyys toisistaan on 54 cm, joten ne eivät purista puuta.

Syöttölieriöitten ja koneen etenemisliikkeen ansiosta puun tyvi tulee rumpuhakkurin ulottuville. Hakkuri, jonka kierrosnopeus on 1 900 - 2 000 rpm, on periaatteessa itsesyöttävä, mutta käytännössä rumpuhakkurin terien ote puusta katkeaa usein. Puu palautetaan rummun terien otteeseen edellä mainituin keinoin.

Rummun pyörimisliikkeen synnyttämä ilmavirta nostaa hakkeen putkea pitkin 3,0 m:n korkeudelle, missä hake putoaa kumikuljettimelle. Se siirtää hakkeen 1,8 m/s nopeudella säkkiin.

Koneen perässä olevassa telineessä on samanaikaisesti kaksi säkkiä. Ensimmäisen täytyttyä kuljettimelta putoava hake ohjataan sulkuläpällä toiseen, ja täysinäinen säkki pudotetaan

koneen perästä maahan säkin suuta erikseen kiristämättä. Telineeseen ripustetaan sen tilalle uusi tyhjä säkki. Tähän tehtävään tarvitaan koneen kuljettajan lisäksi apumies, joka avustaa myös huoltotehtävissä.

Säkit kuljetetaan tien varteen puomikuormaimella varustetulla maatalous- tai kuormatraktorilla. Kuormatila varustetaan puupohjalla tai pölkykerroksella. Kuormattaessa koura tarttuu säkkiin keskeltä ja asettaa sen kuormatilaan vaakasuunnassa paperipuupölkkyjen tavoin. Esimerkiksi Turo säkin läpimitta on täysinäisenä 108 cm ja pituus 180 cm. Kuormatraktorin säkkejä mahtuu helposti kaksi peräkkäistä riviä.

Välivarastolla säkit voidaan jättää pinomuodostelmaan autokuljettusta odottamaan. Pyrkimyksenä on kuitenkin tulla toimeen mahdollisimman pienellä säkkimäärällä, ja tästä syystä traktori tyhjentää mieluummin säkit suoraan vaihtolavalle tai kuorma-autoon.

Säkkiä tyhjennettäessä traktorin kuljettaja tarttuu kouralla säkin yläpäässä olevaan nostohihnaan ja siirtää säkin auton kuormatilan yläpuolelle. Kun apumies vetää säkin alapäässä olevasta narusta, epäkesko lukkolaite aukeaa ja säkki tyhjenee hetkessä. Traktori palauttaa tyhjäät säkit leikkuuhakkurille.

Leikkuuhakkurin, traktorin ja hakeauton toiminnat on mahdollista erottaa toisistaan täydellisesti, mutta tällöin joudutaan käyttämään suuria säkkimääriä. Koska säkit ovat toistaiseksi verraten kalliita, tätä vaihtoehtoa ei suositella. Kuitenkin jo esimerkiksi 200 säkillä voidaan työskennellä melko joustavasti niin, että peräkkäisten koneitten yhteensovittamisen ongelmat vähenevät merkittävästi. Tämä säkkimäärä näet vastaa 10 - 15 traktori-kuormaa ja 2 - 3 täysperävaunullista hakeautokuormaa. Luonnollisesti on mahdollista myös tyhjentää säkit välivarastolla maahan.



Pallarin leikkuuhakkuri Kannuksessa koealalla 2, jolla siemenpuitten alle kasvanut lehtipuuvesakko korjattiin polttohakkeeksi metsikön uudistamisketjun ensimmäisenä toimenpiteenä.

Leikkuuhakkuri sivulta, edestä ja takaa. Hakesäkeistä keltainen on Turo Oy:n ja vaalea Oy Rukka-Products Ab:n valmistama.

5. TUTKIMUSAINEISTO

Metsäntutkimuslaitos suoritti syksyllä 1979 Pallarin leikkuuhakkurilla kokeita neljällä eri työmaalla. Ensimmäisen kokeen aikana puut olivat vielä lehdessä, mutta myöhemmin lehtipuut olivat jo paljaita. Maa oli kaikissa tapauksissa sulana.

Koesarjan alkaessa miehistö oli täysin tottumaton koneen käyttöön. Työtekniikka kehittyi jossain määrin tutkimusten aikana. Koneeseen tehtiin lisäksi eräitä työtulokseen vaikuttavia muutoksia, joista tärkein on rumpuhakkurin teräratkaisu. Nämä seikat vaikeuttavat koealojen vertailua ja tulosten tulkintaa.

Kussakin tapauksessa tutkimus kohdistui koko korjuuketjuun: kaato, haketus ja säkitys leikkuuhakkurilla ja säkkien kuljetus ja tyhjennys kuormatraktorilla.

