

85

Riitta Salo
(toim.)

**Biomassan tuottaminen
kuidun ja energian
raaka-aineeksi**

Tutkimuksen loppuraportti, osa II

**Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotanto-
kustannukset ja polttotekniikka**

Riitta Salo (toim.)

Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi

**Tutkimuksen loppuraportti, osa II
Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikka**

Production of Biomass as Raw Material for Fibre and Energy

**Final report, part II
Harvesting of Reed Canary Grass and Straw, Production Costs
and Combustion Techniques**

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-587-1

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Kirjoittajat

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

[sähköposti julkaisut@mtt.fi](mailto:sähköposti.julkaisut@mtt.fi)

Painatus

Jyväskylän yliopistopaino 2000

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen Joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Salo, R.¹⁾ (toim.) 2000. Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa II. Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikka. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 169 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-587-1.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Salo, R.¹⁾ (ed.) 2000. Production of Biomass as Raw Material for Fibre and Energy. Final report, part II. Harvesting of Reed Canary Grass and Straw, Production Costs and Combustion Techniques. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 85. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 169 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-587-1.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Data and Information Services, FIN-31600 Jokioinen, Finland

Tiivistelmä

Avainsanat: ruokohelvi, sato, sadonkorjuu, tekniikka, varastointi, tuotantokustannukset, poltto, olki

Tähän julkaisuun on koottu maa- ja metsätalousministeriön vuosina 1995–1997 rahoittamat ruokohelven ja oljen energiakäyttöä koskevat hankkeet. Hankkeet kohdistuivat peltobiomassojen korjuutekniikkaan, varastointiin, tuotantokustannuksiin ja polttoon. Hankkeissa selvitettiin ja kehitettiin irto- ja paalauskorjuumenetelmiä, aumavarastointia ja biomassojen kuljetusta varastolta polttolaitokselle. Lisäksi laskettiin tuotantokustannuksia eri korjuumenetelmiä käytettäessä. Myös ruokohelven poltto-ominaisuuksia ja seostusta polttolaitoksilla selvitettiin, samoin niiden soveltuvuutta jo olemassa olevien polttolaitosten käsittelylaitteisiin.

Ruokohelven korjuuketjua kehitettiin pääasiassa tuorerahun ja kuivaheinän korjuukoneiden ja työmenetelmien perusteella. Tutkimuksessa tarkasteltiin koneiden ja ketjujen toimivuutta, korjuun eri vaiheiden tuotantotehokkuutta sekä erilaisten ketju-

jen taloutta ja kehityskohteita.

Ruokohelven irtokorjuun vaiheita ovat kasvuston niitto, silppuaminen perävaunuun ja kuljetus aumalle silppuamis-lähikuljetusyksiköllä. Silppuamista voi tehostaa leveällä karheejalla tai kytkemällä silppuamis-lähikuljetusyksikköön etukarheijan. Ruokohelven paalauskorjuun vaiheita ovat kasvuston niitto, paalaus, paalien kuljetus aumalle erillisellä traktorilla, kuormaajalla tai perävaunu-traktoriyhdistelmällä. Paalausta tehostetaan leveän niitokoneen tekemällä karheella.

Mahdollisimman tiukat paalit tehostavat kuljetusta sekä pelloilta aumaan että aumasta polttolaitokselle. Irtokorjuumenetelmien korjuutappiot olivat pienemmät kuin paalausmenetelmien.

Ruokohelven tuotantokustannus on polttolaitoksella n. 90 mk/MWh ja oljen n. 40 mk/MWh. Suomessa on useita kymmeniä lämpölaitoksia ja lämpövoimalaitok-

sia,, jotka sopivat peltobiomassojen polttoon ja joiden ympäristössä on riittävästi oljen ja/tai ruokohelven tuotantopotentiaalia. Noin kolme neljäsosaa laitosten lähellä olevista viljelijöistä olisi halukkaita tuottamaan olkea ja ruokohelpeä energiatuotantoon, jos niiden hinta olisi tyydyttävä.

Kevätkorjatun ruokohelven poltto-ominaisuudet ovat paremmat kuin syyskorja-

tun. Ruokohelpi sekoitetaan turve- tai puupolttaineeseen huolella, koska seoksen tasaisuus vaikuttaa käytettävyyteen. Ruokohelpisilpun pitää olla tasalaatuista ja pituudeltaan mieluiten alle 4 cm. Kevätkorjattu ruokohelpi soveltuu olemassa olevissa laitoksissa seospolttoon silloin, kun kattilaa ei kuormiteta täydellä teholla.

Esipuhe

Peltobiomassan käyttäminen kuidun ja energian raaka-aineeksi on ollut laajan kiinnostuksen kohteena koko 1990-luvun. Nyt raportoitava tutkimushanke ”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” on jatkoa vuosina 1993–1995 toteutetulle ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa” -hankkeelle sekä vuosina 1994–1996 toteutetulle ”Peltoenergian tutkimushankkeelle”.

Vuosina 1996–2000 toteutetun tutkimuksen tulokset raportoidaan kahdessa osaraportissa. Niistä ensimmäinen sisältää ruokohelven lajikejalostus-, viljely-, ravinnetase- ja siementuotantotutkimukset. Toisessa osassa raportoidaan ruokohelven ja oljen korjuuta, kuljetusta, saatavuutta, tuotantokustannuksia sekä ruokohelven käyttöä polttoaineena koskevat tutkimukset.

Laajaan yhteishankkeeseen osallistuivat Maatalouden tutkimuskeskus (MTT), Työteho-seura ja VTT Energia. Tutkimusta rahoittivat maa- ja metsätalousministeriö, Tekes, Vapo Oy, Kemira Agro Oy, Sermet Oy, Imatran Voima Oy ja Alavuden kaupunki. Myös hankkeeseen osallistuneiden laitosten rahoitus oli merkittävä.

Tärkeitä yhteistyökumppaneita ovat olleet myös Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitos, Fortum Oyj, Keskuslaboratorio Oy, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto, Chempolis Oy, Jaakko Pöyry Oy, Peltosellu Oy, Åbo Akademi, Suoviljelysyhdistys ry ja Suomen

Bioenergiayhdistys ry (FINBIO). Tutkimus kuului Tekesin Bioenergian tutkimusohjelmaan, joka toteutettiin vuosina 1993–1998.

”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” -tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi vuoden 1998 loppuun saakka MTT:n kasvinviljelyn tutkimusalan professori Timo Mela. Hänen kiinnostuksensa ja aloitteellisuutensa oli ratkaisevan tärkeää sekä tässä että useissa muissa peltobiomassan monipuolista hyväksikäyttöä selvittäneissä tutkimuksissa ja niiden toteuttamisessa. Vuodesta 1999 lähtien tutkimuksen johtajana on toiminut vanhempi tutkija Katri Pakkala MTT:n kasvintuotannon tutkimusyksiköstä.

Tämä onnistunut tutkimushanke osoitti, että taloudellinen, ympäristöystävällinen ja teknologialtaan toteuttamiskelpoinen biomassatuotantoketju on mahdollinen. Se antoi arvokasta tietoa myös siitä, kuinka Suomen ylimääräisillä pelloilla ja entisillä turvetuotantoalueilla voitaisiin tuottaa kuitua ja energiaa taloudellisesti merkittävässä laajuudessa. Hankkeessa mukana olleet tutkijat ovat omalla työllään ja saavuttamillaan tuloksilla edistäneet merkittävästi Suomen bioenergiastrategian toteutumista.

Esitän parhaat kiitokseni hankkeen rahoittajille sekä kaikille hankkeeseen osallistuneille ja sitä tukeneille henkilöille ja yhteisöille.

Jokioisissa syyskuussa 2000

Katri Pakkala

Sisällys

| | |
|---|-----|
| Tiivistelmä | 3 |
| Esipuhe. | 5 |
| <i>Lindb, T., Paappanen, T., Kallio, E., Käybkö, V., Kaipainen, H., Hokkanen, M. & Leinonen, A.</i> Korsibiomassojen irtokorjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden tuotantoon. | 7 |
| <i>Suokannas, A. & Serenius, M.</i> Paalausmenetelmät korsibiomassojen korjuussa. | 87 |
| <i>Klemola, E., Laine, A., Maunu, T. & Palonen, J.</i> Ruokohelven ja oljen tuotantokustannus, saatavuus ja korjuuvarmuus | 112 |
| <i>Flyktman, M.</i> Ruokohelven seospoltto turpeen ja puun kanssa. | 140 |

Korsibiomassojen irtokorjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden tuotantoon

Tuulikki Lindh¹⁾, Teuvo Paappanen¹⁾, Esa Kallio¹⁾, Virpi Käyhkö²⁾
Heikki Kaipainen¹⁾, Markku Hokkanen³⁾ & Arvo Leinonen¹⁾

¹⁾ VTT Energia, PL 1603, 40101 Jyväskylä, tuulikki.lindb@vtt.fi,
teuvo.paappanen@vtt.fi, esa.kallio@vtt.fi, beikki.kaipainen@vapo.fi, arvo.leinonen@vtt.fi

²⁾ Vapo Oy Energia, PL 318, 90101 Oulu, virpi.kayhko@vapo.fi

³⁾ Työtehtävät muuttuneet, yhteydenotot VTT Energian kautta

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää korsibiomassoille irtokorjuumenetelmä seospolttoaineen tuotantoon. Syksyllä 1995 toteutettiin ensimmäiset ruokohelven ja oljen irtokorjuukokeet sekä olkisilpun aumavarastointikokeet. Vuosina 1996 ja 1997 toteutettiin ruokohelven kevätkorjuukokeet sekä ruokohelpisilpun ja -turveseoksen aumavarastointikokeet.

Ruokohelven korjuuketjun kehitystyö pohjautui pääasiassa tuorehun ja kuivaheinän korjuukoneisiin ja työmenetelmiin. Tutkimuksessa tarkasteltiin koneiden ja ketjujen toimivuutta, korjuun eri työvaiheiden tuotantotehokkuutta sekä erilaisten ketjujen taloutta ja kehityskohteita. Syksyllä 1997 tutkittiin ruokohelpisilpun tiivistämistä.

Ruokohelven korjuun vaiheita olivat kasvuston niitto, silppuaminen perävauvuun ja kuljetus aumalle silppuamis-lähikuljetusyksiköllä. Silppuamista tehostettiin karheamistyövaiheella, joka toteutettiin joko leveällä karheejalla tai yhdistettynä

silppuamis-lähikuljetus-yksikköön etukarheaja-lisälaitteen avulla. Myös korjuuta suoraan kasvustosta kokeiltiin.

Ruokohelven tuotantokustannus laitokselle toimitettuna oli noin 90 mk/MWh, ja ilman pellon tuottoarvon huomioimista noin 60 mk/MWh. Pelkän korjuuvaiheen kustannus oli tällöin noin 20 mk/MWh ja kaukokuljetus mukaan luettuna noin 35 mk/MWh. Korjuun hävikkejä vähentämällä ja tuottamalla suuri karhe kaksoisniittokoneella arvioitiin päästävän 70 mk/MWh:n tuotantokustannukseen laitokselle toimitettuna.

Muovilla peitetyt olki- ja ruokohelpisilppuvarastot säilyivät hyvin, kun massan kosteus oli alle 20–24 %. Ruokohelven ja jyrsin- tai palaturpeen seosvarastot säilyivät myös tyydyttävästi. Ruokohelven energiaosuus seoksissa oli 10 %.

Kaksivaiheisessa tiivistämisessä ruokohelpisilpun irtotiheys yli kaksinkertaistui alkutiheydestä 70 kg ka/m³ arvoon 165 kg ka/m³.

Avainsanat: ruokohelppi, olki, sadonkorjuu, varastointi, tiivistys, tuotanto, tehokkuus, tuotantokustannukset

Developing loose harvesting and delivery methods for straw like biomasses to be used as mixed fuel

The aim of the study was to develop loose harvesting method for straw-like biomasses to be used as mixed fuel. In 1995 tests were conducted on the autumn, harvesting of reed canary grass and straw and storage of straw. In 1996 and 1997 spring-harvesting were carried out for reed canary grass. Storage tests for pure reed canary grass and mixtures of peat were performed. The applicability of machinery and methods, work efficiency, harvesting costs were studied.

Harvesting comprises three work stages: Mowing, chopping and transportation to stockpiles by trailer. The capacity of chopping was increased by windrowing before chopping. The production cost of the methods tested, including delivery to the

power plant, was calculated to be about FIM 90/MWh, or FIM 60/MWh, if land costs are excluded. It was estimated that with the present machinery a production cost of FIM 70 /MWh could be achieved under good production conditions.

Plastic-covered straw or reed canary grass stockpiles remained in good condition, if the moisture content was under 20–24%. Stockpiles of mixtures of compressed reed canary grass and peat also remained in satisfactory condition. In compaction tests with a test rig the density of the reed canary grass load was doubled to $165 \text{ kg}_{\text{dry matter}}/\text{m}^3$, the initial value having been $70 \text{ kg}_{\text{dry matter}}/\text{m}^3$.

Key words: reed canary grass, straw, loose harvesting method, storage, compaction, work efficiency, production costs

Alkusanat

Tämä artikkeli sisältää VTT Energian tutkimustulokset hankkeesta ”Biomassan tuotanto pelloilla ja soilla sekä käyttö energian tuotantoon” vuosilta 1995–1996. Lisäksi mukana on vuoden 1997 tulokset hankkeesta ”Biomassan tuotanto kuidun ja energian raaka-aineeksi”. Hankkeita koordinoi Maatalouden tutkimuskeskus (MTT). Irtokorjuututkimuksen päärahoittaja oli vuosina 1995 ja 1996 maa- ja metsätalousministeriö. Lisäksi tutkimusta rahoittivat VTT Energia ja vuonna 1996 Alavuden kaupunki. Vuonna 1997 rahoittajina olivat maa- ja metsätalousministeriö, Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), Vapo Oy ja VTT Energia.

Tutkimuksen projektipäällikkö oli vuonna 1995 tutkija Markku Hokkanen ja vuosina 1996–1997 tutkija Tuulikki Lindh VTT Energiasta. Projektiryhmään kuuluivat tutkimusinsinööri Esa Kallio (korjuututkimus), tutkija Teuvo Paappanen (kustannuslaskenta) ja apulaistutkija Pentti Pöyhönen (varastointitutkimus) VTT Energiasta. Korjuukokeisiin osallistuivat lisäksi tekniikan ylioppilas Esa Järvi ja työtekniikko Timo Kirjalainen.

Artikkelin ovat laatineet Tuulikki Lindh ja Teuvo Paappanen VTT Energiasta. DI Virpi Käyhkö Vapo Oy:sta vastasi vuonna 1997 Vapo Oy:n viljelmillä ja sopimusviljelmällä korjuukokeiden organisoinnista, osallistui mittauksiin, mittaustulosten käsitteelyyn ja raportointiin. Lisäksi työhön antoivat asiantuntijapanoksensa työnjohtaja

Tapani Mikkonen, DI Matti Puuronen ja johtaja Juhani Hakkarainen Vapo Oy:sta. Ruokohelpisilpun tiivistämistutkimuksen toteutti ja raportoi tutkimusinsinööri Heikki Kaipainen VTT Energiasta. Projektiryhmän toiminnan koordinoitiin osallistui johtava tutkija TkT Arvo Leinonen VTT Energiasta.

Myös DI Mika Hillun (Loimaan seutukunnan kehittämiskeskus) panos oljen korjuukokeiden toteutuksessa vuonna 1995 ja maaseutuasiamies Päivi Kujalan panos ruokohelven korjuukokeiden järjestelyissä Alavudella vuosina 1995–1996 oli merkittävä. Vastaavan työnjohtaja Tapani Hakomäen ansiosta Vapo Oy:n Vuorenevalla organisoitiin ruokohelven ja turpeen seosvarastointikokeet ja seoksen toimitus Alavuden lämpölaitokselle seospolttoon. MTT:n työnjohtaja Pekka Mäkelän ja kokeisiin osallistuneen henkilökunnan ansiosta ruokohelven korjuu- ja varastointikokeet toteutettiin sujuvasti Jokioisissa. Juhani Rahkonen ja Lars Öhberg Konekeskolta ja K-Maataloudesta avustivat korjuukoneiden hankinnassa kokeisiin. Kiitämme yhteistutkimushankkeiden koordinaattoria professori Timo Melaa ja FT Leena Hömmöä MTT:sta hyvästä yhteistyöstä. Kiitämme myös MMM Antti Suokannasta MTT:sta, MMM Mika Hemmingiä Helsingin yliopistosta sekä MML Markku Järvenpäästä, MMM Tarmo Maunua ja MMM Juha Palosta Työtehoseurasta heidän asiantuntijapanoksestaan.

Syyskuussa 2000

Tekijät

1 Johdanto

1.1 Lähtökohta

Korsibiomassaa, tavallisesti olkea, hyödyn-tävissä maissa, kuten Tanskassa ja Englan-nissa, massa poltetaan yleensä yksinomaan siihen erikoistuneissa pienissä laitoksissa tai pienkattiloissa. Korsibiomassojen käyttö yksinään onnistuu näissä polttolaitoksissa suurten viljelyalojen, alhaisen energian-tuotantotarpeen ja sääolojen ansiosta.

Olkea käytetään tällä hetkellä Tanskas-sa noin 300 000 tonnia, mutta määrän on tarkoitus kasvaa miljoonaan tonniin vuo-teen 2000 mennessä (Sipilä et al. 1997).

Tanskalaiset oljen käsittely- ja hyödyn-tämisketjut eivät sellaisenaan sovellu suo-malaiseen käyttöön. Suomen oloissa poltto-aineen saatavuus, pitkät kuljetusetäisyydet, energiatarpeen suuret vaihtelut ja inves-tointien tarve aiheuttavat esteitä erikoistu-neiden laitosten syntymiselle.

Korsibiomassan laaja hyödyntäminen edellyttää, että sille kehitetään joustava ja vähäisiä investointeja vaativa toimitusjär-jestelmä. Korsibiomassan korjuun kau-sisidonnaisuus ja ainakin aluksi pieni volyy-mi rajoittavat investointeja ja erikoiskalus-ton käyttöä. Polttolaitokset edellyttävät luotettavaa polttoaineen toimitusta, niille sopivassa muodossa ja kilpailukykyiseen hintaan.

Investoinnit edellyttävät puolestaan vä-hintään takaisinmaksuajan kestoisia toimi-tuksia. Kehittämällä yksinkertainen, vähäi-siä investointeja vaativa ja olemassa olevat resurssit hyödyntävä järjestelmä voidaan toiminta korsibiomassojen hyödyntämi-seksi käynnistää ja kehittää sitä myös jat-kossa.

Suomessa korsibiomassa voi lähitulevai-suudessa olla vain täydentävä polttoaine, jota poltetaan seoksena pääpolttoaineen kanssa tai mahdollisuuksien mukaan lyhyt-aikaisesti pääpolttoaineena. Todennäköisiä käyttäjiä voisivat Suomessa olla polttotek-niikaltaan ja sijainniltaan sopivat lämpö- ja voimalaitokset, joiden pääpolttoaineena on

turve, puu tai jäte. Tällaisia laitoksia on Suomessa kymmenittäin.

Olkea käytävissä maissa korjuu, varas-tointi ja toimitus tehdään maatalouden suurkanttipaalamilla. Suomessa näitä paa-laimia on hyvin vähän, eivätkä ne ole aina-kaan maataloudessa yleistymässä. Maas-samme käytetään pääasiassa pyöröpaalai-mia, joiden paalit ovat selvästi suurkantti-paaleja heikompia.

Työtehoseuran (TTS) laskelmien mu-kaan pyöröpaalain on tosin osoittautunut sääoloissamme taloudellisesti melko kilpai-lukykyiseksi oljen korjuussa (Järvenpää et al. 1994, Palonen 1997). Näissä laskelmissa on tarkasteltu myös ruokohelven paalaus-menetelmään perustuvaa korjuu- ja toimi-tusketjua sekä irtokorjuumenetelmiä. Kus-tannuksiltaan ne on arvioitu lähes samanve-roisiksi (Palonen 1997). Paalausketjussa laskelmiin ei kuitenkaan sisälly paalien ha-jottamis- ja silppuamiskustannuksia. Käy-tännössä paalausmenetelmän hyödyntä-mistä vaikeuttaa juuri paalien rikkomisessa ja massan silppuamisessa tarvittavien lait-teiden puuttuminen laitoksilta sekä laitos-ten haluttomuus investoida laitteisiin.

Korsibiomassan silppuaminen korjuu-vaiheessa ja massan irtokäsittely toimitus-vaiheessa voi siten tarjota erityisesti Suomen oloissa monia merkittäviä etuja paalauk-seen verrattuna. Jyrsin- ja palaturvetuotan-nosta saatua kokemusta irtotavaran käsitte-lystä ja valmiita toimitusjärjestelmiä on jär-kevää soveltaa myös korsibiomassalle.

Korsibiomassojen toimituskustannuk-silla on suuri merkitys kokonaiskustannuk-sissa. Kuljetuksen taloudellisuuden kannal-ta korsibiomassa on vaikea tuote, sillä sen ti-heys on pieni, käsittelyominaisuudet huonot ja pellot sijaitsevat hajallaan. Silputun korsibiomassan ja energiaturpeen yhdiste-tyllä tuotannolla tätä ongelmaa voidaan pienentää jo korjuussa ja pyrkiä hyödyntä-mään olemassa olevaa toimitusjärjestelmää sekä laajoja yhtenäisiä tuotantoalueita. Esi-merkiksi turpeen varastointialueella voi-daan tehdä valmiiksi seosvarastoja tai toi-mitusten yhteydessä voidaan seostaa korsi-biomassa ja turve joko ennen lastausta tai

sen yhteydessä. Vastaavasti voidaan toimia myös puuhakkeen ja polttojätteen käsitte-ly- ja toimitusketjussa.

Tässä tutkimuksessa irtokorjuulla tar-koitetaan maatalouden rehunkorjuusta tunnettuja menetelmiä, joissa niitetty mas-sa korjataan erilaisilla silppuamismenete-killä ja käsitellään ilman sitomis- tai pak-kausmenetelmiä. Irtokorjuun voidaan aina olettaa perustuvan massan silppuamiseen, sillä silppuamattoman, pitkät korret sisältä-vän massan tiheys on niin alhainen, ettei sen taloudelliseen käsittelyyn ole edellytyksiä. Myös paalaimissa on silppurointimahdolli-suus, mutta tuotettu silppu voi olla poltto-käyttöön liian pitkä.

Korsibiomassan irtokorjuun tutkimus edellytti laajaa vaihtoehtojen ja tekniikan kartoitusta. Apua tähän työhön tarjosivat mm. Työtehoseuran ja MTT:n maatalou-den tuorehunan ja kuivaheinänkorjuun työ-menetelmien sekä VTT Energian turve-tuotantotekniikan tuntemus.

Irtokorjuu- ja paalausmenetelmiä ei voi-da vertailla vain yhdellä tai muutamalla mittarilla, sillä valittu menetelmä vaikuttaa ratkaisevasti myös mm. laitoksen tarpeisiin, toiminnan käynnistymiseen ja logistiikkaan. Siten ei voida rajoittua vain korjuu-menetelmän kehittämiseen, vaan samalla on kehitettävä kokonaisvaltaisesti korjuu-toimitusjärjestelmää.

Tutkimuksessa kartoitettiin maatalous-koneiden sopivuutta korjuumenetelmiin. Koneiden ominaisuuksia selvitettiin MTT:ssa ja TTS:ssa. Koneiden muunneltavuutta ja vaihtoehtoja selvitettiin konevalmistajilta ja toimittajilta saatujen tietojen perus-teella. Koneita käsiteltiin pääasiassa vain konetyypeinä ja yleistäen tyyppiä edusta-vien merkkien ominaisuudet.

Koneketjujen teoreettisen tarkastelun perusteella suunniteltiin käytännön korjuu-kokeet. Kustannustarkastelussa käytettiin hyväksi käytännön korjuukokeiden tietoja sekä teoreettisessa tarkastelussa hankittuja teknisiä ja kustannustietoja erilaisista kone-vaihtoehtoista.

Konekesko ja K-Maatalous tuovat maa-han rehunkorjuussa käytettyjä maatalous-

koneita. Näiltä yrityksiltä saatiin tietoa uu-sista, Suomessa harvinaisista rehunkorjuu-menetelmistä ja markkinahinnoista. Kone-kesko ja K-Maatalous järjestivät myös ko-neita ja laitteita korjuukokeisiin.

1.2 Korsibiomassojen korjuun tutkimus- ja kehitystyö Suomessa ja Euroopassa

1.2.1 Korjuun ajankohta

Korsibiomassoja voidaan korjata syyskor-juuna, myöhäistettynä syyskorjuuna ja ke-vätkorjuuna. Olki korjataan syksyllä heti puinnin jälkeen. Ruokohelpi voidaan puo-lestaan korjata periaatteessa kaikkina kol-mena ajankohtana.

Viljeltävien korsibiomassojen, kuten ruokohelven, luonnollinen korjuuajankohta on syyskesällä kasvuston tuleennuttua ja massantuoton lakattua. Syyskesällä luon-nonkuivatuksen sääriskit ovat kuitenkin suuret, sillä massan polttoaineominaisuu-det, erityisesti tuhkan sulamiskäyttätymien sekä korjuun vaikutukset tulevaan sa-toisuuteen ja lannoitustarpeeseen huonot. Useilla alueilla huomattava osa sadosta voi-taisiin toimittaa lähes suoraan polttoon, jol-loin säilytyskosteuden saavuttaminen ei oli-si enää välttämätöntä.

Mikäli korsibiomassa tullaan poltta-maan seospolttoaineena turpeen ja hakkeen kanssa, kosteuspitoisuudeksi riittäisi pää-polttoaineen taso tai hieman alhaisempi (30–40 %). Suuri kosteus alentaa kuitenkin tehollista lämpöarvoa, jolloin taloudellinen kilpailukyky polttoaineena heikkenee. VTT Energian Alavuden polttokokeissa 1995 syyskorjatun ruokohelven lämpöarvo käyttökosteudessa 26,8 % oli 9,81 MJ/kg ja kuiva-aineessa 17,3 MJ/kg (Flyktman 1998).

Oljen sato on vain kolmas- tai neljäsosa ruokohelven sadosta, joten kuivattavaa massaa on ruokohelpeen nähden vähem-män, mutta sääolot ovat kuitenkin kevättä huonommat.

Syyskorjuun lykkäämisellä voitaisiin vaikuttaa polton kannalta haitallisten typpi-, rikki- ja klooriyhdisteiden palaamiseen juuristoon. Ravinteiden poistuminen kasvustosta on myös satoisuuden ja lannoitus-tarpeen kannalta edullista.

Tutkija Anneli Partala Maatalouden tutkimuskeskuksesta selvittää parhaillaan syyskorjuun ajankohdan vaikutuksia ruokohelven ravinnepitoisuuksiin ja lannoitus-tarpeeseen. Lisäksi asiaa on selvitetty Vapo Oy:ssä ja Ruotsissa Uumajan Maatalous-yliopistossa. MTT:ssa loka- ja toukokuussa tehdyissä ruokohelpikasvustojen ravinne-tasemittauksissa typpi- ja fosforitasot ovat olleet samaa luokkaa. Kaliumtasot ovat olleet keväällä hieman syksyä korkeammat.

Syksyn huonot sääolot vaikeuttavat ruokohelven korjuuta kuivana. Myös korjuu-kenttien kantavuus voi haitata myöhäistet-tyä korjuuta. Lisäksi urien muodostuminen kenttään saattaa lisätä korjuutappiota seu-raavina vuosina. Kasvuston laatu voi painu-mien vuoksi heiketä. Näitä haittapuolia voidaan mahdollisesti vähentää korjaamalla sato roudan päältä juuri ennen lumen tuloa.

Kolmas vaihtoehto viljeltävän massan korjuulle on kevät lumien sulettua, mutta kuitenkin ennen uusien versojen kasvua niittokorkeudelle. Kevätkorjuun on todet-tu ruotsalaisissa ja suomalaisissa tutkimuk-sissa (Burvall & Segerud 1993, Burvall 1993, Burvall 1994, Hadders et al. 1997, Flyktman 1998) olevan hyvä poltto-aineominaisuuksien ja tulevan satoisuuden (Pahkala et al. 1996) kannalta. Keväällä korjattaessa ruokohelpikasvusto jätetään talveksi niittämättä, jolloin siitä poistuu mm. klooria ja sen poltto-ominaisuudet pa-ranevat, mm. tuhkan sulamispiste nousee huomattavasti.

Lumien sulettua kevään hyvät haihdun-taolat ja poutajaksot edistävät kulottuneen heinän kuivumista jopa 10–20 %:n kos-teuteen. Tehollinen lämpöarvo kuiva-ai-nessa on tällöin samaa luokkaa kuin syk-sylläkin eli noin 17,5 MJ/kg. VTT Energian Alavuden kevätkorjuukokeissa 1996 mitat-tu ruokohelven lämpöarvo käyttökos-teudessa 17,3 % oli 14,4 MJ/kg.

Lakoontunut massa voidaan korjata val-miiksi sopivan kuivana varastointia varten, mutta peltojen kantavuuden vuoksi lyhyt korjuuaika ja talvi- ja korjuuhäviöt vaikeut-tavat korjuuta. Kevätkorjuun heikkona puolena on se, että polttoaineen tarve on ke-väällä vähäisempi, minkä vuoksi kevätsato saatetaan joutua varastoimaan kulutetta-vaksi syksyllä.

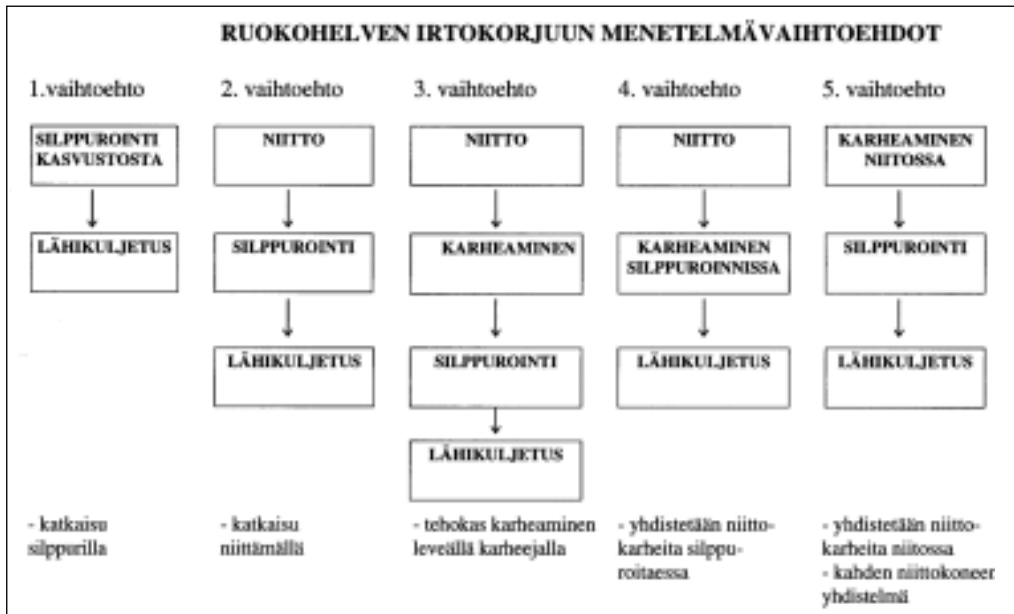
1.2.2 Korjuumenetelmien tutkimus- ja kehitystyö Suomessa

Korsibiomassojen voidaan korjata irtokor-juuna ja paalaamalla. Suomessa on selvitet-ty vuodesta 1992 lähtien paalausmenetel-män soveltuvuutta korsibiomassojen kor-juuseen. Tätä selvitystyötä on tehty pää-asiassa Helsingin yliopiston maa- ja kotita-lousteknologian laitoksella ja MTT:n maa-talousteknologian tutkimuksessa. Viimeksi mainitussa on kehitetty myös korkeapaine-paalainta.

Menetelmätutkimus on keskittynyt pyöröpaalaukseen perustuviin ketjuihin (Hemming et al. 1996). Ketjun työvaiheita ovat olleet niittomurskaus, karheaminen ja paalaus erilaisilla pyöröpaalaimilla. Paa-lausmenetelmän etuja ovat ruokohelven suurempi tiheys kuljetuksissa ja olemassa oleva kalusto. Maanviljelijöillä on nimittäin käytössään enemmän paalaimia kuin tehokkaita (tarkkuus)silppureita. Paalausmenetelmä edellyttää korsibiomassan silp-puamista erillisenä työvaiheena tai silppu-avan paalaimen käyttämistä, koska voima-laitoksella massan käsittelyn on viime kä-dessä tapahduttava hienojakoisena silppu-na.

VTT Energiassa irtokorjuun menetel-mätutkimus aloitettiin syksyllä 1995. Ku-vassa 1 on esitetty ruokohelven irtokorjuun menetelmävaihtoehdot. Korjuuseen on täl-lä hetkellä käytettävissä joukko maatalou-den tuorerahun ja esikuivatetun rehun kor-juulaitteita.

Tavallisia maatalouskonevaihtoehtoja ovat traktorikiinnitteiset tai hinattavat noukkivat tarkkuussilppurit, niittävät ja



Kuva 1. Työvaiheiden vaihtoehdot ruokohelven irtokorjuussa. Keväällä korjattaessa ruokohelpi-kasvusto on lakoontunut. Syksyllä kasvusto on pystyssä.

silppuavat kaksoissilppurit, noukinvaunut, kelasilppurit ja rehuperävaunut. Uusi vaihtoehto näille maatalouden konejärjestelmille on Claasin valmistama itsekulkeva, ohjaamalla varustettu silppuri, joka noukkii massan karheelta tai pystystä ja silppuaa sen hienojakoiseksi massaksi.

Tämä tekniikka mahdollistaa korjuukoneen suuren työtalon ja keskittämisen puhtaasti omaan työvaiheeseensa. Sen suorituskyky edellyttää joukkoa perävaunuyhdistelmiä, jotka ajavat massaa varastoon. Erikoistuneen itsekulkevan korjuukoneen hankintahinta on korkea, joten se ei sovellu tilatasolle. Turvetuotantoalueilla korjuumäärät voivat paremmin riittää sen suorituskyvylle. Samaa toiminnan periaatetta voidaan soveltaa kuitenkin myös traktoreihin perustuvassa koneketjussa, jos silppurina käytetään normaaliin maataloustuotantoon verrattuna tehokasta silppuria.

Silppuroinnin kapasiteettia voidaan hyödyntää paremmin tuomalla silppurille sen työlevyettä laajemmalla alueella massaa karheamisen avulla. Karheaminen voidaan toteuttaa joko erillisenä työvaiheena

leveällä karhottimella tai traktorin eteen kiinnitettävän etukarheajan avulla silppuroinnin yhteydessä. Jos niitto suoritetaan tehokkaasti kahden niittokoneen yhdistelmällä, on mahdollista yhdistää kaksi niittokarhettä suoraan niittovaiheessa.

Irtokorjuumenetelmän etuja ovat korsibiomassan toimitusten integrointi osaksi turpeen ja hakkeen toimituksia sekä seospolttoaineiden muodostaminen joustavasti tuotantoketjun eri vaiheissa.

Vapo Oy on ensimmäisenä Suomessa lähtenyt hyödyntämään korsibiomassoja. Siellä on korjattu vuodesta 1995 lähtien Oulussa Limingan lahdella järviruokoa energian raaka-aineeksi. Vapo Oy on valinnut korjuumenetelmäkseen irtokorjuun ja tehnyt kehitystyötä massan korjuussa ja käsittelyssä. Ensi vaiheessa Vapo Oy korjasi järviruokoa kehittämällään Norva-puimurilla. Keväällä 1996 Vapo Oy hankki Kemper Champion 3000 -silppurin, joka pystyy silppuamaan järviruokoa suoraan pystykasvustosta. Vuoden 1997 aikana Vapo Oy on lisäksi korjannut kyseisellä koneella pienesä mitassa ruokohelpeä koeviljelmiltään

Hirvinevalta ja Tyrnävältä. Tällöin korjuukoneeseen oli asennettu kevätkorjuuta varten erillinen noukinpää laossa olevan, niitetyn massan korjuuseen ja silppuamiseen (Puuronen et al. 1998).

1.2.3 Korsibiomassojen tämänhetkinen tuotantotutkimus Euroopassa

Tanskassa on tutkittu oljen irtokorjuuta sekä silputun oljen varastointia ja toimitusta polttoon 1990-luvun alussa (Astrupgaard 1993). Menetelmää ja sen kustannuksia verrattiin suurkanttipaalaukseen, kuten Heston-paaleihin perustuvaan korjuu- ja toimitusketjuun. Tulokset osoittivat irtokorjuun olevan selvästi tehokkaampaa ja taloudellisempaa kuin paalikorjuu.

Mm. Claasin itsekulkeva korjuukone oli tutkimuksessa mukana. Konetta on kokeiltu myöhemmin ruokohelven korjuussa myös Ruotsissa. Tanskalaisen tutkimuksen mukaan irtokorjuumenetelmän kilpailukyky heikkeni toimitusvaiheessa olkisilpun huonomman kuljetustiheyden takia. Oljen varastointi suurissa peittämättömissä jättiaumoissa ei ollut ongelmatonta, sillä niissä ilmeni itsekuumenemistä, jopa varastojen itsesyttymistä.

Kiinnostus irtokorjuun tutkimus- ja kehitystyöhön väheni juuri olkisilpun heikon varastoitavuuden takia. Toinen syy irtokorjuun vähäiseen kiinnostukseen oli se, että suurkanttipaaleihin perustuvien toimintajärjestelmien tuotanto- ja käyttötilanteet olivat Tanskassa edullisia (Nils Peter Astrupgaard, d-TEKNIK, henkilökohtainen tiedonanto, 6.9.1996)

Ruotsissa Stiftelsen Lantbruksforskningissa (Svebio ja Malmöläns Hushöllsälskapet) on selvitetty vuosina 1995 ja 1996 irtokorjuuta, silputun oljen ja ruokohelven varastointia sekä oljen käsittelyä polttolaitoksella. Sekä oljen että kevätkorjatun ruokohelpisilpun varastointitutkimusten tulokset olivat myönteiset verrattuna tanskalaisten oljesta saamiin tutkimustuloksiin.

Aumoja ei ruotsalaistenkaan tutkimuksessa peitetty. Korjuukosteus oli kuitenkin

selvästi alhaisempi ja aumat pienempiä kuin tanskalaisessa tutkimuksessa. Kuumenemista ja itsesyttymistä ei esiintynyt. Polttoaineen laatu heikkeni vain varastojen pintakerroksissa jonkin verran sateen aiheuttaman kostumisen vuoksi (Christensen & Stridsberg 1997a, b).

Hollannissa on tutkittu energiaheinien korjuuta. Kohteena on ollut *Miscanthus*-heinä, josta käytetään myös nimitystä elefanttiheinä. *Miscanthus*-heinä kasvaa yli kolmetrimetriseksi, ja on korreltaan huomattavasti vahvempaa kuin ruokohelvi. Heinän biologinen sato on 10–20 000 kg_{ka}/ha. Kustannuslaskelmissa on käytetty korjuusaantoa 12000 kg_{ka}/ha.

Korjuun ja toimituksen menetelmävertailussa oli mukana silppuamiseen perustuva menetelmä, suurkanttipaalaukseen perustuva menetelmä, rullausmenetelmä ja niputusmenetelmä (Huisman et al. 1996a, b,c). Kustannusvertailuissa ei otettu kantaa siihen, täytyykö massa silputa ennen energia- tai muuta käyttöä. Siten kustannusvertailuissa silppuaminen huomioitiin vain irtokorjuumenetelmissä.

Miscanthus-heinän korjuu niittämällä ja toimitus silputtuna oli hieman halvempaa kuin niittoon ja suurkanttipaalaukseen pohjautuvassa menetelmässä. Niitto ja silppuaminen suoritettiin mm. itsekulkevalla yksiköllä, jossa Kemper-Champion 3000-silppuriin oli yhdistetty niittopää ja Steyer 8320-käyttöalusta. Kokeiluissa oli mukana myös traktorilla hinattava, tilatasolla yleisesti käytössä oleva silppuri, jonka teho jäi huomattavasti Kemper-pohjaista yksikköä heikommaksi. Irtokorjatun *Miscanthus*-silpun irtotiheys oli pituudesta riippuen 70–95 kg_{ka}/ha. Tutkimuksessa kokeiltiin liikuteltavaa, kierrätyspaperin puristamiseen tarkoitettua puristinta, jolla tehtiin silppupaaleja. Niiden tiheys oli 265 kg/m³.

Paalaukseen pohjautuvina korjuu- ja toimitusmenetelminä kokeiltiin suurien kanttipaalien (koko 0,8–1,6 m) lisäksi myös pyöröpaaleja (halkaisija 0,6–1,8 m) ja tiivistettyjä rullia. Viimeksi mainittu on vasta kehitteillä oleva menetelmä, ja se on kehitetty Saksassa.

Tiiviiden rullien koko oli 0,3–0,5 m ja pituus 2,4 m. Tulosten perusteella rullausmenetelmä osoittautui mielenkiintoiseksi korkean, $300 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$, irtotiheydensä vuoksi. Tämä alensi kustannuksia huomattavasti.

Niputusmenetelmässä kasvusto leikataan ja sidotaan joko mekaanisesti tai käsin nipuiksi, joiden irtotiheys oli $110 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{ha}$. Korjuussa käytettiin joko ruokojen korjuu- ja niputuskoneita tai pajun korjuuseen kehitettyjä koneita. Niputusmenetelmän korjuu- ja toimituskustannukset olivat kaikkein suurimmat (Huisman et al. 1996a,b,c).

2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää korsibiomassoille sellainen irtokorjuumenetelmä, joka sisältää silppuamisen. Sen avulla voidaan tuottaa ja toimittaa hyvälaatuista ja kilpailukykyistä korsibiomassaa seospolttoaineeksi turpeen ja puubiomassojen kanssa.

Korjuuvaiheen lisäksi pyrittiin kehittämään myös korsibiomassan varastointia ja silputun kuorman tiivistämistä.

3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin vaiheittain vuosina 1995–1997:

- Oljen irtokorjuututkimus 1995
- Ruokohelven syyskorjuututkimus irtokorjuumenetelmällä 1995
- Ruokohelven kevätkorjuututkimus irtokorjuumenetelmällä 1996–1997
- Olki- ja ruokohelpisilpun varastointitutkimus vuosina 1995–1997
- Ruokohelpisilpun tiivistämistutkimus 1997
- Ruokohelven korjuu-toimitusketjun taloudellisuustarkastelu 1996–1997.

Oljen korjuukokeet toteutettiin elokuussa 1995 Loimaan seudun kehittämis-

keskuksen avustuksella. Lisäksi oljen korjuussa kokeiltiin Parkanossa elokuun lopussa 1995 jyrshinturpeen tuotannossa käytettävää imuvaunua (Vapo Oy).

Ruokohelven syyskorjuukokeet toteutettiin Alavuden kaupungin avustuksella vuonna 1995.

Ruokohelven kevätkorjuukokeet toteutettiin toukokuussa vuonna 1996 kahdessa paikassa. Jokioisissa kokeet järjestettiin yhteistyössä Maatalouden tutkimuskeskuksen kanssa (MTT:n Kuuman tutkimusalueen) kahdella eri viljelmällä, yhteensä 2,3 ha:n alueella.