Koealat edustavat tärkeimpiä leimikkotyyppejä, joitten pienpuun korjuuseen Pallarin leikkuuhakkuri on lähinnä tarkoitettu. Kaikki koealat ovat maastoltaan melko tasaisia ja helppokulkuisia. Koealojen puustotiedot on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Koeala 1 sijaitsi Kajaani Oy:n maalla Vaalassa. Kuivattu turve-
maa oli paikoin pehmeätä, mutta tämä ei haitannut koneitten
työskentelyä. Aluetta peitti 15 - 25 -vuotias tiheä lehtipuusto,
joka leikkuuhakkurin tarkoituksenmukaisen käytön kannalta oli
osittain liian järeätä. Puuston kuutiomäärästä oli 80 % koivua,
15 % leppää ja haapaa sekä 5 % heikkolaatuista mäntyä. Puut
olivat suorarunkoisia ja pienioksaisia. Alue kaadettiin aukeaksi.

Koealan 2 omisti Kannuksen seurakunta. Kasvupaikka oli VT-kangas,
jonka vallitseva puusto koostui harvassa asennossa kasvaneista
siemenpuista. Niitten alla oli runsaasti pienikokoista 5 - 15
vuoden ikäistä lehtipuuta, joka esti männyn luontaisen uudistu-
misen. Pienikokoisesta puustosta oli 5 % koivua, 85 % haapaa
ja 10 % leppää. Puusto oli runkomuodoltaan suoraa.

Tavoitteena oli uudistaa alue männylle. Sen toteuttamiseksi oli päätetty suorittaa seuraavat toimenpiteet: pienpuun korjuu leikkuuhakkurilla polttoaineeksi, kemiallinen kanto-käsittely, siemenpuitten poisto, maan muokkaus sekä männyn istutus.

Koeala 3 oli hylätyllä peltomaalla Kemin kaupungissa. Syys-sateitten seurauksena maa oli paikoitellen varsin pehmeätä. Alueella kasvoi 15 - 25 vuoden ikäistä lehtipuustoa, josta 10 % oli koivua, 5 % leppää ja 85 % pajua. Eräin paikoin edellisten talvien lumi oli taivuttanut puut kallelleen lähes maata vasten, mikä vaikeutti korjuuta. Pääosa puustosta oli kuitenkin suorarunkoista.

Alue oli päätetty raivata teollisuustontiksi. Tästä syystä pienpuusto poistettiin. Sinne tänne jätettiin kuitenkin suorarunkoisten koivujen ryhmiä.

Koeala 4 oli 15 - 20 vuoden ikäinen männyntaimisto Kemin kaupungin omistamalla maalla. Kasvupaikka oli kuiva VT-kangas. Alueella oli jonkin verran koneitten liikkumista rajoittavia kiviä, mutta se kuului siitä huolimatta metsätraktoreitten helpoimpaan maastoluokkaan. Puusto oli lähes yksinomaisesti mäntyä.

Alkuperäisenä tavoitteena oli männyn taimiston valikoiva harvennus ja raaka-aineen talteenotto kokopuuhakkeena. Tämän vaihtoehtona tutkimuksessa kokeiltiin käytäväharvennusta leikkuuhakkurilla. Koska koneen leveys, 2,42 m, on vallitsevan metsänhoidollisen käytännön kannalta tarkoitukseen liian suuri, käytäviä ajettiin tässä kokeessa vain noin 10 m:n välein. Tutkimuksessa pyrittiin siis ainoastaan selvittämään, sopiiko leikkuuhakkurin periaate käytävien avaamiseen. Samalla voitiin tutkia hakesäkkien keräämistä käytäviltä.

Taulukko 1. Puuston kantoläpimitan jakauma koealoilla.

Kantoläpimitta, cm	Koeala			
	1	2	3	4
	Puita, kpl/ha			
- 2	3704	4348	2640	1136
2 - 4	10789	6159	10559	4167
4 - 6	3221	4710	11646	3788
6 - 8	2415	2174	9317	3220
8 - 10	1449	1087	3106	1705
10 - 12	886	1449	2329	379
12 +	644	-	1708	379
Yhteensä	23108	19927	41305	14774

Taulukko 2. Tietoja koealojen puustosta ja kokeissa korjatun hakkeen määrästä.

Muuttuja	Koeala			
	1	2	3	4
Pinta-ala, m ²	4090	4745	3420	5300
Puita kpl/ha	23108	19927	41305	14774
Kantoläpimitta, mm	39	39	50	51
Pituus, dm	62	65	71	53
Haketta korjattu:				
Säkkejä, kpl	105	73	101	49
I-m ³	86,1	69,4	105,0	55,4
K-m ³	29,3	25,3	38,8	19,9
Tuoretonnia	24,8	19,1	28,3	17,9
Kuivatonna	13,6	10,3	14,9	7,4

6. KENTTÄKOKEITTEN TULOKSET

61. Leikkuuhakkurin tuotos

Leikkuuhakkurin toiminta tähtää jatkuvaan, hitaaseen etenemiseen. Kone joutuu kuitenkin tämän tästä pysäyttämään hetkeksi etenemisen erityisesti silloin, kun puitten kantoläpimitta alkaa lähestyä 10 cm ja kun kaadettavan vesakon tiheys on suuri. Usein kone joutuu peruuttamaan saadakseen poikkileikatut puut kaatumaan vaakatasoon ja edelleen rumpuhakkuriin. Käytännössä kone on etenemisliikkeessä itse asiassa vain kolmanneksen työajasta. Todellinen etenemisnopeus oli eri koealoilla täten vain 0,3 - 0,5 km/h.

Puitten poikkikatkaaminen ei tuottanut koneelle vaikeuksia. Paksuja puita kaataessaan sen tosin oli pysähdyttävä voidakseen iskeä puuta useamman kerran, mutta muutoin kaato onnistui erinomaisesti. Kokeitten kesto aika oli kuitenkin niin lyhyt, että on ennenaikaista tehdä päätelmiä terien lujuudesta jatkuvaa käyttöä ajatellen.

Ensimmäisellä prototyypillä vuonna 1975 tehdyissä kokeissa vaikeuksia tuotti ehkä eniten puitten ohjaaminen kaatoteriltä hakkuriin. Muotoilemalla syöttösylinterit uudelleen ja kaksinkertaistamalla hakkurirummun läpimitta tätä ongelmaa on onnistuttu helpottamaan merkittävästi. Milloin vesakko on niin tiheätä, että useita puita on pyrkimässä hakkuriin samanaikaisesti ja edessä olevat pystypuut toisaalta estävät puita kaatumasta vaakatasoon, syöttöaukolla on edelleen taipumus tukkeentua. Saadakseen ahtautuneet puut liikkeelle kohti hakkuria kuljettaja joutuu kallistamaan harvesteriosaa tai liikuttamaan konetta edestakaisin. Syöttöaukon tukkeutuminen ei ollut kokeissa kuitenkaan erityisen vakavaa, vaan siitä voitiin aina selvittää tällä tavoin. Luonnollisesti se kuitenkin alensi työn tuotosta.

Todellinen pullonkaula näytti olevan rumpuhakkuri, jonka terä-ratkaisu oli aluksi epätydyttävä. Kun terien leveys oli ainoastaan 55 mm, terien alus täyttyi nopeasti puulastuilla. Tällöin hakkuri menetti tehoaan. Tuore puu pakkaantui lujaan terän alle, ja terien puhdistaminen oli kohtuuttoman hidasta. Ensimmäisellä koealalla tuotos oli kuitenkin 5,0 ja toisella 6,4 m³ tehotuntia kohti.

Kun rumpuhakkurin terien leveys lisättiin kaksinkertaiseksi eli 110 mm:iin, tukkeutumista ei enää esiintynyt. Uutta terä-ratkaisua kokeiltiin ensimmäisen kerran koealalla 3. Vaikka olosuhteet muutoin olivat verrattavissa koealoihin 1 ja 2, tuotos nousi nyt 9,1 m³:iin tehotunnissa. Lisäys oli peräti 60 %.

Viimeisellä koealalla leikkuuhakkuria kokeiltiin käytävien avaamiseen nuoressa männikössä. Tämä työ oli huomattavasti hitaampaa kuin avohakkuu. Vaikka menetelmä sinänsä toimi, peruskone oli työhön aivan liian raskas ja kömpelö. Erityisesti kääntyminen ja uudelle käytävälle siirtyminen tuottivat vaikeuksia ja aiheuttivat vaurioita pystyjuille. Parannetuista hakkurinteristä huolimatta tuotos suoralla käytävällä ajettaessa, ilman kääntymiseen käytettyä aikaa, oli vain 4,9 m³ tehotunnissa.

Taulukko 3. Leikkuuhakkurin tuotos tehotuntia kohti lehtipuu-vesakon avohakkuussa (koealat 1, 2 ja 3) ja männyn käytäväharvennuksessa (koeala 4).

Koeala	Nopeus km/h	Tuotos tehotunnissa					
		I-m ³	K-m ³	Tuore- tonnia	Kuiva- tonnia	Toe	Ha
1	0,30	14,6	5,0	4,2	2,3	0,98	0,07
2	0,47	16,1	6,4	4,8	2,6	1,07	0,11
3	0,33	24,7	9,1	6,7	3,5	1,40	0,08
4	0,51	13,1	4,9	4,2	1,7	0,68	0,12

Taulukko 3 osoittaa myös koneen tehotunnissa tekemän hakkeen energia-arvon ekvivalenttisina öljytonneina (toe). Männyn tulosta rasittaa poikkeuksellisen korkea kosteus, 59 %.

Eri koealoilla saavutettuja tuloksia on mahdoton verrata keskenään. Erilaiset olosuhteet, miehistön kokemuksen karttuminen työn edistymisen myötä sekä hakkurin terien parantaminen koealan 2 jälkeen vaikeuttavat tulkintaa. Kirjoittajain käsityksen mukaan koealan 3 tulos, $9,1 \text{ m}^3$ tehotunnissa, on saavutettavissa yleisesti käytännön työskentelyssä, mikäli maasto ei rajoita ja hidasta koneen liikkumista. Tuotos ei näytä riippuvan kovinkaan herkästi vesakon tiheydestä, sillä harvempi tiheys korvautuu suuremmalla ajonopeudella.