Alavudella kokeet toteutettiin toukokuun lopussa 1996 neljän eri viljelijän ruokohelpiviljelmällä noin 3 ha:n alueella. Vuonna 1997 kevätkorjuukokeet järjestettiin Vapo Oy:n perustamalla Hirvinevan suopohjaviljelmillä ja Tyrnävän peltolohkolla. Korjuukokeissa tuotetun silpun laatua arvioitiin analysoimalla silpun pituus ja silpun irtotiheys peräkärriissä ja kaukokuljetukseen käytetyssä rekka-autossa.

Oljen varastointikokeet toteutettiin korjuukokeiden yhteydessä Loimaalla elomarraskuussa vuonna 1995. Ruokohelven varastointikokeet järjestettiin sekä Alavudella että Jokioisissa kevätkorjuukokeiden yhteydessä. Ruokohelven sekä pala- ja jyrshinturpeen seoksen varastointikokeet toteutettiin Alavudella elomarraskuussa 1996. Jyrshinturpe-ruokohelpiseoksen varastointikokeita jatkettiin kesään 1997 saakka.

Ruokohelven tiivistämistutkimus toteutettiin VTT Energian puubiomassan tiivistyskoelaitteella. Sillä tutkittiin silppukuorman tiivistämistä perävaunukokoluokassa.

Irtokorjuumenetelmän ja eri koneketjujen taloudellisuutta ja kehittämistarpeita arvioitiin kustannuslaskentamallin avulla vuosina 1996 ja 1997.

Tutkimus liittyi läheisesti yhteistutkimushankkeen VTT Energiassa toteutettuun korsibiomassojen polttotutkimukseen (Flyktman 1998). Seospolttokokeissa käytettiin raaka-aineena korjuukokeista saatua ruokohelpisilppua sekä turvetta ja haketta.

Toimituksen yhteydessä saatiin käytännön tietoa syyskorjatun, kostean ruokohelven lyhytaikaisesta varastoinnista, kevätkorjatun silpun kaukokuljetustiheydestä sekä ruokohelven ja turpeen seostuksen vaikutuksesta laitoksen toimintaan.

4 Oljen korjuukokeet 1995

4.1 Koejärjestelyt ja -kalusto Loimaalla

Loimaalla järjestettiin oljen korjuukokeet puinnin jälkeen käyttäen tarkkuussilppuria ja vertailun vuoksi myös pyöröpaalainta. Korjatulla, silputulla materiaalilla tehtiin myös aumavarastointikokeet (luku 8). Oljen korjuukokeet olivat melko aikaisin, 22.–25. elokuuta 1995, jolloin sää oli poikkeuksellisen otollinen kuivumiselle: aurinkoinen, lämmin ja tuulinen. Korjuuta edelsi pitkäaikainen kuivuus, joka oli alkanut jo juhannuksena. Tämä ilmeisesti vaikutti viljan ja oljen satoon. Kuivumista seurattiin ottamalla kosteusnäytteitä puintikarholta ja korjuun eri työvaiheissa.

Kuvasta 2 näkyy, miten olkea pöyhittää kuivumisen edistämiseksi. Korjuu tehtiin puintikarheelta Taarup-206 -merkkisellä tarkkuussilppurilla, jonka työleveys oli 180

cm. Traktori-työkoneyhdistelmään kuului itserakennettu, kippaava rehuperävaunu, jonka tilavuus oli 9 m³. Traktori-tarkkuussilppuri-perävaunuyhdistelmä on esitetty kuvassa 3.

4.2 Loimaan kokeen tulokset ja johtopäätökset

Tavoitteena oli tuottaa varastointikokeisiin kahta eri kosteutta olevaa silppua. Ilta-päivällä suoritettua puinnin jälkeen massan kosteus oli 42 % ja se laski noin vuorokaudessa 15 %:iin. Kuiva massa onnistuttiin silppuamaan juuri ennen sadetta. Sade nosti oljen kosteuden 61 %:iin ja seuraavan päivän aikana, jolloin loppu olki korjattiin, se aleni 23 %:iin.

Tarkkuussilppuri osoittautui toimivaksi korjuukoneeksi. Puintikarheiden massa oli koneelle aivan liian pieni (Kuva 3). Työteho oli korkea, mutta vähäisen massan vuoksi sen mittaaminen ei ollut tarkoituksenmukaista. Peräkärri oli liian pieni tehokkaaseen toimintaan.

Tarkkuussilppurin tuottaman silpun laatu oli hyvä. Seulonnassa havaittiin yli 4 cm:n pituisia korsia olevan vain 18 painoprosenttia. Pisimmät oljet olivat alle 15 cm:n mittaisia.

Loimaalla tehdyissä oljen tarkkuussilpurikokeissa selvitettiin irtokorjuumenehtelmän mahdollisuuksia ja periaatetta oljen



Kuva 2. Sateen jäljiltä olkea jouduttiin pöyhimään kuivumisen edistämiseksi (kuva: VTT Energia).

Kuva 3. Oljen irtokorjuukokeis-
sa Loimaalla käytössä ollut
tarkkuussilppuri-traktori-rehu-
peräkärri-yhdistelmä (kuva:
VTT Energia).



korjuussa. Menetelmä osoittautuikin toimi-
vaksi. Johtopäätös alustavista ja suppeista
oljen tarkkuussilppuriketjuun pohjautuvis-
ta korjuukokeista on se, että puintikarheita
tulisi yhdistää suuremman massan saami-
seksi silppurille. Tällöin silppurin käsittely-
kapasiteettia voitaisiin paremmin hyödyn-
tää. Nyt tilatason kokoluokkaa oleva silp-
puri toimi vajaakapasiteetilla. Erillisen kar-
heen käyttö tuo yhden lisätyövaiheen,
mikä lisää myös työkustannuksia. Kar-
heaminen on kuitenkin erittäin nopea työ-
vaihe, mikä todettiin vuosina 1996 ja 1997
toteutetuissa ruokohelven kevätkorjuuko-
keissa. Näin ollen sillä voitaneen tehostaa
huomattavasti silppurointia, mikäli silppu-
rin käsiteltäväksi tuodaan massaa työleveyt-

tä laajemmalta alueelta. Tämä kompensoi li-
sätyövaiheesta syntyneitä kustannuksia.

4.3 Oljen korjuukokeilu imuvaunulla Parkanossa

Jyrsinturpeen korjuussa yleisesti käytettä-
vän imuvaunun soveltuvuutta oljen korjuu-
seen kokeiltiin Parkanossa elokuussa 1995.
Imuvaunulla korjattiin puinnin yhteydessä
silputtua olkea (Kuva 4).

Koska oljen määrä pinta-alayksikköä
kohden on vähäinen, sen korjaaminen mas-
siivisella ja tehokkaalla imuvaunulla ei ole
taloudellisesti järkevää. Myös suuttimen
asentoa on muutettava toimivuuden ja

Kuva 4. Oljen korjuukokeilu
imuvaunulla Parkanossa syk-
syllä 1995 (kuva: VTT Ener-
gia).



Taulukko 1. Imuvaunulla ja käsin korjatun olkinäytteen tuhkapitoisuus.

| | Käsin korjattu olki | Imuvaunulla korjattu olki raekoko yli 1 mm | Imuvaunulla korjattu olki raekoko alle 1 mm | Imuvaunulla korjattu olki, koko näyte |
|-------------------|---------------------|--|---|---------------------------------------|
| Ominaisuudet | | | | |
| Paino-osuus, % | 100 | 96 | 4 | 100 |
| Tuhkapitoisuus, % | 5,4 | 6 | 67 | 8,4 |

saannon parantamiseksi. Suuttimen etureuna pyrki lisäksi painamaan olkisänkeä silpun päälle estäen osittain silpun nousun suuttimelle.

Kiinnostavaa kokeilussa oli, kuinka paljon maa-ainesta nousee imussa oljen mukana. Taulukossa 1 on verrattu käsin otetun ja imuvaunulla korjatun olkinäytteen tuhkapitoisuuksia. Lisäksi on esitetty imuvaunulla kootun näytteen alle 1 mm:n raekokoisen hienojakeen tuhkapitoisuus, joka on huomattavan suuri, peräti 67 %. Hienojakeen osuus kokonaismassasta oli kuitenkin vain 4 %. Olkinäytteen kokonaistuhkapitoisuus oli 8,4 %, kun huomioidaan 96 %:n ja 4 %:n paino-osuuksia vastaavat tuhkapitoisuudet.

5 Ruokohelven syyskorjuukokeet Alavudella 1995

5.1 Koejärjestelyt

Elokuussa 1995 toteutettiin ruokohelven syyskorjuukokeet Alavudella kahdella eri maatilalla, yhteensä noin 1,2 ha:n alueella. Kokeen tarkoituksena oli selvittää maatalouden korjuukoneiden soveltuvuus masantuotannoltaan selvästi heinää ja olkea runsaskasvuisemman ruokohelven korjuuseen. Alavuden kaupungin järjestämän viljelyn käynnistyessä massa oli suunniteltu

korjattavaksi keväällä pyöröpaalaukseen perustuvalla korjuuketjulla. VTT Energian aloitteesta kokeiltiin myös irtokorjuuta ja korjuuta syyskesällä. Alavudella korsibiomassaa voidaan käyttää puunjalostustehtaan lämpölaitoksessa ja aluelämpölaitoksessa. Näissä laitoksissa tehtiin VTT Energian kanssa ruokohelven polttokokeet vuoden 1995 syyskorjuu- ja vuoden 1996 kevätkorjuukokeiden yhteydessä.

5.2 Viljelmät, korjuukalusto ja kokemukset irtokorjuusta

Ruokohelven syyskorjuukokeissa Tepon tilalla oli viljelyssä 0,3 ja Heikkilän tilalla 0,9 ha. Tepon tilalla kasvusto oli hyvin edistynyttä ja vahvaa. Heikkilän tilalla kasvusto oli heikompaa ja osa siemenistä oli todennäköisesti itänyt vasta kyseisenä vuonna. Molemmat kasvustot oli perustettu edellisenä vuonna eli siemenet oli kylvetty keväällä 1994. Kummallakin alueella lajike oli Mutterwizea. Tepon tilan koealueelle oli levitetty ensimmäisen vuoden syksyllä sikalan lietelantaa. Heikkilän tilan kasvustoa ei oltu varsinaisesti lannoitettu.

Korjuukokeissa käytettiin niittomurskainta (Kuhn FC202, työleveys 1,8 m), sivukiinnitteistä tarkkuussilppuria (JF-850, työleveys 1,6 m), traktoreita ja perävaunuja (Kuvat 5 ja 6). Niiton jälkeen kuivumista edistettiin Kuhn-pöyhimellä. Korjuu tehtiin, kun kasvusto oli riittävän kuivaa.

Niittopäivänä 21. elokuuta sää oli aurinkoinen ja lämmin, joten edellytykset mas-

Kuva 5. Alavuden syyskorjuukokeissa käytetty niittomurskain (kuva: VTT Energia).



Kuva 6. Alavuden syyskorjuukokeissa käytetty traktori-tarkkuussilppuri-perävaunu-yhdistelmä (kuva: VTT Energia).



san kuivumiselle olivat hyvät. Kasvusto oli niitettäessä selvästi vihreää, vaikka edistyneimpien korsien alaosa oli jo kuivunut.

Niittomurskain, Kuhn FC202, oli normaali maatalouden murskaava lautasniittokone. Niitto sujui kummallakin alueella hyvin, kunhan ajonopeus sopeutettiin kasvuston tiheyteen. Niittomurskaimen jättämä sänki oli lyhyt, vain 5–7 cm. Niittokarhe muodostui täsmälliseksi ja karheiden väli jäi täysin puhtaaksi massasta. Täysimittaisessa kasvustossa karheen leveys oli 110–120 cm ja korkeus vaihteli hieman. Suurimmillaan se oli 35–40 cm. Karhe sisälsi runsaasti massaa, joten se ei kuivunut kovin nopeasti. Vahvassa kasvustossa niittokone myös tukkeutui muutamia kertoja. Tukkeutumista voitiin välttää muuttamalla ajonopeutta,

mutta se alensi työtehoa. Kuljettajan arvion mukaan laitteen läpäisyaukot olivat liian ahtaat näin suurelle massalle.

Silppuaminen onnistui tarkkuussilppuri-perävaunuyhdistelmällä hyvin. Suurikaan karhe ei ollut silppurille erityinen ongelma. Karheen koko oli vain otettava huomioon ajonopeudessa, sillä silppurin toiminnan vähäiset häiriöt johtuivat juuri tukkeutumisesta. Silppurin karheennostokyky oli hyvä, eikä jättämää ollut käytännössä havaittavaa määrää.

Rehuperävaunut osoittautuivat sopiviksi ruokohelven korjuuseen. Silppu lensi riittävän hallitusti vaunuun ja vain pieniä määriä hienompaa ainesta lensi ohi tai läpäisi kuormatilan ympärillä olevan verkon.

Kokeilu osoitti, että yksi silppuri pystyy

periaatteessa työllistämään monta vaunua, jos kuljetusäisyys on useita kilometrejä. Tällöin silppuritraktorin lisäksi on käytettävä erillisiä kärrytraktoreita. Lyhyillä, satojen metrien matkoilla riittää yksi perävaunu, jolloin silppu kuljetetaan silppuri-traktori-perävunuyhdistelmällä varastopaikalle perävaunun täytyessä.

Ruokohelpisilppu oli hienojakoista. Silpun seulonta-analyysissä hienon silpun osuus oli 75 painoprosenttia ja yli 4 cm:n pituisen silpun osuus 25 painoprosenttia. Silppu oli riittävän lyhyttä laitosten käsitteilylaitteiden ja polttoaineen sekoittumisen puolesta. Koko karhe oli silppuuntunut tasaisesti, sillä pitkäksi jäänyttä kortta ei esiintynyt lainkaan. Pisimmät silput olivat pituudeltaan noin 15 cm, mutta niitä oli vähän.

5.3 Massan kuivuminen

Tepon tilan korjuukokeissa puolet karheista pöyhittiin niiton ja silppuamisen välissä kuivumisen edistämiseksi. Kuivausaika jäi kokeilussa olosuhteisiin nähden liian lyhyeksi, kun silppurointi aloitettiin vajaan kahden vuorokauden kuluttua niitosta (Kuva 7). Lisäksi silppuamispäivän aamuna satoi. Pöyhinnän vaikutusta ei voitu havaita tämän lyhyen kuivatusjakson aikana.

Kolmannen päivän aamun sade esti kuivumisen seurannan jatkamisen, koska silp-

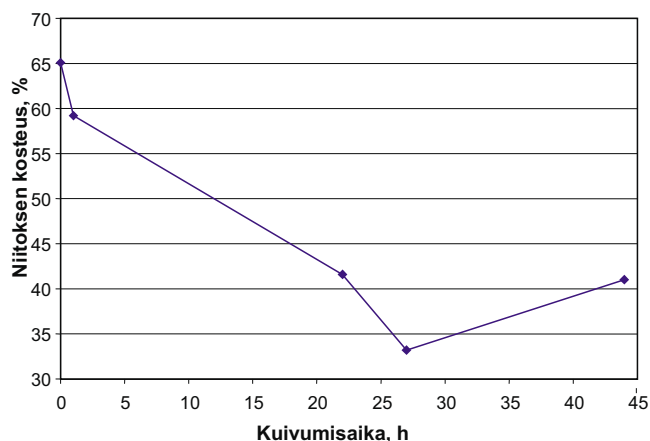
urointi jouduttiin aloittamaan. Hyvissä sääoloissa 25 %:n kosteuspitoisuus olisi luultavasti saavutettu iltaan mennessä. Vähäisen sateen jäljiltä massan silppuaminen tapahtui 41–45 %:n kosteudessa 44 tunnin kuluttua niitosta. Lyhyestä seuranta-ajasta ja karheen suuresta koosta johtuen ei saatu luotettavaa tietoa pöyhinnän vaikutuksesta kuivumiseen.

5.4 Korjuusaanto

Kuiva-aineen saanto mitattiin viljelmiltä kahdella tavalla. Säännöllisen niitokarheen massa punnittiin kolmesta kohdasta kahden metrin matkalta. Tällöin punnitun massan koontipinta-ala on 4 m². Toisessa mittaustavassa punnittiin kahden silppua sisältävän perävaunun kuormat KTK:n vaaka-aseamalla. Massatiedot voitiin liittää korjattuun pinta-alaan. Korjuusaantomittausten tulokset on esitetty taulukossa 2.

Saantojen 9 %:n ero Tepon koalueella selittyy noukinnan ja silppuamisen korjuutappioilla ja viljelmän reuna-alueiden heikommalla kasvustolla.

Silpun tiheys kuormassa oli 85 kg_{ka}/m³. Korkea tiheys johtui silpun hienojakoisuudesta sekä kuorman tiivistymisestä tärinän ja päällimmäisen massan painosta. Suuri kosteuspitoisuus lisäsi tiivistymistä.



Kuva 7. Ruokohelven kuivuminen syyskorjuussa niiton jälkeä Alavudella 21.–23. elokuuta 1995.

Taulukko 2. Ruokohelven korjuusaanto kahdella mittaustavalla määritettynä Tepon ja Heikkilän tilan koalueilla elokuussa 1995.

| Koalue | Kosteus % | Karhemittaus (kg _{ka} /ha) | Vaakamittaus (kg _{ka} /ha) |
|----------|--------------|--|--|
| Teppo | 42,1 | 8468 | 7720 |
| Heikkilä | 37,7 | 4410 | - |

5.5 Työvaiheiden työtehomittaukset

Kummallakin viljelmällä mitattiin silppuamisessa hetkellisten työtehojen arvioimiseksi koneen ajoaika sadan metrin matkalla.

Heikkilän tilan heikkokasvuinen 0,9 ha:n alue niitettiin 45 minuutissa eli työteholla 1,2 ha/h. Tepon tilan hyväkasvuisella alueella niittomurskaimen ajonopeus oli alhaisempi, mutta palstan pienen koon ja konerikon vuoksi tarkkaa tietoa nopeudesta ei ole.

Vahvassa kasvustossa silppurin ajonopeudeksi saatiin 4,2 km/h ja hetkelliseksi työtehoksi 0,84 ha/h. Heikossa kasvustossa ajonopeus oli peräti 8,4 km/h ja hetkellinen työteho 1,5–1,6 ha/h.

5.6 Johtopäätökset syyskorjuusta

Ruokohelven korjuu onnistuu tämän tutkimuksen mukaan myös syksyllä irtokorjuumenetelmällä. Kuitenkin polttotutkimuksen tulosten mukaan syyskorjattu ruokohelpi likaa kattilaa ja sen tuhkan sulamispiste on alhainen sekä kloori- ja rikki-pitoisuudet suuret. Tämä ei kannusta korjaamaan ruokohelpeä syksyllä.

MTT:n tutkimusten mukaan (Pahkala et al. 1996) ruokohelven syyskorjuu vihreänä heikentää myös tulevien vuosien kasvustoa, koska korjatun massan mukana poistuu tärkeitä ravinteita. Kevätkorjuussa ne ovat palautuneet maaperään juuriston käyttöön.

Syyskorjuuta, etenkin myöhäistettynä olisi kuitenkin hyvä pitää yhtenä vaihtoehtona sopivassa kulutus- ja korjuutilanteessa, jossa ruokohelpi joutuisi polttoon suoraan ilman varsinaista varastointivaihetta. Korjuukosteuden ei tarvitse tällöin olla kovin alhainen, jos varastointiviivettä ei ole. Tällöin kostea ruokohelpi ei lämpene. Korjuu voitaisiin toteuttaa vasta roudan päältä kentän urautumisen välttämiseksi ja kasvuston kunnon säilyttämiseksi.

6 Ruokohelven kevätkorjuukokeet Jokioisissa ja Alavudella vuonna 1996

6.1 Koalueet ja kasvuston määrä

Jokioisissa järjestettiin yhteistyössä MTT:n kanssa ruokohelven kevätkorjuukokeet 14.–15. toukokuuta 1996. Koalueet sijaitsivat Jokioisten kartanon pelloilla Kuumassa. Alavudella korjuukokeet järjestettiin yhteistyössä Alavuden kaupungin kanssa 21.–23. toukokuuta 1996 neljän maanviljelijän pelloilla.

Jokioisissa koalueita oli kaksi. Koalue 1 oli 1,75 ha:n suuruinen. Se oli kylvetty vuonna 1994 ja ruokohelpilajike oli Palaton. Kasvualusta oli multamaa. Kasvusto oli hyvin puhdasta ruokohelpeä. Suorakaitteen muotoisen alueen toisessa päässä olivat MTT:n tutkijoiden 0,1 ha:n koeruudut. Muuten alue oli hyvin yhtenäinen eikä sarkaojia ollut.

Jokioisten koalue 2 oli kokonaisuudessaan 0,5 ha:n suuruinen, ja se oli jaettu koikeita varten kahteen 0,25 ha:n osaan (2A ja 2B), jotka olivat yhtenäisiä, sillä niiltä puutuivat avo-ojat. Alue oli perustettu vuonna 1993 ja ruokohelpilajike oli Venture. Aluetta ei oltu lannoitettu kylvön jälkeen. Ruokohelpi

kohelven seassa kasvoi paikoitellen myös timoteita. Routa oli sulanut alueilta täysin ja kentän pinta oli kuivunut hyvin. Korjuupäivinä sää oli erinomainen ja niitä edelsi sopivan pitkä ja lämmin poutajakso, minkä ansiosta kentän kantavuus oli hyvä. Jokioisten koalueet olivat silmämääräisesti arvioiden myös hyvin tasaisia, eikä traktorin renkaiden jättämiä painumia näkynyt.

Alavudella kokeita tehtiin maanviljelijöiden pienillä kesantopeltolohkoilla, joille viljelijät olivat perustaneet Alavuden kaupungin tukemina ruokohelpikasvustot vuonna 1994. Koalueita oli yhteensä neljä (Ylitalo, Teppo, Mäki ja Heikkilä), ja niiden koko oli 0,15–2 ha. Alueilla ei ollut avo-ojia. Alueet olivat yleensä suorakaiteen muotoisia, joskin yksi alue oli vain 0,15 ha:n suuruinen ja kolmion muotoinen. Lajikkeena pelloilla oli joko Mutterwitze tai Palaton.

Ennen korjuukokeiden aloittamista sekä Jokioisten että Alavuden koalueilla määritettiin kasvuston biologisen sadon määrä. Jokioisissa mittaus tehtiin MTT:n Halstrup-koeniittopuimurilla, jolla kasvusto niitettiin 1,5 m:n levyiseltä alueelta 10 metrin matkalta mahdollisimman lyhyeen, noin 5 cm:n sänkeen. Koeniittopuimurissa oleva vaaka punnitsee niitetyn sadon automaattisesti. Alavudella kasvuston määrä mitattiin käsin yhden neliömetrin alalta leikkaamalla ja punnitsemalla mittakehikon sisälle jäävä kasvusto ja ottamalla siitä kosteusnäyte. Mittauksia tehtiin yleensä kolmessa kohdassa vinosti koko koalueen poikki, mutta yhdellä tilalla niitä tehtiin kuudessa pisteessä. Koeniittopuimurilla tehtyjä mittauksia pidettiin luotettavimpina.

Jokioisissa koeniittopuimurilla tehtiin yhteensä 8 mittausa. Alueelta 1 mitattu biologinen sato oli 7063 kg_{ka}/ha. Alueella 2 sato vaihteli kahden eri osan välillä, huomattavasti. Kahden mittauksen keskiarvo alueella 2B oli 10 468 kg_{ka}/ha (10 535 ja 10 401 kg_{ka}/ha) ja alueella 2A puolestaan 7155 kg_{ka}/ha (6122 ja 8188 kg_{ka}/ha). Ero saattoi johtua siitä, että runsaammassa kasvustossa ruokohelven seassa kasvoi myös timoteita.

Alavudella biologiset sadot olivat pie-

nempiä kuin Jokioisissa. Kasvustojen lanonitustaso oli hyvin vaihteleva, keinolannoitteita oli käytetty vain vähän. Tepon tilalla viljelmälle oli levitetty syksyllä 1994 sikalan lietelantaa, jolla oli edullinen vaikutus, koska tällä viljelmällä oli suurin kasvusto. Alueiden maaperästä ei ollut tarkkoja tietoja.

Biologiset sadot olivat tilakohtaisesti: Teppo 6809 kg_{ka}/ha, Mäki 5320 kg_{ka}/ha ja Ylitalo 4476 kg_{ka}/ha. Tepon ja Mäen tiloilla mittauksia tehtiin kolme tutkimusaluetta kohden ja Ylitalon tilalla kuusi. Heikkilän tilalla ei pystytty ottamaan näytteitä niin, että ne olisivat edustaneet karkeastikaan alueen biologista satoa. Kasvusto oli epätasainen, paikoitellen sitä ei ollut juuri lainkaan. Laskennallisesti arvioituna sato oli 780 kg_{ka}/ha.

6.2 Korjuukalusto ja koeajojen suoritus

Jokioisten kokeiden korjuukalusto on esitetty taulukossa 3. Ruokohelven korjuu aloitettiin niittämällä Taarup 206 -lautasniittokoneella kummatkin alueet (Kuva 8). Lautasniittokone valittiin työlevydeltyään suuremman niittomurskaimen sijasta, koska aikaisempien, paalaamalla tehtyjen niittotulosten perusteella murskaus lisää niittotappioita erittäin kuivan ruokohelven kevätkorjuussa.

Käytössä oli osan aikaa kaksi perävaunua ja kaksi traktoria, jolloin perävaunun täyttyessä tilalle vaihdettiin tyhjä perävaunu ja vietiin täyttynyt perävaunu toisella traktorilla aumalle. Niittokonetta veti Valmet 803 -traktori. Silppurointi tehtiin teholtaan noin 100 kW:n traktorilla, ja karheejaa veti Ford 4000 -traktori. Nokka 2000 -silppurin silppuamisyksikkö oli tyyppiltään laikkahakkuri.

Koska alueilla ei ollut avo-ojia, niitä ei tarvinnut ottaa huomioon ajolinjoja valittaessa. Tämän vuoksi kääntymisiä ja peruutuksia tuli vähän, vaikka 2A- ja 2B-alueet olivatkin pieniä. Alueen 1 taakse ja sivuille jäi kapeat korjuuvyöhykkeet, joita ajettaes-

Taulukko 3. Jokioisten kokeiden korjuukalusto koalueittain.

| | Koealue | | |
|---------------|---|---------|-------------|
| | Alue 1 | Alue 2A | Alue 2B |
| Pinta-ala, ha | 1,75 | 0,25 | 0,25 |
| Työvaihe | | | |
| Niitto | Taarup 206 -lautasniittokone, 2,2 m | | |
| Karheaminen | Kuhn, 6,7 m | | Kuhn, 6,7 m |
| Silppurointi | Nokka 2000 -tarkkuussilppuri, 1,6 m | | |
| Ajo | Rehuperävaunu 25 m ³ , 1 kpl (2 kpl) | | |

sa kääntymisiä ja siirtoajoja tapahtui runsaasti.

Alueet 2A ja 2B niitettiin kiertämällä kumpikin korjuualue ulkolaidoilta aloittaen niin, että ajettiin vuorotellen suorakaiteen muotoisen alueen pisimpiä reunoja pitkin. Reunalta toiselle siirryttäessä niittokone oli ylhäällä. Vastaavasti alueella 1 niitettiin aluksi ulkoreunat, minkä jälkeen korjuulinjat yritettiin saada mahdollisimman pitkiksi ja yhdensuuntaisiksi. Silmäämäärisesti arvioiden niittotulos oli hyvä.

Karheaminen suoritettiin seuraten niiton jälkiä. Karheaminen oli niiton tapaan hyvin nopea ja ongelmaton työvaihe verrattuna silppuamiseen (Kuva 9).

Silppuaminen toteutettiin niittokarheilta alueella 2A ja karhottimella tehdyiltä karheilta alueella 2B ja alueella 1 (Kuva 10).

Karheet olivat alueella 1 pienemmät kuin alueella 2B (molemmat karhettu), jossa silppuri toimi aivan kapasiteettinsa ylärajoilla.

Alavuden korjuukokeiden korjuukalusto on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 11. Silppurointi tehtiin kaksoissilppurilla suoraan kasvustosta Mäen ja Heikkilän tiloilla (Kuva 12). Hietarannan pajan leveää silppuria (Kuva 13), joka myös korjasi massan suoraan kasvustosta, koeajettiin Tepon tilalla. Elho-kaksoissilppurissa ja Hietarannan protokoneessa on laikkahakkurityyppinen silppuamisyksikkö ja JF-850-silppurissa rumpuhakkurityyppinen yksikkö. Elho-kaksoissilppurissa heinä katkaistaan kelanoukkimella ja Hietarannan silppurissa koneeseen rakennetulla lieriöniittokoneella.



Kuva 8. Niittokoneen työnjälki Jokioisissa (kuva: VTT Energia).



Kuva 9. Karheamistyövaihe käynnissä Jokioisissa (kuva: VTT Energia).



Kuva 10. Tarkkuussilppuri silpuamassa ruokohelpeä karheen tekemältä karheelta Jokioisissa (kuva: VTT Energia).



Kuva 11. Korjuu tarkkuussilppurilla lautasniittokoneen niitokselta Alavudella (kuva: VTT Energia).

Taulukko 4. Korjuukalusto koealueittain Alavuden kokeissa.

| Työvaihe | Koealue | | | |
|--------------|---------------------------------|--|--|---------------------------------|
| | Ylitalo | Mäki | Heikkilä | Teppo |
| Niitto | Kuhn FC202-niittomurskain | - | - | - |
| Karheaminen | - | - | - | - |
| Silppurointi | JF-850 -tarkkuussilppuri | Elho Super-Luoko 1700 S -kaksoissilppuri | Elho Super-Luoko 1700 S -kaksoissilppuri | Protokone (Hietaranta) |
| Ajo | 25 m ³ rehuperäkärri | 25 m ³ rehuperäkärri | 25 m ³ rehuperäkärri | 25 m ³ rehuperäkärri |



Kuva 12. Korjuu suoraan kasvustosta kaksoissilppurilla Alavudella (kuva: VTT Energia).



Kuva 13. Hietarannan pajan leveä silppuri korjaamassa ruokohelpeä suoraan kasvustosta (kuva: VTT Energia).

6.3 Työvaiheiden työtehot vuonna 1996 Alavudella ja Jokioisissa

6.3.1 Työtehojen määrittäminen

Kuhunkin työvaiheeseen kulunut kokonaistyöaika mitattiin ottaen huomioon itse työaika, kääntymiset, peruutukset ja selkeät työn suorituksesta johtuvat taudit, esimerkiksi perävaunujen vaihdot vaunun täyttyessä silppuamisen aikana sekä koneiden toimintahäiriöistä johtuvat taudit. Tehollinen työteho (ha/h) laskettiin kokonaistyöajan ja korjatun alueen pinta-alan perusteella.

Eri työvaiheiden työtehoa mitattiin myös hetkellisillä mittauksilla 50 metrin pituisilta ajomatkoilta, kun tutkittavaa työvaihetta suorittava traktori-työkone-yhdistelmä oli saavuttanut tasaisen työnopeuden. Hetkellinen työteho ei ota huomioon korjuualueen kokoa ja muotoa, jotka vaikuttavat korjuun todelliseen tehokkuuteen. Hetkellisillä mittauksilla voidaan kuitenkin vertailla saman työvaiheen suoritusta eri ketjuissa ja eri koneilla toteutettuna.

6.3.2 Tulokset

Eri työvaiheiden työtehot on esitetty taulukossa 5 työvaiheiden kokonaistyöajan ja hetkellisten ajonopeuksien kellotusmitausten perusteella.

Niitto

Jokioisissa teholliseksi niittotehoksi saatiin pienemmällä alueella 1,35 ja isommalla 1,52 ha/h ja Alavudella 0,51 ha/h. Jokioisten ja Alavuden kokeiden niittotehon tarkempi erittely on esitetty liitteessä 1. Alavudella Ylitalon viljelmällä kellotettiin niiton kokonaistyöaika, mutta siihen sisältyvässä kääntymis- ja siirtymisaikamittauksissa oli epätarkkuutta. Teholliseksi työtehoksi saatiin koko kahden lohkon käsittävältä alueelta 0,51 ha/h, mikä on heikko tulos

verrattuna Jokioisten niittotulokseen. Tehoeroa ei voitu täysin selittää koneiden työvevyksien, kasvuston tai kenttäolojen avulla. Tämän vuoksi kustannuslaskelmissa on käytetty Ylitalon korjuuketjun niittotehona Jokioisissa mitattua tulosta. Hetkellisiä työtehoja ei niitosta mitattu.

Niittotulos oli hyvä sekä Jokioisissa että Alavudella. Silmä määräisesti arvioituna lautasniittokone pystyi niittämään laossa olevan ruokohelven melko tarkasti.

Karheaminen

Teholliseksi karhemistehoksi saatiin Jokioisten mittauksissa isommalla loholla 4,6 ha/h (1,75 ha) ja pienemmällä 2,63 ha/h (0,25 ha). Hetkellinen työteho oli isommalla loholla (alue 2B) 8,3 ha/h. Karheaminen onnistui ilman merkittäviä häiriöitä. Karheamistehojen tarkempi erittely on esitetty liitteessä 1.

Karheiden leveys oli 1,5–1,8 m, (keskiarvo 1,7 m) ja korkeus 60–80 cm. Karheiden väli oli 6,2–6,5 m.

Silppuaminen

Silppurointi tarkkuussilppureilla Nokka-2000 ja JF-850 sujui ilman suurempia ongelmia. Silppuroitavan karheen koko vaikutti kuitenkin silppurin tukkeutumiseen (Nokka 2000), joten kapasiteetti ei aivan riittänyt karhottimen tekemille isoille karheille. Työn tehokkuuteen voi jonkin verran vaikuttaa kuljettajan rutinoituminen.

Koeolosuhteissa mitattuna Nokka-2000 -tarkkuussilppurin tehollinen työteho oli 0,41–0,54 ha/h ja JF-850 -tarkkuussilppurin 0,68 ha/h. Suoraan kasvustosta niitetäessä Elho -kaksoissilppurin tehollinen teho oli 0,38 ha/h ja prototyyppikoneen (Hietaranta) 0,32 ha/h. Tarkempi työtehojen erittely on esitetty liitteissä 1/3–1/6.

Ylitalon tilalla silppuri oli säädetty tuotamaan lyhyttä silppua. Säädön (15 mm) ansiosta silpun laatu oli selvästi parempi kuin muilla Jokioisissa ja Alavudella ajetuilla

Taulukko 5. Työvaiheiden mitatut teholliset ja hetkelliset työtehot ruokohelven korjuussa vuonna 1996.

| Korjuu- alue | Pinta- ala ha | Työvaihe | Työ- kone | Työ- leveys m | Tehol- linen työteho ha/h | Keskimääräinen hetkellinen työteho ha/h |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|------------------------------------|--|
| Jokioinen | | | | | | |
| Alue 1 | 1,75 | Niitto | Taarup 206 | 2,2 | 1,37 | |
| Alue 2B | 0,25 | | -lautasniit- tokone | | 1,35 | 2,6 |
| Alue 2A | 0,25 | Silppuaminen niitokselta | Nokka 2000 -tarkkuus- silppuri | 1,6 | 0,48* | 0,56 |
| Alue 1 | 1,75 | Karheami- nen | Kuhn- karhotin | 7,1 | 4,6 | |
| Alue 2B | 0,25 | | | | 2,63 | 8,2 |
| Alue 1 | 1,75 | Silppuaminen | Nokka 2000 | 1,6 | 0,72 | 1,43 |
| Alue 2B | 0,25 | karheelta | -tarkkuus- silppuri | | 0,41 | 0,9 |
| Alavus | | | | | | |
| Ylitalo | 0,41 | Niitto | Kuhn- lautas- niittokone | 1,6 | 1,35** (0,51) | - |
| Ylitalo | 0,41 | Silppuaminen niitokselta | JF- 850 -tarkkuus- silppuri | 1,8 | 0,68 | 1,35 |
| Mäki | 0,15 | Yhdistetty niitto | Elho | 1,7 | 0,38 | 1,1 |
| Heikkilä | 2,0 | ja silppuaminen | Super-luoko 1700 S -kaksois- silppuri | | - | 1,4 |
| Teppo | 0,4 | Yhdistetty niitto ja silppuaminen | Hieta- rannan kone | 3,6 | 0,32 | 0,51 |

* Vain osa kokonaisajasta kelloitettu. Arvioitu hetkellisen työtehon ja kelloitetusta kokonaisajasta saadun työvaiheeseen kuluneen osuuden avulla.

** Kustannuslaskelmissa oletettu samaksi kuin Jokioisten niittotulos.

la silppureilla.

Suoraan kasvustosta silppurointi onnistui hyvin Elho-kaksoissilppurilla, joskin kasvusto oli heikkoa ja vaihtelevaa, joten kone pääsi varsinkin Heikkilän tilan kokeis-
sa etenemään kovaa vauhtia, koska käsiteltävää massaa oli vähän. Teholliseksi työtehoksi saatiin Mäen tilalla 0,38 ha/h. Mäen koealueella kasvusto oli puolestaan huomattavasti vankempaa kuin Heikkilässä, mutta lohkon pienuus ja kolmiomainen muoto lisäsivät kokonaistyöaikaa huomattavasti. Kaksoissilppurilla tuotettu silppu oli selvästi pitempää kuin tarkkuussilppurilla tuotettu.

Yhdistettyä niittoa ja silppuamista kokeiltiin myös Hietarannan koneella. Hietarannan pajan rehunkorjuuseen kehittämässä prototyyppikoneessa työleveys oli tavallisia silppureita huomattavasti suurempi, peräti 3,6 m. Kone päätettiin ottaa mukaan kokeiluihin menetelmänä, jossa yhdellä koneella toteutetaan sekä niitto että silppuaminen, kuten kaksoissilppureilla, työleveyden ollessa kuitenkin yli kaksinkertainen kokeillun kaksoissilppurin työleveyteen verrattuna. Silpun tuottamisessa Hietarannan koneen tehollinen työteho oli 0,32 ha/h. Työvaiheeseen käytetty työaika oli 66,3 % kokonaistyöajasta. Häiriöiden osuus kokonaisajankäytöstä oli suuri 31 %, mistä näkyy, että koneen tekniikka ei soveltunut silppuamiseen ongelmitta. Koneen hetkellinen työteho oli 0,51 ha/h.

6.4 Korjuusaanto

Biologisen sadon mittauksista saatavan potentiaalisen saannon ja todellisen, kuormista mitatun korjuusaannon erotuksen avulla arvioitiin korjuun kokonaishävikkejä. Yksittäisten biologisen sadon mittausten perusteella potentiaaliselle sadolle saadaan kuitenkin melko karkea arvio kasvuston määrän vaihteluista johtuen. Kokonaishävikit muodostuvat niittojättämistä, karheamisjättämistä ja silpun pölyämisestä ilmaan puhallettaessa sitä silppurilta peräkärryyn. Jokioisissa tappioita syntyi myös

rehuperävaunun ”vuodosta”, joka johtui vaunun peräpressun löysyydestä.

Jättämätarkastelun tarkkuus työvaihekohtaisten jättämämittausten avulla on ai-noastaan suuntaa antava hehtaaria kohden laajennettuna, sillä jättämämittaukset tehtiin pistemäisinä 0,5–1 m²:n alueilla ja niitä tehtiin korjuualueiden kokoon nähden liian vähän. Korjuukokeissa ei eroteltu ketjukohtaista korjuusaantoa, vaan aumalla mitatussa massassa oli mukana kummallakin alueella tuotettu ruokohelpi.

Niittotappio eli niittojäämä on niittämättä jäänyt massamäärä (kuiva-ainetta/m²), silppujäämä on korjuun jälkeen sängelle jäänyt silppumäärä. Karheiden väliin sängelle jää karheamisjättämää eli niitettyä, silppuamatonta massaa.

Niittojättämän arviota varten leikattiin koeniittopuimurin tekemää sänkeä pitemmät korret saksilla puolen neliön kehikon sisältä. Myös silppujäämä- ja karheajäämämittaukset tehtiin puolen neliön mittakehikon avulla.

Todellinen korjuusaanto mitattiin punnitsemalla kuormat ennen aumalle purkua. Taulukossa 6 on esitetty Jokioisten alueiden yhteissaanto ja korjuusaanto alueittain. Kuormia saatiin molemmilta alueilta yhteensä 11 kpl. Kosteusnäytteitä otettiin neljästä kuormasta keskiarvokosteuden ollessa 9,4 %.

Taulukossa 7 on eritelty alueelta 1 mitattuja jättämiä. Jättämien perusteella lasketut korjuutappiot biologisesta sadosta laskettuna vastaavat suuruusluokaltaan kuormista mitatun korjuusaannon ja biologisen sadon erotuksena laskettua korjuutappiota alueella 1.

Alavudella jokaiselta neljältä korjuualueelta kerätyt kuormat punnittiin alueiden korjuusaannon laskemiseksi. Taulukossa 8 on esitetty kolmen alueen korjuusaannot ja biologiset sadot sekä niiden perusteella laskettu likimääräinen korjuun kokonaishävikki (27–45 %).

Taulukko 6. Jokioisten koalueiden 1 ja 2 kuormista mitattu korjuusaanto, biologinen sato ja korjuun kokonaistappiot.

| Alue | Biologinen sato kg _{ka} /ha | Kuormia kpl | Korjuusaanto kg _{ka} /ha | Korjuutappiot % |
|--------------------|---|----------------|--------------------------------------|--------------------|
| Alue 1 (1,75 ha) | 7063 | 8 | 5027 | 29 |
| Alue 2 (0,5 ha) | 8811 | 3 | 5500 | 38 |
| Alue 1+2 (2,25 ha) | 7937 | 11 | 5132 | 36 |

Taulukko 7. Jokioisten niitto- ja karheamisjättämät sekä silppujäämä alueella 1. Jokaisesta kohdasta tehtiin kolme mittausta niitto- ja karheamisjättämästä sekä kaksi mittausta silppuamisjättämästä.

| Alue 1 | Niittojättämä kg _{ka} /ha | Karheamisjättämä kg _{ka} /ha | Silppuamisjäämä kg _{ka} /ha | Jättämät yhteensä kg _{ka} /ha | Osuus biologisesta sadosta % |
|----------------|---------------------------------------|--|---|---|---------------------------------|
| Mittauskohta 1 | 129 | 698 | | | |
| Mittauskohta 2 | 332 | 852 | 1210 | | |
| Keskiarvo | 231 | 775 | 1210 | 2216 | 31 |

Taulukko 8. Alavuden neljän koalueen korjuusaannot, biologiset sadot ja korjuun kokonaishävikit.

| Alue | Kuormien kosteus % | Saanto kuormista mitattuna kg _{ka} /ha | Biologinen sato kg _{ka} /ha | Korjuuhävikki % |
|------------------|-----------------------|--|---|--------------------|
| Ylitalo (0,4 ha) | 8,4 | 2826 | 4476 | 37 |
| Teppo (0,4 ha) | 14,2 | 4939 | 6809 | 27 |
| Mäki (0,15 ha) | 8,1 | 2916 | 5320 | 45 |
| Heikkilä (2ha) | 16,8 | 780 | - | - |

6.5 Yhteenveto Jokioisten ja Alavuden korjuukokeista

Jokioisten kokeet olivat ensimmäiset irto-korjuumenetelmällä toteutetut ruokohelven kevätkorjuukokeet Suomessa, joten koetoiminta oli siinä mielessä ”pioneerityötä”. Kokeissa saatiin testattua heinärehunkorjuussa yleisesti käytettävän korjuukaluston toimivuutta ruokohelven kevätkorjuussa. Tavoitteena oli testata niitto-silppuaminen-ketjun lisäksi myös niitto-karheaminen-silppuaminen-ketju, jolloin käytössä olisi pitänyt olla myös tehokas silppuri. Tehokkaan silppurin puuttumisen vuoksi jälkimmäistä ketjua ei pystytty testaamaan halutussa muodossa eikä ketjun toiminnasta ja sen oletetusta, ensimmäistä ketjua paremmasta tehokkuudesta siten saatu luotettavaa kuvaa. Jälkimmäisellä ketjulla saadut työtehot antoivat kuitenkin viitteitä karheamisen sisältävän ketjun mahdollisuuksista.