Koealan 3 tulos on koneen ja menetelmän jatkokehittelyä silmällä pitäen erittäin lupaava. Sitä vastoin koealalla 4 käytäviä avattaessa mitattu tuotos, jossa kääntymiseen kuluva aikaa ei ole otettu huomioon, ei ole tyydyttävä.

62. Huomioita hakesäkeistä

Leikkuuhakkuri varastoi hakkeen säkkiin. Täytyttyään säkki pudotetaan koneen perästä maahan. Säkit kerätään tien varteen maatalous- tai kuormatraktorilla.

Tutkimusta varten oli käytettävissä 50 hakesäkkiä. Kun kaikilla neljällä koealalla haketta tehtiin yhteensä 361 säkillistä, kukin säkki täytettiin keskimäärin 7,2 kertaa. Säkeissä ei havaittu toistuvan käytön aiheuttamaa kulumista tai heikkene- mistä. Sen sijaan useita säkkejä rikkoontui työn eri vaiheissa seuraavista syistä:

- Traktorin koura puristi säkkiä liian lujaa.
- Traktorin koura repäisi kuormaa purettaessa viereistä säkkiä.
- Traktorin kuormatilan terävät osat repäisivät säkkiä.
- Leikkuuhakkuri ajoi maassa olevan täysinäisen säkin päälle.
- Säkki tarttui traktorin perävaunun pyörien välissä olevan vetorullan väliin.

Säkeistä särkyi kaikkiaan 5,5 %. Koska varsinaista kulumista ei ollut havaittavissa, säkin keskimääräinen kestoikä olisi tämän mukaan ollut 18 käyttökertaa. Rukka säkeissä oli vaurioita keskiarvoa vähemmän, Turo säkeissä taas enemmän.

Koeala	Säkkejä täytettiin, kpl	Säkkejä rikkoontui, kpl	Säkkejä rikkoontui, %
1	119	3	2,5
2	73	4	5,5
3	115	8	7,0
4	54	5	9,3
Kaikki	361	20	5,5

Säkkien särkyminen tapahtui useimmiten niitä kouralla käsitellessä. Tulos riippuu toisaalta kouran muodosta ja toisaalta kuljettajan taidosta. Vaikka kaikki kuljettajat olivat kokeneita metsätraktorin käyttäjiä, he olivat tämänkaltaisessa työssä aloittelijoita.

On ilmeistä, että säkkien kestoikää voidaan oleellisesti lisätä pelkästään muotoilemalla traktorin kouraa, peittämällä kuormatilaa pohja sekä kartuttamalla kuljettajan kokemusta. Kustannuslaskelmissa luvussa 64 säkkien kestoiksi onkin oletettu 30 käyttökertaa.

Oksat ja tikut pienentävät hakkeen tiiviyyttä säkeissä. Kun hakkeen laatu parani toisen koealan jälkeen tehdyn uuden terä-ratkaisun ansiosta, myös säkkien täyttyminen tehostui. Säkin keskipaino oli sen jälkeen lehtipuulla 280 kg ja männyllä jopa 365 kg. Mäntysäkkien korkea paino johtui puun suuresta kosteudesta. Säkin tilavuus nousi yli 1 m^3 ja sen puusisältö oli noin $0,4 \text{ k-m}^3$.

Taulukko 4. Hakesäkkien paino ja tilavuus

Leimikko	Pääpuulaji	Irtotilavuus, m ³	Kiintotilavuus, m ³	Tuorepaino, kg	Kuiva- ainetta, kg
1	Koivu	0,82	0,28	236	130
2	Haapa	0,95	0,35	282	152
3	Paju	1,04	0,38	280	147
4	Mänty	1,13	0,41	365	151

Säkin pohjan lukkolaite toimi tyydyttävästi. Mikäli tyhjän säkin lukkolaitetta ei suljeta huolellisesti, se saattaa kuitenkin aueta säkkiä kouralla siirrettäessä. Purettaessa sen laukaisumekanismi toimi yleensä hyvin. Viimeisellä koealalla, jolla säkkien paino oli suurin, laukaiseminen tuotti kuitenkin eräissä tapauksissa vaikeuksia.

63. Lähikuljetuksen tuotos

Leikkuuhakkuri jättää hakesäkit maastoon hajalleen. Saattaa olla mahdollista nopeuttaa lähikuljetuksen kuormausvaihetta pudottamalla säkit ryhmiin, mutta tässä tutkimuksessa siihen ei pyritty.

Kuljetukseen voidaan käyttää maatalous- tai metsätraktoria. Kone tulee olla varustettu kuormaimella, joka kykenee käsittelemään 350 - 400 kg:n säkkejä. Tässä tutkimuksessa metsäkuljetuksessa käytettiin seuraavia traktoreita:

- Koeala 1: Ford County 754
- Koeala 2: Valmet 920 Jehu
- Koeala 3: Hemeg
- Koeala 4: Ford County 754

Hakesäkkien kuljetus on avohakkuuoloissa yksinkertaista. Kuormaaminen käy joutuisasti, ja kuorman koko on riittävä.

Sen sijaan männyn käytäväharvennuksessa metsätraktorin työskentely on vaikeata. Traktorin leveyden tulee olla pienempi kuin leikkuuhakkurin. Kun traktori joutuu siirtämään säkit kapealla käytävällä edestään kuormatilaansa, puuston vaurioitu-

misvaara on suuri. Työ on mahdollista itse asiassa vain metsiköissä, joissa puut ovat niin lyhyitä, että traktori voi siirtää säkkejä latvuserroksen yläpuolella. Muussa tapauksessa säkit on pudotettava leikkuuhakkurista siten, että ne jäävät käytäviä vastaan poikkisuunnassa kulkevien ajourien tuntumaan.

Kuljetuksen ajanmenekki ja tuotos riippuvat säkkien lukumäärästä pinta-alayksikköä kohti. Ennen kuljetusta hakesäkkien tiheys maastossa oli seuraava:

Koeala	Säkkejä, kpl/ha
1	257
2	154
3	295
4	94

Koealojen väliset erot ajankäytössä saattavat aiheutua yhtä paljon kuljettajista kuin metsikköeroista. Kuormauksessa ja purkamisessa tulokset ovat melko yksiselitteiset. Kuljetuksessa sen sijaan ajan jakauma vaihtelee suuresti maastosta ja työn järjestelystä riippuen.

Taulukko 5. Hakesäkkien kuormatraktorikuljetuksen ajankäyttö. Matka 200 m.

Työvaihe	Metsikkö							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	Tehoaika, min/m ³				Ajan jakauma, %			
Siirtyminen:	265	238	365	358	24	31	40	40
-Tyhjänä	55	37	147	55	5	5	16	6
-Kuormauksen aikana	155	155	62	253	14	20	7	28
-Kuormattuna	55	46	156	50	5	6	17	6
Kuormaus	253	217	167	194	24	28	18	22
Purkaminen	554	322	393	340	52	41	42	38
Yhteensä	1072	777	925	892	100	100	100	100

Taulukon 5 tuloksissa on otettava huomioon, että purkaminen sisältää myös säkkien tyhjentämisen kuorma-auton perävaunuun, vaihtolavalle tai hakekasaan. Mikäli säkit pinotaan sellaisinaan välivarastolle, työ nopeutuu oleellisesti. Purkamisaika on silloin suunnilleen sama kuin kuorman tekemiseen kuluva aika.

Koska tutkimukset ovat suppeita ja korjatut puumäärät pieniä, traktorin kuorma jäi usein vaillinaiseksi. Vajaalla kuormalla ajaminen pienensi työn tuotosta. Seuraava asetelma osoittaa eri työmailla mitatun suurimman kuorman ja keskikuorman koon koko aineistossa keskimäärin. Koko aineiston suurin kuorma sisälsi 22 säkkiä.

	Työmaan keskimääräinen kuorma	Työmaan suurin kuorma
Säkkejä, kpl	12,3	17,0
I-m ³	12,2	16,5
K-m ³	4,4	5,9
Tuoretonnia	3,6	4,8

Säkkien kuljetuksen tuotos oli keskimäärin 7,4 m³ tehotunnissa. Se on pienempi kuin pinotavaran kuljetuksessa mutta toisaalta suurempi kuin karsimattomien pienikokoisten puitten kuljetuksessa.

Koeala	Lähikuljetuksen tuotos m ³ tehotunnissa
1	8,8
2	7,7
3	6,5
4	6,7
Keskimäärin	7,4

Tuotosta rasittavat kuljettajien tottumattomuus säkkien käsittelyyn, vajaat kuormat sekä traktoreitten avoin pohjarakenne. Nämä seikat huomioon ottaen tuotos on varsin tyydyttävä. On ilmeistä, että tämä tuotostaso saavutetaan vastaisuudessa helposti myös käyttötuntia kohti. Tätä arvoa käytetään myös luvan 64 kustannuslaskelmissa.

64. Korjuukustannukset

Koska leikkuuhakkuri on vielä prototyyppiasteella, sille ei ole määrätty lopullista hintaa. Tässä laskelmassa koneen hinnaksi oletetaan 700 000 mk.

Koneen tuntikustannusta kohottavat toisaalta säkityksessä tarvittava apumies sekä toisaalta verraten lyhyt, 7 - 8 kuukauden käyttökausi. Koneetta ei voida käyttää talvella paksun lumen aikana eikä myöskään kelirikkoaikana maan kantavuuden ollessa heikko. Tuntikustannukseksi oletetaan tässä 290 mk. Koneen tuotos käyttötuntia kohti on laskelmassa 80 % tehotunnin tuotoksesta viimeisellä lehtipuukoealalla 3 eli 7,3 m³/h.

Säkit aiheuttavat huomattavan lisäkustannuksen. Hinnaltaan edullisimmaksi osoittautui Rukka säkki, joka maksoi 135 mk. Kun tähän lisätään vielä pohjalukon arvioitu hinta 15 mk, on säkin kokonaiskustannus 150 mk. Kuten luvussa 62 mainitaan, säkkejä oletetaan voitavan käyttää 30 kertaa. Jos täysinäisessä säkissä on keskimäärin $0,38 \text{ k-m}^3$ haketta, yhdellä säkillä kuljetetaan sen elinaikana kaikkiaan $11,4 \text{ k-m}^3$ haketta.