Korjuun hävikit olivat suuret, 27–45 %. Ne vastasivat paalausmenetelmää käytettäessä mitattuja tappioita (Hemming et al. 1996).

Havaittavia tappioita syntyi rehuperävaunun ”vuodosta”, joka johtui vaunun pressun löysyydestä. Tappioita syntyi myös silpun siirrossa perävaunuun. Kuiva, kevyt silppu pölysi tuulen mukana ohi kärryn.

Alavuden korjuukokeissa, joissa käytettiin tarkkuussilppurointia, saatiin ketjujen teknisestä toiminnasta Jokioisten tuloksia täydentävää tietoa. Tarkkuussilppuria säättämällä saatiin hyvälaatuista lyhyttä silppua.

Uutena kokeiluna Alavudella oli mukana silppurointi kaksoissilppurilla, jolla voidaan yhdistää niitto ja silppuaminen. Kokeilun tekninen tulos oli se, että myös laossa oleva ruokohelpi onnistutaan korjaamaan kaksoissilppurilla kevätkorjuuna.

7 Ruokohelven kevätkorjuukokeet Hirvinevalla ja Tyrnävällä vuonna 1997

7.1 Koealueet, kasvuston määrä ja sääolot kokeiden aikana

Korjuukokeisiin oli käytettävissä kaksi eri aluetta, Vapo Oy:n suopohjaviljelmä Hirvinevalla ja Vapo Oy:n sopimusviljelmä Tyrnävällä Kantolan tilan peltolohkolla. Ruokohelpikasvustot oli perustettu vuonna 1995. Kasvilajike oli Hirvinevan viljelmillä Palaton ja Tyrnävällä Venture.

Hirvinevan 25 ha:n viljelmästä oli kokeisiin käytettävissä 7 ha. Kasvusto korjattiin ensimmäistä kertaa viljelmän perustamisen jälkeen. Alue oli turvetuotannon jäljiltä 20 metrin levyisissä saroissa, joiden välissä oli avo-ojat. Karttapiirros alueesta on liitteessä 2/1. Osalla alueesta sarat olivat koko alueen mittaisia eli noin 700–750 metrin pituisia. Näitä täyspitkiä sarkoja tutkimuksessa oli 3 kpl, sarat 7–10. Tutkimuksen käytössä oli lisäksi alue, jossa sarat (1–7) olivat lyhyempiä, noin 300 metrin mittaisia.

Tutkimuksen alkaessa routa oli vasta sulamassa Hirvinevan koealueella. Tutkimusjakson aikana sattuneet sateet sulattivat routaa ja heikensivät kentän kantavuutta. Se oli heikointa lyhyiden sarkojen 2–7 päissä, jossa ojien kuivatus ei toiminut ja pitkien sarkojen toisessa päässä, kauimpana varas-topaikasta. Heikko kantavuus hidasti työvaiheita. Traktorin renkaat synnyttivät jonkin verran painaumuksia ja uria.

Tyrnävällä peltoa oli käytettävissä noin kahden hehtaarin alue. Pelto koostui kahdeksasta 20 metriä leveästä, eri pituisesta sarasta, joiden toisessa päässä oli päisteet. Routa oli alueelta jo sulanut ja kenttä oli hyvin kuivunut, joten kantavuusongelmia ei

ollut.

Ennen korjuukokeiden aloittamista viljelmillä määritettiin kasvuston määrä biologisen sadon mittauksella vastaavasti kuin Jokioisten kokeissa vuonna 1996. Mittauksen toteutti MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema koeniittopuimurilla, jolla kasvusto niitettiin 1,5 metrin levyiseltä alueelta 10 metrin matkalta. Mittauksia tehtiin Hirvinevalla yhdeksän eli yksi määräytys sarkaa kohden koko suorakaiteen muotoiselta koealueelta siten, että mittauskohta sijaitsi suorakaiteen lävistäjällä. Määritys tehtiin saran poikkisuuntaisesti. Tyrnävän koealueella biologinen sato mitattiin käsin. Kasvusto leikattiin neljältä saralta yhden mittausalueen ollessa 1 m².

Hirvinevalla koesarjojen kuiva-ainesadot olivat 7300–8600 kg_{ka}/ha. Paras kasvusto oli pitkillä koesaroilla 8 ja 9, joilla biologinen sato oli 8200 ja 8600 kg_{ka}/ha. Kaikkien mittausten keskiarvo oli 7677 kg_{ka}/ha.

Tyrnävällä koesarkojen kuiva-ainesadot olivat 7000–9800 kg_{ka}/ha, parhaimmilla kahdella saralla 9200 ja 9800 kg_{ka}/ha. Kaikkien mittausten keskiarvo oli 8627 kg_{ka}/ha.

Vuonna 1997 kevät oli myöhässä. Kokeet toteutettiin Hirvinevalla ja Vapo Oy:n sopimusviljelmällä Kantolan pellolla Tyrnävällä 26. toukokuuta–6. kesäkuuta 1997 ja 12.–13. kesäkuuta 1997 eli kolmen työviikon aikana. Ensimmäisellä koeviikolla (viikko 22) 26.–29. toukokuuta sää oli poutainen, mutta 29.–30. toukokuuta sa-

toi ja toisena päivänä oli rajua raekuuroja. Viikonlopun aikana 31. toukokuuta–1. kesäkuuta sää oli poutainen ja lämmin. Toinen koeviikko (viikko 23) aloitettiin helteisissä oloissa. Sää viileni 3. kesäkuuta lähtien ja muuttui erittäin tuuliseksi. Tämä aiheutti hävikkejä karheilta, silppuamistyövaiheen aikana ja vielä peittämättömissä aumoissa. Korjuukokeet Hirvinevalla lopetettiin 6. kesäkuuta. Kolmannella viikolla (viikko 24) sää oli pääosin helteinen, lukuun ottamatta sadejaksoa 10.–11. kesäkuuta. Viimeiset silppuamismittaukset toteutettiin Tyrnävän peltolohkolla 12. kesäkuuta 1997 helteisessä säässä.

7.2 Korjuukalusto

Kevään 1997 kokeisiin pyrittiin saamaan mahdollisimman tehokas kalusto jokaiseen työvaiheeseen. Päätaavoitteena oli karheamisen avulla hyödyntää tehokkaan silppurin koko silppuamiskapasiteetti.

Korjuun työvaiheet olivat Hirvinevalla niitto, karheaminen ja silppuaminen. Karheaminen toteutettiin joko erillisenä työvaiheena tai silppuamisen yhteydessä etukarheaja-lisälaitteen avulla. Silppuaminen tehtiin paitsi karheelta myös suoraan niittomurskaimen tekemältä niittokarheelta. Silppurina käytettiin Hirvinevalla tarkkuussilppuria (tyyppi JF FCT 900) ja Kemper-korjuukonetta (Kemper Champion



Kuva 14. Etuniitto-takaniittomurskain-yhdistelmä Hirvinevalla keväällä 1997 (kuva: VTT Energia).



Kuva 15. Hirvinevan korjuukoikeissa käytetty karheeja (kuva: VTT Energia).



Kuva 16. Etukarheeja-tarkkuussilppuri-perävaunu-yhdistelmä Hirvinevan korjuukoikeissa (kuva: VTT Energia).

3000). Tyrnävällä työvaiheet olivat niitto, karheaminen ja silppuaminen. Silppuaminen tehtiin pelkästään Kemper-korjuukoneella. Kemper-korjuukone toimii laikkahakkurilla ja JF-900 -silppuri rumpuhakkurilla.

Niitto suoritettiin kahden niittomurskaimen ja vetokoneen yhdistelmällä. Etuniittomurskain (JF GX 2800 FM, työleveys 2,8 m) kiinnitettiin traktorin etunostolaitteisiin. Traktori hinasi toista niittomurskainta (JF GX 2800 SM työleveys 2,8 m). Yhdistelmän mitattu työleveys oli 5,1 m. Kumpikin niittokone teki oman niittokarheen (Kuva 14).

Karheaminen tehtiin traktorilla hinattavalla karheejalla (Claas Liner 780, työle-

veys 6,8–7,6 m), jolle säädettiin työleveys 6,7 m. Etukarheeja-lisälaitte (JF Front Pick-up), jonka mitattu työleveys oli 2,1 m, oli traktorin etunostolaitteisiin kiinnitettävä (Kuva 15).

Silppuaminen JF-900 -tarkkuussilppurilla tehtiin etukarheajan tekemältä karheelta, erillisen karheajan tekemältä karheelta ja suoraan niittokarheelta. Silppurin työleveys oli 1,8 m. Etukarhotin-tarkkuussilppuri-yhdistelmän (Kuva 16) tehollinen työleveys oli silppuamisessa 5,1 m eli sama kuin niittokoneyhdistelmän leveys, sillä etukarhotin-silppuri-systeemi kokosi massan em. levyiseltä alalta. Kun silppuaminen tapahtui suoraan niittokarheelta, oli tehollinen työleveys 2,8 m, eli niittoelimen leveys.

Kuva 17. Noukinpäällä varustettu Kemper-korjuukone silppuamassa perävaunuun erillisen karheen tekemää karheta Hirvinevan korjuukokeissa 1997 (kuva: VTT Energia).



Kun silppuaminen tapahtui erillisen karheen tekemältä karheelta, oli tehollinen työleveys silppuamisessa 6,7 m.

Vapo Oy:n omistamalla, järviruo=on korjuuseen alunperin hankkimalla Kemper-korjuukoneella silputtiin erillisen karheen yhdistämät kolmen niittokarheen massat (Kuva 17). Silppuamisen tehollinen työleveys oli tällöin 6,7 m.

K-Maatalous vuokrasi niittokoneet, karheen, etukarheen ja tarkkuussilppurin, jotka tilattiin tehtaalta Tanskasta tutkimesta varten. Etu-takaniittokone-yhdistelmä ja etukarhotin-lisälaitte ovat Suomessa harvinaisia.

Perävaununa silppuriyhdistelmissä oli Vapo Oy:n 50 m³:n suoperävaunusta modifioitu vaunu.

Niittokoneiden, karheen ja tarkkuussilppurin vetokoneena oli Mercedes Benz 1400 -traktori, jonka teho oli 140 hv. Traktorissa oli etunostolaite, mekaaninen voiman ulosotto ja hydraulikka edessä. Traktorin paino oli 6300 kg.

Etukarhotin-tarkkuussilppuri-yhdistelmässä etukarhotin oli traktorin edessä, hinnattava tarkkuussilppuri traktorin takana ja viimeisenä, silppurin takana, oli peräkärri. Yhdistelmän kokonaispituus oli noin 20 m.

Kemper-korjuukoneen vetokoneena oli Valmet 8400 -traktori, jonka teho oli 140 hv. Traktorissa oli takaa-ajolaite, joten traktoria peruutettiin korjuutyössä. Perä-

kärri oli puolestaan kiinnitetty traktorin eteen. Korjuussa silppuri oli siten yhdistelmässä ensimmäisenä ja peräkärri viimeisenä. Yhdistelmän pituus oli noin 15 m.

7.3 Työvaiheiden työtehomittaukset

7.3.1 Koejärjestelyt

Ennen varsinaisen kokeen aloitusta ketjut koottiin ja ”viritettiin”. Lisäksi niiden toimivuutta testattiin alustavasti lyhyillä koeajoilla. Esikokeiden perusteella suurin muutos vaadittiin etukarheeseen, jossa siirtoruuvin kannatinkaarta laajennettiin. Tämä sen vuoksi, että karhettaessa kaaren kohdalle syntyi helposti tukos. Muutos ei kuitenkaan täysin poistanut etukarheen tukkeutumisherkkyttä.

Vapo Oy:n aiemmissa testiajoissa oli havaittu, että niittopäällä varustettu Kemper-silppuri ei pysty silppuamaan laossa olevaa ruokohelpeä, vaikka se järviruo'on pystykasvustossa toimii hyvin. Kemperiin asennettiin niittopään tilalle noukinpää ja niittokarheelta silppuavaa noukinpää-silppuri-yhdistelmää testattiin esikokeilussa.

Eri työvaiheiden työaikoja mitattiin työkoneneen ollessa tasaisessa työvauhdissa 100 metrin tai 50 metrin matkalta. Hetkellisen työteho (ha/h) saatiin 100 metrin matkaan

Taulukko 9. Niiton tehokkuus Hirvinevan ja Tyrnävän koealueilla (Käyhkö 1997).

| | Pitkät sarat (8,9) - 700 m | Lyhyet sarat (5-7) - 300 m |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Hirvineva | - 2,6 ha | - 1,8 ha |
| Tehollinen teho, ha/h | 4,8 | 3,6 |
| - Niiton osuus, % | 91 | 75 |
| - Kääntöjen osuus, % | 6 (7 kpl) | 19 (11 kpl) |
| - Häiriöiden osuus, % | 3 | 7 |
| | | |
| Hetkellinen teho, ha/h | 5 (10 km/h) | |
| | | |
| Tyrnävä | Lohko 2,2 ha | |
| Tehollinen teho, ha/h | 3,2 | |
| - Niiton osuus, % | 71 | |
| - Kääntöjen osuus, % | 27 | |
| - Häiriöiden osuus, % | 2 | |
| | | |
| Hetkellinen teho, ha/h | 4 (8 km /h) | |

kuluneen ajan ja tehollisen työlevyden avulla. Mittauksia tehtiin melko kattavasti eri ketjujen työvaiheista hetkellisten ja tehollisten työtehojen laskemiseksi.

Mitatulta pinta-alalta korjatun ruokohelpisilpun peräkärnykuormat punnittiin akselipainovaa'alla, ja kuormista otettiin kosteusnäyte kuiva-ainesadon (kg_{ka}/ha) laskentaa varten.

7.3.2 Niitto etu-takaniittomurskainyhdistelmällä

Niittomurskainyhdistelmä ajoi 20 metriä leveällä saralla neljä kertaa. Koneyhdistelmä ajoi ensiksi sarkojen laidat, joten päisteissä yhdistelmä mahtui kääntymään helposti. Etuniittokone oli yleensä ylhäällä viimeistä kertaa saralla ajettaessa, mikä vähensi työtehoa. Niiton teholliset ja hetkelli-

set työtehot Hirvinevalla ja Tyrnävällä on esitetty taulukossa 9.

Häiriöitä niittoon aiheutti lähinnä etuniittomurskaimen tukkeutuminen, jolloin ajoa jouduttiin hidastamaan tai pysäyttämään kunnes tukkeuma meni koneen läpi. Myös Hirvinevan lyhyiden sarkojen heikompi kantavuus vaikutti jonkin verran teholliseen työtehoon.

7.3.3 Karheaminen

Niitettyjen alueiden karheaminen toteutettiin sekä Hirvinevalla että Tyrnävällä Claas Liner 780 -karheejalla, jonka työlevydeksi säädettiin 6,7 m. Yhdellä saralla oli 7 niittokarhetta, jotka karheaja yhdisti kolmella ajolla kolmeksi, melko suureksi karheeksi siten, että keskimääräinen oli hieman pienempi kuin muut. Laitimmaisissa kahdessa

Taulukko 10. Karheamisteho Hirvinevan ja Tyrnävän koalueilla.

| | Pitkät sarat (9) | Lyhyet sarat (4–5) |
|------------------------|------------------|--------------------|
| | - 700 m | - 300 m |
| | - 1,3 ha | -1,14 ha |
| Hirvineva | | |
| Tehollinen teho, ha/h | 5,5 | 4,9 |
| - Niiton osuus, % | 90 | 68 |
| - Kääntöjen osuus, % | 10 | 32 |
| - Häiriöiden osuus, % | 0 | 0 |
| Hetkellinen teho, ha/h | 6,8 (10,2 km/h) | |
| Tyrnävä | | |
| | Lohko 2,2 ha | |
| Tehollinen teho, ha/h | 3,9 | |
| - Niiton osuus, % | - | |
| - Kääntöjen osuus, % | - | |
| - Häiriöiden osuus, % | - | |
| Hetkellinen teho, ha/h | - | |

karheessa oli noin 2,5 niittokarhetta ja keskimmaisessa kaksi. Karheamisteho on esitetty taulukossa 10.

Karheaminen oli häiriötöntä. Karheamisen nopeudesta johtuen kääntöjen osuus kokonaistyöajasta kasvoi voimakkaasti sarkojen lyhentyessä. Nopeudet vastasivat niiton nopeuksia, mutta ajonopeus vaihteli enemmän.

7.3.4 Silppuaminen etukarhotin-tarkkuussilppuri-yhdistelmällä

Etukarhotin-tarkkuussilppuri-yhdistelmää kokeiltiin saralla 8, joka oli niitetty etu-takaniiptomurskain-yhdistelmällä, mutta ei karhettu. JF Front Pick up -etukarhotin siirsi niittokarheen toisen karheen päälle tarkkuussilppurin (JF-900) eteen, jolle siis

tuli silputtavaksi kaksi niittokarhetta.

Yhdistelmällä korjattiin kaksi täyttä ja kaksi vajaata kuormaa. Kaikki kuormat punnittiin, ja täysien kuormien tilavuudet määritettiin. Korjuu sujui suuremmista ongelmista.

Korjuun tehollinen työteho etukarhotin-tarkkuussilppuri-yhdistelmällä oli neljän kuorman korjaamisen käytetyn kokonaistyöajan ja korjuupinta-alan perusteella 1,18 ha/h. Vaihtelu työtehossa oli suuri: kuormaa kohden laskettu tehollinen työteho oli ensimmäisellä kuormalla 1,39 ha/h ja toisella kuormalla 1,05 ha/h. Kokonaisuajasta työvaiheeseen käytetty aika oli 81–84 %, kääntöjen osuus 5–9 % ja häiriöiden osuus 10–11 % (Käyhkö 1997).

Yhdistelmän keskinopeus oli 2,4 km/h (1,45–3,16 km/h) ja hetkellinen työteho 1,24 ha/h. Hetkellisiä mittauksia tehtiin

neljä kuormien 1,2 ja 3 korjuun aikana.

Etukarheeja ei toiminut kuitenkaan odotetusti huolimatta testiajojen perusteella tehdyistä korjauksista, vaan pyrki ajoittain tukkeutumaan. Tällöin ajonopeutta oli säädeltävä, jotta tukkeumia ei syntyisi. Muutaman kerran kone piti myös pysäyttää hetkeksi tukkeuman irrottamiseksi käsin.

7.3.5 Silppuaminen tarkkuussilppurilla suurelta karheelta

JF-900 -tarkkuussilppurilla tehtiin lyhyitä koeajoja myös eri kokoisilta karheilta, jotka oli ajettu leveällä karheejalla. Karheisiin oli yhdistetty kolme, kolme ja puoli tai neljä niittokarheta. Kaikki saralla olleet seitsemän niittokarheta myös yhdistettiin, mutta silppuamista ei kokeiltu, koska karhe sijaitti kantavuudeltaan liian heikolla alueella. Karhekuormitus juoksumetriä kohden oli vastaavasti 3,2 kg_{ka}/jm, 4,4 kg_{ka}/jm ja 5,0 kg_{ka}/jm. Seitsemän niittokarheen karheella kuormitus oli 12,2 kg_{ka}/jm.

Kutakin karhekuormitusvaihtoehtoa silppuroitiin 150 metrin matka. Silppuamisnopeus järjestyksessä oli 1,52 m/s, 0,92 m/s ja 0,55 m/s (3,2, 4,4 ja 5,0 kg_{ka}/jm). Silppuamisteho oli tällöin vastaavasti 17 237 kg_{ka}/h, 14 639 kg_{ka}/h ja 9860 kg_{ka}/h. Etenemisnopeuden ja tehollisen työlevyden avulla laskettu hetkellinen työteho oli kolmella karhekuormituksella 3,6 ha/h, 2,2 ha/h ja 1,32 ha/h. Kolmen niittokarheen muodostaman ison karheen laskennallinen tehollinen silppuamistyöteho oli 2,18 ha/h. Laskennallinen arvo määritettiin hetkellisten mittausten avulla, kun niihin lisättiin kääntöjen ja häiriöiden määrä, kuten oli mitattu etukarheeja-tarkkuussilppuri-yhdistelmälle.

Silppuaminen karheilta onnistui lyhyissä koeajoissa hyvin. Silppuri pystyi pitämään yllä kovaa vauhtia, kun etukarheeja ei ollut hidastamassa ajoa. Kahdella suuremmalla karheella kone joutui hidastamaan vauhtia pystyäkseen käsittelemään kaiken massan. Todellisessa korjuutilanteessa tarkkuussilppuri ei oletettavasti pysty ylläpitä-

mään koko aikaa yllä yhtä kovaa vauhtia. Mittaukset antoivat kuitenkin viitteitä siitä, että silppurilla voidaan päästä suuriin tehokkuuksiin.

7.3.6 Silppuaminen niitokselta tarkkuussilpurilla

Hirvinevan lyhyillä saroilla 6 ja 7 toteutettiin korjuu JF- 900 -tarkkuussilppurilla karheamattomalta, pelkästään niitetyltä alueelta. Silppuri upposi märkään kenttään ja ajo jouduttiin keskeyttämään. Siihen saakka korjattu vajaa peräkärryllinen punnittiin. Työaikamittausten perusteella tehollinen silppuamisteho oli 1,19 ha/h. Silppuamiseen kului kokonaistyöajasta 91 % ja kääntöihin 9 %. Silppurointitehoon ei sisälly aumalle kuljetusaikaa. Hetkelliseksi silppuamistehoksi niitokselta saatiin 1,36 ha/h, kun ajonopeus oli 5,4 km/h.

7.3.7 Silppuaminen Kemper-korjuukoneella

Koeajot työtehomittauksineen Kemper-korjuukoneella tehtiin noukinpäällä varustetulla koneversiolla. Esikokeiluissa todettiin, että niittopäällä varustettu silppuri ei soveltunut lakoontuneen ruokohelven korjuuseen suoraan kasvustosta, koska ruokohelven varren hentous esti heinän siirtymisen leikkuuteriltä silppuria edeltäville syöttöruulille (Käyhkö 1997). Niittopäällä varustetulla silppurilla on kylläkin korjattu järviruokoa pystykasvustosta menestyksellisesti.

Tehollinen silppurointiteho oli Hirvinevalla 0,8 ha alueella 1,07 ha/h. Kemper-korjuukoneella kääntöjen (15 %) ja häiriöiden (14 %) osuus kokonaistyöajasta oli suurempi kuin tarkkuussilppuri-etukarhotin-yhdistelmällä. Silppuamisen osuus oli 71 %. Mittaus toteutettiin Hirvinevalla vain yhden kuorman korjuun ajan. Tyrnävän peltolohkolla Kemperin teholliseksi silppuamistehoksi mitattiin 0,95 ha/h, mikä on heikompi kuin Hirvinevalla joh-

tuen kääntöjen suuremmasta määrästä pienellä pellolla.

Noukinpään ja silpun siirtoputken tukkeutuminen kuorman ollessa lähes täynnä, aiheuttivat häiriöitä silppuroinnissa. Kemperin hetkellinen korjuuteho oli 1,75 ha/h, kun ajonopeus oli keskimäärin 2,6 km/h. Hetkellisten työtehomittausten aikana koneessa ei ilmennyt ongelmia.

7.4 Korjuusaanto

Hirvinevalla saralla 8 korjattiin neljä kuormaa, joiden yhteismäärä oli 7262 kg_{ka} (keskimääräinen kosteus 15,3 %), joten kuiva-ainesanto saran pinta-alaa 1,3 ha kohden oli 5586 kg_{ka}/ha. Tällä saralla saanto aumaan oli 68 % biologisesta sadosta (8200 kg_{ka}/ha). Hävikki, 32 %, vastasi vuoden 1996 Jokioisten korjuukokeissa saatuja hävikkiarvoja. Niittotappio ja silppujättämä erikseen mitattuna olivat yhteensä 1608 kg_{ka}/ha. Hävikin eli jättämän osuus oli tällä tavoin määritettynä 20 %, mikä poikkeaa jonkin verran kuormien punnituksen mukaan saaduista hävikeistä.

Jättämän mittaus erillisen karheen sisältämässä ketjussa antoi viitteitä siitä, että jättämä on suurempi kuin suoraan niitokselta tai etukarheejalla silputtaessa, eli yli 30 %. Karheea jätti siirtämättä niitettyä kasvustoa karheelle. Silmämääräisesti karheamisjälki oli huonompi verrattaessa sitä vuoden 1996 Jokioisten kokeiden karheamisjälkeen. Syynä saattoi olla erot kentän tasaisuudessa ja pinnan kosteudessa. Jokioisissa kenttä oli hyvin tasainen, kantava ja kuiva. Osa hävikistä johtunee myös karheen varsin kovakouraisesta käsittelystä, jolloin ruokohelven lehtiaines murenee helposti maahan.

Hävikkien laskenta pohjautuu biologisen sadon mittauksiin ja jättämämittauksiin ja korjattujen kuormien punnituksiin. Hävikkitulokset ovat hyvin karkeita, etenkin jos biologisen sadon mittausmäärä ei ole huomattavan suuri. Merkittävät virhelähteet biologisen sadon mittauksessa yksittäisellä saralla ovat kasvuston paksuuden vai-

telut ja kentän epätasaisuus. Siksi hävikki- ja tappioarviot antavat vain viitteitä siitä, missä työvaiheissa tappiota ja hävikkejä voi syntyä.

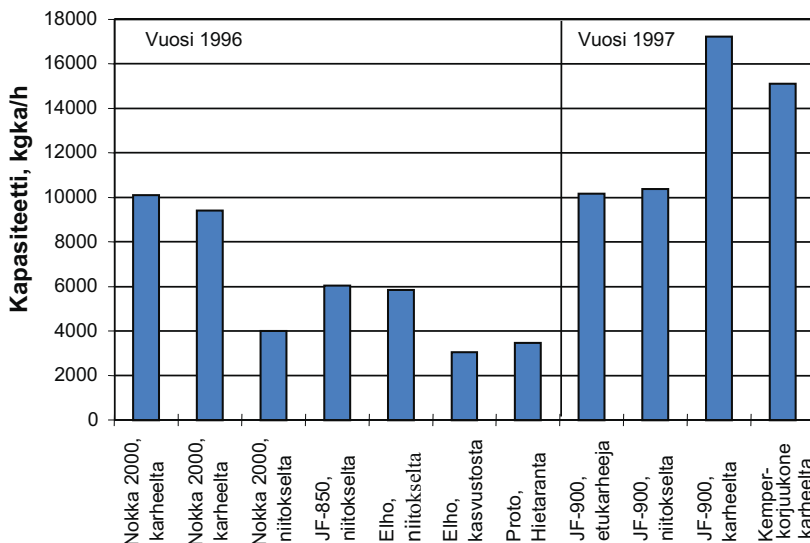
Tyrnävän peltolohkolla kuormia ei punnittu, joten korjuusaantoa ei voitu mitata.

7.5 Korjuuketjujen työtehokkuus vuosina 1996 ja 1997

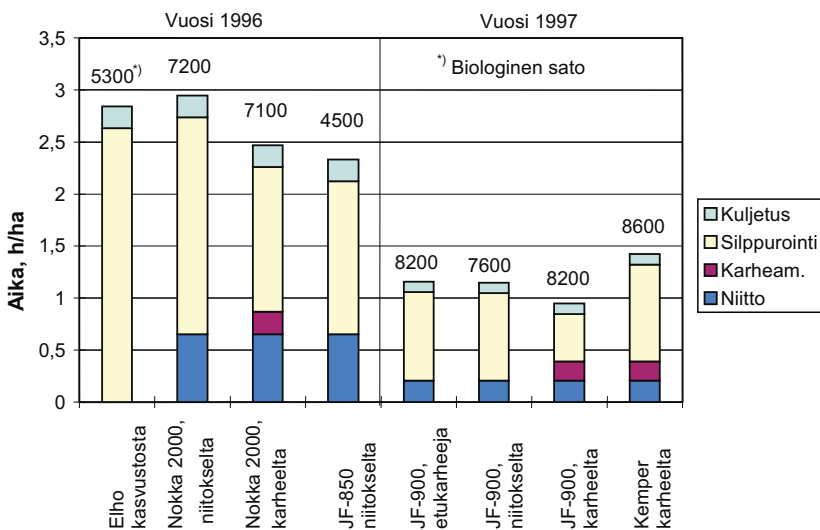
7.5.1 Silppuamistyövaiheen tehokkuus

Silppuamisen tehokkuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten kasvuston määrä, lohkokoko ja -muoto (kääntöjen määrä) sekä toimintavarmuus, joka ilmenee häiriöinä. Tämän vuoksi eri olosuhteissa kokeiltujen silppureiden tehot pyrittiin normittamaan keskenään vertailukelpoisiksi. Tämä tehtiin laskemalla jokaiselle silppurille massatuotto yksikössä kg_{ka}/h. Massatuotto saatiin hetkellisen tehon (ha/h) ja korjuusaannon (kg_{ka}/ha) avulla. Biologista satoa ei käytetty, koska se ei ota huomioon korjuun hävikkejä ennen silppurointia, eli silppurille tulevaa massaa. Näin eri silppureille saatiin teho, joka kuvaa sen kykyä tuottaa korjuussa silppumassaa erilaisissa satotasoissa ja pelto-olosuhteissa (Kuva 18).

Hetkelliseltä massantuotoltaan tehokkaimmat silppurit olivat JF-900, Kemper-korjuukone ja Nokka 2000. Erillisellä karheamisella JF-900 -silppurin tehoa voitiin lähes kaksinkertaistaa. Sekä tarkkuussilppuri JF-900 että Vapo Oy:n Kemper-silppuri pystyivät silppuamaan ongelmitta karheen yhdistämät kolmen niittokarheen massat. Etukarhotin-tarkkuussilppuri-yhdistelmän tehoa rajoitti etukarhottimessa ilmenneet kapasiteetti- ja tekniset ongelmat kahden niittokarheen yhdistämisessä. Tehtyjen mittausten perusteella näyttää siltä, että silppurointiteho on erilliseltä karheejalla tehdyltä suurelta karheelta silputtaessa jopa kaksinkertainen verrattuna silppuamiseen etukarheen karheeseen. Kemper-korjuukoneen silppuamisteho karheelta oli hyvä, mutta ei aivan ylittänyt tehokkaan JF-900 -silppurin tasolle.



Kuva 18. Korjuukokeissa käytettyjen silppureiden hetkellinen massantuottokapasiteetti.



Kuva 19. Eri silppureihin perustuvien korjuuketjujen hehtaarikohtainen työajamenekki ruokohelven korjuussa vuonna 1996 Jokioisten ja Alavuden peltolohkoilla sekä vuonna 1997 Hirvinevan suopohjaviljelmällä.

Tehottomimpia silppureita olivat suoraan kasvustosta niittävät Elho ja prototyyppikone. Vuoden 1996 koeajoissa käytettyjen tilatason silppurien korjuuteho oli

selvästi pienempi kuin vuonna 1997 käytössä olleiden silppureiden.

7.5.2 Eri korjuuketjujen kokonaistehokkuus

Korjuuketjun kokonaistehokkuus muodostuu osatyövaiheiden lukumääristä ja niiden tehoista. Korjuukokeissa mukana olleille ketjuille laskettiin pinta-alakohtainen kokonaistyöajan menekki. Se laskettiin tehollisten, tuotanto-olosuhteissa mitattujen osatyövaiheiden tehokkuuksien avulla (Kuva 19). Korjuun työvaiheiksi luettiin niitto, karheaminen, silppuaminen ja auman kuljetus sikäli, kuin ne ketjussa olivat mukana.

Vuoden 1997 korjuukokeissa korjuuseen käytetty kokonaisaika oli noin 1 h/ha, kun se vuonna 1996 oli 2,5–3 h/ha. Korjuuajan lyhentymisen syynä oli tehokkaampi niitto ja silppuaminen. Tehostunut korjuu tarkoittaa korjuuta suuremmalta pinta-alalta kullakin ketjulla. Tämä on myös edellytys tuotantokustannusten alentamiselle, koska tehokkaampi kalusto merkitsee myös suurempia investointeja.

8 Oljen ja ruokohelven varastointitutkimus

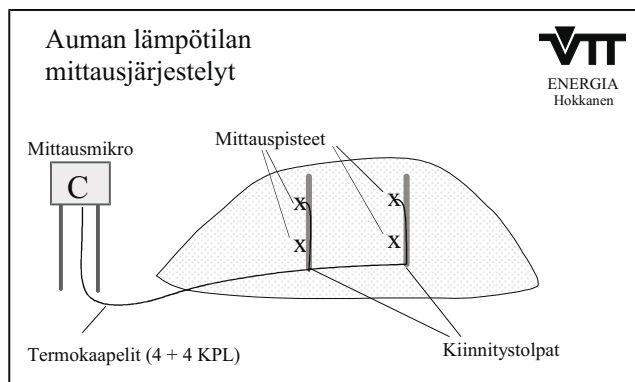
8.1 Oljen varastointikokeet Loimaalla

Loimaalla toteutettiin oljen korjuukokei-

den yhteydessä syksyllä 1995 olkisilpun varastointikokeet. Varastoauvoja rakennettiin kaksi, ja niiden kosteudet olivat erilaiset. Kuivemmassa aumassa oljen keskimääräinen kosteus oli 14 % ja kosteammassa 23 %. Aumojen mitat olivat (pituus/leveys/korkeus) $9 \times 8 \times 3$ m. Niiden muoto pyrittiin saamaan jyrkästi viistäväksi ja pitkänomaiseksi, mutta käytössä ollut massan määrä ei mahdollistanut pituuden lisäämistä. Aumat peitettiin kahdella yhteen solmitulla 7×10 m:n mittaisella kevytpeitteellä, jotka kiinnitettiin käyttämällä painoina lekasoraharkkoja. Auman muodostamisessa ja tiivistämisessä käytettiin etukuormaajalla varustettua maataloustraktoria. Traktoria käytettiin auman muotoilussa ja korottamisessa, mutta erityistä tiivistystä ei ollut mahdollista tehdä ilman auman leviämistä. Suuria aumoja tehtäessä etukuormaajan ulottuvuus ei välttämättä riitä.

Kummankin auman lämpötilaa seurattiin elokuusta marraskuuhun automaattisella tiedonkeruujärjestelmällä. Kahteen, aumojen poikki menevään linjaan sijoitettiin eri syvyyksille yhteensä kahdeksan lämpötila-anturia (neljä anturia aumaa kohden), joista kerättiin tietoa puolen tunnin välein. Mittauspisteet olivat auman sisällä 0,6–2,0 m:n korkeudella pohjasta (Kuva 20). Mittausanturit kiinnitettiin auman keskelle pystytettyihin metalliputkiin, joiden suojaamana langat tuotiin auman ulkopuolelle mittaus tietokoneeseen. Tulokset lämpötilaseurannasta on esitetty liitteessä 3.

Kuva 20. Auman lämpötilan mittausjärjestelyt.



Taulukko 11. Loimaalla tehtyjen olkiaumojen ominaisuudet seurannan loputtua.

| Näyte | Kosteaa | Kosteaa | Kuiva | Kuiva | Kuiva |
|--|---------|---------|-------|-------|---------|
| | auma | auma | auma | auma | auma |
| | Pinta | Sisus | Pinta | Sisus | Kokooma |
| Kosteus, % | 62,6 | 22,0 | 36,5 | 15,5 | 14,4 |
| Haihtuvat aineet, % | 73,1 | 74,3 | 73,9 | 74,8 | 74,3 |
| Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg | 18,4 | 18,4 | 18,0 | 18,2 | 18,2 |
| Tehollinen lämpöarvo, kuiva- aineessa, MJ/kg | 17,3 | 17,2 | 16,9 | 17,0 | 17,0 |
| Tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa, MJ/kg | 4,94 | 12,90 | 9,81 | 14,00 | 14,21 |
| Tuhkapitoisuus, % | 9,0 | 7,6 | 9,2 | 8,2 | 8,5 |

Kummassakaan aumassa ei havaittu merkittävää lämmön nousua. Kuivemmassa aumassa lämpötilat olivat syyskuun lopulle saakka hiukan korkeammat kuin märemässä aumassa. Sen jälkeen lämpötilat olivat samalla tasolla kummassakin aumassa. Ylempänä aumassa, lähellä auman pintaa sijainneiden kahden anturin mittaustuloksissa näkyy suuria vuorokautisen lämpötilan mukaisia heilahteluja kummassakin aumassa.

Kuten lämpötilaseuranta jo osoitti, säilyi olkisilppu auman sisällä hyvälaatuisena. Se oli siistin näköistä, kirkkaan vaaleaa koko varastoinnin ajan kummassakin aumassa. Kosteammassa auman pinnassa oli joitakin tummempia, kostuneita ja huonompilaatuisia kohtia. Taulukossa 11 on esitetty kummankin auman pinnalta ja auman sisältä, 50–75 cm:n syvyydestä otettujen näytteiden kosteudet ja polttoaineominaisuudet lämpötilaseurannan loputtua.

Analyysitulosten mukaan kosteus nousi selvästi pintakerroksissa, mikä vaikutti tehollisiin lämpöarvoihin. Kalorimetrinen lämpöarvo ja tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa vastasivat puolestaan tyypillisiä oljen arvoja. Tulosta tukee myös lämpötilaseuranta, jonka mukaan aumassa ei tapahtunut itsekuumenemistä, eikä tehollinen

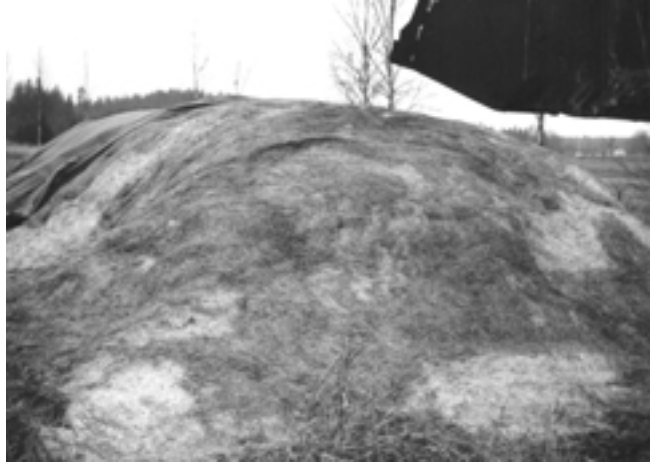
lämpöarvo näin voinut laskea.

Kuopion työterveyslaitoksella teetettiin analyysi kummastakin aumasta seurannan lopussa otetuista näytteistä. Analyysien mukaan kummassakaan aumassa ei havaittu selvää homeutumista tai pilaantumista. Sekä kosteassa että kuivassa viihtyviä sieniä ja bakteereja näytteissä kuitenkin oli runsaasti. Kahdessa näytteessä oli lisäksi lämmössä viihtyviä sädesieniä. Analyysitulokset on esitetty liitteessä 3.

8.2 Syyskorjatun ruokohelven varastointikokeilu Alavudella

Alavudella toteutettujen ruokohelven syyskorjuukokeiden yhteydessä toimitettiin Alavuden puunjalostustehtaalle ruokohelppisilppua polttokokeita varten. Viikon varastoinnin aikana saatiin kokemusta kostean, syyskorjatun ruokohelven varastoitavuudesta. Silppu varastoitettiin kentällä kattilalaitoksen läheisyydessä taivasalla.

Varasto lämpeni parin päivän varastoinnin jälkeen selvästi ja laitoksen henkilökunta pyrki jäädyttämään kasaa sekoittamalla sitä etukuormajalla. Varastossa näkyi selvästi homeisia kohtia ja se haisi voimakkaasti. Kuormista otetuissa näytteissä kosteudet



Kuva 21. Puhtaan ruokohelpisilpun varastoauama Jokioissa 1996 (kuva: VTT Energia).

olivat 24,3, 32,3 ja 23,7 %. Varastosta ennen polttokokeilua otettujen näytteiden analyysitulosten mukaan ruokohelven kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo oli 14,3 MJ/kg (kalorimetrinen lämpöarvo 15,35 MJ/kg ja tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa 9,81 MJ/kg). Se oli selvästi normaalia alempi, sillä ruokohelvelle tyypillinen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on 17,0–17,6 MJ/kg. Syynä lämpöarvon alenemiseen oli mitä ilmeisimmin varaston kuumeneminen, jolloin varasto ”paloi” itsekseen.

8.3 Kevätkorjatun ruokohelven varastointikokeet Jokioisissa

Jokioisten kevätkorjuukokeissa toukokuussa 1996 tuotettu ruokohelpisilppu varastoitettiin sellaisenaan MTT:n Kuuman tutkimusalueelle. Kuormista mitattu keskimääräinen kosteus oli aumaa rakennettaessa 9,4 %. Auma peitettiin kevytpeitteillä, jotka kiinnitettiin hyvin auman yli vedetyillä naruilla, peitteiden helmoille asetetuilla tukeilla ja paikalla olleilla lastauslavoilla (Kuva 21). Ennen peittämistä aumaan asetettiin yhdeksän lämpötila-anturia kahteen eri pystysuuntaiseen mittaustinjaan molempiin päihin aumaa joko 60 cm:n tai 120 cm:n syvyydelle harjasta tai kyljistä. Varastoa seurattiin 21. toukokuuta–21. loka-

kuuta. Lämpötila mitattiin kolme kertaa viikossa kahden viikon ajan ja sen jälkeen kaksi kertaa viikossa, kunnes havaittiin, että lämpötila ei lähde kohoamaan. Lämpötilaseurannasta huolehti MTT:n Kuuman alueen henkilökunta.

Varaston lämpötila pysyi vakaana (Liite 4), minkä perusteella oletettiin, että ruokohelpi on säilynyt hyvänä. Purettaessa varastoa polttokokeisiin toimitusta varten havaittiin myös silmämääräisessä tarkastuksessa laadun säilyneen pääosin hyvänä. Kevytpeitteiden liitoskohdista oli päässyt jonkin verran sadetta auman pintaan. Auman pinnan väri oli tummempi kostuneilla alueilla ja pinnassa näkyi muutamia vihertäviä kohtia kyseisillä alueilla. Kostuneiden alueiden kooksi arvioitiin noin 1–1,5 m³. Kosteusmittausten perusteella arvioitiin, että auman kosteus varastoinnin aikana kohosi 9 %:sta 24 %:iin. Vaikka ainakin osa aumasta kostui, se ei kuitenkaan aiheuttanut auman lämpötilojen kohoamista.