Säkkien kuljetus tapahtuu vakiomallisella metsä- tai maatalous-traktorilla. Kuormaimen kouraan mahdollisesti tehtävät vähäiset muutokset ja kuormatilan pohjan peittäminen eivät ole merkittäviä kustannustekijöitä. Lisäkustannuksia aiheutuu kuitenkin apumiehestä, joka tarvitaan tyhjennettäessä hakesäkit kuorma-auton perävaunuun tai vaihtolavaan. Metsätraktorin tuntikustannus apumies mukaan luettuna on laskelmassa 135 mk ja tuotos luvun 63 mukaisesti $7,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Näillä edellytyksillä hakkeen kustannus on välivarastolla autoon kuormattuna seuraava. Huomattakoon, että laskelmassa eivät ole mukana yleiskulut ja kantohinta.

	Hakkeen kustannus mk/m ³
Kaato, haketus ja säkitys	40
Säkit	13
Lähikuljetus ja purkaminen vaihtolavalle	18
<hr/>	
Yhteensä	71

Energian kulutus verrattuna talteensaadun polttoaineen energiaan lehtipuuvesakkoa korjattaessa nähdään seuraavista luvuista. Mukana on vain varsinaisen korjuun vaatima energia ilman koneitten valmistuksen, huollon ja siirtojen energiaa.

	Polttoaineen kulutus dm ³ /puutonni	% puun energiasisällöstä
Leikkuuhakkuri	11,6	2,4
Lähikuljetus	2,7	0,6
Kaukokuljetus (70 km)	4,8	1,0
<hr/>		
Yhteensä	19,1	4,0

Laskelmat antavat kuvan siitä kustannus- ja energiatasosta, jolla kuvatulla menetelmällä lehtipuuvesakoissa toimitaan. Edellytyksenä on luonnollisesti, että leikkkuuhakkurin käyttöaste kohoaa samalle tasolle kuin monitoimikoneilla yleensä. Laskelma sisältää monta epävarmuustekijää, mutta se on tehty toisaalta varovaisuusperiaatetta noudattaen. Tulosta arvioitaessa on otettava huomioon, että kysymyksessä oleva puusto on poikkeuksellisen pienikokoista mutta että tulokset toisaalta edustavat vain helppokulkuista maastoa.

65. Työn laatu

651. Biomassan talteenoton tarkkuus

Koska puun kaikki osat ovat polttoaineena lähes samanarvoisia, tavoitteena on vesakon koko maanpäällisen osan talteenotto. Poikkeuksen muodostavat lehdet, joitten poistaminen kasvupai- kalta saattaa vahingoittaa maan ravinnetasapainoa. Menetelmän tehokkuutta arvioitaessa on siis kiinnitettävä huomiota myös biomassan talteenoton tarkkuuteen. Biomassatappioita aiheutuu lähinnä kolmesta syystä:

- Ylipitkiin kantoihin eli sänkeen jäävä puuainne.
- Puut ja latvat, jotka ovat pudonneet leikkkuuhakkurilta maahan.
- Korjuuketjun eri vaiheissa maahan putoava hake.

Merkittävin hakkuutähdelähde on sänki. Mitä lyhyempää puuta korjataan, sitä suurempi osuus puusta jää kantoihin. Sängien korkeus riippuu ensisijaisesti maastosta. Kivet, suurten puitten vanhat kannot ja muut epätasaisuudet lisäävät kannon korkeutta. Vesakkopuitten läpimitta sen sijaan tuskin vaikuttaa kannon korkeuteen. Koaloittain mitattiin seuraavat tulokset.

Koeala	Sängien korkeus, cm	Puuston korkeus, m	Sängien osuus puuston maanpäällisestä biomassasta, %
1	21,7	6,2	8,6
2	26,2	6,5	9,8
3	21,0	7,1	7,3
4	25,1	5,3	11,3

Sängien osuus oli kolmella lehtipuukoealalla 7 - 10 % puuston maanpäällisestä biomassasta. Mäntykoealalla, missä puitten kapeneminen oli jyrkempää, sänkeen jäi 11 % biomassasta.

Kaatoterät ja koneitten pyörät murjovat pitkiä kantoja. Kanto-leikkaus on epätasainen ja kanto saattaa osaksi kuoriutua. Kannon taipuessa juuria vahingoittuu. Näistä syistä voidaan olettaa, että korjattaessa lehtipuustoa Pallarin leikkuuhakurilla vesominen tapahtuu hitaammin kuin moottorisahaa, raivaussahaa tai vesuria käytettäessä.