Taulukossa 12 on esitetty aumasta eri aikoina otettujen näytteiden polttoaineominaisuuksia. Aumaa rakennettaessa näytteet otettiin aumaan tuoduista kuormista. Taulukossa on esitetty analyysitulokset eräästä kuormasta otetusta näytteestä, jonka kosteus oli 11,3 % ja kolmesta muusta kuormasta otettujen näytteiden kokoomanäytteestä, jonka keskiarvokosteus

Taulukko 12. Jokioisten ruokohelpisilpun polttoaineominaisuuksia aumattaessa toukokuussa 1996, toimituksissa polttokokeisiin lokakuussa 1996 ja heinäkuussa 1997.

| Varaston tila | 15.5.96 | | 29.10.96 | 17.7. | 1997 |
|---------------------------|---------|----------|----------|-----------|---------|
| | Kuormat | Kuormat | Rekka | Auma | Auma |
| | | Kokoo- | Kokoo- | Kosteus- | Kokoo- |
| | | manäyte, | manäyte | näytteitä | manäyte |
| Näyte | Näyte a | b+c+d | | 5 kpl | |
| Kosteus, % | 11,3 | ,8 | 24 | 17,1-25,3 | 19,9 |
| Tuhkapitoisuus, % | 8,9 | 6,4 | 6,8 | - | 7,3 |
| Haihtuvat aineet, % | 75,3 | 78,6 | 77,8 | - | 76,6 |
| Kalorimetrinen lämpöarvo, | | | | | |
| MJ/kg | 18,6 | 18,9 | 18,6 | - | 18,5 |
| Tehollinen lämpöarvo | | | | | |
| kuiva-aineessa, MJ/kg | 17,5 | 17,7 | 17,5 | - | 17,4 |
| Tehollinen lämpöarvo | | | | | |
| saapumistilassa, MJ/kg | 15,2 | 16,0 | 12,7 | - | 13,4 |

Kosteusnäytteet 5 kpl, 17.7.1997:

- 1 = Eteläpää tien puoli, 20,5 %
- 2 = Eteläpää ladon puoli, 25,3 %
- 3 = Pohjoispää tien puoli, 17,1 %
- 4 = Syvältä otettu näyte, pohjoispää, tien puoli, 17,8 %
- 5 = Pohjoispää ladon puoli, 19,1 %

oli 8,8 %. Taulukossa on analyysitulokset myös lokakuussa 1996 polttokokeisiin toimituksen yhteydessä, rekkaa purettaessa oterusta näytteestä. Tällä aikavälillä ruokohelpisilppu kostui jonkin verran, mikä vaikuttaa myös kostean aineen teholliseen lämpöarvoon. Muita muutoksia ei tapahtunut. Vuoden 1997 kesällä heinäkuussa, 14 kuukautta auman rakentamisen jälkeen, auman ruokohelpisilpun polttoaineominaisuuksissa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia edelliseen mittausajankohtaan verrattuna.

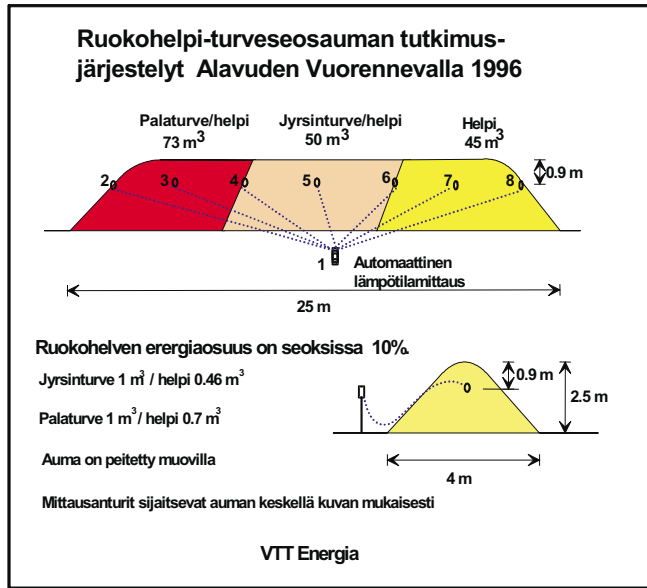
8.4 Kevätkorjatun ruokohelven seosvarastointikokeet Alavudella

Alavudella varastointikokeet toteutettiin

elo–marraskuussa 1996 Vapo Oy:n Vuorennen turvetyömaalla, jonne korjattu ruokohelpisilppu toimitettiin rahtitraktoreilla. Ruokohelpimäärä koostui neljän Alavudella korjuukokeissa mukana olleen maanviljelijän tuotannosta. Varastoinnissa käytetyn ruokohelven polttoaineominaisuudet on esitetty tiloittain liitteessä 5. Korjuukokeissa saatu silppu varastoitettiin aluksi turvetyömaalle kevytpeitteillä peitettyä odottamaan varsinaisia seosvarastointikokeita. Viidestä kuormasta otettujen kosteusnäytteiden keskiarvo oli ennen väli-varastointia 13,6 % ja kosteuden vaihteluväli 8–21 %.

Seostaminen ja aumaus palaturpeen ja jyrshinturpeen kanssa toteutettiin vasta elokuussa, koska korjuukokeita toukokuussa suosinut erinomainen sää muuttui toukokuun lopussa ja kesäkuun aikana hyvin epä-

Kuva 22. Seosvarastointi-
koejärjestelyt Alavuden Vapo
Oy:n Vuorenevellä.



vakaiseksi ja sateiseksi. Varastointikokeessa oli tavoitteena seurata puhtaan ja turpeeseen seostetun ruukohelven lämpenemistä. Lämpötilaa ei väliaikaisessa varastossa seurattu, koska Jokioisten puhtaan ruukohelpivaraston ei ollut havaittu lämpenevän.

Varastoauama oli pituussuunnassa kolmiosainen. Ensimmäisessä osassa kokonaispituudeltaan 25 m:n, leveydeltään 4 m:n ja korkeudeltaan 2,5 m:n kokoisessa aumassa oli puhdas ruukohelpisilppu, keskimmaisessa osassa jyrsinturve-ruukohelpi-seos ja kolmannessa osassa palaturve-ruukohelpi-seos (Kuva 22). Ruukohelven sekoittaminen palaturpeeseen ja jyrsinturpeeseen toteutettiin siten, että turvetta ja ruukohelpeä lastattiin ensin kerroksittain, jonka jälkeen vyöhyke aukaistiin keskeltä ja vyöhykettä sekoitettiin kaivinkoneen kauhan avulla.

Auma peitettiin turveaumojen peitteenä usein käytettävällä mustalla muovilla. Jatkuva tiedonkeruu tapahtui kolmen tunnin välein automaattista tiedonkeruujärjestelmää käyttäen kahdeksasta eri mittausanturista, joista yksi mittasi ulkolämpötilaa.

Varastoa seurattiin 7. elokuuta–12. marraskuuta 1996, minkä jälkeen silppu toimitettiin polttokokeisiin Alavuden kaupungin ja Vapo Oy:n omistamaan alueläm-

pöläitökseen.

Tulokset lämpötilaseurannasta on esitetty liitteissä 5.

Puhtaan ruukohelpisilpun lämpötila kohosi alkupäivinä hieman. Tällöin lämpötila kävi 37 °C:ssa ja laski sen jälkeen hitaasti ollen varastoinnin loputtua 5 °C.

Palaturve-ruukohelpi-seoksessa lämpötila kohosi alussa kahden viikon aikana korkeimmillaan 44 °C:een ja laski viikon jälkeen tasaisesti ollen varastoinnin loputtua 10 °C:ssa. Varastoja purettaessa puhtaan ruukohelven ja palaturve-ruukohelpi-seos oli säilynyt hyvännäköisenä.

Jyrsinturve-ruukohelpi-seos lämpeni selvästi varastoinnin aikana (Liite 5) ja sama suuntaus jatkui puolentoista kuukauden ajan, jonka jälkeen seos pysyi melko tasaisesti 46 °C:ssa seurannan loppuun asti.

Palaturve-ruukohelpi- ja jyrsinturve-ruukohelpi-seosten rajalla lämpeneminen oli kuitenkin voimakkainta. Korkeimmillaan anturi mittasi rajakohdasta 62 °C lämpötilan (5. syyskuuta 1996), joka pysyi 60 °C:een tuntumassa syyskuun loppuun asti. Tämän jälkeen lämpötila alkoi laskea hitaasti ja oli mittauksen loppuessa 37 °C:ssa. Lämpötilakäyrän muoto noudattaa palaturve-ruukohelpi-seoksen lämpötilakäyrän muotoa. Lämpötilan kohoaminen

Taulukko 13. Polttoaineominaisuudet Alavuden seosaumoissa varastoinnin alussa elokuussa 1996.

| Varastoinnin alussa 7.8.1996 | Puhdas ruokohelpi | Puhdas palaturve | Puhdas jyrsin-turve | Palaturve-ruokohelpi-seos | Jyrsinturve-ruokohelpi-seos |
|---|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Kosteus, % | 17,3 | 28,5 | 48,7 | 33,0 | 45,6 |
| Tuhkapitoisuus, % | 5,0 | 1,4 | 12,5 | 2,5 | 14,0 |
| Haihtuvat aineet, % | 78,5 | 71,6 | 60,8 | 71,6 | 61,3 |
| Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg | 19,1 | 22,0 | 20,7 | 21,3 | 20,1 |
| Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg | 17,9 | 20,8 | 19,5 | 20,1 | 19,7 |
| Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg | 14,4 | 14,1 | 8,8 | 12,7 | 9,2 |

Taulukko 14. Polttoaineominaisuudet Alavuden seosaumoissa varastoinnin loputtua puhtaan ruokohelven ja palaturve-ruokohelpi-seoksen osalta 3 kuukauden ja jyrsinturve-ruokohelpi-seoksen osalta 11 kuukauden jälkeen.

| Näyte | Marraskuu 1996 | Heinäkuu 1997 | | | |
|---|-------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Puhdas ruokohelpi | Palaturve-ruokohelpi-seos | Seoksesta eroteltu ruokohelpi | Jyrsinturve-ruokohelpi-seos | Seoksesta eroteltu ruokohelpi |
| Kosteus, % | 16,6 | 40,6 | 41,0 | 46,9 | 35,6 |
| Tuhkapitoisuus, % | 5,6 | 2,5 | 4,3 | 10,2 | 5,0 |
| Haihtuvat aineet, % | 77,9 | 71,5 | 77,9 | 62,8 | 77,6 |
| Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg | 18,8 | 21,4 | 19,5 | 20,8 | 19,3 |
| Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg | 17,6 | 20,2 | 18,3 | 19,7 | 18,1 |
| Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg | 14,3 | 11,0 | 9,8 | 9,3 | 10,8 |

rajapinnassa korkeammalle kuin jyrsinturve-ruokohelpi-seoksessa voi johtua siitä, että palojen seassa on ollut ilmaa. Tämä on edistänyt lämpenemistä yhdessä jyrsintur-

ve-ruokohelpi-seoksen lämpenemisen kanssa.

Taulukossa 13 on esitetty puhtaan ruokohelven ja sen turveseosten ominaisuudet

seosaumaa elokuussa tehtäessä ja taulukossa 14 tilanne varastoinnin jälkeen. Jyrsin-
turve-ruokohelpi-seoksesta näyte on otettu
vasta heinäkuussa 1997 eli yli puoli vuotta
myöhemmin kuin palaturve-ruokohel-
pi-seoksesta ja puhtaasta ruokohelvestä ja
noin 11 kuukautta aumauksen jälkeen.

Analyysitulosten mukaan jyrsin-
turve-ruokohelpi-seoksen laatu ei näytä selvästi
huononevan varastoinnin aikana. Myös-
kään seoksesta varastoinnin jälkeen erotel-
lun ruokohelven polttoaineominaisuudet
eivät paljoa muuttuneet, jos ei oteta huomi-
oon kosteuden huomattavaa lisääntymistä
puhtaaseen ruokohelpeen verrattuna.
Varastoinnin aikainen lämpeneminen ei si-
ten ole vaikuttanut polttoaineiden laadun
huononemiseen vastoin alkuperäisiä ole-
tuksia.

Puhtaan ruokohelven ominaisuudet ei-
vät varastoinnin aikana muuttuneet, sa-
moin ruokohelpi-palaturve-seos pysyi omi-
naisuuksiltaan lähes samana alkuperäiseen
tilanteeseen verrattuna, jos jätetään huomi-
oimatta seoksen selvä kosteuden lisäänty-
minen, mikä vaikuttaa teholliseen lämpöar-
voon käyttökosteudessa.

8.5 Yhteenveto ja johtopäätökset varastointikokeista

Kun oljen tai ruokohelven kosteus on alle
20–24 %, ne säilyvät hyvin muovilla kate-
tuissa aumoissa. Kokeissa saatiin viitteitä
siitä, että silppu voi auman pintakerroksissa
hieman kostua varastoinnin aikana katteen
heikkenemisen tai saumakohtien vuotojen
takia sekä peiton alapintaan tiivistyneen
kosteuden takia. Seosvarastoissa ruokohel-
ven energiaosuus oli 10 %. Ruokohelven ti-
lavuusosuus oli tällöin noin 40 % palatur-
ve-ruokohelpi-seoksessa ja noin 30 % jyr-
sin-
turve-ruokohelpi-seoksessa.

Myös seosvarastointi turpeen kanssa on-
nistuu. Seosvarastointikokeiden perusteella
kummankaan ruokohelpi-turve-seoksen
lämpöarvot eivät heikentyneet, vaikka ruo-
kohelpi kostui turpeesta ja vaikka lämpötilat
kohosivat jyrsin-
turve-ruokohelpi-seok-

sesta varastoinnin alkuvaiheessa huomatta-
van korkealle. Seosnäytteestä eroteltu, kos-
tunut ruokohelpi oli säilyttänyt kuiva-ai-
neen tehollisen lämpöarvon.

9 Silpun käsittelyominaisuudet

9.1 Silpun pituus ja irtotiheys

Silpun pituuteen voidaan vaikuttaa silppu-
reiden säätöjä muuttamalla, jolloin saadaan
tasalaatuista silppua. Samalla massan irtoti-
heys kasvaa, mikä vaikuttaa kuljetusten ta-
loudellisuuteen. Silpun pituus vaikuttaa
myös massan käsiteltävyyteen voimalaitok-
sen kuljettimilla. Vaikka silpun lyhentämi-
nen vaati enemmän tehoa silppuroinnissa,
tulisi pyrkiä riittävän hienojakoisen silpun
tuottamiseen. Kaikilla silppureilla ei ko-
keissa saatu riittävän lyhyttä silppua (Tau-
lukko 15).

Vuonna 1996 Jokioisissa tuotettu silppu
aiheutti ongelmia käsittelylaitteissa Siilin-
järven polttokokeissa. Vuoden 1997 kor-
juukokeissa tuotettu silppu oli lyhyempää
kuin vuonna 1996 tuotettu. Kannuksen
polttokokeissa silpun pituus ei aiheuttanut
ongelmia (Flyktman 1998).

Suurin irtotiheys kuormassa oli Kem-
per-korjuukoneella tuotetulla, vaikkakin
pituusjakaumaltaan epätasaisella silpulla,
sillä hienojaetta oli runsaasti (Taulukko 15).
Hyvä irtotiheys oli myös JF-900 -silppurin
tuottamalla silpulla. Seuraavan ryhmän
muodostavat Nokka 2000 - ja JF-850 -silp-
purit. Muilla tutkimuksessa mukana olleilla
silppureilla (Elho-kaksoisilppuri ja Hieta-
rannan prototyypikone) silpun pituutta ei
pyritty säätämään. Tällöin tiheydet olivat
pienimmät, vain $50 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$ tai sen alle.
Kuormista mitattuihin irtotiheyksiin on
voinut vaikuttaa se, että vuonna 1996 perä-
vaunujen tilavuus oli 25 m^3 ja vuonna 1997
puolestaan 50 m^3 .

Vuonna 1996 korjuussa käytetyissä pe-
rävaunuissa mitatut kuljetustiheydet olivat

Taulukko15. Ruokohelven korjuukokeissa erilaisilla silppureilla tuotettujen silppujen pituudet ja irtotiheydet.

| | Vuosi 1996 | | | | Vuosi 1997 | | |
|--|---|----------------------------------|--|--|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Silppuri | Tark- kuus- silppuri Nokka 2000 | Tarkkuus- silppuri JF-850* | Kaksois- silppuri Elho- Super Luoko | Itse- niittävä silppuri Hieta- ranta | Tarkkuus- silppuri JF -900* | Maissin korjuu- kone Kemper | |
| Silpun pituus | | | | | | | |
| Yli 4 cm, % | 49,2 | 10,6 | 44,4 | 53,6 | 61,7 | 6,3 | 16,2 |
| Alle 4 cm, % | 50,8 | 89,4 | 55,6 | 46,5 | 38,3 | 93,7 | 83,8 |
| Irtotiheys kg _{ka} /m ³ | 59 - 61 | 59 - 61 | 0 | 50 | 64 - 69 | 71 | |
| Paikka | Joki- oinen | Alavus | Alavus | Ala- vus | Alavus | Liminka | Liminka |
| Tila | MTT | Ylitalo | Mäki | Heik- kilä | Teppo | Hirvi- neva | Hirvi- neva |
| | | * Asetus 15 mm | | | | * Asetus 15 mm | |

suuremmat kuin rekassa, sillä lasti tiivistyy korjuun aikana liikkumisen aiheuttaman tärinän ja silppurin ”puhalluksen” vaikutuksesta. Keväällä 1997 täysperävaunurekkojen kuormien kuljetustiheys heti lastauksen jälkeen oli 57–62 kg_{ka}/m³ (Käyhkö 1997).

Toisaalta rekka-autossa tapahtuu myös silpun tiivistymistä, joka ei kuitenkaan vaikuta kuljetuksen talouteen. Jokioisten korjuukokeiden yhteydessä 1996 mitattiin lastauksen jälkeen rekassa olevan ruokohelvisilpun tiheydeksi 61–71 kg_{ka}/m³. Kolmensadan kilometrin kuljetuksen jälkeen tiheys rekassa oli noussut noin 12 %, arvoon 67–80 kg_{ka}/m³.

9.2 Ruokohelpiseoksen käsiteltävyys laitoksella

Ruokohelpi-palaturve-seoksen käsiteltävyydestä polttolaitoksella saatiin tietoa, kun Alavuden Vapo Oy:n polttolaitokselle toimitettiin kahdenlaista seosta. Seos tehtiin ensimmäisessä tapauksessa varastointikokeiden yhteydessä hyvin huolellisesti. Toisessa tapauksessa se tehtiin ”kevyemmin” siten, että lastaus kuljetusperäkärryyn tapahtui vuorolastauksena turpeen kanssa kerroksittain. Tällöin laitoksella oletettiin tapahtuvan lisäsekoittumista purkamisen yhteydessä ja laitoksen syöttökuljettimilla.

Varastointikokeissa hyvin sekoitettu palaturve-ruokohelpi-seos, jossa ruokohelven energiaosuus oli noin 10 %, ei aiheuttanut ongelmia laitoksen kuljettimissa. Huomattavia ongelmia puolestaan syntyi jälkimmäisellä sekoitustavalla, sillä silloin kuljet-

timille jäi puhtaita ruokohelpikekoja joko suoraan kuljettimen päälle tai palaturvekeroksen päälle. Nämä puolestaan aiheuttivat tukkeumia kuljettimien ahtaissa paikoissa tai häiriöitä polttoainekuljettimien pinnan korkeuden tunnistimissa (Flyktman 1998).

10 Ruokohelpisilpun tiivistämiskokeet

10.1 Mittauslaitteisto ja koejärjestelyt

VTT Energian rakennuttamalla laitteella tehtiin ruokohelpisilpun tiivistämiskoe lokakuun lopussa 1997. Tiivistämislaitteisto on pääasiallisesti suunniteltu hakkuutähteiden ja ensiharvennusosapuiden tiivistämisilmioiden tutkimista varten. Laitteisto on rakennettu kolmiakselisen puunkuljetusperävaunun alustalle, joten se voidaan siirtää vetoautolla halutulle paikalle. Kärry on varustettu laita- ja pohjalevyillä, jotta materiaalien siirto maanteitse, esimerkiksi punnitusta varten, olisi turvallista. Kuorमतilan tilavuus on $31,7 \text{ m}^3$.

Tiivistämislaitteiston puristussyksikkö koostuu neljästä pankosta, joiden sisään on asennettu 210 bar:n paineella 16,1 tonnin puristusvoimaan yltyvät hydraulisyliinterit.

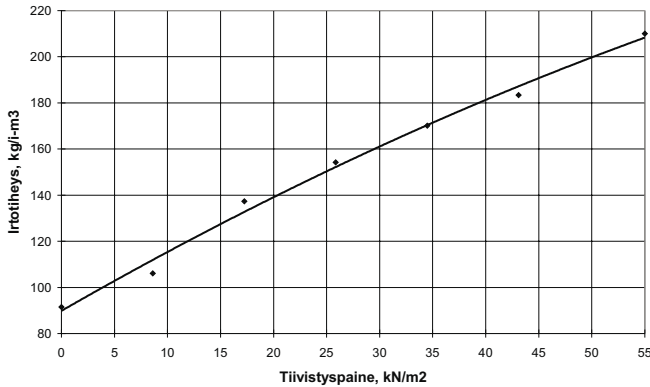
Sylinterien iskunpituudet ovat 2 m. Ne on asennettu siten, että puristettavan kuorman korkeus on maksimissaan 4,1 m. Puristettavaa ylikuormaa voi olla 1,8 m, kun kuorमतilan korkeus on 2,3 m. Yläpankon asemaa vaihtamalla voidaan puristusta jatkaa kuorमतilan sisään 1,1 metrin korkeuteen saakka. Tiivistämiseen tarvittava hydraulipaine ja mäntien kulkemat matkat rekisteröityvät tiedonkeräysyksikköön, josta ne siirretään tietokoneelle jatkoanalyysiä varten. Puristuslaitteiden sivupylväät voidaan levittää hydraulisesti 20 asteen kulmiin ja supistaa 10 astetta kuorमतilan sisään.

Ruokohelven tiivistyskokeessa raaka-aineena oli Hirvinevalla keväällä 1997 tuotettu ruokohelpisilppu, jonka kosteus tiivistämiskokeessa viiden kosteusmittauksen keskiarvona oli 25 %.

Koetta varten kuorमतila vuorattiin kevytpressulla materiaalivuotojen estämiseksi, koska kunkin puristuspankon molemmin puolin jää seinämään 15 cm leveä aukko (Kuva 23). Kuorमतila täytettiin puuauton kuormaimella aivan täyteen (2,3 m). Löyhän materiaalin päälle käännettiin kuorमतilan vuorauksessa käytetty ylimääräinen pressu. Sen päälle nostettiin hakkuutähteiden tiivistyksessä käytettävä rautaritiä, jotta tiivistettävään materiaaliin kohdistuisi kauttaaltaan sama pintapaine. Rautaristikon käsittelyssä käytettiin puukuor-

Kuva 23. Ruokohelpisilpulla täytetty tiivistämistutkimuslaite, jonka kuorमतila on vuorattu kevytpeitteellä ja tiivistämisen apuna käytetty rautaritiä (kuva:VTT Energia).





Kuva 24. Ruokohelpisilpun irtotiheyden muuttuminen materiaalin pintaan kohdistuvan paineen funktiona.

mainta. Täyteen lastattu kuorma tiivistettiin niin tiiviiksi kuin se laitteella oli mahdollista. Tässä tapauksessa materiaali oli niin löyhää, että laitteesta loppui tiivistysvara eli laitteella ei päästy yhdellä tiivistyksellä maksimitiiviyteen.

Ensimmäisen tiivistyksen jälkeen materiaalin annettiin palautua eli ponnahtaa takaisin. Kuormatila täytettiin uudelleen ja materiaalia puristettiin uudelleen.

Tuloksissa näiden kahden materiaali-
patjan yhteistä puristusta käsitellään kuvitel-
tellen, että se olisi tapahtunut yhdellä ker-
taa.

10.2 Tulokset

Autovaa'alla punnitun, tiivistämättömän helpikuorman irtotiheys oli $91,5 \text{ kg/i-m}^3$ (kuiva-aineeksi laskettuna 69 kgka/i-m^3). Laitteen maksimivoimalla tiivistetty helpikuorma (leveys 2,3 m, pituus 6 m ja korkeus 2,3 m) palautui puristamisen jälkeen takaisin noin 20 cm ja kuorman loppukorkeudeksi tuli noin 1,3 m. Kun tämän jälkeen kuormatilaan lisättiin helpiä noin yksi metri, saatiin uuden materiaali-
patjan korkeudeksi 2,3 m. Jos kuormatilassa oleva materiaali ajatellaan tiivistämättömäksi kuormaksi, sen korkeudeksi tulee 3,2 m. Kuvassa 24 on esitetty massan irtotiheys tämän materiaali-
patjan tiivistymisessä kuorman yläpintaan kohdistuva paineen (käytetty voima/puristusritilän pinta-ala, $11,6 \text{ m}^2$) funktiona. Käyrä esittää tiivistymisil-

miötä, jossa materiaali jää tiivistettyyn tilaan eli sen ei anneta palautua takaisin. Toisen puristuksen jälkeen materiaali-
patja palautui noin 30 cm, minkä jälkeen kuorman korkeus oli noin 1,7 m. Kuorma jäi vajaaksi noin 60 cm.

Materiaalin löyhyiden vuoksi laitteen yhdestä tiivistystolpasta loppui tiivistysvara. Tämän vuoksi se jouduttiin täyttämään ja tiivistämään uudelleen. Kahden puristuksen perusteella laskennallisesti syntynyt tiivistyskäyrä kuvanee kuitenkin hyvin materiaalin kokonaispatjan tiivistymistä, sillä käyrän osoittama maksimi-irtotiheys on 210 kg/i-m^3 , kun se punnituksen ja lopputilavuuden perusteella on 218 kg/i-m^3 , mikä vastaa kuiva-aineena arvoa $164 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{i-m}^3$, kun massasta on vähennetty kosteus (Kuva 24). Saavutettu arvo kuvaa irtotiheyttä kahden puristuskerran lopussa. Se on mahdollisesti suurempi kuin kertapuristuksella saatu tulos.

10.3 Johtopäätökset

Tiivistyskoe tehtiin noin 32 m^3 :n suuruises-
sa kuormatilassa, mikä on noin 10 m^3 nykyisten nuppiautojen kuormatilavuuksia pienempi. Tiivistyskokeen puitteet olivat kuitenkin melko lähellä tuota käytännön tilannetta, joten tuloksia voidaan käyttää apuna, kun helpikuorman tiivistystä aletaan suunnitella käytäntöön niin lähi- kuin kaukokuljetuksessakin. Nykyisin on kuitenkin vallalla ajatus, että kevyttä silppua

sekoitetaan muihin polttoaineisiin, kuten hakkeeseen ja turpeeseen, jolloin helven kuljetuskustannusten osuus jää seostettavaan polttoaineeseen verrattuna melko pieneksi. Tiivistämisestä saattaa olla hyötyä vain täysin puhtaita silppukuormia kuljettessa.

Kun verrataan ruokohelpikuorman ja esimerkiksi metsähake- tai jyrsinturvekuorman kuljetuskustannuksia toisiinsa, niin materiaalien energiasisältöjen perusteella tiivistämättömän ruokohelven energiasisältö on noin puolet turve- ja hakekuorman energiasisällöstä. Koelaitteella saavutetulla tiivistymisellä ruokohelpikuorman energiasisältö on kuitenkin jo sama tai hieman suurempi kuin turve- tai hakekuorman energiasisältö.

Käytännössä kuorman tiivistämiseen tarvittavat laitteet nostavat ajoneuvon painoa ja vähentävät kantavuutta. Sitä kuinka paljon kantavuus pienenee ja kuinka paljon tiivistyslaitteet ja niiden käyttö lisäävät pääoma- ja käyttökuluja, ei tässä tutkimuksessa tarkkaan selvitetty. Likimääräisten laskelmien perusteella voidaan tiivistämisellä kuitenkin alentaa ruokohelven kuljetuskustannuksia, vaikka tiivistyslaitteistolle lasketaan investointikustannus. Edellytyksenä on kuitenkin riittävä auton käyttö ruokohelven kuljetuksiin.

11 Irtokorjuuseen perustuvan korjuutoimitusketjun talous ja kehitysmahdollisuudet

11.1 Kustannustarkastelussa käytetty laskentamalli ja laskentaperusteet

VTT Energiassa on kehitetty taulukkopohjainen laskentaohjelma, jolla voidaan laskea korsibiomassojen viljely- ja korjuukustannukset. Tällä ohjelmalla on tarkasteltu kenttäkokeissa tutkittuja irtokorjuumenetelmiä sekä korjuukustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Ohjelmalla voidaan lisäksi tarkastella mm. syys- tai kevätkorjatun ruokohelven sekä irto- että paalikorjuuseen perustuvien menetelmien kustannuksia. Laskentaan on sisällytetty kaikki korjuun vaiheet viljelmän perustamisesta lämpölaitokselle kuljetukseen asti.

Ohjelmassa työvaiheiden kustannukset on jaettu kiinteisiin ja muuttuviin (Taulukko 16).

Taulukko 16. Kustannuslaskennan kustannusten osatekijät.

| Kiinteät kustannukset | Muuttuvat kustannukset |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Koneinvestoinnit | Työ |
| • viljelmän perustaminen | • traktorityö (152 mk/h ja 115 mk/h) |
| • ylläpito | • ihmistyö (65 mk/h) |
| • korjuu ja lähikuljetus | Koneiden huolto |
| • aumaus ja lastaus | Siemen |
| Pellon tuottoarvo | Lannoite |
| | Torjunta-aineet |
| | Aumamuovi |
| | Kaukokuljetus |

Koneiden investointikustannukset ja pellon tuottoarvo on laskettu annuiteetti-menetelmällä ottaen huomioon investoinnin korkovaatimuksen ja kuoletusajan. Viljelyssä ja korjuussa käytettyjen koneiden investointikustannukset on ositettu olettaen koneita käytettävän sekä ruokohelven tuotannossa että maataloudessa. Niiden suhteen perusteella on laskettu ruokohelven tuotannon osuus kustannuksista. Koneiden käyttö maatalouteen on arvioitu kotieläin-tuotantoa harjoittavan tilan pinta-alaksi 20 ha. Eri koneiden oletettu käyttö maatalouteen on esitetty liitteessä 6.

Ruokohelven vuosittaiseksi, teholliseksi korjuuajaksi on oletettu keväällä 120 h. Sen on oletettu muodostuvan kymmenestä korjuukelpoisesta päivästä, kun päivittäinen työaika on 12 h. Korjuuketjujen kustannuksia laskettaessa on korjuuajan perusteella laskettu ketjukohtainen tuotantopinta-ala. Tämä on määräytynyt korjuuvaiheen hitaimman työvaiheen, silppuroinnin ja kokonaiskorjuuajan, perusteella. Vuositainen korjuuala on yhtä suuri kuin silppurin vuosituotantoala ruokohelven korjuu-aikana, kun silppurin korjuutehoon on sisällytetty aumalle kuljetus yhtä kärryä käyttäen. Ruokohelven vuosittaisen korjuualan avulla on kaikkien työvaiheiden koneiden kiinteät kustannukset suhteutettu tuotantopinta-alan mukaiseen tuotantomäärään.

Työstä aiheutuvat muuttuvat kustannukset on laskettu työvaiheen tehon ja vetotraktorin kustannuksen perusteella. Vetotraktorin kustannus on arvioitu laskennallisesti olettaen tuotannossa käytettävän kahden kokoluokan traktoreita. Noin 50 kW:n traktoria on oletettu käytettävän kylvölannoituksessa, jyräämisessä, rikkakasvien torjunnassa ja lannoituksessa. Muissa ruokohelven viljelyn työvaiheissa on oletettu käytettävän noin 80 kW:n traktoria. Laskennalliset traktorin kustannukset teholuokittain ovat 115 mk/h ja 150 mk/h sisältäen kuljettajan palkan. Kuljettajan palkan osuudeksi traktorikustannuksesta on oletettu 65 mk/h. Työkoneiden kustannusta ei ole sisällytetty traktoritunnin hin-

taan, vaan ne on ilmaistu erikseen investoinnista aiheutuvien kustannusten ja huoltokustannusten avulla.

Työvaiheiden konetehot viljelmän perustamisessa ja ylläpidossa on saatu Työte-hoseura ry:n tekemistä maatalouden työnormien mittauksista ja tutkimuksista ruokohelvellä (Järvenpää et al. 1994, Hemming et al. 1996, Palonen et al. 1997). Korjuutyövaiheen tehot on saatu VTT Energi-an tekemistä mittauksista. Työtehoina on käytetty tehollisia normitettuja työtehoja, jotka muodostuvat itse työvaiheeseen kulu-vasta ajasta, koneen kääntymisistä, siirto-ajasta lohkolla ja häiriöistä koneen toimin-nassa. Työtehoissa ja kustannuksissa ei ole mukana töiden valmisteluun kuluva aikaa, eikä muita inhimillisestä toiminnasta johtu-via taukoja.

Tuotanto-olot vaikuttavat tuotannon tehokkuuteen ja kustannuksiin samallakin tuotantoketjulla. Tärkein tekijä on korjuusaanto, joka määräytyy biologisesta sadosta ja korjuun hävikeistä. Muita tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat viljely-lohkojen koko ja muoto. Isoilla ja edullisen muotoisilla lohkoilla korjuutehokkuus on suurempi kuin pienillä epäedullisen muotoisilla lohkoilla (Peltola et al. 1979). Koska tehdyissä korjuukokeissa biologinen sato ja lohkot vaihtelivat, normitettiin kustannus-laskentaa varten kaikki korjuuvaiheen työ-tehot vastaamaan yhtä satotasoja ja yhtä lohkomuotoa ja -kokoa.

Työtehojen normitus lohkon muodon ja koon suhteen tehtiin erottelemalla tehollinen työteho itse työhön kuluvaan aikaan, kääntöihin lohkolla ja koneen häiriöihin. Laskettaessa korjuukoneille normitettuja tehollisia työtehoja työvaihe-ajan ja häiriöiden osuus otettiin huomioon (kuten kokeissa oli mitattu). Kääntöjen osuutena käytettiin yhdellä lohkolla eri konetyypeille (niit-tokoneet, karheet ja silppurit) mitattua kääntöjen kokonaisaikaa hehtaaria kohti muutettuna. Peruslohkoksi, jolle kaikki työtehot normitettiin, valittiin Jokioisten korjuukokeissa vuonna 1996 mukana ollut lohko 1, jonka pinta-ala oli 1,75 ha. Työ-vaihe-ajan arvioitiin hetkellisten tehomit-

tausten perusteella.

Hetkellisten tehomittausten ja korjuusaannon perusteella laskettiin kullekin silppurille massantuottokapasiteetti aikayksikössä. Tämän perusteella voitiin laskea hehtaarikohtainen kapasiteetti millä tahansa satomäärällä. Tarkastelussa kaikkien korjuuketjujen korjuusaannoksi oletettiin 6000 kg_{ka}/ha. Silppuroinnin hehtaarihoja normitettaessa kunkin silppurin aikayksikköä kohti olevan massantuottokapasiteetin oletettiin pysyvän muuttumattomana, kun satotaso muuttui todellisesta sadosta normisatotaan 6000 kg_{ka}/ha. Satomäärän muutoksen ei oletettu vaikuttavan korjuun häiriöiden määrään.

Silppureiden osalta otettiin tehojen normituksessa huomioon satomäärän ja lohko-olojen muutokset. Niiton ja karheamisen osalta huomioitiin vain lohkon koon ja muodon muutos. Näissä työvaiheissa sadon määrän ei oletettu vaikuttavan työtehoon.

Perustamistyövaiheen kustannukset on oletettu kuolettavaksi tuotantoaikana, joka on kaksi vuotta lyhyempi kuin viljelmän kiertoaika. Myös perustamisen muuttuvat kustannukset, kuten työkustannus, on oletettu investoinniksi, jolle on laskettu annuiteetti-menetelmän mukainen korko.

Ohjelman lähtöarvoina voidaan antaa satoa luonnehtivat tiedot: tuotantopinta-ala, työvaiheittaiset koneinvestoinnit, korjuutehot, tuntihintainen kuljettajan palkan sisältävä vetokoneen kustannus sekä muita työvaiheiden investointeihin ja työkustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Kaikki laskennassa käytetyt konehinnat ovat arvonlisäverottomia. Ruokohelpiviljelmän perustamisen ja ylläpidon osalta on kustannuslaskennassa käytetty taulukon 17 mukaisia arvoja.

11.2 Tuotantokustannukset vuosien 1996 ja 1997 korjuukokeiden perusteella

Vuonna 1996 ruokohelven kevätkorjuukoita tehtiin Jokioisissa ja Alavudella. Kaluston ja korjuutavan perusteella korjuu-

kokeet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään. Yksi korjuutapa oli silppurointi suoraan kasvustosta kaksoissilppurilla. Kahdessa muussa korjuukokeessa käytettiin tarkkuussilppuria niitokselta tai karheelta silppuamiseen. Nokka 2000 -tarkkuussilppurilla korjuu tehtiin sekä niitokselta että karheelta. Tämän lisäksi JF-850 -tarkkuussilppurilla silputtiin niitokselta. Näiden korjuukokeiden kustannuslaskennassa käytetyt alkuarvot on esitetty taulukossa 18. Tehojen osalta on esitetty sekä todellisissa oloissa mitattu teho että normilohkolle normitettu teho.

Vuonna 1997 korjuukokeet tehtiin Vapo Oy:n turvetuotannosta poistetulla Hirvinevan työmaalla ja Tyrnävällä pelto-oloissa. Kokeiluja korjuuketjuja oli neljä. Näistä kolme korjuuketjua perustui tehokkaan JF-900 -maatalusilppurin käyttöön, jolla silppuroitiin etukarheaja-lisälaitteella varustettuna, suoraan niitokselta ja erillisen kaheen tekemältä karheelta. Toisena silppurina käytettiin Kemper-korjuukonetta, jolla silputtiin erillisen kaheen tekemältä niitokselta. Kaikissa korjuuketjuissa niitto tehtiin niittokoneyhdistelmällä, jonka työleveys kokeissa oli noin 5 m. Korjuuketjujen kustannuslaskennan alkuarvot on esitetty taulukossa 19.

Kaikille korjuuketjuille laskettiin tuotantokustannukset, jotka on esitetty tuotantovaiheittain kuvassa 25 sekä muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin eriteltyinä liitteessä 6.

Vuoden 1996 kenttäkokeissa alhaisin ruokohelven tuotantokustannus saavutettiin Elho-kaksoissilppurilla. Vaikka korjuuketjun tehokkuus ei ollut kovin suuri, eivät myöskään investoinnit nousseet korkeiksi kalliimpiin tarkkuussilppureihin verrattuna.

Alhaisin tuotantokustannus vuoden 1997 korjuukokeissa saavutettiin silputtaessa karheelta tehokkaalla tarkkuussilppurilla (JF-900, karh.). Korjuuketjulla ruokohelven tuotantokustannus oli noin 92 mk/MWh, ja ilman pellon tuottoarvoa 62 mk/MWh. Todellisissa tuotanto-oloissa mitatuilla korjuutehoilla, ilman tehojen

Taulukko 17. Ruokohelven tuotantokustannusten laskennassa käytetyt alkuarvot viljelmän perustamisen ja ylläpidon osalta. Taulukon alkuarvoja on käytetty kaikissa tämän raportin tuotantokustannustarkasteluissa.

| | Investointi | Kappaletta | Kuoletusaika | Teho ha/h | Traktori-kustannus mk/h |
|-------------------------|--|------------|----------------|-----------|-------------------------|
| Perustaminen | | | | | |
| - kyntö | 27000 | 1 | 10 | 0,81 | 150 |
| - äestys | 27000 | 1 | 10 | 0,81 | 150 |
| - siemen | 53 mk/kg | 15 kg/ha | | | |
| - lannoite | 1,25 mk/kg | 375 kg/ha | | | |
| - kylvölannoitus | 54900 | 1 | 10 | 1,41 | 115 |
| - jyrääminen | 20000 | 1 | 12 | 2,86 | 115 |
| - rikkakasvien torjunta | 16200 | 1 | 12 | 3,33 | 115 |
| - torjunta-aine | 62 mk/ha | | | | |
| Ylläpito | | | | | |
| - lannoitus | 15600 | 1 | 8 | 3,85 | 115 |
| - lannoite | 1,25 mk/kg | 325 kg/ha | | | |
| Korjuu ja aumaus | | | | | |
| - kuljetus | 300 m, 12 km/h, kuorman purku 0,5 min | | | | |
| - aumaus | 21 tka/h, muovi 1,20 mk/m ² | | | | |
| Kaukokuljetus | | | | | |
| - lastaus | Rekka 100 m ³ | 20 min/krm | 150 mk/h | | |
| - kuljetus ja purku | 30 km, 60 km/h | 25 min/krm | kulj. 200 mk/h | | |
| Koneiden huolto | 10 % pääomakuluista | | | | |
| Maapohja | 11 500 mk/ha, kuoletusaika 25 a | | | | |
| Korko | 5 % | | | | |

normitusta, vastaava kokonaiskustannus oli noin 88 mk/MWh. Tämän korjuuketjun tehokkuus johdettiin hetkellisten tehomittausten avulla, koska pidemmän korjuuajan mukaisia tehollisia mittauksia ei tehty. Korjuussa silppurin hetkellinen massatuotto on kuitenkin ollut yli kaksinkertainen samalla silppurilla etukarhottimella tai suoraan niitokselta silppurointiin verrattuna. Kemper-korjuukoneen kustannuksia lisää koneen suuri investointikustannus, kun korjuutehokkuus ei ole oleellisesti suurempi kuin halvemmalla JF-900 -silppurilla. Etukarhotin-JF-900 -yhdistelmässä karhotti-

men tukkeutumisherkkyyden vuoksi silppurista ei saatu täyttä kapasiteettia irti, joten tämän korjuuketjun kustannukset olivat suuremmat kuin erilliseltä karheelta tai niitokselta silppuroitaessa.

Kuvassa 26 on esitetty kenttäkokeissa tutkittujen ketjujen korjuuvaiheen kustannukset työvaiheittain.

Niittotyövaiheen kustannukset olivat kumpanakin vuonna lähes samat. Yhdistelmäniittokoneella niiton muuttuvia kustannuksia voitiin alentaa noin 30 % yhteen niittokoneeseen verrattuna. Kiinteät investoinneista aiheutuvat kustannukset olivat

Taulukko 18. Vuoden 1996 ruokohelven korjuuketjujen kustannuslaskennassa käytetyt alkuarvot. Normitettujen työvaiheiden tehot on laskettu normilohkelle 1,75 ha, kun korjuusaanto on 6000 kg/ha (mt = mitattu teho koeoloissa, nt = normitettu teho).

| | Elho-kaksois-silppuri | | Nokka 2000, niitokselta | | Nokka 2000, karheelta | | JF-850, niitokselta | |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | mk | ha/h | mk | ha/h | mk | ha/h | mk | ha/h |
| Korjuun investoinnit ja tehokkuus | | | | | | | | |
| Niitto | | | 35 800 | 1,53 mt 1,68 nt | 35 800 | 1,53 mt 1,68 nt | 35 800 | 1,53 mt 1,68nt |
| Karheaminen | | | | | 64 400 | 4,6 mt 7,69 nt | | |
| Silppuaaminen | 37 000 | 0,38 mt 0,49 nt | 74 100 | 0,48 mt - | 79000 | 0,72 mt 1,04 nt | 68 000 | 0,68 mt 0,54 nt |
| Kuljetus | 47 500 | 25 m ³ | 47 500 | 25 m ³ | 47 500 | 25 m ³ | 47 500 | 25 m ³ |
| Laskennallinen tuotantoala, ha | 51 | | (50 todellisissa oloissa) | | 95 | | 56 | |

kuitenkin suuremmat. Yhdistelmäniittokoneen kapasiteetti olisi riittänyt tässä oletettua suuremman pinta-alan tuottamiseen, jolloin myös kustannukset olisivat olleet pienemmät. Yhdistelmäniittokone voisi tehdä niittotyön esimerkiksi kahdelle silppuriyksikölle.