Jos leikkuuhakkuri pudottaa maahan kokonaisen puun tai latvan, sen on vaikea saada siitä uudelleen otetta. Näin menetetään jonkin verran biomassaa. Kun puut ovat suorina, tappiot ovat suhteellisen pieniä. Maata kohti taipuneet pensasmaiset rungot sen sijaan karkaavat koneen otteesta helpommin. Eri koealoilla maahan kaatuneitten puitten ja latvojen osuus kaikesta kantoleikkauksen yläpuolelle jääneestä biomassasta oli keskimäärin 1 %. Yli puolet menetyksistä aiheutui siitä, että puu pääsi kaatumaan ohi työntökehikon koneen sivulle. Muita syitä olivat puun tai latvan putoaminen koneen eteen maahan tai puun jääminen koneen pyörän alle.

Kun täysinäinen säkki irrotetaan telineestään, sen suu jää osittain auki. Haketta hukkaantuu, kun säkki pudotetaan maahan ja kun sitä siirrellään traktorin kouralla. Hakkeena menetetään täten noin 1 % puuston maanpäällisen osan kaikesta biomassasta.

Biomassakertymä oli korjuussa lehtipuukoealoilla seuraavien lukujen mukaisesti keskimäärin 89 % vesakon maanpäällisestä osasta viherainetta lukuunottamatta. Hakkuutähteitten määrän supistaminen edellyttää ennen kaikkea sängen korkeuden alentamista.

	Osuus puuston maan- päällisestä biomassasta,
Hakkuutähde:	%
Sänki	9
Puut ja latvat	1
Hake	1
<hr/>	
Tähde yhteensä	11
Talteen saatu biomassa	89
<hr/>	
Yhteensä	100

652. Hakkeen ominaisuudet

Pallarin leikkuuhakkuri on tarkoitettu polttohakkeen korjuuseen. Siitä syystä hakkeen ominaisuuksia arvostellaan ainoastaan polton kannalta.

Koska puu haketetaan välittömästi kaadon jälkeen, hakkeen kosteus on korkea. Lehtipuulla tuorepainosta laskettu kosteus jää kuitenkin yleensä alle 50 %:n, joten hake on täysin kelpoista polttoon. Pienikokoinen mänty sen sijaan on runsaan viheraineksen vuoksi niin kosteata, että hakkeen polttaminen tuottaa vaikeuksia.

Koeala	Pääpuulaji	Kosteus, %
1	Koivu	45,1
2	Haapa	46,2
3	Paju	47,5
4	Mänty	58,7

Toinen hakkeen arvoon vaikuttava tekijä on irtokuutiometrin sisältämä kuiva-ainemäärä sen jälkeen, kun säkit on purettu kuorma-auton perävaunuun tai vaihtolavalle. Leikkuuhakkurin tekemän hakkeen tiiviys on verraten alhainen, 0,34 - 0,37 ennen autokuljetuksen alkamista (taulukko 6). Tämä on ainakin osaksi seurausta ylisuurten palojen ja oksanpätkien suuresta osuudesta (taulukot 7 ja 8).

Hakkeen palakokojakauma on itse polton kannalta tyydyttävä. Oksien ja muitten pitkien kappaleitten runsaus kuitenkin vaikeuttaa hakesiilojen tyhjentämistä ja hakkeen automaattista syöttöä. Hake on kyllä kelpoista moniin suuriin polttolaitoksiin, mutta sen käyttö pienemmissä kattiloissa edellyttää pitkien kappaleitten määrän vähentämistä. Tämä saattaa edellyttää uutta teräratkaisua hakkuriin.

Taulukko 6. Hakkeen paino ja tiiviys autokuormassa ennen kuljetusta.

Koeala	Tuorepaino kg/i-m ³	Kuivapaino kg/i-m ³	Tiiviys
1	288	158	0,34
2	275	148	0,37
3	270	142	0,37
4	323	134	0,36

Taulukko 7. Hakkeen palakokojakauma reikäseulonnassa.

Koeala	Palakoko, mm							Yhteensä
	-3	3-6	6-13	13-19	19-25	25-32	32+	
	Jakauma, %							
1	5	9	21	21	17	14	13	100
2	3	11	28	21	15	12	10	100
3	3	6	22	25	22	15	7	100
4a*	6	15	27	22	14	8	8	100
4b*	6	12	26	23	14	10	9	100

*4a lyhyt (2-4 m) mänty, 4b pitempi (5-8 m) mänty

Taulukko 8. Hakkeen palakokojakauma rakoseulonnassa.

Koeala	Palakoko, mm						Yhteensä
	-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10+	
	Jakauma, %						
1	14	15	12	20	19	20	100
2	15	18	18	16	15	18	100
3	9	12	16	15	19	29	100
4a*	24	18	19	15	12	12	100
4b*	16	13	19	16	17	19	100

* Selitys taulukossa 7.

7. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Pallarin leikkuuhakkurilla tehty koesarja oli suppea. Kokeet olivat niin lyhytaikaisia, että niitten perusteella on vaikea esittää lopullista arviota menetelmän soveltuvuudesta jatkuvaan käytännön toimintaan. Oikeaa työtekniikkaa etsittiin vielä tutkimusvaiheessa, minkä vuoksi työmaitten suunnittelu oli puutteellista. Aikatutkimusten tulosten tulkintaa häiritsee koneen miehistön kokemattomuus.