Vuonna 1997 korjuukustannukset pienenevät erillistä karheejaa käytettäessä verrattuna suoraan niitokselta silppurointiin. Etukarheejalla varustetun silppuri-korjuuketjun kustannukset olivat puolestaan hie-man suuremmat kuin suoraan niitokselta tapahtuneessa korjuussa. Korjuussa tehtyjen havaintojen perusteella etukarheijan tukkeutumisherkkyys rajoitti kuitenkin silppuroinnin nopeutta.

Kaikissa tapauksissa oletettiin, että korjuun vuosituotantoala vaihtelee korjuuketjuittain ja ala määräytyy silppuroinnin tehokkuuden perusteella.

Korjuuketjujen laskennallinen vuosi-

tuotantoala oli 50–160 ha. Koska normaalisti tällaisia yhtenäisiä alueita ei ole, joudutaan urakoissa siirtämään koneita tilalta toiselle. Koneiden siirtojen vaikutusta kustannuksiin arvioitiin likimääräisesti oletamalla niiden tapahtuvan traktorilla ajamalla. Siirtokustannukseen vaikuttaa viljelyalueiden koko ja etäisyys. Pienet alueet ja pitkät kuljetusmatkat lisäävät kuljetuskustannusta. Siirrettäviksi koneiksi oletettiin niittokone, karheaja ja silppuri-peräkärri-yhdistelmä, jota oletettiin voitavan siirtää omilla pyörillään. Siirtokustannuksia tarkasteltiin seuraavilla oletuksilla:

- kuljetus traktorilla, 25 km/h, 115 mk/h
- jokaiselle työvaiheelle on oma traktori, joka kuljettaa konetta mukanaan
- koneen kuljetusvalmistelu ja purku yhteensä 15 minuuttia
- viljelyalueen koko 5–50 ha
- kuljetusmatka seuraavalle alueelle 2–10 km

Taulukko 19. Vuoden 1997 ruokohelven korjuuketjujen kustannuslaskennassa käytetyt alkuarvot. Normitettujen työvaiheiden tehot on laskettu normilohkelle 1,75 ha, kun korjuusaanto on 6000 kgka/ha (mt = mitattu teho koeoloissa, nt= normitettu teho).

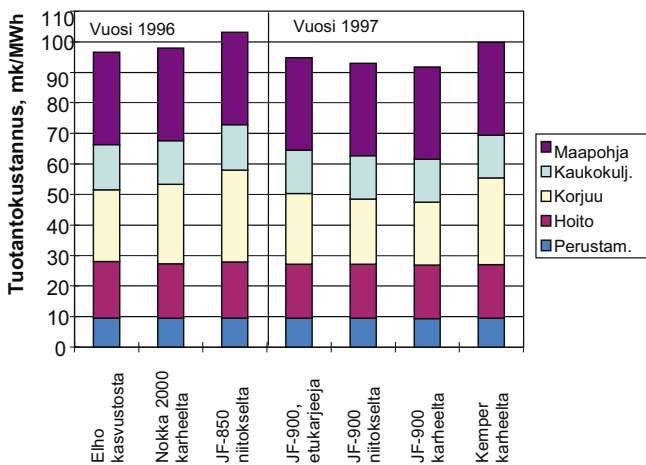
| | JF-900 etukarhotin | | JF-900 niitokselta | | JF-900 karheelta | | Kemper karheelta | |
|---|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | mk | ha/h | mk | ha/h | mk | ha/h | mk | ha/h |
| Niitto | 96 300 | 4,80 mt 2,42 nt | 96 300 | 4,80 mt 2,42 nt | 96 300 | 4,80 mt 2,42 nt | 96 300 | 4,80 mt 2,42 nt |
| Karhea- minen | | | | | 76 100 | 5,50 mt 6,42 nt | 76 100 | 5,50 mt 6,42 nt |
| Silppua- minen | 109 300 | 1,18 mt 1,05 nt | 79 100 | 1,19 mt 1,10 nt | 79 100 | 2,18 mt 1,70 nt | 200 800 | 1,07 mt 1,27 nt |
| Kuljetus | 59 800 | 50 m ³ | 59 800 | 50 m ³ | 59 800 | 50 m ³ | 59 800 | 50 m ³ |
| Laskennal- linen tuotantoala, ha | 109 | | 113 | | 163 | | 128 | |

- korjuuaika 120 h/a, siirtoihin käytetty aika pienentää korjuuaikaa
- korjuuala ilman siirtoja 109 ha tehokkaalla tarkkuussilppurilla, sato 6000 kg_{ka}/ha.

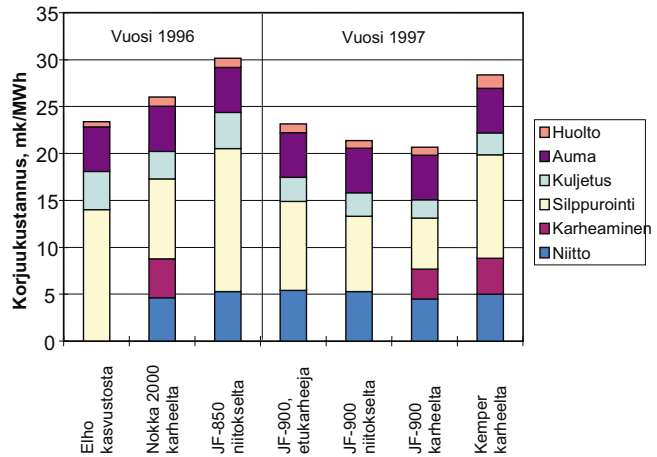
Näillä oletuksilla lasketut likimääräiset siirtokustannukset on esitetty kuvassa 27.

Koneiden siirtokustannus ja siirtoihin

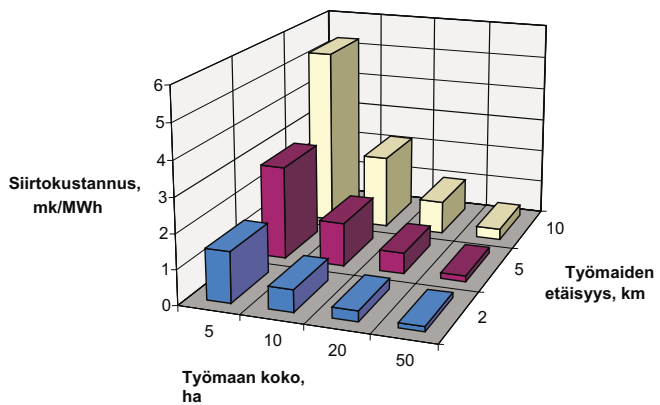
käytetty aika tulee merkittäväksi tekijäksi, jos työmaiden koko on pieni, alle 10 ha, ja siirtomatkat työmaalta toiselle pitkiä. Siirtokustannus muodostuu siirtotyöstä sekä vuosituotantopinta-alan pienenemisestä, kun siirtoaika lyhentää korjuuaikaa ja samalla tuotantopinta-alaa. Tuotantopinta-alan pienenemisestä aiheutuva kustan-



Kuva 25. Kenttäkokeissa tutkittujen ruokohelven korjuuketjujen tuotantokustannukset tuotantovaiheittain.



Kuva 26. Ruokohelven korjuuvaiheen kustannukset kenttäkokeissa olleilla korjuuketjuilla.



Kuva 27. Korjuukoneiden siirtojen aiheuttama lisäkustannus ruokohelven tuotannossa.

nus on suurempi kuin itse siirtotyöstä aiheutuva kustannus. Suurin laskennallinen siirtoaika kuvan 26 tuloksissa on noin 30 h, jolloin alkuperäinen tuotantokelpoinen aika pienenee 25 %.

Kustannuksissa on otettu huomioon vain koneiden välttämättömät siirrot työmaalta toiselle, ei työhön tulo ja illalla töistä lähdön aiheuttamaa ajoa traktorilla tai autolla.

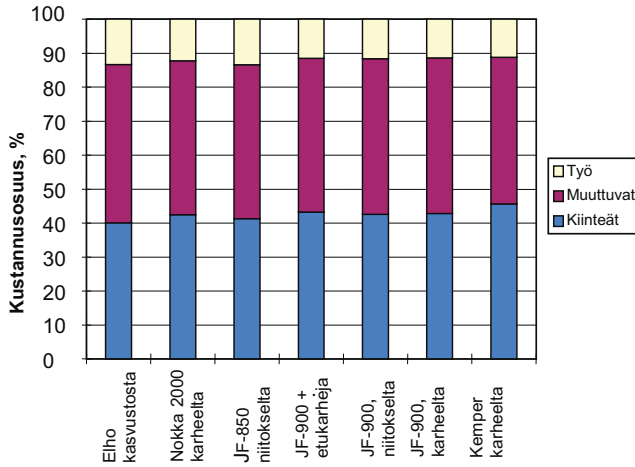
11.3 Tuotantokustannusten erittely

Ruokohelven tuotantokustannus voidaan jakaa kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kuvassa 28 on esitetty näiden kustannusten suhteellinen osuus vuosina 1996 ja

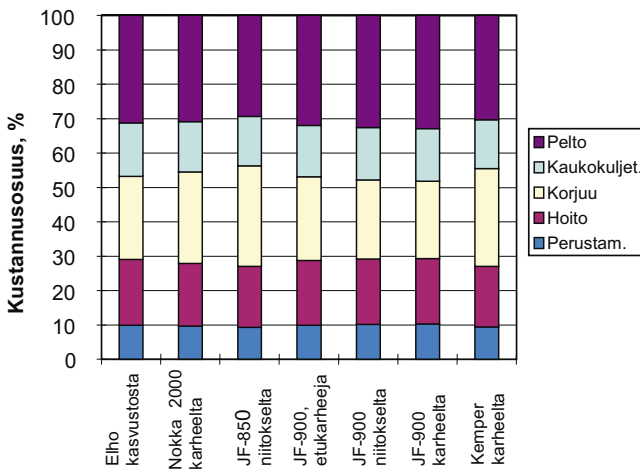
1997 kenttäkokeissa tutkituissa korjuuketjuissa (vrt. kuva 28).

Kiinteiden kustannusten keskimääräinen osuus oli kaikki korjuuketjut huomioon ottaen noin 43 % ja muuttuvien osuus vastaavasti 57 %. Ihmistyön osuus kokonaiskustannuksesta oli keskimäärin 12 %. Tehokkaammilla koneilla muuttuvien kustannusten ja työn osuus kokonaiskustannuksesta pienenee ja kiinteiden kustannusten osuus kasvaa.

Ruokohelven tuotantoketjujen muuttuviin kustannuksiin vaikuttaa työn tehokkuus ja välttämättömät investoinnit, kuten siemen ja lannoite. Muuttuvien kustannusten osuus eri korjuuketjuilla on 52–61 mk/MWh. Tämä olisi myös kokonais-
tuotantokustannus, mikäli koneinvestoin-



Kuva 28. Ruukohelven tuotannon kiinteiden ja muuttuvien kustannusten suhteellinen osuus. Muuttuvat kustannukset on eritelty ihmistyön ja muiden muuttuvien kustannusten osuuksiin.



Kuva 29. Ruukohelven tuotannon suhteelliset kustannukset tuotantovaiheittain.

neista aiheutuvia kiinteitä kustannuksia ei huomioida.

Kiinteisiin kustannuksiin voidaan vaikuttaa koneinvestoinneilla ja koneiden muulla käytöllä maataloudessa. Tällöin kustannukset voidaan jakaa suuremmalle tuotantomäärälle, kuin pelkästään lyhytaikaisessa ruukohelven korjuussa. Kiinteiden kustannusten osuus lasketuissa tapauksissa oli 39–46 mk/MWh. Tästä kustannuksesta suurin osa koostui maapohjan kustannuk-

sesta, pellon tuottoarvosta, joka laskelmissa oli korjuusaannolla 6000 kg_{ka}/ha noin 30 mk/MWh.

Kuvassa 29 on esitetty kustannusten suhteellinen osuus työvaiheittain.

Tuotantovaiheittain kustannukset jakautuvat keskimäärin seuraavasti: viljelmän perustaminen 10 %, ylläpito 19 %, korjuu 26 %, kaukokuljetus 15 % ja pellon kustannus 31 %.

11.4 Ruokohelven tuotantokustannusten alentamiseen vaikuttavat tekijät

Ruokohelven tuotantokustannusten merkittävän alentamisen on tapahduttava kaikkia tuotannon vaiheita kehittämällä. Ruokohelven tuotannon suurimmat yksittäiset menoerät ovat seuraavat (esimerkkinä käytetty korjuuketjua tarkkuussilppuri-etukarhotin-yhdistelmä): pellon tuottoarvo 32 %, ylläpitolannoitteen hinta 15 %, kaukukuljetus 15 %, silppurointi 10 % sekä viljelmän perustamisen siemen- ja lannoitekustannus 6 %. Kustannusten alentaminen näissä työvaiheissa alentaa nopeimmin myös ruokohelven kokonaistuotantokustannusta.

Ruokohelven tuotantokustannukseen merkittävästi vaikuttavia tekijöitä ovat korjatun sadon määrä, vuosittain korjuuketjulla tuotettava pinta-ala sekä myös silppurointiteho.

11.4.1 Korjuusaannon vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin

Korjatun sadon määrä vaikuttaa kaikkien työvaiheiden kiinteisiin kustannuksiin sekä myös pellon tuottoarvoon. Sadon määrään vaikuttaa kasvuston määrä (biologinen sato) sekä korjuun jättämät. Biologisen sadon määrää voidaan kasvattaa lannoitusta lisäämällä, mikä kuitenkin lisää myös ylläpitokustannuksia. Jättämiä aiheuttavat niitto-, karheamis- ja silppurointityövaiheet. Niiden kokonaismääräksi mitattiin vuoden 1997 kenttäkokeissa noin 30 %, josta 10 %-yksikköä arvioitiin aiheutuvan silppuroinnista ja 20 %-yksikköä silppurointia edeltävistä työvaiheista. Sadon määrän vaikutusta tuotantokustannuksiin on tarkasteltu liitteessä 6. Tarkastelu on tehty olettaen korjuuketjun olevan tarkkuussilppuri-etukarhotin-yhdistelmä, jonka jättämä on 30 (mitattu)– 0 %. Silppuroinnin massantuotokapasiteetti on oletettu va-

kioksi, jolloin silppuroinnin pinta-alaa kohti laskettu teho alenee jättämän pienentyessä. Niiton jättämäksi on oletettu 2/3 ja silppuroinnin 1/3 kokonaisjättämästä.

11.4.2 Korjuupinta-alan vaikutus ruokohelven tuotantokustannukseen

Myös konekalustolla korjattava pinta-ala vaikuttaa ruokohelven kiinteiden koneinvestointien kustannuksiin. Mitä suurempaa pinta-alaa kalustolla korjataan, sitä pienemmät ovat myös kokonaistuotantokustannukset. Pinta-alan vaikutus tuotantokustannuksiin esimerkkikorjuuketjulla on esitetty liitteessä 6. Korjuupinta-alan lisäämiseen vaikuttaa rajallinen ja lyhyt korjuuaika keväällä.

11.4.3 Silppuroinnin tehokkuuden vaikutus ruokohelven tuotantokustannukseen

Korjuuvaiheen työtehokkuuden lisääminen vaikuttaa ruokohelven tuotantokustannukseen, varsinkin jos oletetaan, että nopeutunut korjuu mahdollistaa suurempien pinta-alojen tuottamisen. Silppurointi on yleensä korjuun hitain työvaihe. Näin ollen pelkästään silppuroinnin tehostaminen mahdollistaa korjuukaluston toiminnan suuremmalla pinta-alalla. Silppuroinnin kapasiteetin vaikutus tuotantokustannuksiin on esitetty liitteessä 6.

Ruokohelven korjuuvaiheen kustannusten alentamiseksi tulisi pyrkiä silppurin koko kapasiteetin hyödyntämiseen. Kenttäkokeiden perusteella tämä voidaan tehdä karheamisella, missä useampi niittokarhe yhdistetään ennen silppurointia. Varsinkin tehokkaat silppurit pystyvät käsittelemään 2–3 niittokarhetta. Tästä on myös se hyöty, että kentällä ajo ja koneen kääntymiset vähenevät, mikä lisää tehollista työaikaa ja toisaalta vähentää renkaiden aiheuttamaa kentän urautumista.

Karheaminen voidaan tehdä etukarhotimella, erillisellä karheejalla tai niiton yh-

Taulukko 20. Potentiaalisten ruokohelven korjuuketjujen tuotantokustannukset.

| Korjuuketju | Kustannustekijä | Kustannus mk/MWh | Kustannus ei peltoa mk/MWh | Tuotantoala ha |
|--|---|---------------------|----------------------------------|-------------------|
| Korjuuketju 1997, JF-900 etukarhotti- mella | Todennettu | 94,83 | 64,61 | 109 |
| Potentiaaliketju, tehokas silppurointi karheelta | Saanto 6000 kg _{ka} /ha, | 87 | 57 | 169 |
| Edellinen potentiaaliketju, sato 10000 kg _{ka} /ha | Hävikit 20 % (saanto 8000 kg _{ka} /ha) Hävikit 0 % (saanto 10 000 kg _{ka} /ha) | 72 | 49 | 134 |
| Edellinen potentiaali- ketju, hävikit 20 %, tiivistys kaukokuljetuksessa | 164 kg _{ka} /m ³ (edellä 58 kg _{ka} /m ³) | 64 | 41 | 134 |

teydessä. Jos traktori varustetaan kahdella niittokoneella, voidaan olemassa olevaa mallistoa käyttäen molemmat niittokarheet ohjata päällekkäin. Erillisen karheen tuominen korjuuketjuun lisää työvaiheita, vaikka sillä on kenttäkokeissa saatu tehostettua silppurointia. Lisäksi kenttäkokeissa saatiin viitteitä siitä, että erillisen karheen kovakourainen toiminta aiheuttaa enemmän korjuuhävikkejä kuin esimerkiksi etukarheja.

11.4.4 Ruokohelven tuotantokustannuksen alentamismahdollisuudet nykyisillä korjuuketjuilla

Ruokohelven korjuukustannusten alentamispotentiaalia arvioitiin vuoden 1997 tutkimustulosten perusteella. Tuotantokustannusta merkittävimmin alentavia tekijöitä ovat tehokas silppurointi karheelta, hävikkien pienentäminen, runsas kasvusto ja kuorman tiivistäminen kaukokuljetukses-

sa.

Potentiaaliseen korjuuketjuun oletettiin kuuluvan yhdistelmäniittokone, joka yhdistää kaksi niittokarhettä ja tehokas tarkkuussilppuri rehukärryineen. Korjuuketjun kokonaisinvestointi on 244 000 mk, josta yhdistelmäniittokoneen osuus on 105 000 mk, silppurin 79 000 mk ja rehukärryn 60 000 mk. Potentiaaliselle korjuuketjulle laskettiin tuotantokustannus edellä mainittujen kustannusta alentavien tekijöiden avulla (Taulukko 20). Korjuun oletettiin tapahtuvan vuonna 1997 mitatuissa suo-oloissa. Niittokarheet yhdistävän kaksoisniittokoneen tehon oletettiin olevan sama kuin vuonna 1997 mitatun yhdistelmäniittokoneen (Taulukko 19). Oletetun yhdistelmän tehoa ei kokeissa mitattu. Silppuroinnin hehtaarithon oletettiin muuttuvan, kun korjuusaanto muuttuu, koska silppurin massatuotto aikayksikössä oletettiin väkiksi korjuusaannon muuttuessa.

Potentiaalisten korjuuketjujen oletuksia ei ole kaikilta osin todennettu kenttäkokeis-

sa, vaan kokeissa mitattuja osatuloja on yhdistetty. Korjuutehokien osalta oletukset ovat kuitenkin realistisia. Kuorman tiivistäminen kaukokuljetuksessa perustuu rekka-auton perävaunuun asennetun koelaitteen tiivistämistulokseen. Kustannuksissa ei ole kuitenkaan otettu huomioon laitteiston investointia, koska koelaitte on prototyyppi, jolle ei ole määritetty kaupallista hintaa. Alustavien laskelmien mukaan tiivistämisellä voidaan alentaa kuljetuskustannuksia, vaikka laitteiston investointikin otetaan huomioon. Tiivistämislaitteiston kannattavuus riippuu vuosittaisesta käyttömäärästä sekä siitä, voidaanko näin varusteltua erikoisautoa käyttää turpeen, hakkeen tai hakkuutähteen kuljetuksessa. Prototyyppilaitteiston kaltainen laitteisto voi vähentää hyötykuormaa puun kuljetuksissa. Riittävillä käyttömäärillä tiivistämislaitteistolla varustetulla autolla voidaan kuitenkin alentaa ruokohelven kuljetuskustannusta.

12 Yhteenveto ja johtopäätökset

VTT Energia tutki vuosina 1995–1997 ruokohelven ja alustavasti oljen irtokorjuuta, sekä silputun oljen ja ruokohelven aumavarastointia. Syksyllä 1997 tutkittiin ruokohelpisilppukuorman tiivistämistä VTT Energian puubiomassan tiivistämistutkimuslaitteella.

Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli, että korsibiomassa silputaan jo korjuuvaiheessa ja massaa käsitellään irtonaisena. Tämä tarjoaa erityisesti Suomen oloissa monia merkittäviä etuja paalaukseen pohjautuvaan korjuu- ja toimitusketjuun verrattuna. Jyrsin- ja palaturvetuotannosta saatua irtotavaran käsittelykokemusta ja valmiita toimitusjärjestelmiä voidaan soveltaa myös korsibiomassalle. Valmiiksi korjuun yhteydessä silputtu korsibiomassa voidaan tarvittaessa myös sekoittaa pääpolttoaineeseen missä käsittely-toimitusketjun vai-

heessa tahansa.

Irtokorjuumenetelmän tutkimus- ja kehitystyö pohjautui pääasiassa tuorerehun ja kuivaheinän korjuukoneisiin ja menetelmiin. Sekä laskennallisesti että kenttäkokeiden avulla tarkasteltiin koneiden ja ketjujen toimivuutta ja mitattiin korjuun eri työvaiheiden tuotantotehokkuutta. Ruokohelven korjuun ja toimituksen kokonaistuotantokustannuksia ja kehitysmahdollisuuksia tarkasteltiin tutkimuksessa olleiden korjuuketjujen avulla.

Vuonna 1997 ruokohelven tuotantokustannus oli parhailla korjuuketjuilla noin 90 mk/MWh, ja ilman pellon tuottoarvon huomioon ottamista noin 60 mk/MWh. Pelkän korjuuvaiheen kustannus oli tällöin noin 20 mk/MWh, ja kaukokuljetus 30 kilometriin huomioituna noin 35 mk/MWh.

Korjuuketjujen kokonaiskustannukset jakautuivat tuotantovaiheittain keskimäärin seuraavasti: viljelmän perustaminen 10 %, ylläpito 19 %, korjuu 26 %, kaukokuljetus 15 % ja pellon tuottoarvo 31 %. Vastava kiinteiden kustannusten osuus oli 43 % ja muuttuvien 57 %, josta ihmistyön osuus oli 12 % kokonaiskustannuksesta. Muuttuvien kustannusten (kone- ja ihmistyö, siemen ja lannoite ja muut välttämättömät tarvikkeet) määrä oli korjuuketjuilla 52–61 mk/MWh. Kiinteiden kustannusten määrä oli 39–46 mk/MWh, josta pellon tuottoarvon osuus noin 30 mk/MWh, kun korjuusaanto oli 6000 kg_{ka}/ha.

Kenttäkokeisiin valittiin sellaisia korjuukoneita, joiden avulla voitaisiin vähentää korjuun työvaiheita ja lisätä silppuroinnin kapasiteettia. Nämä tekijät alentavat korjuun kustannuksia. Toisena tavoitteena oli niiton tehostaminen. Silppurityyppejä oli neljä: kaksoissilppuri, tarkkuussilppuri, keskimääräistä tehokkaampi tarkkuussilppuri ja Suomen oloissa tuntematon Kemper-korjuukone, jolla voidaan silputa muun muassa maissia rehuksi.

Työvaiheiden vähentämiseksi käytettiin suoraan kasvustosta niittävää kaksoissilppuria. Kokeissa mitatuilla tehokkuuksilla kaksoissilppurin tuotantokustannus oli sama tai hieman pienempi kuin normaalilla

tarkkuussilppurilla, mutta korkeampi kuin tehokkaalla tarkkuussilppurilla. Kaksoissilppurin työteho ei ollut yhtä suuri kuin tarkkuussilppureilla, mutta koneinvestointi oli vastaavasti pienempi. Kaksoissilppurilla tuotetun silpun laatu ei ollut niin hyvä kuin tarkkuussilppurilla tuotetun.

Tehokkaan tarkkuussilppurin kapasiteettiä pyrittiin hyödyntämään karheamisessa. Tämä tehtiin joko erillisenä työvaiheena tai silppuroinnin yhteydessä etukarheaja-lisälaitteen avulla. Etukarheen tukkeutumisherkkyyden vuoksi koneyhdistelmän tehokkuudesta ja kustannuksista ei saatu luotettavaa kuvaa. Erillinen karheaminen tehosti huomattavasti silppurointia tehokkaalla silppurilla, jolloin myös tuotantokustannukset olivat alhaisemmat kuin niitokselta silputtaessa. Koska erillisen karheen kovakourainen käsittely aiheuttaa havaintojen mukaan runsaasti hävikkejä, tulisi karheamiseen pyrkiä kehittämään etukarheajaan kaltaista laitetta tai se tulisi tehdä niiton yhteydessä, jos niittoon käytetään kahdesta niittokoneesta muodostuvaa yksikköä.

Kemper-korjuukoneen työteho oli mitauksissa suurempi kuin normaalin tarkkuussilppurin, mutta pienempi kuin tehokkaan tarkkuussilppurin. Korjuukoneen suuresta hankintahinnasta johtuen tämän koneen tuotantokustannukset olivat samaa luokkaa kuin normaalin tarkkuussilppurin. Kemper-korjuukoneella voidaan silputa myös esimerkiksi järviruokoa, joten erikoistuneessa urakoinnissa koneen tuotantokustannukset laskevat käyttömäärien kasvaessa.

Ruokohelven tuotantokustannuksen suurimmat yksittäiset menoerät ovat likimäärin seuraavat: pellon tuottoarvo 32 %, ylläpitolannoitteen hinta 15 %, kaukokuljetus 15 %, silppurointi 10 % sekä viljelmän perustamisen siemen- ja lannoitekustannus 6 %. Kustannusten alentaminen näissä työvaiheissa alentaa nopeimmin myös ruokohelven kokonaistuotantokustannusta. Tuotantokustannuksen alentamisessa merkittäviä tekijöitä ovat korjuusaannon lisääminen hävikkejä pienentämällä, urakointi-

maisessa toiminnassa korjuukoneiden kiinteiden kustannusten alentaminen käyttömääriä (tuotantopinta-alaa) lisäämällä sekä silppuroinnin tehostaminen, mikäli tehostumisen seurauksena lisätään tuotantopinta-alaa. Tuotantopinta-alan lisäys voi tapahtua maatalouskäytön lisäksi myös oljen energiatuotannolla.

Tuotantokustannusten alentamispotentiaalia tutkittiin korjuukokeiden tulosten perusteella. Korjuukokein todennettu tuotantokustannus oli alimmillaan 88–95 mk/MWh. Mikäli korjuun hävikkejä voidaan pienentää nykyisestä 30 %:sta 20 %:iin ja korjuu tehdään runsaskasvuisilta viljelmiltä (biologinen sato 10 000 kg_{ka}/ha, korjuusaanto 8000 kg_{ka}/ha), olisi tuotantokustannus noin 70 mk/MWh (ilman pellon tuottoarvoa 50 mk/MWh). Jos korjuusta ei aiheutuisi jättämiä lainkaan, olisi kustannus noin 63 mk/MWh (45 mk/MWh). Kustannuksia voidaan alentaa myös kaukokuljetuksessa tapahtuvalla tiivistämisellä, mikäli tiivistämislaitteistolla varustetulla erikoisautolla on riittävästi käyttöä ruokohelven kuljetuksissa tai muussa kuljetuksessa.

Pellon tuottoarvon osuus ruokohelven tuotantokustannuksissa on suuri, noin 30 %, jos satotaso on 6000 kg_{ka}/ha. Tämän kustannuksen huomioon ottaminen tai huomiotta jättäminen muuttaa tuotantokustannuksia merkittävästi.

Tässä yhteydessä on tarkasteltu vain ruokohelven korjuuvaiheen kehittämisen vaikutusta tuotantokustannukseen. Muissa työvaiheissa merkittäviä kehityskohteita ovat ruokohelven satoisuuden lisääminen, normaaleja keinolannoitteita halvempien lannoitteiden käyttö ja mahdollinen viljelmän perustamisen työvaiheiden vähentäminen ja yksinkertaistaminen.

Varastointitutkimuksen tulosten mukaan puhtaat olki- ja ruokohelpisilppuauumat säilyvät hyvin, kun massan kosteus on alle 20–24 %. Ruokohelven ja jyrsin- tai palaturpeen seosvarastot, joissa ruokohelven energiaosuus oli 10 % ja tilavuusosuus 30–40 %, säilyivät myös kohtalaisesti huolimatta paikallisesta kuumenemisestä ja kosteuden siirtymisestä varastoinnin aikana

turpeesta (36–45 %) ruokohelpeen. Seosten kalorimetrinen lämpöarvo ja tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa eivät muuttuneet kuukausia kestäneen varastoinnin aikana.

Ruokohelpisilpun tiivistämiskoe tehtiin puubiomassojen, kuten hakkuutähteiden ja ensiharvennusosapuiden tiivistämiseen suunnitellulla laitteistolla, jossa lastitila oli noin 30 m³. Käytettävissä olleet, melko suuret puristamisvoimat riittivät löyhän ruokohelpisilpun tiivistämiseen. Tavoitteena oli saada tietoa suurehkon silppuerän tiivistymisilmioista. Koe toteutettiin kaksivaiheisesti lisäämällä lastitilaan silppua ensimmäisen tiivistyksen jälkeen.

Silppukuorman irtotiheys yli kaksinkertaistui kaksivaiheisessa tiivistämisessä (70 kg_{ka}/m³–165 kg_{ka}/m³)

Suomessa korsibiomassa voi lähitulevaisuudessa olla vain täydentävä polttoaine, jota poltetaan seoksena pääpolttoaineen kanssa tai mahdollisuuksien mukaan lyhytaikaisesti pääpolttoaineena. Todennäköisiä käyttäjiä Suomessa tulisivat olemaan polttotekniikaltaan ja sijainniltaan sopivat lämpö- ja voimalaitokset, joiden pääpolttoaineena on turve, puu tai jäte.

Kirjallisuus

Astrupgaard, N. P. 1993. Handling of straw for combustion. Bioenergy 93 Conference, Helsinki, November 17–18, 1993. p. 213–224.

Burvall, J. 1993. Tillverkning och provdelning av rörlfenpulver – ett fullskaleförsök. Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap. Rapport 9. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitetet. 31 p.

– 1994. Forbränning av rörlfen. 8:e regionala lantbrukskonferensen för norra Sverige den 27 – 28. September 1994. Rapport 8. Umeå. Sveriges lantbruksuniversitetet. p. 112–113.

– & **Segerud, K.** 1993. Pulverbränsle från rörlfen. Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap. Rapport 8. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitetet. 35 p.

Christensen, K. & Stridsberg, S. 1997a. Stacklagring av halm. Stiftelsen Lantbruksforskning. 41 p.

– & **Stridsberg, S.** 1997b. Stacklagring av hackad rörlfen. Stiftelsen Lantbruksforskning. 39 p.

Flyktman, M. 1998. Ruokohelven seospolttot turpeen ja puun kanssa. Tutkimusselostus ENE33/TO123/98. Jyväskylä: VTT Energia. 36 p.

Hadders, G. & Olsson, R. 1997. Harvest of grass for combustion in late summer and in spring. Biomass and Bioenergy 12, 3: 171–175.

Hemming, M., Maunu, T., Suokannas, A., Jär-

venpää, M. & Pehkonen, A. 1996. Ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsittely sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 4. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 98 p. ISBN 951-729-467-0.

Huisman, W., Kasper, G. J. & Venturi, P. 1996a. Energy consumption and costs of the production chains of *Miscanthus x Giganteus*. The 9th European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, June 24 – 27, 1996. 4 p.

–, **Kasper G. J. & Venturi, P.** 1996b. Technical and economical feasibility of the complete production-transport chain of *Miscanthus x Giganteus* as an energy crop. European Energy Crops Conference, Enschede, The Netherlands, 30.9.–1.10. 1996. 8 p.

–, **Venturi, P. & Molenaar, J.** 1996c. Costs of supply chains of *Miscanthus Giganteus*. Presentation at The Third European Symposium on Industrial Crops and Products, Reims, France, 22–24 April 1996. 18 p.

Järvenpää, M., Sankari, H., Tuunanen, L. & Maunu, T. 1994. Biomassan tuotannon talous maataloililla. In: Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. Työtehoseuran julkaisuja 33. Helsinki: Työtehoseura. 97 p.

Käyhkö, V. 1997. Ruokohelmin irtokorjuumenetelmän kehittäminen suopohjalle ja pelloille perusteilla viljelyalueilla. Loppuraportti 19/1997. Oulu:

Suo Oy. Moniste. 19 p.

Pahkala, K., Mela, T., Hakkola, H., Järvi, A. & Virkajärvi, T. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, I osa. Agrokuitukasvien viljely. Viljelytoimenpiteiden ja lajikevalinnan vaikutus agrokuitukasvien satoon ja kivennäiskoostumukseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisu. Sarja A 3. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 68 p. ISBN 951-729-468-9.

Palonen, J. 1997. Ruokohelpeä ja olkea energiantuotantoon. Työtehoseuran maataloustiedote 5/1997. Helsinki: Työtehoseura. 6 p.

Peltola, A., Orava, R. & Oksanen, E.H. 1979. Loh-

kon koon ja muodon vaikutus peltotöiden työmenekkiin. Työtehoseuran julkaisu 214. Helsinki: Työtehoseura. 56 p. ISBN 951-788-036-7.

Puuronen, M., Mikkonen, T. & Käyhkö, V. 1998. Energiakasvien (mm. ruokohelpi) viljelykokeilu turvesuoalueilla ja saatavan bioenergian soveltuvuus eri käyttökohteisiin - D501. Vuosikirja 1997. Osa II. Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisu 18. Jyväskylä: Jyväskylän teknologiakeskus. p. 135B142.

Sipilä, K., Moilanen, A., Solantausta, Y. & Wilen, C. 1997. Korsibiomassojen käyttömahdollisuudet energiasektorilla. KTM:n tutkimuksia ja raportteja 19. Helsinki: Oy Edita Ab. 76 p.

Ruokohelven korjuukoneiden työtehot Alavuden ja Jokioisten korjuukokeissa vuonna 1996.

Niiton hetkellinen työteho Jokioisissa 50 metrin matkalla mitattuna alueella 2. Mittauksia tehtiin 12 kpl puolikasta kohden eli yhteensä 24 kpl.

| Niitto Jokioinen | Aika s | Matka m | Nopeus km/h | Työleveys M | Hetk.teho ha/h | Hetk.teho h/ha |
|---------------------|-----------|------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| Alue 2A | 14,7 | 50 | 12,2 | 2,2 | 2,7 | 0,37 |
| Alue 2B | 15,8 | 50 | 11,5 | 2,2 | 2,5 | 0,40 |

Hetkellinen teho: hehtaaria tunnissa ja tuntia hehtaarille

Niiton kokonaistyöaika ja työvaiheiden aika sekä työvaiheiden osuudet kokonaisajasta Jokioisissa

| Niitto Jokioinen | Alue 1 1,75 ha | | Alue 2B (0,25 ha) (videolta) | | Osa alueesta 2A (videolta) | |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|
| | Aika, min | Osuus kok.ajasta, % | Aika, min | Osuus kok.ajasta, % | Aika, min | Osuus kok.ajasta, % |
| Kokonaisaika | 68,7 | 100 | 11,0 | 100 | 6,2 | 100 |
| Työvaihe aika | 46,5 | 68 | 6,1 | 55 | 3,6 | 58 |
| Kääntymisen | 5,7 | 8 | | | | |
| Siirtoajo | 16,5 | 24 | 4,9 | 45 | 2,6 | 42 |

Niiton kokonaistyöaika ja työvaiheiden aika sekä työvaiheiden osuudet kokonaisajasta Ylitalon tilalla Alavudella.

| | | |
|--------------|-----------|--------------------------|
| Niitto | Ylitalo | |
| Alavus | 0,41 h | |
| Ajankäyttö | Aika, min | Osuus kok.- ajasta, % |
| Kokonaisaika | 48,5 | 100 |
| Työvaihe | 39,4 | 81 |
| Kääntymiset | 5,3 | 11 |
| Siirtoajo | 2,0 | 4 |
| Häiriö | 1,8 | 4 |

Karheamisen hetkelliset työtehot ja kokonaistyöajat Jokioisissa 1996.

Karheamisen hetkellinen työteho alueella 2B Jokioisissa

| Alue 2B | Aika s | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys M | Teho ha/h | Teho h/ha |
|------------|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Mittaus 1 | 22,5 | 50 | 2,22 | 7,9 | 7,10 | 5,6 | 0,18 |
| Mittaus 2 | 12,0 | 50 | 4,17 | 15,0 | 7,10 | 10,7 | 0,09 |
| Mittaus 3 | 15,0 | 50 | 3,33 | 12,0 | 7,10 | 8,5 | 0,12 |
| Ka. | | | | 11,6 | | 8,3 | 0,13 |

Karheamiseen kulunut kokonaisaika alueella 2B, työvaiheeseen ja käännöksiin kulunut aika sekä niiden osuudet kokonaisajasta.

| Karheaminen | Aika min | Osuus kokonaisajasta % |
|--------------|-------------|---------------------------|
| Kokonaisaika | 5,7 | 100 |
| Työvaihe | 4,7 | 82 |
| Kääntymiset | 1,0 | 18 |

Silppuamisen hetkelliset työtehot ja kokonaistyöajat Jokioisissa.

Nokka 2000 -silppurilla silppuamisen hetkellinen työteho 50 metrin matkalla mitattuna, niitokselta ja karhettulla alueella. Aikamittaus on alueella 2A kuuden, alueella 2B kolmen ja alueella 1 neljän mittauksen keskiarvo. Silppurin työleveytenä on karhetuilla alueilla käytetty karhottimen työleveyttä 7,10 m.

| Silppuaminen | Aika s | Matka m | Nopeus km/h | Työleveys m | Hetk.teho ha/h |
|-----------------------|--------|---------|-------------|-------------|----------------|
| Niitos (alue 2A) | 51 | 50 | 3,5 | 1,6 | 0,56 |
| Karhettu (alue 2B) | 134 | 50 | 1,3 | 7,10 | 0,9 |
| Karhettu (alue 1) | 90 | 50 | 2,0 | 7,10 | 1,43 |

Silppuamiseen kulunut kokonaisaika Jokioisissa, työvaiheeseen ja käännöksiin kulunut aika sekä niiden osuudet kokonaisajasta. Silppurina Nokka 2000.

| Silppuaminen Nokka 2000 | Karheelta Alue 2B (0,25 ha) | | Karheelta Alue 1 (1,75 ha) | |
|----------------------------|--------------------------------|----------|-------------------------------|----------|
| | Aika, min | Osuus, % | Aika, min | Osuus, % |
| Kokonaisaika | 36,7 | 100 | 145,5 | 100 |
| Työvaihe | 23,0 | 63 | 131,8 | 91 |
| Käännot | 1,9 | 5 | 3,4 | 2 |
| Siirtoajo | 1,43 | 4 | 4,9 | 3 |
| Häiriöt | 10,4 | 28 | 5,4 | 4 |

Silppuamisen hetkelliset työtehot ja kokonaistyöajat Alavudella 1996.

Silppuamisen hetkellinen työteho JF-850 -tarkkuussilppurilla Alavuden Ylitalon tilalla.

| Silppua- minen | Aika s | Matka m | Nopeus km/h | Työleveys m | Hetk.teho ha/h | Hetk.teho h/ha |
|-------------------|-----------|------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| Metsän puoli | 21,6 | 50 | 8,3 | 1,8 | 1,5 | 0,67 |
| Tien puoli | 26,2 | 50 | 6,9 | 1,8 | 1,2 | 0,83 |

Silppuamiseen JF-850 -tarkkuussilppurilla niitokselta kulunut kokonaisaika Ylitalon tilalla, työvaiheeseen ja käännöksiin kulunut aika sekä niiden osuudet kokonaisajasta.

| Silppuaminen | Ylitalo 0,41 ha | |
|--------------|--------------------|-------------------------|
| Ajankäyttö | Aika, min | Osuus kok. ajasta, % |
| Kokonaisaika | 36,5 | 100 |
| Työvaihe | 24,8 | 68 |
| Käännöt | 4,4 | 12 |
| Siirtoajo | 2,7 | 7 |
| Häiriö | 4,6 | 13 |

Silppuamisen hetkelliset työtehot ja kokonaistyöajat Alavudella 1996.

Kaksoissilppuroinnin hetkellinen työteho Elho -kaksoissilppurilla Heikkilän ja Mäen tilalla.

| Kaksois-silppurointi | Aika s | Matka m | Nopeus km/h | Työleveys m | Hetk.teho ha/h | Hetk.teho h/ha |
|----------------------|--------|---------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Mäki (0,15 ha) | 28,0 | 50 | 6,4 | 1,7 | 1,1 | 0,9 |
| Heikkilä (2 ha) | 22,4 | 50 | 8,0 | 1,7 | 1,4 | 0,7 |

Elho-kaksoissilppurilla silppuamiseen kulunut kokonaisaika Heikkilän ja Mäen tilalla, työvaiheeseen ja käänkösiin kulunut aika sekä niiden osuudet kokonaisajasta.

| Silppuaminen kaksoissilppurilla | Mäki 0,15 ha | | Heikkilä 2 ha | |
|---------------------------------|-----------------|----------|------------------|----------|
| Ajankäyttö | Aika, min | Osuus, % | Aika, min | Osuus, % |
| Kokonaisaika | 24,0 | 100 | 61,2 | 100 |
| Työvaihe | 11,2 | 47 | 50,0 | 82 |
| Kääntymiset | 3,9 | 16 | 9,9 | 16 |
| Siirtoajo | 8,1 | 34 | 1,3 | 2 |
| Häiriö | 0,8 | 3 | | |

Silppuamisen hetkelliset työtehot ja kokonaistyöajat Alavudella 1996.

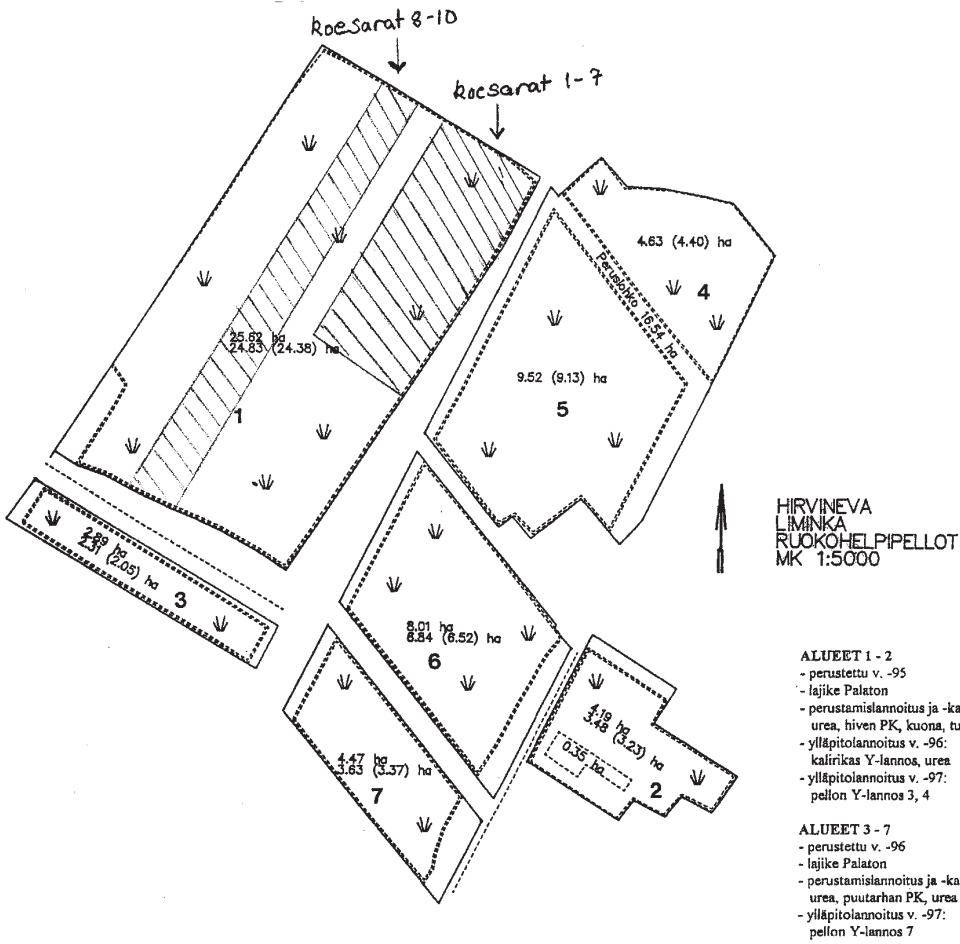
Hietarannan koneen hetkellinen työteho

| Hietarannan kone | Aika s | Matka m | Nopeus km/h | Työlevey s m | Hetk.teho ha/h | Hetk.teho h/ha |
|------------------|-----------|------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Teppo 0,4 ha | 127 | 50 | 1,4 | 3,6 | 0,51 | 2,0 |

Hietarannan koneen kokonaisajankäyttö ja eri työvaiheosien osuudet kokonaisajasta.

| Hietarannan kone, 3,6 m Yhdistetty niitto-silppurointi | Teppo 0,4 ha | |
|---|--------------------|------------------------|
| Ajankäyttö | Aika, h; min; s | Osuus kok.ajasta, % |
| Kokonaisaika | 1;15;08 | 100 |
| Työvaihe | 49;49 | 66 |
| Käännöt | 1;15 | 2 |
| Siirtoajo | 0;58 | 1 |
| Häiriö | 23;06 | 31 |

Hirvinevan ruokohelpiviljelmät ja koealueiden sijainti.



Ruokohelven korjuukoneiden työtehot Hirvinevan ja Tyrnävän korjuukokeissa vuonna 1997.

Niiton hetkelliset työtehot ja kokonaistyöajat Hirvinevalla ja Tyrnävällä 1997 etu-takanittokone-yhdistelmällä.

Niiton keskimääräiset hetkelliset työtehot 100 metrin matkalta mitattuna Hirvinevalla 700 m pitkillä saroilla 8 ja 9, joilla tehtiin 8 mittausta ja 300 m pitkillä saroilla 2 - 7, joilla tehtiin 10 mittausta

| Aika S | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys m | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|--------------------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| Sarat 8 ja 9 36 | 100 | 2,8 | 10,0 | 5,1 | 14,2 | 5,1 |
| Sarat 2 - 7 46 | 100 | 2,3 | 8,3 | 5,1 | 11,7 | 4,2 |

Niittoon käytetty kokonaistyöaika Hirvinevalla saroilla 5, 6, 7, 8 ja 9

| | Sarat 8 ja 9 | Sarat 5,6,7 |
|----------------------------------|--------------|-------------|
| Kokonaisaika (min) | 36,1 | 28,6 |
| Niittoaika (min) | 32,8 | 21,4 |
| Kääntöihin käytetty aika (min) | 2,3 | 5,3 |
| Häiriöihin kulunut aika (min) | 1,1 | 1,9 |
| Niiton osuus (%) | 91 | 75 |
| Kääntöjen osuus (%) | 6 | 19 |
| Häiriöiden osuus (%) | 3 | 7 |

Niiton keskimääräinen hetkellinen työteho 100 metrin matkalta mitattuna Tyrnävän peltolohkolla, jossa tehtiin 6 mittausta.

| Aika S | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys m | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 23 | 100 | 2,3 | 7,9 | 5,1 | 11,2 | 4,0 |

Niittoon käytetty kokonaistyöaika Tyrnävällä 2 ha:n pellolla.

| | Tyrnävä / Kantola |
|----------------------------------|-------------------|
| Kokonaisaika (min) | 40,6 |
| Niittoaika (min) | 28,8 |
| Kääntöihin käytetty aika (min) | 11,0 |
| Häiriöihin kulunut aika (min) | 0,7 |
| Niiton osuus (%) | 71 |
| Kääntöjen osuus (%) | 27 |
| Häiriöiden osuus (%) | 2 |

Karheamisen hetkellinen työteho ja kokonaistyöaika Hirvinevalla ja Tyrnävällä 1997 Claas Liner 780 –karhottimella

Karheamisen keskimääräinen hetkellinen työteho Hirvinevalla saroilla 4, 5 ja 9, joilla tehtiin yhteensä 9 mittausta.

| Aika S | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys m | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 36 | 100 | 2,8 | 10,2 | 6,7 | 19,0 | 6,8 |

Karheamiseen kulunut kokonaisaika Hirvinevalla saroilla 4,5 ja 9.

| | sarka 9 | sarat 4 ja 5 |
|----------------------------------|---------|--------------|
| Kokonaisaika (min) | 14,2 | 13,9 |
| Karheemisaika (min) | 12,8 | 9,5 |
| Kääntöihin käytetty aika (min) | 1,5 | 4,4 |
| Häiriöihin kulunut aika (min) | 0,0 | 0,0 |
| Karheemisen osuus (%) | 90 | 68 |
| Kääntöjen osuus (%) | 10 | 32 |
| Häiriöiden osuus (%) | 0 | 0 |

Karheamiseen kulunut kokonaisaika (urakoitsijan mittaus) Tyrnävän 2,16 ha:n peltolohkolla oli 33 min 5 s eli teho oli 3,9 ha/h.

Silppuamisen hetkellinen työteho ja kokonaistyöaika etukarhotin-JF Front Pick Up- ja tarkkuussilppuri- JF FCT 900 –yhdistelmällä Hirvinevalla 1997.

Silppuamisen hetkellinen työteho 100 metrin matkalla Hirvinevalla saralla 8, joka oli niitetty niittomurskain-yhdistelmällä, mutta ei karhettu.

| Kuorma Nro | Aika s | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys M | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|---------------|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 1 | 114 | 100 | 0,9 | 3,2 | 5,1 | 4,5 | 1,6 |
| 2 | 249 | 100 | 0,4 | 1,5 | 5,1 | 2,1 | 0,7 |
| 2 | 92 | 72 | 0,8 | 2,8 | 5,1 | 4,0 | 1,4 |
| 3 | 158 | 100 | 0,6 | 2,3 | 5,1 | 3,2 | 1,2 |
| | 153 | | 0,7 | 2,4 | 5,1 | 3,4 | 1,2 |

Silppurointiin käytetty kokonaistyöaika Hirvinevalla saralla 8.

| | Kuorma 1 | Kuorma 2 |
|----------------------------------|----------|----------|
| Kokonaisaika (min) | 18,9 | 28,9 |
| Korjuu-silppurointi-aika (min) | 15,4 | 24,4 |
| Kääntöihin käytetty aika (min) | 1,6 | 1,4 |
| Häiriöihin kulunut aika (min) | 1,9 | 3,1 |
| Korjuu-silppuroinnin osuus (%) | 81 | 84 |
| Kääntöjen osuus (%) | 9 | 5 |
| Häiriöiden osuus (%) | 10 | 11 |

Silppuamisen hetkellinen työteho ja kokonaistyöaika silputtaessa niittokarheelta tarkkuussilppurilla
JF FCT - 900 Hirvinevalla 1997.

Silppuroinnin hetkellinen työteho niittokarheelta saroilla 6 ja 7. Työleveytenä käytetään puolta
niittomurskainyhdistelmän leveydestä eli 2,6 m.

| Aika s | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys m | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 80 | 100 | 1,3 | 4,5 | 2,6 | 3,3 | 1,2 |
| 59 | 100 | 1,7 | 6,1 | 2,6 | 4,4 | 1,6 |
| 66 | 100 | 1,5 | 5,5 | 2,6 | 3,9 | 1,4 |
| 68 | | | 5,4 | | | 1,4 |

Tarkkuussilppurilla ilman etukarhotinta korjattiin vajaa kuorma ennen kuin silppuri-traktori-
perävaunun yhdistelmä jäi kiinni kenttään. Kuorma tehtiin 0,24 ha:n alalta ja sen tekoon kului aikaa
12 minuuttia, jonka aikana tehtiin yksi kääntyminen. Teholliseksi työtehoksi saadaan 1,2 ha/h, joka
on sama kuin etukarhotin-tarkkuussilppuriyhdistelmällä.

Silppuamisen hetkellinen työteho ja kokonaistyöaika noukinpäällä varustetulla Kemper-Champion 3000 –koneella Hirvinevalla ja Tyrnävällä 1997.

Silppuroinnin hetkellinen työteho saralla 9, jolla mittauksia tehtiin 3 kpl. Ennen silppurointia tehtiin karheaminen Claas Liner -karheejalla.

| Aika S | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys m | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 135 | 100 | 0,7 | 2,7 | 6,7 | 5,0 | 1,8 |
| 70 | 50 | 0,7 | 2,6 | 6,7 | 4,8 | 1,7 |
| 139 | 100 | 0,7 | 2,6 | 6,7 | 4,8 | 1,7 |
| | | 0,7 | 2,6 | 6,7 | 4,9 | 1,8 |

Silppurointiin karheelta käytetty kokonaistyöaika Hirvinevalla saralla 9.

| | Sarka 9 |
|----------------------------------|---------|
| Kokonaisaika (min) | 44,9 |
| Korjuu-silppurointi-aika (min) | 31,9 |
| Kääntöihin käytetty aika (min) | 6,8 |
| Häiriöihin kulunut aika (min) | 6,2 |
| Korjuu-silppuroinnin osuus (%) | 71 |
| Kääntöjen osuus (%) | 15 |
| Häiriöiden osuus (%) | 14 |

Silppuroinnin hetkellinen työteho karheelta Tyrnävällä.

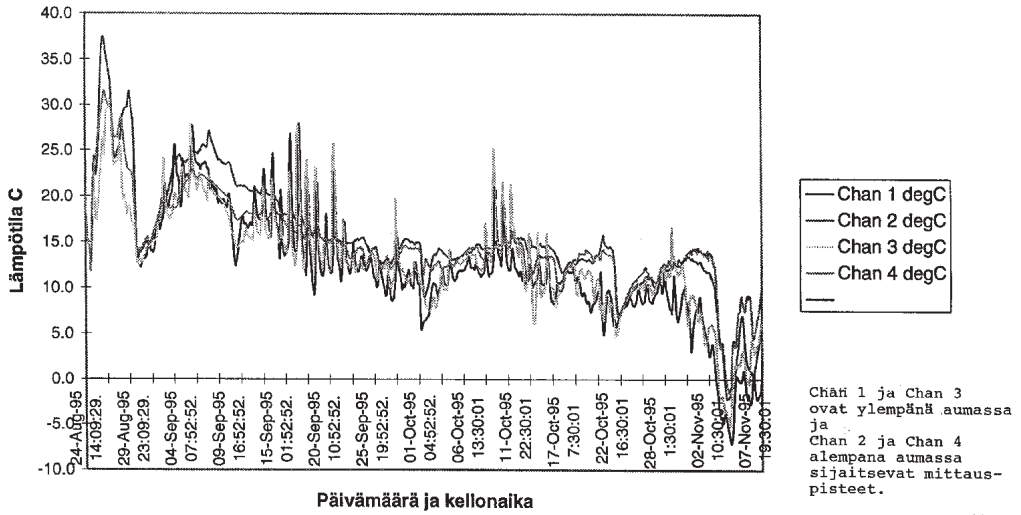
| Aika S | Matka m | Nopeus m/s | Nopeus km/h | Työleveys m | Teho m ² /s | Teho ha/h |
|-----------|------------|---------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------|
| 85 | 50 | 0,6 | 2,1 | 6,7 | 3,9 | 1,4 |
| 83 | 50 | 0,6 | 2,2 | 6,7 | 4,0 | 1,5 |
| 106 | 50 | 0,5 | 1,7 | 6,7 | 3,2 | 1,1 |
| 87 | 50 | 0,6 | 2,1 | 6,7 | 3,9 | 1,4 |
| 82 | 50 | 0,6 | 2,2 | 6,7 | 4,1 | 1,5 |

Silppurointiin karheelta käytetty kokonaistyöaika Tyrnävällä.

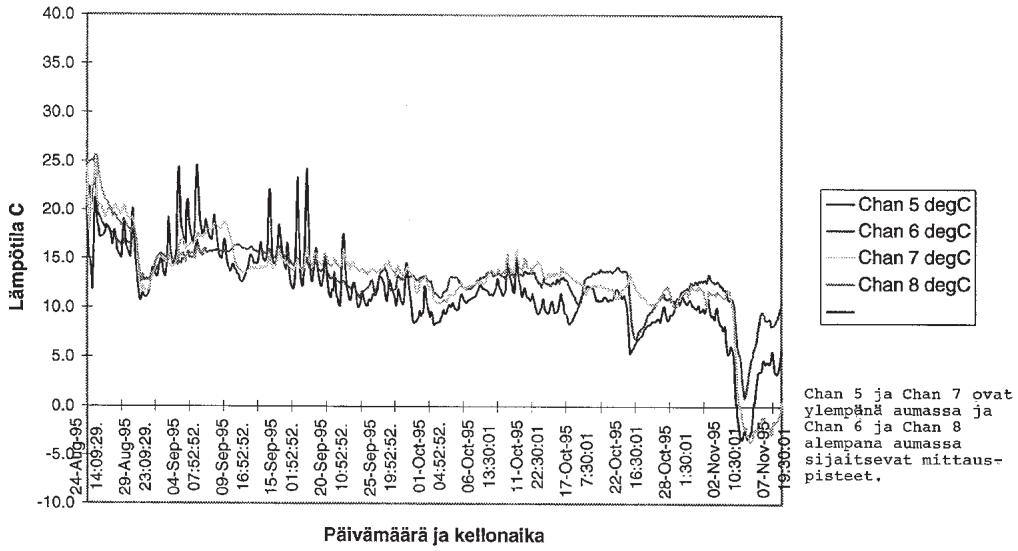
| | Kuorma 1 | Kuorma 2 | Kuorma 3 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| Kokonaisaika (min) | 44,0 | 47,2 | 45,2 |
| Korjuu-silppurointi-aika (min) | 34,3 | 28,3 | 29,3 |
| Kääntöihin käytetty aika (min) | 8,3 | 15,3 | 11,4 |
| Häiriöihin kulunut aika (min) | 1,5 | 3,6 | 4,5 |
| Korjuu-silppuroinnin osuus (%) | 78 | 60 | 65 |
| Kääntöjen osuus (%) | 19 | 32 | 25 |
| Häiriöiden osuus (%) | 3 | 8 | 10 |

Olkiaumojen lämpötilaseuranta vuonna 1995 Loimaalla.

Kulvemman olkiauman lämpötilan kehitys 24.8.- 8.11.1995



Märemmän olkiauman lämpötilan kehitys 24.8.-8.11.1995





**KUOPION
ALUEYÖTERVEYSLAITOS**

0:\sirr\95395.doc

TULOKSET

LIITE 3/3

17.1.1996

VTT Energia
PL 1603
40101 JYVÄSKYLÄ

Esa Kallio

OLKILINÄYTTEIDEN MIKROBIANALYYSIT

Taulukossa 1 on esitetty VTT Energian 15.12.1995 toimittamien olkinäytteiden sieni- ja bakteerianalyysien tulokset. Näytteistä tehtiin viljelyt viiden eri mikrobiryhmän määrittämiseksi: mesofiiliset eli huoneen lämmössä kasvavat sienet määritettiin Hagem-agarilta, kuivassa viihtyvät sienet DG18-agarilta, termotolerantit sienet DG18-agarilta, mesofiiliset bakteerit tryptonihiivaekstraktiglukoosi-agarilta ja termofiiliset sädesienet 1/2-vahva Nutrient-agarilta. Termotolerantit sienet kasvatettiin 40°C:ssa, termofiiliset sädesienet 55 °C:ssa ja muut mikrobit 25°C:ssa. Kaikkia näytteitä on kasvatettu 7 vrk ja sienet on tunnistettu sukutasolle mikroskopioimalla. Tulokset ilmoitetaan yksikössä cfu/g (cfu=colony forming unit=pesäkkeen muodostava yksikkö).

Taulukko 1. Olkinäytteiden mikrobipitoisuus cfu/g.

| Näyte | mesofiiliset sienet | kuivassa viihtyvät sienet | termotolerantit sienet | mesofiiliset bakteerit | termofiiliset sädesienet |
|----------|--|--|------------------------|-------------------------------------|---|
| Näyte 1. | Yhteensä 1.1*10 ⁸ Acremonium 1.0*10 ⁸ Cladosporium 4.0*10 ⁶ Fusarium 1.0*10 ⁶ hiiva 8.0*10 ⁶ | Yhteensä 3.2*10 ⁷ Acremonium 3.6*10 ⁵ Cladosporium 4.6*10 ⁶ Fusarium 5.5*10 ⁵ hiiva 2.1*10 ⁷ Penicillium 5.9*10 ⁶ | Yhteensä - | Yhteensä 7.0*10 ⁸ | Yhteensä - |
| Näyte 2. | Yhteensä 1.1*10 ⁶ Acremonium 4.2*10 ⁵ Cladosporium 1.8*10 ⁴ Fusarium 1.7*10 ⁵ Penicillium 4.9*10 ⁵ | Yhteensä 7.6*10 ⁶ Aspergillus glaucus 1.8*10 ⁵ Fusarium 2.4*10 ⁵ hiiva 1.8*10 ⁵ Penicillium 7.0*10 ⁶ | Yhteensä - | Yhteensä 1.6*10 ⁸ | Yhteensä 900 Thermoactinomyces candidus 900 |
| Näyte 3. | Yhteensä 3.7*10 ⁷ Acremonium 2.8*10 ⁷ Cladosporium 1.0*10 ⁶ hiiva 6.0*10 ⁶ Hyalodendron 2.0*10 ⁶ | Yhteensä 2.3*10 ⁷ Acremonium 1.1*10 ⁶ Alternaria 9.1*10 ⁴ steriili 3.6*10 ⁵ hiiva 2.0*10 ⁷ Hyalodendron 2.7*10 ⁵ Penicillium 7.3*10 ⁵ Rhodotorula 4.5*10 ⁵ | Yhteensä - | Yhteensä 2.4*10 ⁷ | Yhteensä 900 Thermoactinomyces candidus 900 |
| Näyte 4. | Yhteensä 6.5*10 ⁶ Fusarium 6.4*10 ⁶ Hyalodendron 9.1*10 ⁴ | Yhteensä 9.9*10 ⁶ Acremonium 9.0*10 ⁴ Aureobasidium 2.7*10 ⁵ Cladosporium 9.0*10 ⁴ Fusarium 9.1*10 ⁶ hiiva 1.8*10 ⁵ Hyalodendron 9.0*10 ⁴ Rhodotorula 9.0*10 ⁴ | Yhteensä - | Yhteensä 1.1*10 ⁸ | Yhteensä - |

Neulaniementie 4
PL 93

70210 KUOPIO
70701 KUOPIO

☎ 971-201 211
Telefax 971-201 265

| | | | | | | | |
|-------------|---|--|--|--|----------------------|--|----------------------|
| Näyte 5. | Yhteensä Cladosporium Fusarium Hyalodendron | 8.1*10⁶ 3.6*10 ⁵ 8.5*10 ⁶ 5.4*10 ⁵ | Yhteensä Aureobasidium Cladosporium Fusarium | 8.8*10⁶ 1.2*10 ⁵ 1.8*10 ⁵ 8.5*10 ⁶ | Yhteensä - | Yhteensä 1.2*10 ⁸ | Yhteensä - |
|-------------|---|--|--|--|----------------------|--|----------------------|

VTT Energian toimittamissa olkinäytteissä esiintyi runsaasti mesofiilisiä ja kuivassa viihtyviä sieniä sekä mesofiilisiä bakteereja. Lisäksi kahdessa näytteessä esiintyi termofiilisiä sädesieniä.

Kunnioitavasti

KUOPION ALUETYÖTERVEYSLAITOS
Ympäristömikrobiologian laboratorio

Marjut Kotimaa

Marjut Kotimaa
FT, erikoistutkija

Sirpa Rautiala

Sirpa Rautiala
FM, tutkija

**RUOKOHELPIAUMAN LÄMPÖTILAMITTAUS JOKIOISSA.
21.5. - 29.10.1996**

| PÄIVÄ- MÄÄRÄ | AIKA KLO | ML 1: POHJOISPÄÄ | | | | | | ML2: ETELÄPÄÄ | | |
|-----------------|-------------|------------------|----|----|----|----|----|---------------|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 21.5.1996 | | 9 | 13 | 16 | 20 | 13 | 15 | 10 | 14 | 13 |
| 24.5.1996 | 8.35 | 11 | 10 | 17 | 21 | 11 | 13 | 9 | 12 | 2 |
| 27.5.1996 | 9.30 | 10 | 10 | 14 | 18 | 10 | 12 | 12 | 14 | 2 |
| 29.5.1996 | 9.30 | 13 | 13 | 16 | 18 | 12 | 14 | 12 | 15 | 12 |
| 31.5.1996 | 8.00 | 10 | 9 | 13 | 16 | 10 | 12 | 10 | 12 | 4 |
| 3.6.1996 | 8.30 | 12 | 11 | 17 | 20 | 11 | 14 | 14 | 19 | 9 |
| 5.6.1996 | 15.45 | 15 | 15 | 19 | 24 | 11 | 19 | 17 | 21 | 23 |
| 6.6.1996 | 11.05 | 12 | 12 | 17 | 20 | 10 | 16 | 13 | 15 | 11 |
| 10.6.1996 | 8.05 | 15 | 16 | 22 | 26 | 12 | 10 | 16 | 18 | 8 |
| 14.6.1996 | 10.05 | 15 | 14 | 21 | 29 | 13 | 18 | 16 | 19 | 13 |
| 17.6.1996 | 7.35 | 12 | 11 | 17 | 14 | 11 | 19 | 14 | 15 | 5 |
| 24.6.1996 | 9.30 | 13 | 14 | 17 | 16 | 10 | 15 | 12 | 14 | 10 |
| 1.7.1996 | 10.00 | 14 | 15 | 19 | 22 | 11 | 17 | 14 | 17 | 12 |
| 8.7.1996 | 18.00 | 16 | 15 | 20 | 21 | 14 | 19 | 17 | 18 | 16 |
| 15.7.1996 | 10.00 | 14 | 14 | 17 | 18 | 11 | 15 | 15 | 17 | 19 |
| 22.7.1996 | 16.40 | 14 | 20 | 18 | 23 | 12 | 19 | 15 | 20 | 24 |
| 29.7.1996 | 15.40 | 19 | 23 | 24 | 20 | 16 | 23 | 19 | 23 | 21 |
| 5.8.1996 | 8.00 | 17 | 19 | 22 | 24 | 16 | 21 | 17 | 19 | 17 |
| 12.8.1996 | 14.20 | 16 | 21 | 22 | 26 | 14 | 22 | 16 | 23 | 25 |
| 19.8.1996 | 12.10 | 18 | 20 | 24 | 26 | 15 | 23 | 17 | 23 | 22 |
| 26.8.1996 | 12.15 | 16 | 17 | 21 | 23 | 15 | 19 | 15 | 19 | 16 |
| 2.9.1996 | 8.40 | 7 | 9 | 11 | 12 | 4 | 9 | 12 | 13 | 9 |
| 8.9.1996 | 9.25 | 17 | 19 | 18 | | | | 14 | 17 | 9 |
| 30.9.1996 | 15.40 | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 16 | 13 | 14 | 15 |
| 14.10.1996 | | 10 | 11 | 14 | 14 | 15 | 14 | 15 | 12 | 14 |
| 21.10.1996 | 12.00 | 15 | 15 | 14 | 14 | 17 | 19 | 16 | 21 | 22 |
| 29.10.1996 | | 10 | 10 | 11 | 9 | 13 | 16 | 12 | 17 | 13 |

MITTAUSLINJAT (2 KPL) JA MITTAUSPISTEET (9 KPL)

Mittausanturit kahdessa mittauslinjassa:

ML 1

1. Pohjoinen kylki 120 cm
2. Pohjoinen kylki 60 cm
3. Harja 120 cm
4. Harja 60 cm
5. Eteläkylki 120 cm
6. Eteläkylki 60 cm

ML 2

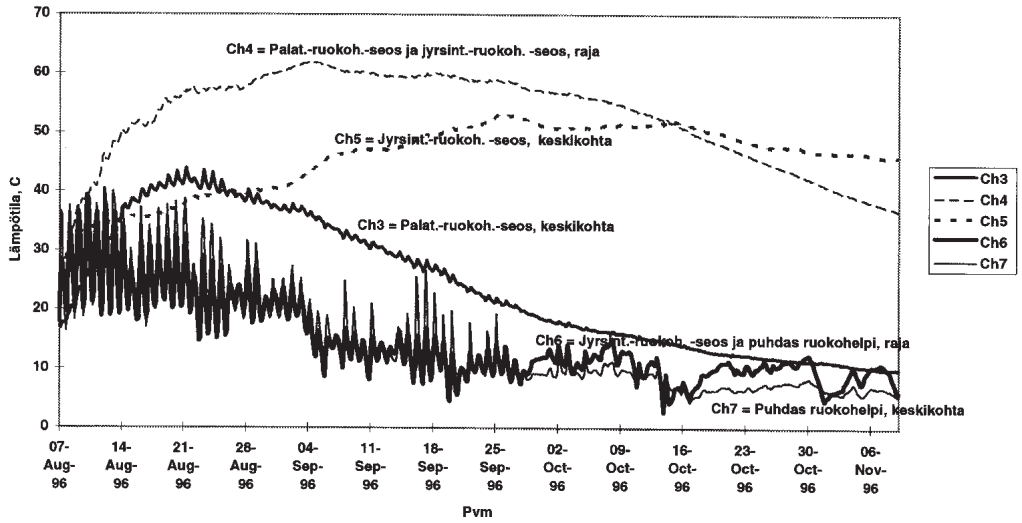
7. Pohjoinen kylki 60 cm
8. Harja 60 cm
9. Eteläkylki 60 cm

Polttoaineiden ominaisuudet neljältä eri tilalta irtokorjatusta ruokohelpisilpusta.

Näytteet on otettu tiloilta korjatuista kuormista ennen aumausta.

| Näyte | Tila 1 | Tila 2 | Tila 3 | Tila 4 |
|--------------------------|---------|--------|----------|--------|
| | Ylitalo | Mäki | Heikkilä | Teppo |
| Kosteus, % | 8,4 | 8,1 | 16,8 | 14,2 |
| Tuhkapit., % | 2,9 | 3,7 | 4,5 | 5,8 |
| Haihtuvat aineet, % | 79,9 | 80,3 | 79,9 | 78,3 |
| Kalor.lämpöarvo, MJ/kg | 19,6 | 19,2 | 19,2 | 18,7 |
| Teholl. lämpöarvo kuiva- | | | | |
| aineessa, MJ/kg | 18,3 | 18,0 | 17,9 | 17,5 |
| Teholl. lämpöarvo | | | | |
| saapumistilassa, MJ/kg | 16,6 | 16,4 | 14,5 | 15,3 |

ALAVUDEN RUOKOHELPI- JA TURVE-RUOKOHELPIAUMOJEN LÄMPÖILOJEN KEHITYMINEN 7.8. -
9.11. 1996



Ruokohelven tuotannossa käytettävien koneiden maatalouskäyttö. Ruokohelven korjuun kustannukset työvaiheittain. Korjatun sadon määrän vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin.

Kotieläintuotantoa harjoittava tila, jonka pinta-ala on 20 ha, ja josta:

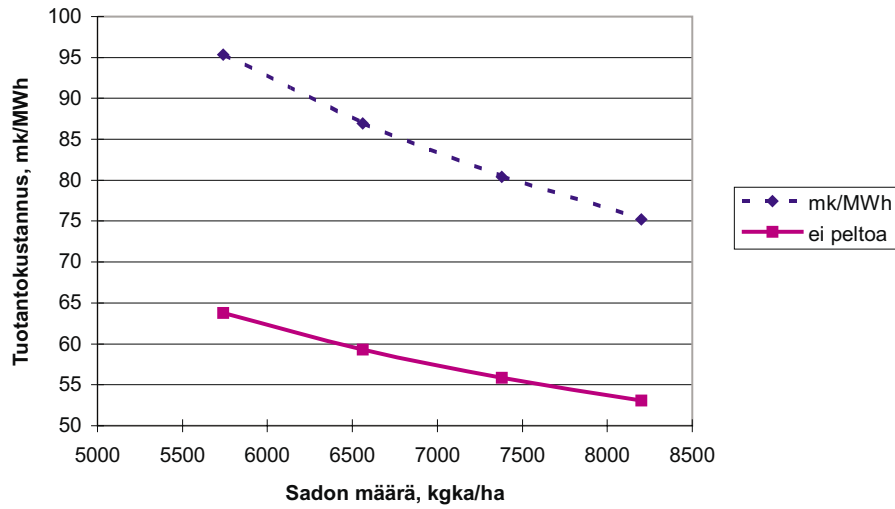
- 12 ha rehua - 9 ha tuorerehua
 - 3 ha kuivaheinää
- 8 ha viljaa - 4 ha suojaviljaa
 - 4 ha viljaa

Koneiden vuosittainen käyttö maataloudessa:

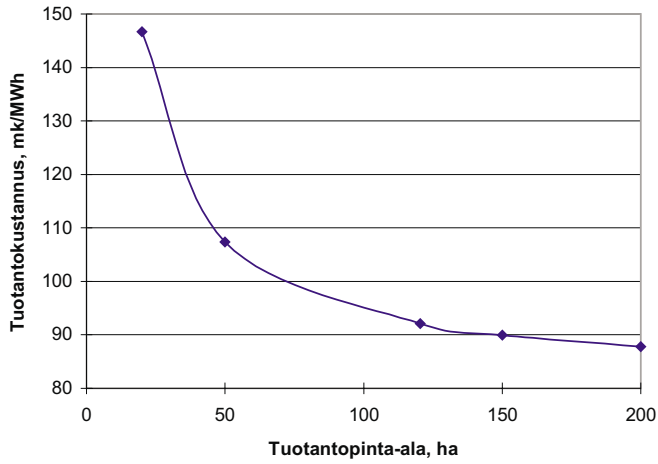
| | Ala, ha | Selitys |
|------------------------|---------|------------------------------|
| - Kyntö | 8 | vilja ja suojavilja |
| - Äestys | 8 | |
| - Kylvälannoitus | 8 | |
| - Jyrääminen | 8 | |
| - Kasvinsuoj.ruiskutus | 8 | |
| - Erillinen lannoitus | 21 | 2 tuorehusatoa ja kuivaheinä |
| - Niitto | 21 | 2 tuorehusatoa + kuivaheinä |
| - Pöyhintä | 6 | 2 kertaa kuivaheinälle |
| - Silppurointi | 18 | 2 satoa |
| - Rehukärri | 18 | 2 satoa |

Korjatun sadon määrän (tai jättämien pienentämisen) vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin

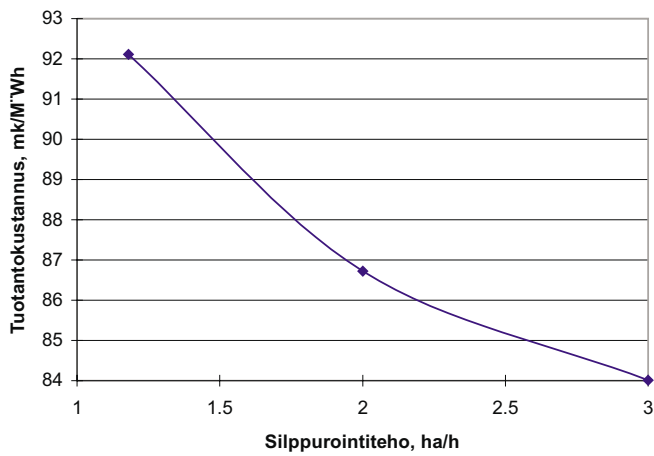
JF-900 -tarkkuussilppuri etukarhottimella.



Korjuuketjun tuotantopinta-alan vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin JF-900 -tarkkuussilppuri etukarhottimella.



Silppurointitehon vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin JF-900 -tarkkuussilppuri etukarhottimella.



Paalausmenetelmät korsibiomassojen korjuussa

Antti Suokannas¹⁾ & Matti Serenius¹⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Maatalousteknologian tutkimus, Maatalousteknologia, Vakolantie 55, 03400 Vihti. antti.suokannas@mtt.fi, matti.serenius@mtt.fi.*

”Uuden tehokkaan korjuumenetelmän ja tekniikan kehittäminen peltobiomassoille”-hankkeessa kehitettiin prototyyppi, jonka avulla biomateriaali voidaan pakata tiiviiksi paketiksi. Tavoitteena oli tehostaa pelto-biomassojen käsittelyä tuotantoketjun eri vaiheissa. Lisäksi selvitettiin ruokohelven korjuutekniikkaa, pääasiassa paalausmenetelmiä.

Materiaalin tiivistämisessä päädyttiin kaksivaiheiseen puristustekniikkaan, jossa käytetään alku- ja jälkipuristinta. Alkupu-ristimena on kovapaalain. Sen pienpaali on suorakulmainen, paalain on jatkuvatoiminen ja yleinen maatiloilla, joten sen jatkokohittely oli perusteltua.

Rakennettu prototyyppi on yksiakselinen ja kytketään kovapaalaimen tappioliitoksella. Kovapaalaimen esipuristettu, sitomaton biomassa siirtyy jälkipuristussyksikköön, jonka hydraulisyylintereillä materiaali puristetaan. Tämän jälkeen materiaali sidotaan. Paalin leveys on 0,5 m, korkeus 0,7 m ja pituus 1,0 m. Pellolla paalien kuutiopainot olivat 200–240 kg, paikalliskäytössä

240 kg (ruokohelven vesipitoisuus 10 %).

Korsibiomassojen korjuuseen soveltuvassa korjuuketjussa on kolme työvaihetta: niitto, paalaus sekä paalien keruu ja kuljetus. Ruokohelven kevätkorjuussa kasvusto niitetään niittomurskaimella ja paalataan pyörö- tai suurkanttipaalaimella. Tehokkaassa ketjussa paalit kerätään ja kuljetaan paalivaunulla.

Ruokohelven kevätkorjuukokeissa silpuavaa pyöröpaalainta käytettäessä koko korjuuketjun kuiva-ainetappiot olivat suuret, erityisesti silloin kun silpuavat terät olivat toiminnassa. Irtokorjuumenetelmän tappiot olivat selvästi pienemmät kuin paalausmenetelmien. Markkinoilla on pyörö- ja kanttipaalien kuormaukseen, kuljetukseen ja tyhjennykseen sopivia, tehokkaita paalivaunuja.

Markkinakatsauksen mukaan paalisilpurit voidaan jakaa maatalo- ja teollisuusmittakaavan koneisiin sekä yleiskäyttöön, lähinnä jätteiden murskaukseen, tarkoitettuihin laitteisiin.

Avainsanat: ruokohelvi, biomassa, sadonkorjuu, tappiot, paalaus, paalaimet

Baling methods in harvesting straw-like biomasses and the handling and chopping of bales

The aim of this research project was develop a prototype baler capable of producing bales with a higher density than those produced today. The handling and transportation costs of straw and hay to be used as fuel or for paper production would thus be reduced.

The starting point was to find the baler type that had the best capabilities to make very dense bales and that could easily be modified to demands. In the end we chose a two stage baling process to compact the biomass. The first compacting element is a small baler. The idea was to design and construct a second press linked behind the ordinary baler.

The prototype compactor bale is 1,0 m long, 0,5 m wide and 0,7 m high. In the trials weights of bales ranged from 200 kg to 240 kg.

In the reed canary grass harvesting trials in spring the total losses of dry matter were high with the round baler, especially when cutting blades were working. The total dry matter losses with the forage harvester were considerably lower than with baling methods.

According to a market survey, bale choppers and cutters can be divided into farm and industry-scale machines and into machines mainly used for crushing wastes.

Key words: reed canary grass, harvesting, biomass, hydraulic baler, round baling, harvesting losses

Alkusanat

Tutkimushanke, jonka nimi oli ”Biomassan tuotanto pelloilla ja turvesoilla sekä käyttö energian tuotantoon”, alkoi pääosin maa- ja metsätalousministeriön rahoittamana vuonna 1995. Vuonna 1997 hanke jatkui nimellä ”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi”. Tutkimukseen osallistuivat Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) kasvintuotannon ja maatalousteknologian tutkimusyksiköiden lisäksi VTT Energia ja Työtehoseura.

MTT:n maatalousteknologian tutkimuksen tavoitteena oli kehittää -paalaus-tekniikkaa, jonka avulla paalin tiheys saataisiin kasvamaan. Tämä alentaisi biomassan korjuu-, varastointi- ja kuljetuskustannuksia.

Ideoinnin ja suunnittelun pohjalta rakennettiin prototyyppi, joka oli kovapaalaimen perään kytkettävä jälkipuristin.

Pääosa prototyypille asetetuista tavoit-

teista saavutettiin, ainoastaan automaattisen sidontalaitteiston sovittaminen koneeseen epäonnistui. Prototyypin kehittämisen lisäksi keväällä 1996 ja 1997 vertailtiin eri paalausmenetelmiä ruokohelven korjuussa. Lisäksi kerättiin tietoa paalattun biomassan kuormaukseen, käsittelyyn ja silppuamiseen tarkoitetuista koneista ja laitteista.

Hankkeen vastuullisena tutkijana toimi agronomi, MMM Antti Suokannas. Insinööri Matti Serenius suunnitteli opinnäytetyönään paalaimen tekniikan. Lisäksi hän osallistui paalaimen rakentamiseen yhdessä mekaanikko Reino Mykkäsen ja mekaanikko Lippo Sundbergin kanssa. Tämän käsikirjoituksen tarkastamiseen osallistui tutkimusassistentti Risto Sinisalo. MTT:n maatalousteknologian tutkimus kiittää maa- ja metsätalousministeriötä ja Maatalouskoneiden tutkimussäätiötä tämän tutkimuksen edistämisestä.

Vihdissä 1. huhtikuuta 2000

Antti Suokannas
Tutkija

1 Johdanto

Peltobiomassojen käyttöä non food -tarkoituksiin on tutkittu runsaasti koko 1990-luvun useissa eri maissa. Kiinnostuksen kohteena ovat olleet peltobiomassojen käyttöominaisuudet, kuten uusiutuvuus ja mahdollisuus valmistaa biohajoavia tuotteita. Korsibiomassojen käyttö energiantuotannossa pitää kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin (CO₂) päästöt alhaisina. Samoin korsibiomassojen non food -käytön lisääminen monipuolistaa viljelyekosysteemiä ja tarjoaa viljelijöille uusia lisäansiomahdollisuuksia.

Aikaisemmin korsibiomassojen energiankäytön esteenä ovat olleet tuotannon korkea hinta, pienet tuotantoerät ja tästä johtuva toimitusten epävarmuus, sekä laadun epävakaisuus. Näitä tekijöitä tutkitaan kuitenkin aktiivisesti monissa maissa. Myös ilmasto, kulttuuri, teollisuudessa käytettävät teknologiat, verotus jne. vaikuttavat korsibiomassojen energiakäytön yleistymiseen.

Suomessa on perinteisesti käytetty runsaasti bioenergiaa, sillä 19 % (KTM 1999) maamme energiankulutuksesta katetaan bioenergialla. Koska Suomi edustaa Euroopan unionin äärialueita, meidän tulisi keskittyä tietotaidon lisäämiseen bioenergian tuotantoketjun eri vaiheissa.

”Agrokuidun tuotanto ja käyttö” -tutkimuksen korjuuteknologisessa osahankkeessa selvitettiin mm. eri korjuuketjujen soveltuvuutta ruokohelven korjuuseen. Tutkimuksen eri korjuuvaihtoehdoista paalausmenetelmä osoittautui parhaimmaksi jatkojalostuksen vaatimuksia ajatellen (Hemming et al. 1996).

Ruokohelven kevätkorjuussa niittovaihetta voidaan tehostaa kytkemällä traktorin taakse ja eteen niittomurskain, jolloin kokonaistyöveveys on 5,5–6,0 m. Varsinaisessa korjuuvaiheessa on kaksi vaihtoehtoa: irtokorjuu silppurilla tai paalaaminen. Tehokkaita paalausmenetelmiä ovat pyöröpaalain ja suurkanttipaalain, jotka molemmat voidaan tarvittaessa varustaa silppuavilla vastaterillä. Tällöin paalin tiheys kas-

vaa hiukan.

”Biomassan tuotanto pelloilla ja turvesoilla sekä käyttö energian tuotantoon” -tutkimuksessa kehitettiin myös uutta tehokasta korjuumenetelmää ja tekniikkaa korsibiomassalle.

Tähän MTT:n maatalousteknologian tutkimus pyrki kehittämällä paalausmenetelmää, jolla saataisiin tiheämpiä paaleja. Samalla menetelmällä voitaisiin alentaa korjuu-, varastointi ja kuljetuskustannuksia. Prototyypin lisäksi kevään 1996 aikana vertailtiin eri paalausmenetelmiä ruokohelven korjuussa.

Tavoitteena oli rakentaa maataloustraktoria voimanlähteenään käyttävä prototyyppi, jonka avulla biomassaa saataisiin mahdollisimman tiukaksi paaliksi. Tavoitteena oli 50 % nykyisten pyöröpaalaimien paaleja tiheämmät paalit eli ruokohelpeä paalattaessa tiheyden olisi oltava vähintään 200 kg/m³.

Prototyypin vaatimuksia olivat jatkuva toimintaperiaate, kohtuulliset varisemistappiot, kohtuullinen paino ja edullinen hinta.