Menetelmän mahdollisuudet polttohakkeen korjuussa lehtipuuvesakoista näyttävät näitten tutkimusten valossa joka tapauksessa lupaavilta. Hakesäkkijärjestelmä on käyttökelpoinen ja joustava. Leikkuuhakkurin ja kuormatraktorin tuotos on hyvissä oloissa jo nyt niin korkea, että polttohakkeen valmistaminen vesakko-puusta kilpailukykyisellä hinnalla näyttää mahdolliselta. Koneitten toiminta ja työmenetelmä eivät kuitenkaan ole vielä loppuun hiottuja. Luotettavuuden lisääminen ja laajamittainen käytännön toiminta edellyttävät edelleen kehitystyötä. Huomiota on kiinnitettävä ainakin seuraaviin näkökohtiin:

Peruskoneen teho on niukka. Kokeitten aikana sen moottori kuumeni liikaa.

Kaatolaite toimii hyvin. Kokeitten lyhytaikaisuuden vuoksi ei voida tehdä päätelmiä laitteen kestävyydestä jatkuvassa työssä.

Syöttölaite toimii tyydyttävästi. Syöttöaukko saattaa tukkeentua, jos siihen ahdetaan samanaikaisesti useita puita. Puitten kulkeutuminen hakkuriin edellyttää monasti, että puut kaatuvat ensin lähes vaakatasoon. Syöttö tehostuisi ja työskentely nopeutuisi, jos puut pääsisivät hakkuriin entistä pystymässäkin asennossa.

Rumpuhakkuri oli kahdessa ensimmäisessä kokeessa pääasiallinen tuotosta rajoittava tekijä. Syynä oli lähinnä terien tukkeentuminen. Kun teräratkaisua kolmannella koealalla muutettiin, tuotos kasvoi oleellisesti. Hakkuria voitaneen kehittää

edelleen, jolloin rummun vaihtoehtona tulee kysymykseen myös kartioruuvihakkuri. Hakkuria kehitettäessä tulee kiinnittää huomiota myös hakkeen palakokojakaumaan, sillä nykyisin hakkeessa on liian paljon katkeamattomia ohuita oksia ja tikkuja.

Hakeputken sijainti heikentää kuljettajan näkyvyyttä kaatoteriin. Tämä pakottaa kuljettajan jättämään sängen korkeammaksi kuin muutoin ehkä olisi tarpeellista. Suuria puita hakettaessa hakkurin kierrosnopeus saattaa alentua niin paljon, että hakeputki tukkeentuu. Myös suuri lehtien määrä sekä sade aiheuttavat tukkeumia hakeputkessa. Hakkurin puhallusvoimaa tulisi näin ollen lisätä. Kuljettajalla tulisi olla mahdollisuus todeta tukkeuman syntyminen hakeputkessa välittömästi.

Hakkeen kuljetin toimii moitteettomasti niin kauan, kun hakkeen laatu on tyydyttävä. Runsaat oksat saattavat kuitenkin tukkia kuljettimen. Kuljettimen korkea sijainti haittaa maantiekuljetuksia ja työskentelyä voimalinjoilla.

Säkityslaitteisto toimii hyvin. Säkittäjä joutuu kuitenkin auttamaan täyttymistä säkkiä heiluttamalla ja potkimalla. Erityisesti jos haketta tulee runsaasti, säkittäjän työ on raskasta. Säkkien täyttymistä saatettaisiin edistää tärylaitteistolla.

Säkkikustannuksia tulee supistaa säkkien hintaa alentamalla ja säkkien käyttöikä pidentämällä. Koska pääosa rikkoutumista on kuormaimen kouran aiheuttamia, kehitystyössä tulee kiinnittää erityistä huomiota tämän ongelman ratkaisemiseen säkkimateriaaleja, kouran muotoilua ja käsittelytekniikkaa parantamalla.

Kuten aikaisemmin on jo todettu, Pallarin leikkuuhakkuri on lupaava ratkaisu pienikokoisen vesakkopuun talteenottamiseen. Sen ja hakesäkkijärjestelmän pohjalle perustuva polttohakkeen korjuuketju on täysin reaalin tulevaisuuden vaihtoehto sellaisissa vesakoissa, joissa juurakoitten ei toivota vesovan voimakkaasti. Käytännön korjuutoiminnan edellyttämän toimintavarmuuden saavuttaminen vaatii kuitenkin toisaalta tiettyjen yksityiskohtien viimeistelyä ja toisaalta laajempia koetyömaita. Tämän tutkimusprojektin kokemukset rohkaisevat jatkamaan kehitystyötä.

KIRJALLISUUS

- HAKKILA, P. ja MÄKELÄ, M. 1975. Pallarin vesakkoharvesteri.
Folia For. 249.
- HAKKILA, P. and KALAJA, H. 1980. Harvesting fuel chips with
Pallari swath harvester. Käsikirjoitus.
- HEINO, E. ja RUOTSALAINEN, M. 1976. Riukuasteisen taimiston
käsittelymahdollisuudet vesakkoharvesterilla.
Metsäteho, seloste 4/1976.