Ruokohelven kevätkorjuussa 1996 vertailtiin eri korjuumenetelmiä. Mukana vertailussa oli kaksi paalausmenetelmää ja yksi irtokorjuumenetelmä. Tavoitteena oli selvittää korjuussa syntyviä tappioita ja paalien sekä silputun ruokohelven tiheyksiä. Kevään 1997 aikana tehtiin korjuukokeita myös kanttipaalausmenetelmällä.

Paalatun oljen ja heinän energiakäyttö polttolaitoksella edellyttää paalien silppuamista, kun peltobiomassaa sekoitetaan turpeeseen tai hakkeeseen. ”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” -tutkimushankkeessa MTT:n maatalousteknologian tutkimusyksikössä tehtiin kokeita yhdellä pyöröpaalisilppurilla. Lisäksi kerättiin aineistoa Euroopan markkinoilla olevista paalien silppuamiskoneista. Hankkeessa kerättiin myös tietoa paalien kuormauksesta, kuljetuksesta ja tyhjenyksestä eli käsittelystä pelloilta välivarastoon.

2 Kehittämistyön tausta

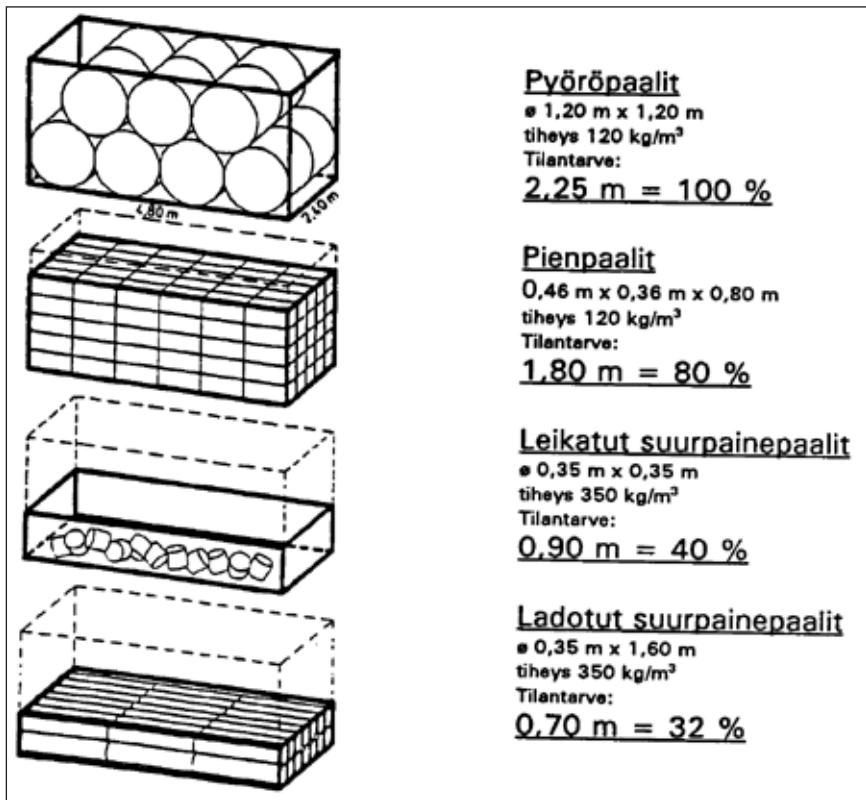
Paalaimen suunnittelu aloitettiin syyskuussa 1994. Sillä oli tarkoitus paalata ensisijaisesti ruokohelpeä ja olkea, mahdollisesti myös muita heinäkasveja.

Paalaimet haluttiin saavan käyttövoimansa maataloustraktorista ja sen avulla biomateriaali haluttiin pakata mahdollisimman tiiviiksi. Tämä vähentäisi sekä korjuu-, varastointi- että kuljetuskustannuksia. Edellä mainituista kustannuksista biomateriaalin kuljetus on merkittävä. Näin ollen siinä saavutettavat säästöt ovat erityisesti agrokuidun raaka-aineen, energiaheinän tai laatuheinän, tuotannossa huomattavia. Tämä johtuu siitä, että kuljetusmatkat voivat olla hyvinkin pitkiä verrattuna perinteisen heinäkorjuun kuljetusmatkoihin. Biomateriaalin tiiviin pakkaamisen merkitys on esitetty kuvassa 1.

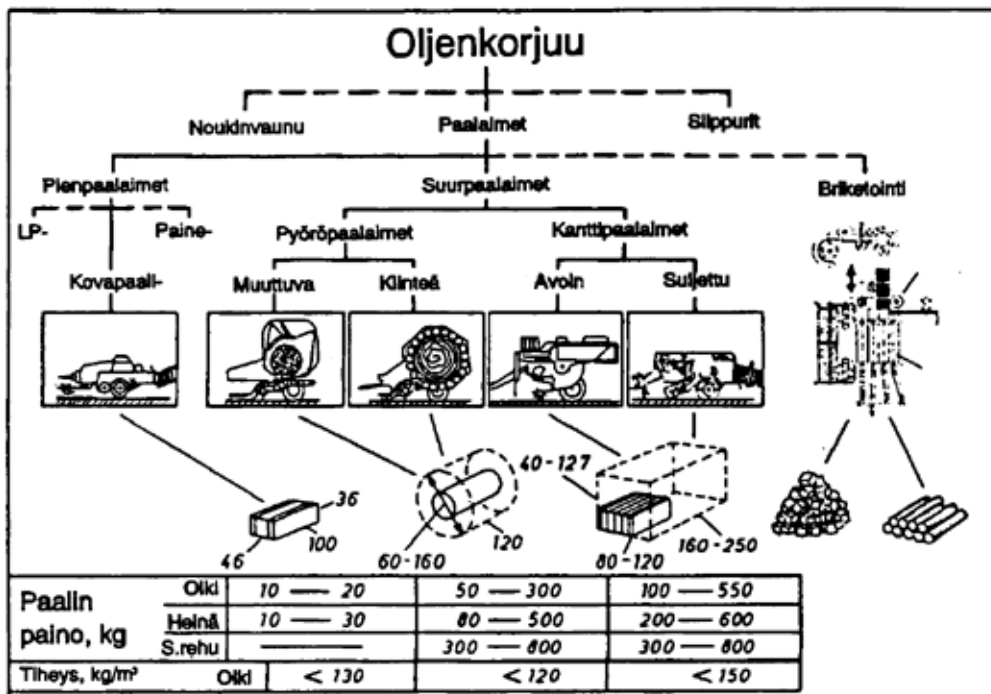
2.1 Nykyiset paalaimet

Nykyisin markkinoilla olevat paalaimet ovat kova-, pyörö- ja suurkanttipaalaimia. Kovapaalaimet olivat erittäin suosittuja Suomessa 1970-luvulla. Sen jälkeen on yleistynyt pyöröpaalain, joka muutti paalien käsittelyn täysin koneelliseksi. Pyöröpaalauksen yleistymiseen on vaikuttanut myös menetelmän käyttö säilörehun teossa.

1990-luvulla maahamme on tuotu muutama suurkanttipaalain, jonka toimintaperiaate on pitkälti sama kuin kovapaalaimen. Suurkanttipaalaimen paali on samannäköinen kuin kovapaalaimen, mutta se on isompi. Paalainten ominaisuuksia on esitetty tarkemmin kuvassa 2.



Kuva 1. Erimallisten paalien tilantarve (Matthies 1991 ref. Hemming 1992).



Kuva 2. Oljen ja heinän paalauksen ja briketoinnin vaihtoehdot (Busse 1991, ref. Hemming 1992).

2.2 Paalaimen kehittelyn vaatimukset

Paalaimen kehittelyn lähtökohdat olivat seuraavat:

- suuri työsaavutus kohtuullisella tehontarpeella
- kestävät ja tiukat paalit
- kohtuulliset korjuutappiot
- tilankäytön kannalta optimaaliset paalit
- jatkuva toimintaperiaate
- kohtuullinen paino
- kohtuullinen hinta.

2.3 Mahdolliset kehitettävät paalaimet

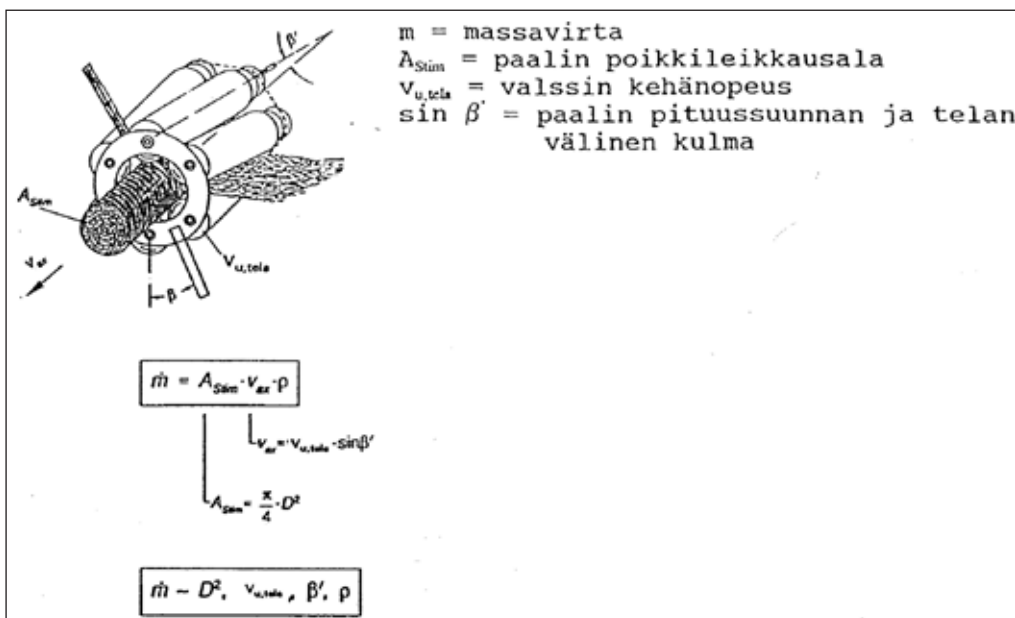
Paalainta suunniteltaessa malliksi valittiin paalaintyyppi, jolla saataisiin parhaiten tiiviitä paaleja. Lisäksi sen tulisi olla helposti ja yksinkertaisesti muunnettavissa halutunlaiseksi paalaimeksi.

2.3.1 Pyöröpaalain

Pyöröpaalaimella voi paalata halkaisijaltaan jopa 1,8-metrisiä paaleja. Paalien leveys on joko 1,2 m tai 1,5 m. Pyöröpaalaimet ovat tehokkaita työsaavutukseltaan, minkä takia niitä käytetäänkin paljon myös urakoinnissa. Suomessa säilörehun teko pyöröpaalimenetelmällä on vaikuttanut osaltaan merkittävästi urakoinnin yleistymiseen.

Pyöröpaalaimia on kahta tyyppiä: muuttuva- ja kiinteäkammioisia. Muuttuvakammioinen paalain puristaa noukkimelta tulevaa biomateriaalia heti paalin ytimestä alkaen. Puristavina elementteinä ovat joko hihnat tai ketjut. Muuttuvakammioisella paalaimella voidaan paalata halkaisijaltaan erikokoisia paaleja.

Kiinteäkammioisessa paalaimessa biomateriaali puristetaan telojen avulla halkaisijaltaan vakiokokoisessa kammiossa. Kiinteäkammioisen paalaimen paalin keskiosa on löysempi verrattuna muuttuva-



Kuva 3. Biomassan puristamiseen vaikuttavat tekijät suurpainepaalaimessa.

kammioisen paalaimen paaliin, mutta ulkokehä voi olla puolestaan hiukan sitä tiiviimpi. Lisäksi kiinteäkammioisen paalaimen rakenne on hiukan yksinkertaisempi kuin muuttuvakammioisen paalaimen.

On vaikeaa kehittää sellaista pyöröpaalainta, joka paalaisi entistä tiiviimpiä paaleja. Tämä johtuu siitä, että paalainta jouduttaisiin tällöin vahvistamaan niin paljon, että siitä tulisi liian painava. Samalla paalaimen tehontarve kasvaisi. Lisäksi pyöreä paali on tilankäytön kannalta huono.

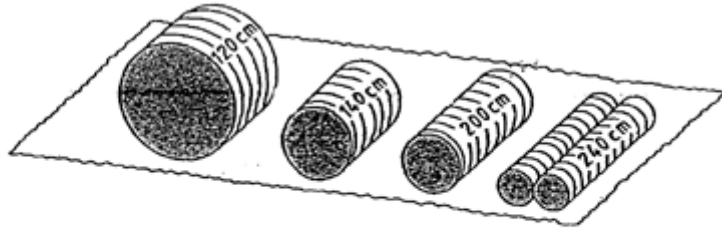
2.3.2 Suurpainepaalain

Saksassa kehitetyn suurpainepaalaimen (Kuva 3) ensimmäinen prototyyppi teki halkaisijaltaan 25–40 cm:n paaleja. Paalin pituutta voitiin säätää portaattomasti. Paalin tiheys vaihteli 300–400 kg/m³, minkä lisäksi laitteen etuna oli myös jatkuva toimintaperiaate ja alhainen energiankulutus. Paalaimen jatkokehittäelyssä paalin halkaisijaa on kasvanut, jolloin paalin tiukkuus on vähentynyt (Kuva 4)(Wesche 1992).

2.3.3 Suurkanttipaalain ja kovapaalain

Suurkanttipaalaimen paali on suorakaiteen muotoinen, leveys ja korkeus riippuvat paalainmerkistä ja -mallista. Paalin pituus on yleensä portaattomasti säädettävissä noin 1,2–2,5 m. Paalit ovat tilankäytön kannalta hyvinmallisia, mutta tälläkään paalaimella ei päästä riittävän suuriin tiheyksiin. Suurkanttipaalain (Kuva 5) on myös erittäin raskarakenteinen ja kallis. Paalaimen kustannusten kuolettaminen edellyttääkin sen käyttöä urakointiin.

Myös kovapaalaimen paalit ovat suorakaiteen muotoisia, mutta ne ovat kooltaan huomattavasti suurkanttipaalaimen paaleja pienemmät. Paalin leveys on 0,35–0,5 m, korkeus 0,3–0,45 m ja pituus 0,8–1,2 m. Kovapaalain on huomattavasti edullisempi kuin suurkanttipaalain. Kovapaalaimia myytiin VAKOLA:n tilastojen mukaan 1980-luvulla 13 009 kappaletta ja 1990-luvulla 966 kappaletta. Vaikka pyöröpaalaimia on myyty vuodesta 1991 lähtien enemmän kuin kovapaalaimia, maataloilla niitä on vielä käytössä.



| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Halkaisija: | φ 120 cm | φ 80 cm | φ 60 cm | φ 35 cm |
| Tiheys: | 120 kg/m ³ | 240 kg/m ³ | 280 kg/m ³ | 350 kg/m ³ |
| Kokonaispaino: | 163 kg | 158 kg | 163 kg | 162 kg |
| Paino leveyttä kohti: | 136 kg/m | 117 kg/m | 82 kg/m | 34 kg/m |

Kuva 4. Halkaisijaltaan eri kokoisilla suurpainepaalaimilla paalattujen olkipaalien ja pyöröpaalien vertailu (Wesche 1992).

Kova- ja suurkanttipaalaimet ovat jatkuvatoimisia, mikä tarkoittaa sitä, että niitä ei tarvitse pysäyttää sidonnan ajaksi kuten pyöröpaalaimia. Kovapaalaimen pienpaalin suorakulmainen muoto, paalainten yleisyys maataloilla ja jatkuvatoimivuus vaikuttavat osaltaan siihen, miten helposti paalaimesta voidaan kehittää tiheysvaatimukset täyttävä laite.

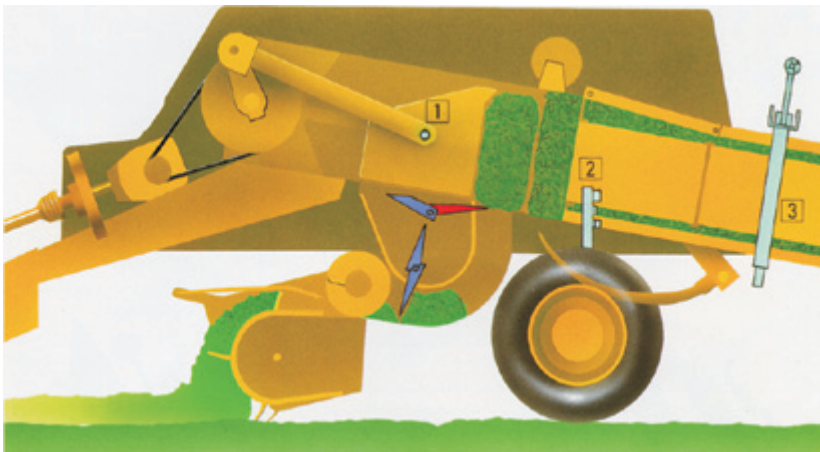
2.3.4 Briketointi ja pelletointi

Briketointi on jauhomaisen, murskatun tai silputun materiaalin tiivistämistä pieneksi

palaksi. Briketit ovat sylinterin muotoisia ja niiden halkaisija vaihtelee 20–60 mm:n välillä. Briketoinilla voidaan saavuttaa suuri tiheys, mutta toisaalta se on kallista. Lisäksi briketoitavan materiaalin on oltava kuivaa, mikä rajoittaa korjuuaikaa.

Pelletti on puolestaan brikettiä pienempi. Myös pelletointi on kallista suuren energiatarpeen takia. Pellettoitaessa biomateriaalin kosteuden on oltava 10–12 % ja kosteusalue on vielä kapeampi kuin briketoinnissa. Lisäksi raaka-aine on silputtava lähes jauhoksi, alle 20 mm:n pituuteen (Wilen & Ståhlberg 1983).

Pelletointi- ja briketointilaitteet vaati-



Kuva 5. Suurkanttipaalaimen toimintaperiaate.

vat suuria tehoja, mikä nostaa niiden kustannuksia. Kun lisäksi laitteiden vaatima kapea kosteusalue rajoittaa korjuuajankoh-
taa ja siten myös niiden urakointikäyttöä, päätettiin briketointi ja pelletointi hylätä tässä tutkimuksessa.

2.4 Ruokohelven ja oljen tiivistäminen

Ruokohelpi tiivistyy puristettaessa hiukan olkea helpommin. Samoissa olosuhteissa olki laajenee 5–10 % enemmän kuin yhtä kuiva heinä. Tiivistämiseen vaikuttaa puristettavan materiaalin lisäksi myös materiaalin kosteus, silpun pituus ja mekaaninen esikäsitely.

Nykyiset paalaimet aiheuttavat tiivistettävälle materiaalille 100–1000 kPa:n pintapaineen, joka sekun on jo melko suuri. Mikäli tavoitteena olisi kaksi kertaa tiheämmät paalit, pintapaine olisi kaksinkertais-
tettava. Tämä ei käytännössä ole mahdollista ainakaan nykyisillä paalaimilla, koska paalainten rungot on mitoitettu pienempien voimien mukaan. Voiman lisääminen kasvattaa nimittäin myös tehonkulutusta samassa suhteessa.

2.5 Paalaimen puristusvoiman lähde

Biomateriaalin puristamiseen käytettävä pintapaine saadaan siten, että jaetaan käytettävä voima puristavan männän pinta-alalla. Koska puristettavaan materiaaliin kohdistuvaa pintapainetta olisi saatava huomattavasti lisää, on joko voimaa kasvatettava tai puristavan männän pinta-alaa pienennettävä. Paaleista olisi kuitenkin saatava isokokoisia, joten puristavan männän pinta-alaa ei voi paljoakaan pienentää. Vaihtoehtoksi jää siten puristusvoiman kasvattaminen.

Puristusvoiman lähteenä on mahdollista käyttää joko traktorin mekaanista ulosoton energiaa tai traktorin hydraulipumpun

tuottamaa hydraulienergiaa. Mekaanista voimanlähdetä käytetään yleisesti nyky-
paalaimissa. Voima siirretään traktorin ulosoton kautta paalaimelle, jossa se pyörittää noukinta ja paalaintyyppin mukaan joko puristusteloja, -ketjuja tai puristavaa määntämekanismia. Paalaimissa on käytetty hyvin vähän hydrauliiikkaa, mutta sen avulla saatavien suurien voimien johdosta tässä tutkimuksessa päätettiin käyttää tiivistämiseen hydraulisylinereitä.

2.6 Riskit tavoitteiden saavuttamiselle

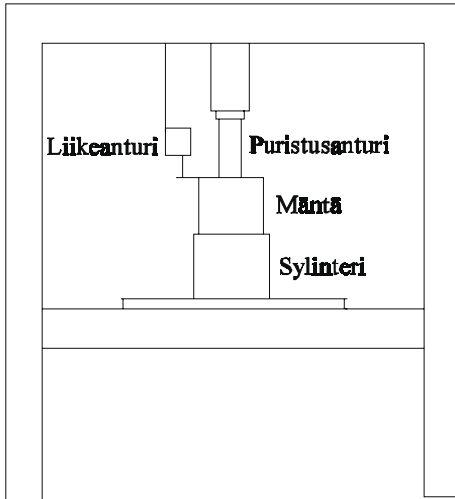
Kaikkien kehitystyölle asetettujen tavoitteiden saavuttaminen on vaikeaa, sillä ne menevät osittain ristiin. Kone ei saisi tulla nyky-
paalaimia painavammaksi, mutta sen pitäisi silti kestää lähes kaksinkertaisia voimia. Samalla myös koneen tehontarpeen pitäisi pysyä kohtuullisena.

Paalin sidontamateriaalin osalta on otettava huomioon, että muovilankaa tai verkkoa ei voida käyttää kuten yleensä nyky-
paalaimissa, koska selluseoksessa oleva muovi aiheuttaa reikiä valmistettavaan paperiin. Paalien sitomiseen käytetään joko metallista pakkausvannetta tai metalliverkkoa. Pakkausvanteen käyttäminen on kuitenkin haastavaa.

Paalaimen kehittelyn tavoitteena oli alentaa kuitu- ja energiaheinän tuotanto-
kustannuksia. Suunnittelun ehdoksi asetettiin tässä vaiheessa se, että paalaimen rakenteen oli pysyttävä mahdollisimman yksinkertaisena ja edullisena. Koneen myyntihinnan tulisi jäädä alle 100 000 markan.

3 Aineisto ja menetelmät

Paalaimen kehittämisessä voidaan hyödyntää monia laitteita, sillä erityyppisiä paalaimia on valmistettu teollisesti jo useita kymmeniä vuosia. Suunnittelun alkuvaiheessa



Kuva 6. Puristuskokeiden mittausjärjestely.

tutustuttiin aineistoon ja yritettiin saada uusia ideoita vanhoista paalaimista. Paalaimia ovat kehittäneet merkittävästi mm. amerikkalaiset ja saksalaiset valmistajat.

3.1 Lähdekirjat

Taustatietoa etsittiin kirjallisuudesta ja eri paalainvalmistajien esitteistä. Paalainvalmistajien kirjoista erityisen maininnan ansaitsee John-Deeren julkaisu, Hay and Forage Harvesting (Hathaway & Riney 1987). MTT:n maatalousteknologian tutkimusyksikössä (VAKOLA) on tehty paalainkoetuksia, joissa on testattu eri paalainmalleja, joten niistä oli tarjolla myös puolueetonta tietoa.

Uusinta tietoa paalaimista löytyi kansainvälisistä ammattilehdistä.

Tutkimusta varten tehdyssä kirjallisuusselvityksessä saatiin tietoa siitä, minkälaisia koneita eri tutkimuslaitoksissa kehitetään korsiimassan tiivistämiseen.

Paalaimia koskevia teknisiä ratkaisuja etsittiin myös patenti- ja rekisterihallituksesta. Lisätietoa paalaimen hydrauliiikan suunnitteluun tuli komponentteja valmistavien ja myyvien yritysten esitteistä, joissa kerrottiin hydrauliiikkasyylinteristä ja vent-

tiilityypeistä. Paalin sidontaan tarvittavaa tietoa löytyi sidontanarua ja -verkkoa sekä pakkausvanteita valmistavista yrityksistä. Lisäksi eri vaihtoehtoja selvitettiin vierailemalla pakkausalan messuilla.

3.2 Puristuskoelaitteisto ja -tulokset

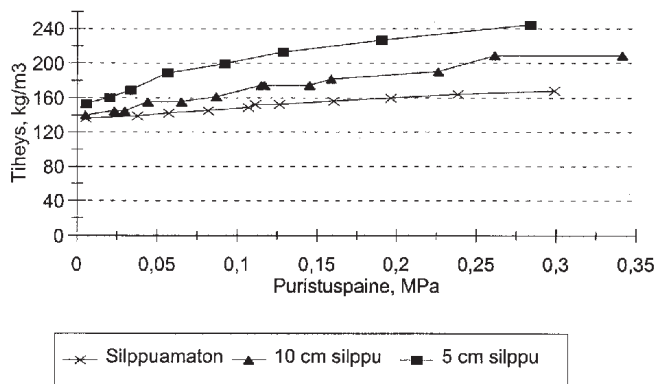
Paalaimen mitoittaminen edellyttää, että korsiimassan puristamisessa tarvittavat voimat tunnetaan. Tätä varten laboratoriossa tehtiin ruokohelven ja oljen puristuskokeita. Näissä kokeissa selvitettiin, miten puristusvoima vaikuttaa korsiimateriaalin tiheyteen. Samalla selvitettiin myös korsiimateriaalin silppuamisen vaikutusta tiheyteen.

Oljen ja ruokohelven puristamiskokeet tehtiin kuvan 6 mukaisella laitteistolla. Mittausdata tallennettiin LABTECH-NOTEBOOK ohjelmalla. Puristusmatka mitattiin Unimeasure P-20A -liikeanturilla ja puristusvoima HBM:n 10 kN -puristusanturilla.

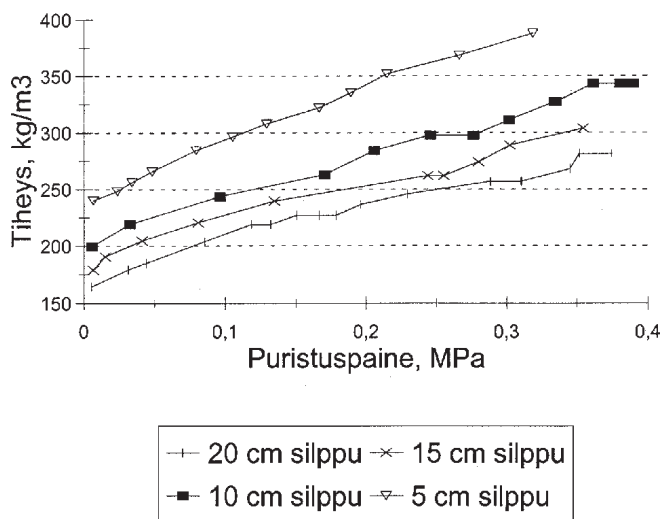
Ensimmäiseksi tarkistettiin anturien kalibrointi. Seuraavaksi mittausohjelma muokattiin kokeen edellyttämäksi. Materiaalin puristamista varten rakennettiin HR-putkiteräksestä sylinteri ja mäntä. Itse puristamiseen käytettiin hydraulisyylinteriä, jonka liikettä säädettiin käsikäyttöisellä vivulla.

Oljen puristuskokeiden tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että ohran olki ei ollut irto-olkea vaan kovapaalattua olkea. Täten tulokset ovat hiukan optimistisempia eli olki on todennäköisesti tiivistynyt hiukan enemmän kuin irto-olki. Lisäksi männän ja sylinterin välinen kitkavoima on hyvin pieni, joten se ei vastaa käytäntöä. Myös puristusaika on pitempi verrattuna esimerkiksi kovapaalaimen tiheäskuiseen männään.

Puristettavat olkierät oli ryhmitelty oljen pituuden mukaan. Yksi erä oli silppuamatonta eli noin 20 cm pitkä, toinen erä oli silputtu 10 cm:n pituuteen ja kolmas 5 cm:n pituuteen. Olkea puristettiin neljä kertaa. Ensimmäinen puristus oli 0–0,12 MPa, toinen 0–0,18 MPa, kolmas 0–0,24



Kuva 7. Puristusaineen vaikutus oljen tiheyteen eri silppupituuksilla.



Kuva 8. Puristusaineen vaikutus ruokohelven tiheyteen eri silppupituuksilla.

MPa ja neljäs 0–30 MPa. Jokaisen puristuksen jälkeen olki sai laajentua vapaasti 8B10 sekunnin ajan, minkä jälkeen se puristettiin uudelleen. Oljen kosteuspitoisuus oli 17 %.

Kuvassa 7 on esitetty neljännen puristuksen vaikutus oljen tiheyteen. Kuvasta nähdään, että paineen lisäys on kohottanut melko lineaarisesti oljen tiheyttä. Samoin oljen silppuaminen on lisännyt sen tiivistymistä. Kun puristusaine on 0,2 MPa, silppuamattoman oljen tiheys on 160 kg/m³. Vastaavassa paineessa 10 cm:n olkisirppu tiivistyy 185 kg/m³ ja 5 cm:n sirppu 230 kg/m³ tiheyteen. Lyhyt, 5 tai 10 cm:n, sirppu ei enää puristuksen jälkeen pysy kasassa, mutta sen sijaan 20 cm:n sirppu pysyy kohtalaisesti yhtenä ”kakkuna”.

Ruokohelpinäytteet puristettiin vastaavalla tavalla kuin olkinäytteet. Näytteitä oli neljä erää jaoteltuna sirppun pituuden mukaan: ensimmäinen erä 20 cm, toinen 15 cm, kolmas 10 cm ja neljäs 5 cm pitkää. Ruokohelpeä puristettiin neljä kertaa kuten olkeakin. Neljännen puristuskerran maksimipaine oli 30 MPa. Ruokohelven kosteuspitoisuus oli 16,1 %. Puristettava ruokohelppi oli kehitysasteeltaan vanhaa, joten materiaali oli hyvin korsipitoista.

Kun ruokohelppi on 20 cm pitkää ja puristusaine on 0,2 MPa, materiaalin tiheys on 236 kg/m³ (Kuva 8). Ruokohelven ollessa 5 cm pitkää ja puristusaineen 0,2 MPa, tiheys on 340 kg/m³. Näin materiaalin silppuaminen 5 cm:n mittaiseksi lisää tiheyttä

tiivistettäessä noin 44 % pitkään silppuun verrattuna. Samoin kuin olkikin, lyhyt, 5 tai 10 cm:n ruokohelpisilppu ei pysy kasassa puristuksen jälkeen.

3.3 Ideoidut paalintyytit

Paalainta suunniteltaessa ei ollut heti selvää, minkälaista korsimassan puristukseen käytettävää paalainta tarvittaisiin. Hankkeen tavoitteet olivat selvillä, mutta mahdollisuudet niiden toteuttamiseen olivat hieman epäselvät. Aluksi ideoitii erilaisia paalintyyppijä, joista kuitenkin vasta kolmas oli sopiva.

3.3.1 Rullapaalain

Aluksi ajateltiin kehittää saksalaisten suurpaineapaalainta muistuttava paalain. Se tekee halkaisijaltaan 25–40 cm:n paaleja, joiden pituutta voi säätää portaattomasti. Paalain olisi toiminut siten, että sen pyörivissä teloissa olisi ollut tavallaan vasenkätinen kierre. Samalla kun materiaalia syötettäisiin paalaimen, se työntäisi valmista paalia ulos paalaimen päädyistä.

Paalaimen kehittäminen päätettiin kuitenkin lopettaa, koska sillä saadaan riittävän suuri korsimassan tiheys vain halkaisijaltaan noin 30 cm:n paaleilla. Paalin halkaisija on pieni ja paalin pituus alle 3 m, jotta paalit pysyvät ehjinä käsiteltäessä. Tämän vuoksi paalien määrä hehtaaria kohti kasvaa liian suureksi (n. 100–120 kpl/ha).

3.3.2 Suurkanttipaalain

Toinen idea oli rakentaa paalain, jolla paalattaisiin suorakaiteenmuotoisia, tilavuudeltaan n. 0,7 m³:n paaleja. Paalain olisi toiminut siten, että noukin siirtäisi biomassan silppurin kautta puristumännän alle. Puristumäntää liikuttaisi suuri hydraulisyylinteri, joka tekisi edestakaista liikettä paineella suuntaa vaihtavan hydraulikka-venttiilin ohjaamana.

Suurkanttipaalainta suunniteltiin jomelko pitkälle, kunnes se päätettiin kuitenkin hylätä. Syynä oli se, että epäiltiin korsibiomassan vaativan esipuristuksen ennen varsinaista puristusta, jotta se tiivistyisi riittävän tiukalle. Tämän paalaimen huonona puolena olisi ollut myös painavuus ja korkeus. Lisäksi koneen valmistuskustannukset olisivat nousseet liian suuriksi.

3.3.3 Hydraulipaalain

Kolmas idea oli rakentaa perinteisen kovapaalaimen perään erikseen kytkettävä puristussyksikkö, jossa kovapaalaimen läpi ajettu korsibiomassa puristettaisiin mahdollisimman tiukaksi paketiksi hydraulisyylintereillä. Jälkipuristussyksikkö kulki omilla pyörillään ja olisi kiinnitetty kovapaalaimen taakse tappiliitoksella. Perinteinen kovapaalain toimisi materiaalin esipuristajana ja silppuasi samalla hiukan materiaalia. Tämä idea vaikutti toimivalta ja sitä päätettiin kehittää prototyyppeasteelle asti.

Paalaimen on tarkoitus toimia siten, että materiaali paalataan kovapaalaimella mahdollisimman tiukaksi, mutta jätetään se sitomatta. Näin paalattu biomassa siirtyy paalaimen perään kytkettyyn jälkipuristussyksikköön, jonka hydraulisyylintereillä materiaali puristetaan tiukaksi. Sen jälkeen puristettu materiaali sidotaan esimerkiksi pakkausvanteilla. Paalaimen hydraulisyylintereitä ohjataan traktorin kaksitoimisella hydrauliventtiilillä. Paalaimessa oleva hydraulikkajärjestelmä ohjaa hydraulisyylintereiden toimintaa. Ohjaamosta käsin on valittava vain se, ohjataanko hydraulikka paalaimen puristussyylintereille vai sulkuportille sekä ajetaanko sylintereitä työntö- vai paluusuuntaan. Paalaimen sidontamekanismia ei vielä tuolloin suunniteltu, koska ensin päätettiin rakentaa paalain muuten valmiiksi ja kokeilla sitä. Tällöin nähtäisiin, saavutetaanko sillä haluttu paalin tiheys.

3.4 Hydrauliiikan suunnittelu ja mitoitus

Paali puristetaan hydraulisyntereillä, joiden koko määritettiin koepuristuksissa saatujen tulosten perusteella. Sylinterit mitoitettiin hiukan suuremmiksi kuin koetulosten perusteella olisi tarvinnut, koska tulosten epäiltiin olleen liian optimistisia.

Sylinterien valintaa vaikeutti se, että sylinterit (2 kpl) joutuvat puristamaan veto liikkeenä, jolloin sylinterissä ei ole niin paljon voimaa. Kun sylintereitä ei voitu sijoittaa siten, että ne olisivat tehneet puristuksen työntöliikkeenä, tilattiin erikoissylinterit mittatilaustyönä. Sylintereihin tehtiin standardisyntereitä ohuempi männänvarsi, jolla saatiin aikaan suurempi voima sylinterin vetoliikkeessä. Sylinterien liikkeiden nopeuttamiseksi sylinterien paluupuolen hydrauliiikkaa ohjataan differentiaalikytkennällä. Differentiaaliventtiili ohjaa paluulöljyn suoraan sylinterien männän taakse.

Paalaimen muu hydrauliiikka on toteutettu 1-suuntaventtiilillä ja 2-seuranta-venttiilillä. Traktorilta tuleva tilavuusvirta ohjataan suuntaventtiilillä joko paalaimen sulkuluukulle tai puristussyntereille. Seuranta-venttiilit ohjaavat sylinterien toiminnan siten, että ensin puristusmäntä painuu paalikammioon ja vasta sen jälkeen liikkuvat puristussynterit. Vastaavasti paluuliikkeessä ensin nousee puristusmäntä paalikammion ja vasta sitten alkaa paluuliike.

4 Tulokset ja niiden arviointi

Hankkeelle asetetut tavoitteet olivat erittäin haastavat. Paalaimen etuna on kovapaalaimen hyödyntäminen, mikä alentaa kustannuksia ja tekee paalaimesta kevyemmän ja yksinkertaisemmän. Myös paalaimen toimiminen hydrauliiikalla on etu, sillä näin paalaimen liikkeet ovat tasaisemmat. Samalla voidaan hyödyntää sekä traktorin

hydrauliiikkaa että ulosoton mekaanista voimaa.

4.1 Tavoitteiden saavuttamisen mahdollisuudet

Paperilla paalain täyttää lähes kaikki sille asetetut tavoitteet. Paalit ovat suorakaiteen muotoisia, kovapaalain aiheuttaa kohtuulliset noukinta- ja varisemistappiot. Hydraulisyntereiden voiman pitäisi riittää suuriinkin tiheyksiin, eikä koneen paino ylitä 1000 kg:a. Myös koneen tehontarve pysynee kohtuullisena, tosin se ylittää reippaasti kovapaalaimen tehontarpeen.

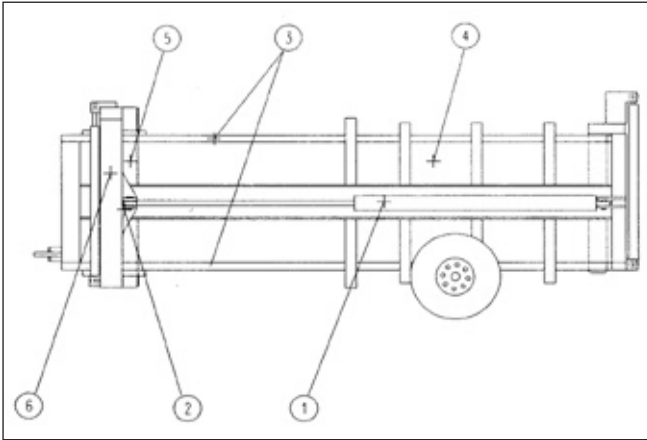
Koneen valmistuskustannukset ovat myös kohtuulliset ja jäävät varmasti alle ylärajan. Kone on toiminnaltaan yksinkertainen, eikä kaipaakaan käyttäjältään suuria huoltotoimenpiteitä. Kone on myöskin helppo valmistaa ja se onnistuu melkein jokaisessa konepajassa ilman mitään erikoistyökaluja.

Paalaimen mahdollisia ongelmakohtia ovat:

- paalikammion täyttyminen
- jatkuvatoimivuus
- paalin sidonta.

Paalikammion tasainen täyttyminen saattaa aiheuttaa ongelmia. Kovapaalaimelta tuleva materiaalivirta ei välttämättä täytä kammiota tasaisesti, koska takana oleva puristuskammio on tilavuudeltaan kolme kertaa kovapaalaimen kammion suuruinen. Materiaalivirta saattaa myös pyrkiä pursuamaan ohjaimistaan maahan ilman, että se menee ollenkaan hydraulipaalaimen paalikammioon. Näin voi käydä varsinkin silloin, kun kammio alkaa täyttyä.

Puristussynterit ovat hydraulipaalaimessa suuria ja sitä kautta myös liikkeiltään hitaita, joten ne rajoittavat heinän syöttömäärää paalaimen. Jos paalaimella ajetaan jatkuvasti, saatetaan sen ajonopeutta joutua laskemaan n. 5 km/h. Tämä on kuitenkin paalaimen urakointikäytössä liian hidas



Kuva 9. Lujuuslaskukohdat (Serenius 1995).

ajonopeus.

Paali joudutaan sitomaan joko metalliverkolla tai metallisella pakkausvanteella. Tällaisia sidontamenetelmiä ei ole paalaimissa valmiina, eivätkä teollisuuden käyttämät pakkaussysteemit ainakaan suoraan sovi tähän paalaimen. Sidonta pakkausvanteella on melko kallista, sillä se on paljon muovinarua kalliimpaa.

4.2 Lujuuslaskut

Lujuuslaskut on tehty Mathcad-ohjelmalla käyttäen lujuusopinkirjan ja -taulukoiden laskukaavoja. Laskujen (Kuva 9) valinnassa on keskitytty niihin kohtiin, joihin kohdistuu suurin rasitus. Laskuissa käytetty maksimivoima on sylinterien suurin puristusvoima, joka traktorin hydraulikkapaineella saadaan aikaan. Paalain on pyritty mitoittamaan siten, että maksimijännitykset eivät ylittäisi rakenneteräksille asetettuja sallittuja jännityksiä tykyttävällä kuormitustyyppillä. Laskut on tarkastettu palkkien laskuun tarkoitettulla kehäohjelmalla ja tulokset olivat ohjelman kanssa yhtäpitävät.

Paalaimen valmistusmateriaalina käytetään yleisiä rakenneteräksiä joko Fe 360:tä tai Fe 510:tä, paikan vaatiman lujuuden mukaan. Suunnittelussa on pyritty valitsemaan materiaalit siten, että koneen paino ei olisi suuri ja materiaalit olisivat mitoiltaan ja muodoiltaan yleisesti käytettyjä rakenne-

teräksiä. Lujuutta ei ole pyritty kasvattamaan seinämän paksuudella vaan palkkien muodoilla.

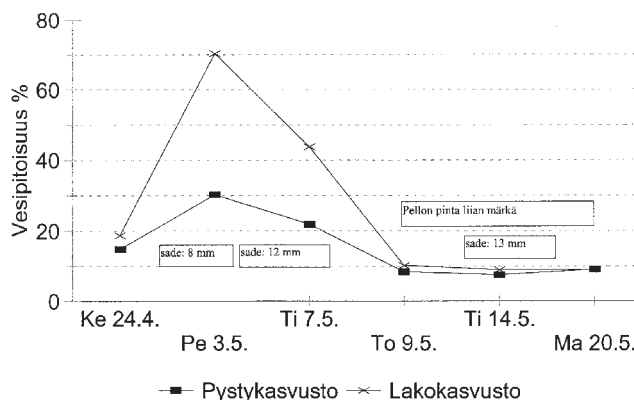
4.3 Koneen käyttömahdollisuudet

Jos paalaintyyppi toimii, sitä olisi mahdollista käyttää sekä energia- että agrokuitubiomassan paalauksessa. Paalain toimisi tavallisen kovapaalaimen lisänä, mikä mahdollistaisi suuren pakkaustiheyden. Kone sopisi hyvin urakointikäyttöön. Koneetta voisi käyttää varastorakennuksessa ns. paikalliskäytössä irtotavarana latokuivatun laatuheinän tiivistämiseen. Paalain tarvitsee kovapaalaimen rinnalleen, mutta tämä ei lisää vaan pikemminkin säästää kustannuksia, koska kovapaalaimia on maatiloilla paljon. Pelkän jälkipuristussyksikön kustannukset ovat varmasti myös paljon pienemmät kuin koko paalaimen.

4.4 Koneen testaus

Paalaimen prototyyppi valmistui kesällä 1995 ja sitä testattiin aluksi paikalliskäytössä sekä myöhemmin syksyllä 1995 oljen korjuussa. Sidonta ei siinä vaiheessa ollut mahdollista paalaimella, sillä laitteen haluttiin aluksi täyttävän muut sille asetetut tavoitteet.

Paikalliskäytössä eli varastorakennuk-



Kuva 10. Kasvuston vesipitoisuuden kehittyminen Vihdissä keväällä 1996.

nessa ruokohelpeä paalattaessa saavutettiin jopa 240 kg:n kuutiopaino (ruokohelven vesipitoisuus 10 %). Koepaalien kuutiopainot vaihtelivat 200 kg:sta 240 kg:aan sen mukaan, kuinka monta kertaa niitä puristettiin prototyypillä. Paalien käsin sidonta oli erittäin hankalaa. Eri sidontaratkaisusta kokeiltiin mm. muovi- ja teräsvanteita erilaisin liittimin sekä erikokoisia teräslankoja.

5 Peltobiomassan korjuutekniikka

MTT:n maatalousteknologian tutkimuksessa on tehty aiemmin korjuuteknisiä kenttäkokeita vuosina 1993–1995. Vuoden 1993 kokeissa selvitettiin niitto- ja murskausmenetelmien sekä pöyhinnän vaikutusta kasvuston kuivumiseen, lehti-korjusi-suhteeseen ja satotappioihin (Hemming et al. 1996).

Kesän 1994 kenttäkokeissa tutkittiin pyöröpaalausmenetelmän aiheuttamia tappioita, kun osa ruokohelvestä paalattiin kosteampana latokuivuriin ja loput luokoivana.

Ensimmäiset ruokohelven kevätkorjuukokeet tehtiin toukokuussa 1995. Niissä vertailtiin eri menetelmiä ja selvitettiin eri työvaiheiden tappiot (Hemming et al. 1996).

Vuoden 1996 keväällä vertailtiin eri

paalausmenetelmien käyttöä ruokohelven kevätkorjuussa.

5.1 Menetelmät

Kenttäkoe oli 3,95 ha:n Hallintaus-pelto-lohkolla, johon ruokohelpikasvusto oli perustettu 1993. Kenttäkokeen kartta on liitteenä 2. Koeruutuja oli 12 ja niiden koko oli 690 m²

(9,2 m × 75 m). Korjattu sato oli kolmannen kasvukauden, eli toisen tuotantovuoden sato. Vuonna 1995 kasvustoon oli levitetty 40 kg N/ha. Kenttäkoe tehtiin 20.–22. toukokuuta 1996. Sää oli korjuujakson aikana hyvä: päivälämpötila oli 14–19 °C ja ilman suhteellinen kosteus 58–65 %.

Ennen korjuuta seurattiin kasvuston vesipitoisuutta (Kuva 10). Kokeet aloitettiin 20. toukokuuta määrittämällä ruutujen biologinen sato. Kustakin koeruudusta otettiin viisi näytettä ajamalla ruudun poikki Haldrup 1500 -koeruutuniittokoneella. Jäljelle jäävän sängin pituudeksi säädettiin 5 cm. Jokaisesta Haldrupilla määritetystä näytteestä otettiin kolme kosteusnäytettä. Kosteusnäytteen ja punnitustuloksen avulla laskettiin kuiva-ainesadot.

Korjuumenetelmiä oli kolme. Alkuperäisen koesuunnitelman mukaan niitä piti olla neljä, mutta saksalainen Welgerin valmistama korkeapainepaalainprototyyppi jätettiin kokeesta pois. Ruokohelpi niitet-

tiin jokaisesta koeruudusta Nokka grassliner 240 -niittomurskaimella.

Ensimmäisessä menetelmässä korjuukoneena oli silppurilla varustettu pyöröpaalain, Claas Rollant 46 Rotocut, jota kokeiltiin silppurin kanssa ja ilman sitä.

Toisessa menetelmässä pyöröpaalaimena oli Claas Rollant 66. Kumpikin pyöröpaalain oli varustettu verkkosidontalaitteella.

Kolmannessa menetelmässä käytettiin irtokorjuuketjua, jossa korjuukoneena oli Nokka Grassliner -tarkkuussilppuri.

Kunkin koeruudun kasvusto korjattiin tarkoitukseen valitulla korjuumenetelmällä. Paalit punnittiin ja kosteusnäytteet otettiin poraamalla. Samoin punnittiin tarkkuussilputtu ruokohelpikuorma, otettiin kosteusnäytteet ja määritettiin kuorman tilavuus kuormatiheyden laskemista varten. Kosteusnäytteiden perusteella laskettiin koeruudulta korjatun kasvuston kuiva-ainepainot. Kun näitä verrattiin koeruudulta määritettyyn biologiseen satoon, saatiin lukujen erotuksena korjuutappio.

5.2 Tulokset ja niiden tarkastelu

Silppuavaa pyöröpaalainta käytettäessä koko korjuuketjun kuiva-ainetappiot olivat suuret, erityisesti silloin, kun silppuri oli päällä (Kuva 11). Paalaimen takaosan telojen välistä valui murskautunutta korsi- ja lehtiainesta varsinkin siinä vaiheessa, kun paalikammio alkoi täyttyä. Tappiot olivat

keskimäärin samansuuruisia eri paalainmenetelmillä silloin, kun Rotocut-mallin silppuavat terät eivät olleet toiminnassa. On huomattava, että Claas Rollant 46 Rotocut -mallia käytettäessä tappiot vaihtelivat enemmän kun Claas Rollant 66:lla. Irtokorjuumenetelmän kuiva-ainetappiot olivat selvästi pienempiä kuin paalausmenetelmien.

Paalien tiheys oli lähes sama riippumatta siitä, olivatko silppuavat terät käytössä vai eivät (Kuva 12). Kun paalin halkaisija kasvoi 165 cm:iin, laski ruokohelpipyöröpaalien tiheys 15 % verrattuna pienempiin (halkaisija 125 cm) paaleihin.

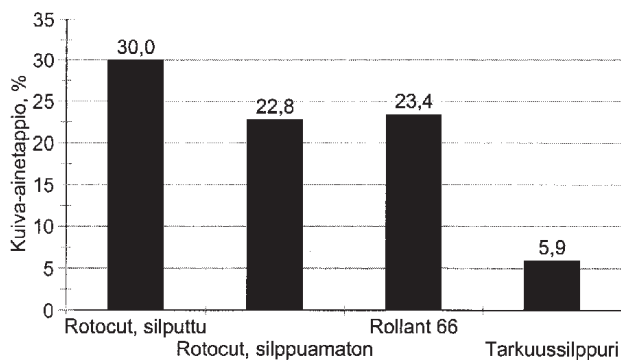
6 Paalien käsittelyyn tarkoitettut koneet

Pyöröpaalien ja suurkanttipaalien käsittelyyn pellolla, kuljetuksessa ja varastoinnissa on useita vaihtoehtoja. Tässä esitellään kotimaassa ja ulkomailla markkinoilla olevia koneita. Kotimaiset paalinkäsittelykoneet on tarkoitettu pienempimittakaavaisen käyttöön kuin länsieurooppalaiset mallit.

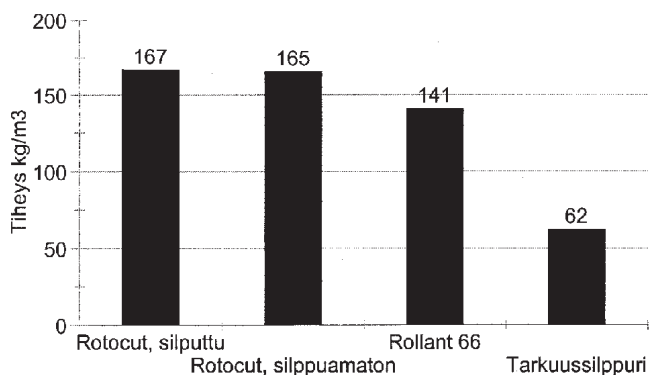
6.1 Paalien kuormaus pellolla

6.1.1 Paalipiikit ja -kourat

Etukuormain paalipiikillä varustettuna ja kolmipistenostolaitteeseen kytkettävä paa-



Kuva 11. Eri korjuuketjujen aiheuttamat kuiva-ainetappiot.



Kuva 12. Ruokohelven tiheys eri korjuumenetelmiä käytettäessä.

lipiikki tai paalipiikit on yleisin Suomessa käytetty ratkaisu paalien kuormaukseen. Paalit voidaan kuljettaa suoraan em. ratkaisuilla kiedonta- tai varastointipaikalle. Paalipiikin tilalla etukuormaimeen voidaan kytkeä paalikouran, joka on tarkoitettu erityisesti pyöröpaalien käsittelyyn. Etukuormaimeen kytkettyä piikkiä tai kouraa käytetään myös paalien kuormaamiseen perävaunuun. Lisäksi etukuormaimeen voidaan kytkeä koura, joka soveltuu nimenomaan pyöröpaalien käsittelyyn. Koura on varustettu kahdella sivusuunnassa liikuteltavalla telalla ja yhdellä pystysuunnassa liikkuvalla telalla. Paalikouriin on saatavissa lisävarusteena taittuva varsi, jonka avulla pyöröpaaleja voidaan pinota päällekkäin jopa kuuteen kerrokseen.

Paalien käsittelyssä käytetään yleensä traktoria, mutta ulkomailla paalipiikit ja kourat on kytketty pieneen pyörökuormaajaan tai kurottajaan. Suomessa on ainakin yksi koneyhdytys, joka käsittelee suurkantipaaleja pienellä pyörökuormaajalla. Kurottajat ovat meillä harvinaisia, mutta esimerkiksi Englannissa hyvin yleisiä.

Etukuormaajan paalipiikissä voi samalla kertaa olla kaksi pyöröpaalia, mutta tavallista useampaa on varsinkin kuormattaessa paaleja perävaunuun käsitellä yhtä paalia kerrallaan. Taakse kytkettävissä paalipiikeissä maksimi on viisi olki- tai heinäpyöröpaalia. Useimmiten traktorin takana kuljetetaan yhtä tai kahta paalia (Kuva 13). Etukuormaajaan voidaan ottaa keskikokoisia suurkantipaaleja kerralla kaksi kappaletta edel-

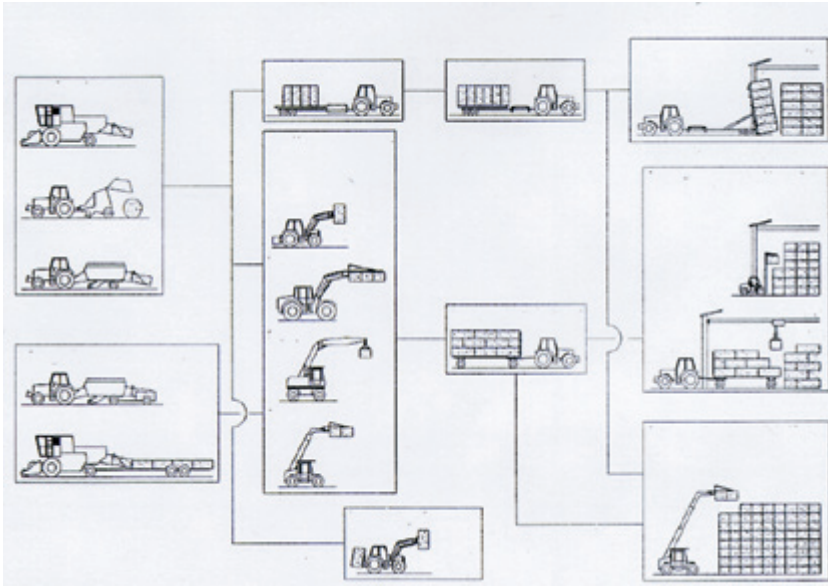
lyttäen, että raaka-aine on olkea tai heinää. Pienen pyörökuormaajan trukkihaarukkaan ja kurottajiin voidaan ottaa kerralla jopa neljä keskikokoista suurkantipaalia päällekkäin. Pyörö- ja kanttipaalien käsitteilyyn soveltuu myös puutavarakuormain, joita maatiloilla on käytössä jonkin verran.

6.1.2 Paalivaunut

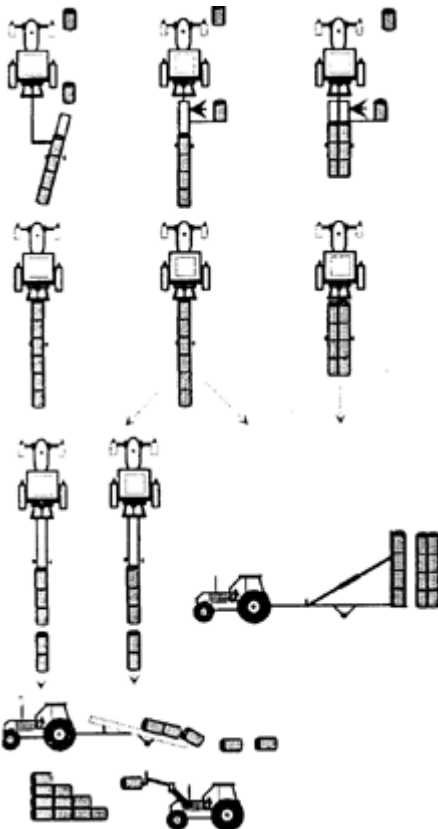
Pyörö- ja suurkanttipaalien kuormaukseen, kuljetukseen ja tyhjennykseen on suunniteltu ja valmistettu paalivaunuja. Niissä voi olla lastaushaarukka, joka nostaa paalin vaunuun (Kuva 14). Vaunussa paalit ovat joko yhdessä tai kahdessa jonossa siten, että pyöröpaaleja on vähintään neljä peräkkäin. Kuorma tyhjennetään joko pohjakuljettimen avulla tai kippaamalla. Kippaamalla voidaan saada aikaan esimerkiksi sellainen paalipino, jossa on neljä paalia päällekkäin (Kuva 14).

6.2 Paalien käsittely varastossa

Paalien siirtoon ja pinoamiseen varastossa käytetään pitkälti samoja koneita kuin paalien käsittelyyn pellolla. Pyöröpaalit pinoetaan usein joko paalipiikillä tai -kouralla varustettua etukuormaajaa käyttäen pilari-malliseen (=paalin pääty vasten lattiaa) pinoon (Kuva 14). Paalien käsittelyyn varastossa on muitakin vaihtoehtoja kuin traktori-etukuormain-yhdistelmä, pieni pyörä-



Kuva 13. Paalauksen eri korjuuketjut vaihtoheitoineen pellolta varastoon (Fröba 1996).



Kuva 14. Periaatekuvat paalivaunujen toiminnasta (Herrmann & Sorge 1993).

kuormaaja tai kurottaja. Kiinteässä varastossa pyörö- ja kanttipaaleja voidaan käsitellä siltanosturia käyttäen.

7 Oljen ja heinän silppuaminen

Ruotsalaisissa käytännön kokeissa on todettu, että mikäli 90 % silpusta on alle 50 mm:n pituista, sujuu syöttö kattilaan hyvin hakkeen tai palaturpeen kanssa (Hadders 1994). Tämä silppuaminen voidaan tehdä joko lämpölaitoksella juuri ennen polttoa tai pellolla korjuun yhteydessä. Lämpölaitoksella tapahtuvasta silppumisesta on saatu paljon kokemuksia tanskalaisissa lämpölaitoksissa. Niissä käytettiin aiemmin pyöriviä paalisilppureita, joiden ongelmana oli kipinöintivaara, korkea tehontarve, suuri huoltotarve ja huono toiminta kostean oljen kanssa. Nykyään käytetään lähinnä hitaasti pyöriviä paalirepijitä (Hadders & Nilsson 1993).

Ruotsissa Jordbruktekniska Institutet on tutkinut oljen silppuamista paalauksen yhteydessä. Tutkittuja menetelmiä olivat paalaimen eteen asennettu varstasilppuri ja kiinteillä terillä varustettu kanttipaalain. Tutkimuksissa todettiin, että silppuaminen kasvatti kanttipaalien tiheyttä keskimäärin 15 % ja pyöröpaalien tiheyttä 7 %. Tutkimuksessa kokeiltiin, voitaisiinko lämpölaitoksessa luopua varsinaisesta paalimurskaimesta, mikäli olki olisi silputtu jo ennen paalaamista. Silputusta materiaalista tehtyjen paalien purkamista kokeiltiin mm. karjanlannanlevittimellä, rehuvaunulla, värähtelevällä ritilällä sekä manuaalisesti. Tuloksena oli kuitenkin se, että paalit eivät hajonneet riittävän hienoksi, jotta syöttö kattilaan olisi sujunut helposti. Näin ollen varsinaisista paalimurskaimista ei lämpölaitoksella voida luopua (Hadders 1993).

Tanskan isoilla lämpölaitoksilla käytetään ainoastaan isoja kanttipaaleja. Pyöröpaaleja ja keskikokoisia kanttipaaleja käytetään puolestaan vain tilatason lämpölaitoksilla. Tanskalaisen tutkimuksen mukaan paalaamaton silputtu olki ei ole taloudellisesti kilpailukykyistä kanttipaalien kanssa isoilla lämpölaitoksilla. Pienillä laitoilla se voi olla taloudellinen vaihtoehto, mikäli korjuukoneiden vuotuinen käyttötuntimäärä on korkea (Parsby 1996).

7.1 Paalisilppurit

Paaleina korjattu biomassassa silputaan lämpölaitoksella. Tehdyn markkinaselvityksen

perusteella paalisilppurit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Paalien maatilamittakaavaiseen silppuamiseen sopivat silppurit. Nämä ovat traktorin kolmipistenostolaitteeseen kytkettäviä tai hinattavia ja niitä myyvät kotimaiset maatalouskaupat. Silppurit on tehty pyöröpaalien käsittelyyn, mutta osalla voidaan silputa myös kova-paaleja. Silppurimerit on lueteltu taulukossa 1.
2. Erityisesti paalien silppuamiseen rakennetut, jatkuvaan teollisuusmittakaavaiseen käyttöön soveltuvat koneet. Nämä silppurit ovat osa paalien polttoon tarkoitettuja lämpökusten kokonaisu-järjestelmiä, joita on käsitelty tarkemmin luvussa 7.6.
3. Pääasiassa jätteiden silppuamiseen tarkoitettuja järeitä, yleiskäyttöisiä silppurit. Näiden laitteiden valmistajilla ei ole kokemusta paalien silppuamisesta. Todennäköisesti silppuaminen onnistuu, mutta saatavan silpun pituutta ja sen jakaumaa ei luonnollisestikaan tiedetä.

Suomessa sellaisilla maatiloilla, joilla käytetään olkea pihattojen kuivittamiseen, on useimmiten käytössä pyöröpaalien silppuamiseen tarkoitettuja koneita. Nämä pyöröpaalisilppurit ovat joko traktorin kolmipistenostolaitteeseen kytkettäviä tai hinattavia koneita. Jotta silppurin ominaisuuksista saataisiin oikea kuva eri biomassoja käsiteltäessä, katsottiin tarpeelliseksi testata tarkemmin yhden konemerkin ominaisuuksia. Pyöröpaalisilppurina mittauksissa oli ELHO rotor cutter. Suuri osa taulukossa

Taulukko 1. Suomessa myynnissä olevat traktoriin kytkettävät pyöröpaalisilppurit (Koneviesti 18/1999).

| Merkki | Valmistusmaa | Myyjä | Tietoja |
|--------------|--------------|-------------------------------------|---|
| Agronic | Suomi | Hankkija-Maatalous | Silppuaa ja puhalttaa, hinnat 41000-56500 |
| Cormall | Tanska | Ei virallista myyjää, Juko välittää | Silppuaa ja puhalttaa, hinta n. 65000 |
| Elho | Suomi | Kesko | Silppuaa ja puhalttaa, hinta 50500 |
| Kverneland | Norja | Agritek | Silppuaa ja puhalttaa, hinta 37000-76000 |
| Taarup | | | |
| NHK-Tomahawk | Englanti | NHK-Keskus | Silppuaa ja puhalttaa, hinta 46900-58900 |

1 mainituista pyöröpaalisilppureista on toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin MTT:n maatalousteknologian tutkimusyksikön mittauksissa ollut ELHO rotor cutter. Ulkomailla käytettävistä, isomman mitta-kaavan silppureista on kerätty tietoa Työte-hoseuran avustuksella ja myös ne on koottu tähän julkaisuun.

7.2 Mittaukset

Pyöröpaalisilppurista mitattiin tehontarve, puhallusominaisuudet ja silpun pituus. Lisäksi mitattiin eri työvaiheiden työmenekit, paalin paino sekä kosteus ja niiden avulla laskettiin silppurin kapasiteetti. Tehontarve mitattiin HBM:n tehonmitausanturilla, josta mittasignaali siirtyi mit-tavahvistimen kautta oskilloskooppiin. Mittausjaksoja oli useita aina yhtä paalia kohden.

Koneen käyttöominaisuuksista seurattiin koneen kytkemistä ja irrottamista traktorista, säätömahdollisuuksia ja työturvallisuutta.

Kokeissa silputtiin pyöröpaalattua ol-kea, ruokohelpiä ja säilörehua. Samalla ko-keiltiin myös öljypellavan korsimassan silp-puamista.

7.3 ELHO rotor cutterin toimintaperiaate

Elho rotor cutter kytketään traktorin kol-mipistenostolaitteeseen. Paalisilppuri on varustettu leikkuuroottorilla, jossa on 16 leikkuuterää. Ne hienontavat syötettävää materiaalia ennen kuin heittosiivet purka-vat materiaalin joko koneen oikealla tai va-semmalla puolella olevien säädettävien pur-kuaukkojen kautta. Paalisilppurin pyörivä säiliö ohjaa paalin pääty edellä silppuavaan leikkuuroottoriin.

Käytettäessä konetta ennen paalin nos-tamista säiliöön siitä poistetaan käärintä-muovi ja sidontanaru tai verkko. Silppuria peruutetaan siten, että paali ohjautuu alas

laskettuun kitaan. Silppuri lasketaan maa-han ja paali käännetään kuormauspihdin avulla säiliöön. Sylinteri puristaa ensin pi-hdit kiinni paaliin ja sen jälkeen koko pihti-haarukka kääntää paalin säiliöön.

Ensin käynnistetään paalisilppurin leik-kuuroottori ja vasta sitten, kun leikkuu-roottori on saavuttanut nimelliskierrosno-peuden, kytketään varsinainen syöttö käyn-nistämällä säiliön pyörytys.

7.4 Koneen säädöt

Koneessa on kaksi purkuaukkoa, joissa on sulkuluukku. Luukut avataan kahvaa kään-tämällä. Samalla kannattaa tarkastaa, että vastakkaisen puolen luukku on kiinni. Suih-kun ohjauslipa voidaan säätää haluttuun asentoon sen mukaan, kuinka pitkälle sil-putun biomassan halutaan levittyvän. Oikeanpuoleisen purkuaukon alla oleva säätölevy vaikuttaa osaltaan siihen, kuinka suuren nopeuden silputtu biomassa saa. Ohjauslipan säätöön on mahdollista hank-kia kaapeli, jolloin säätö voidaan tehdä trak-torin ohjaamosta ajon aikana. Koneen pää-dyssä nivelakselin lähetyvillä on puhalluk-sen ilmamäärän säätö. Silpun pituutta voi-daan säätää leikkuuterien ottavuutta säätä-mällä tai säiliön pyörimisnopeutta säätä-mällä.

7.5 Mittaustulokset

Mittaustulokset on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Pyöröpaalisilppurin keskimääräinen tehontarve ei ole suuri, mutta maksimitehontarve voi nousta yllättävänkin paljon. Puhallusominaisuuksiin vaikuttaa biomas-san fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi ko-neen säädöt. Koneella silppu voidaan suun-nata lähelle tai kauas tarpeen mukaan. Sil-putut paalit olivat halkaisijaltaan 1,3 m ja leveydeltään 1,2 m. Ainoastaan yksi paali oli 1,4 m eli hieman liian suuri ja se juuttui-kin säiliön suuaukkoon. Silputut biomassat olivat hyvin kuivia (Taulukko 2).

Taulukko 2. Paalisilppurin tehontarve, puhallusominaisuudet, silpun pituus ja silputun paalin ominaisuudet.

| Biomassa | Tehontarve | | Puhallusominaisuudet | | Silpun pituus Keskiarvo mm | Paalin paino kg | Paalin kosteus % |
|------------|-----------------|------------|----------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Keskiarvo kW | max. kW | Pituus m | Leveys m | | | |
| Olki | 27,4 | 54 | 9 | 3 | 55 | 157 | 18,2 |
| Ruukohelpi | 29,5 | 48 | 9 | 3 | 65 | 191 | 14,5 |
| Pellava | 31,7 | 74 | 7 | 2,5 | 65 | 131 | 14,1 |

Taulukko 3. Biomassojen silppuamisessa eri työvaiheisiin kulunut aika ja sen pohjalta laskettu kapasiteetti.

| Biomassa | Narun poisto min./paali | Paalin kuormaus min./paali | Silppuaminen min./paali | Kapasiteetti t/h |
|------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Olki | 1,35 | 0,1 | 4,11 | 1,7 |
| Ruukohelpi | 1,17 | 0,1 | 3,75 | 2,3 |
| Pellava | 0,82 | 0,1 | 3,8 | 1,7 |

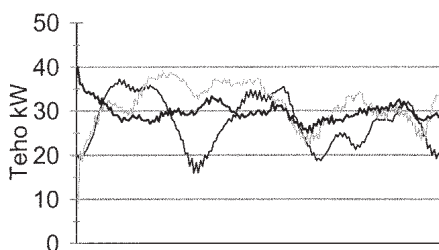
Pyöröpaalisilppurin kapasiteetti on alhainen, jos ajatellaan sen käyttöä polttolaitoksella. Narulla sidotuissa paaleissa narun poisto ennen silppuamista on välttämätöntä, koska muuten narut kietoutuvat silppuavien terien ympärille. Mikäli paalit ovat verkolla sidottuja, kapasiteetti kasvaa ja se kasvaa entisestään, kun pyöröpaalit on tehty mahdollisimman tiukkaan.

Pyöröpaalisilppurin tehontarve riippuu mm. siitä, mitä materiaalia silputaan. Vaikka keskimääräinen tehontarve on noin 30 kW (Kuva 15), maksimitehontarve on noin 70 kW. Samoin voimanulosottoakselia käynnistettäessä momentti voi olla melko korkea.

7.6 Paalien polttoon tarkoitetut kokonaisjärjestelmät

Tanskassa on perinteisesti hyödynnetty paalattua biomassaa energiakäytössä. Siellä on useita valmistajia, jotka tekevät paalien polttoon tarkoitettuja lämpökeskuksen kokonaisjärjestelmiä. Suomessa tunnettuja tanskalaismerkkejä ovat Cormall ja Skiolds. Muut tanskalaiset kokonaisjärjestelmien valmistajat ovat mm. Passat, Lin-ka, Reka ja Texas (Liite 2).

MZA:n silppuri on siirrettävä biomassan ja jätteiden silppuamiseen tarkoitettu kone. Se on perävaunun mallinen sekä teliakselilla ja aisalla varustettu. Koneessa on



Kuva 15. Traktorikäyttöisen pyöröpaalisilppurin tehontarve.

— Olki (27) - - - Pellava (34) — Ruukohelpi (29)

Taulukko 4. Silppureiden ominaisuuksia valmistajien ilmoituksen mukaan.

| Merkki | Tyyppi | Silppuamisala mm | Säiliön koko m ³ | Koneen paino kg | Tehontarve kW | Kapasiteetti m ³ /h |
|---------|--------|---------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------------|
| Uni-cut | UC 90 | 900 x 850 | 0,25 | 3500-4200 | <60 | 12 |
| | UC 120 | 1230 x 850 | 1,0 | 7800-9200 | <60 | 14-18 |
| | UC 150 | 1500 x 1100 | 2,0 | 15000-17000 | <120 | 20-30 |
| Ares | RS 950 | 1400 x 950 | 12,5 | | 95,5 | |
| Bomatic | B 1350 | 1355 x 900 | 1,6 | 10300 | 55 | |
| | B 2000 | 2000 x 1400 | 5,2 | 27000 | 220 | |
| MZA | 2500 | 1480 x 520* | | 11050 | 184** | 30-80 |

* syöttöpöydän pituus on 4 m

** koneessa dieselmoottori CAT 3208

oma voimanlähde, Catepillarin dieselmoottori, jonka teho vaihtelee mallista riippuen 184–308 kW:iin. Silputtava materiaali nostetaan syöttöpöydälle, jonka kuljetin siirtää materiaalia syöttöruullan avulla silppuavalle kelalle. Kelassa on terät, jotka silppuavat materiaalin vastateriä vasten. Silpun pituus voidaan säätää halutuksi.

Bomaticilla on kaksi mallia, jotka soveltuvat paalien silppuamiseen. Bomaticin mallit ovat laajasti muunneltavissa erilaisiin käyttötarpeisiin. Koneet ovat neljän teräsjalan päällä seisovia, paikallaan toimivia malleja. Ne on varustettu syöttösäiliöllä, jonka syöttöaukon mitat ja tilavuus on mainittu taulukossa 4. Silputtava massa siirtyy syöttöaukosta silppuriin, jossa on kaksi akselia leveillä terillä varustettuna, ja jotka murskaavat syötettävän massan. Ruuvien pyörimisnopeutta säädetään vaihteistolla. Pienemmässä mallissa, Bomatic B 1350:ssä, voimanlähteenä on 75 kW:n sähkö-

moottori. Molemmissa malleissa on keskusvoitelu.

Aresin silppuamisyksiköt on valmistettu kierrätettävien ja jättemateriaalien silppuamiseen. Aresin malli RS 950 sisältää syöttöaukon, silppurin ja rungon em. laitteiden ympärillä. Syöttölaitteen tehontarve on 5,5 kW ja itse silppurin 90 kW. Silppuavat terät on kiinnitetty kahteen vaakasuunnassa olevaan akseliin. Terien paksuus on 75 mm ja välitys terien välillä on 0,2 mm. Toimintaperiaate on sama kuin Bomaticin malleissa.

Uni-cutilla on kolme vaihtoehtoa paalautun biomassan silppuamiseen. UC 90 ja UC 120 soveltuvat syöttöaukon koon perusteella pienten ja keskisuurten suurkanttipaalien silppuamiseen. UC 150 soveltuu suurkanttipaalien ja pyöröpaalien silppuamiseen, lisäksi malli UC 120:lla on mahdollista silputa pyöröpaaleja, jos paali halkaistaan ennen paalin siirtoa syöttöaukkoon.

Kirjallisuus

Fröba, N. 1996. Grossballenhandling. Transport, Umschlag, Lagerung. KTBL Arbeitsblatt. Landtechnik 4/96: 209.

Hadders, G. 1993. Användning av snittaggregat och hack vid pressning av torrt strå i storbalar.

JTI-rapport 168. Uppsala: Jordbruktekniska institutet. 28 p. ISSN 0346-7597.

– 1994. Erfarenheter kring vårskördad rörlan. JTI-rapport 191. Uppsala: Jordbruktekniska institutet. 62 p. ISSN 0346-7597.

– & Nilsson, D. 1993. Storskalig hantering av stråbränslen från jordbruket. JTI-rapport 160. Uppsala: Jordbruktekniska institutet. 54 p. ISSN 0346-7597.

Hathaway, L.R. & Riney, L.A. 1987. Hay and rorage harvesting. fundamentals of machine operation. Third edition. Moline, Illinois. ISBN 0-86691-02-2.

Hemming, M. 1992. Kuitukasvien korjuutekniikka-esitytutkimus. Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos. Maatalousteknologian julkaisuja 8. Helsinki: Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos. p. 95. ISSN 1235-3957. ISBN 951-45-6341-7.

–, **Maunu, T., Suokannas, A., Järvenpää, M. & Pehkonen, A.** 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa: tutkimuksen loppuraportti. II osa: Ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsittely sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 4. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 98 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-467-0.

Herrmann, A. & Sorge, R. 1993. Rundballenlade-wagen. Leistung, Kosten und Einsatzgrenzen. Landtechnik 7/93: p. 355–358.

Koneviesti. 2000. Ryhmäesittely. Heinäkoneet. KV N:o 18. Viestilehden Oy. p. 18–22. ISSN 0355-0729.

KTM. 1999. Energiakatsaus 4/99. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. p. 44. ISSN 0356-9276.

Parsby, M. 1996. Halm og energiafgöder - analyser af ekonomi, energi og miljø. Statens Jordbrugs- og Fiskeriekonomiske Institut. Rapport nr. 87.

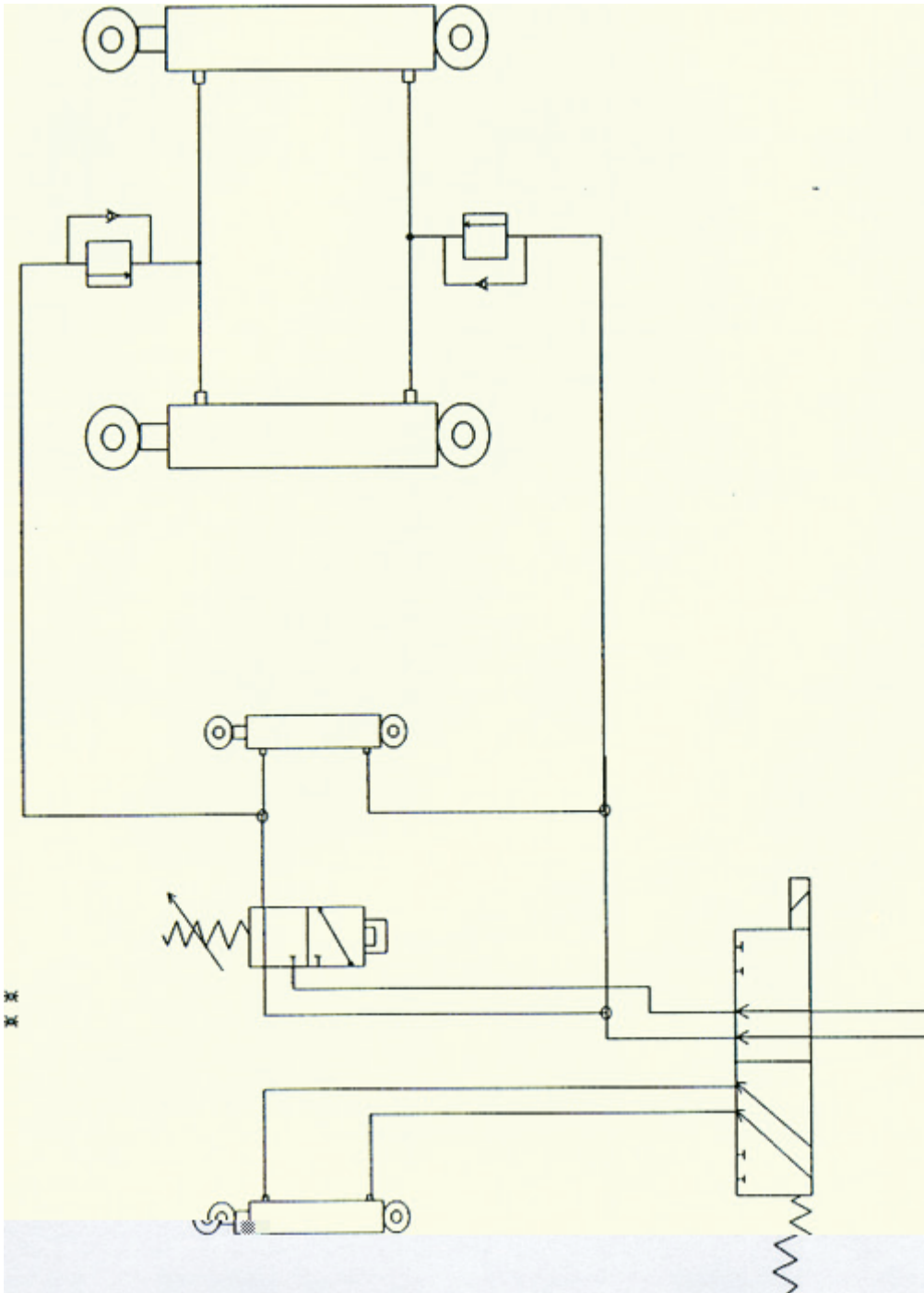
Serenius, M. 1995. Hydraulipaalaimen kehittäminen. Insinööriyö. Riihimäen teknillinen oppilaitos. 26 p.

The Centre of Biomass Technology. 1992. Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. Denmark. 46 p.

Wesche, H. 1992. Compactrollen-Verdichtung. Landtechnik 1/2-92: 64B67.

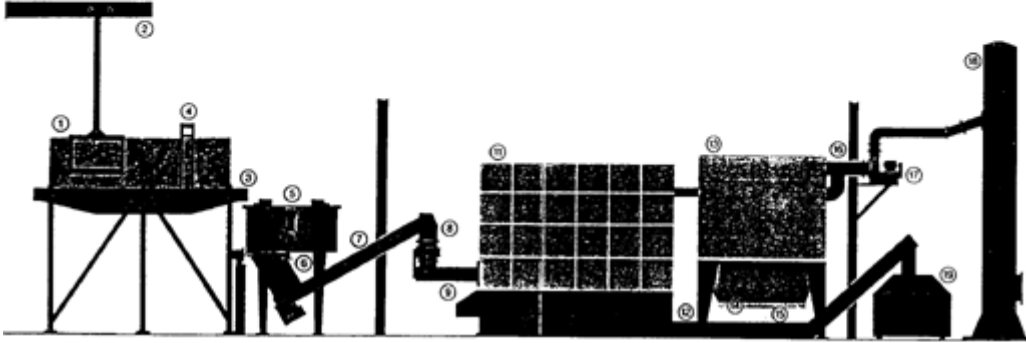
Wilen, C. & Ståhlberg, P. 1983. Oljen pelletointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 261. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 39 p. ISSN 0358-5085, ISBN 951-38-1897-7.

Hydrauliikan kytkentäkaavio.



Automaattinen paalien polttoon tarkoitettu lämpölaitos (Texas).

- | | | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1. Kantipaaleja | 8. Palosulku | 15. Suodattimen palosulku |
| 2. Automaattinen nosturi | 9. Syöttöruuvi | 16. Ohitus |
| 3. Paalikuljetin | 10. Liikkuva arina | 17. Savun poisto |
| 4. Narujen katkaisija | 11. Kattila | 18. Piippu |
| 5. Paalinmurskain | 12. Tuhkankuljetin | 19. Säiliö |
| 6. Annostelusiilo | 13. Savukaasujen suodatin | |
| 7. Annosteluruuvi | 14. Suodattimen ruuvikuljettimet | |



Ruokohelven ja oljen tuotantokustannus, saatavuus ja korjuuvarmuus

Esa Klemola¹⁾, Arto Laine¹⁾, Tarmo Maunu¹⁾ & Juha Palonen¹⁾

¹⁾*Työteho-seura, maatalousosasto, PL 13, 05201 Rajamäki, esa.klemola@tts.fi, arto.laine@agronet.fi, tarmo.maunu@mmm.fi, juha.palonen@mmm.fi*

”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” -hankkeen Työteho-seuran osatutkimuksessa selvitettiin ruokohelven tuotantoon ja oljen korjuuseen soveltuvia koneketjuja, laadittiin niille tuotantokustannuslaskelmat ja tehtiin kustannusten suhteen herkkyyksianalyysi keskeisten muuttujien suhteen. Tarkastelukohteina olivat pyöröpaalausmenetelmä ja erilaiset irtokorjuu menetelmät.

Tutkimuksen toisessa osassa selvitettiin ruokohelven ja oljen saatavuutta biomassan polttoon soveltuvien lämpölaitosten läheisyydessä. Saatavuusselvitykseen liittyi myös säätilastoihin perustuva oljen korjuunvarmuustarkastelu.

Tutkimuksen mukaan ruokohelven ja oljen korjaaminen on edullisinta, kun käytetään tehokasta pyöröpaalainkoneketjua. Ruokohelven tuotantokustannus on tällöin 389 mk/t (ka) ja oljen tuotantokustannus vastaavasti 162 mk/t. Biomassan oletettu hinta (200 mk/t) kattaa ruokohelven tuotantokustannuksista ainoastaan muuttuvat kustannukset, työkustannukset ja osan

kiinteistä konekustannuksista. Oljen tuotantokustannuksen ko. hinta sen sijaan kattaa kokonaan.

Suomessa on useita kymmeniä lämpölaitoksia ja lämpövoimalaitoksia, jotka sopivat peltobiomassojen polttoon ja joiden ympäristössä on riittävästi oljen ja/tai ruokohelven tuotantopotentiaalia. Kirjekyselyn mukaan noin kolme neljäsosaa viljelijöistä olisi halukkaita tuottamaan olkea ja ruokohelpeä energiantuotantoon, jos hinta olisi tyydyttävä. Nykyistä turpeen hintaa vastaavalla tasolla (45 mk/MWh ~ 20 p/kg) ruokohelpeä oli halukkaita tuottamaan 31 % viljelijöistä ja olkea 48 %.

Maatiloilla on melko yleisesti joko kovatai pyöröpaalien korjuuseen sopivaa kalustoa, mutta irtokorjuukalustoa on paljon vähemmän. Oljenkorjuuseen soveltuvien päivien määrä vaihtelee runsaasti vuosittain. Sadetilastojen perusteella yhdellä pyöröpaalaimella saadaan normaalivuosina paalattua 60–70 hehtaaria olkea. Myös ruokohelven kevätkorjuun onnistumiselle on hyvät edellytykset.

Avainsanat: ruokohelppi, olki, sato, sadonkorjuu, tekniikka, kyselytutkimus, olki, saatavuus, tuotantokustannukset, työnmenekki

Production costs, availability and harvesting reliability of reed canary grass and straw

As part of the research project “Biomass production for fibre and energy” the TTS Institute studied machine chains suitable for the harvesting of reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) and straw. The economic analysis included production cost calculations and a sensitivity analysis for essential variables. Round baling and different bulk harvesting methods were also considered.

The second part of the study explored the availability of reed canary grass and straw for energy generation in the vicinity of heating plants suited to the burning of agro biomass. As part of the availability study, harvesting reliability was assessed on the basis of weather statistics.

The results of the study show that harvesting reed canary grass and straw is less costly when an efficient round-bale machine chain is used. The production costs are then FIM 389 per tonne and those of straw FIM 162 per tonne. The inferred price of the biomass (FIM 200 per tonne) covers only the variable costs, labour costs and some of the fixed machine costs of reed canary grass. As to the production of straw, the price cov-

ers all costs.

There are dozens of heating plants and thermal power plants in Finland that are suited to the burning of agro biomass and have sufficient straw and/or reed canary grass production potential in their surroundings. The responses to a mail questionnaire show that about three farmers in four would be willing to produce straw and reed canary grass for energy generation provided that there would be market for them and that the price would be satisfactory. Thirty-one per cent of the farmers were willing to produce reed canary grass at the current price level of peat (FIM 45 per MWh of ca. FIM 0.20 per kg); the corresponding figure for straw was 48%.

Many farmers have equipment for harvesting bales but very few equipment for bulk-harvesting. The number of days when straw can be harvested varies widely between years. According to rain statistics, 60–70 hectares of straw can be harvested with one round baler in a normal year. The spring harvesting of reed canary grass seems to be feasible.

Key words: reed canary grass, Phalaris arundinacea, availability, costs, harvesting, labour, production, questionnaire, straw, techniques

1 Johdanto

Tämä tutkimus on jatkoa maa- ja metsätalousministeriön rahoittamille hankkeille ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa (1993–1995)” ja ”Biomassan tuotanto pelloilla ja turvesoilla sekä käyttö energian tuotantoon (1994–1996)”. Näiden tutkimusten tuloksia on julkaistu mm. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisusarjassa (Hemming et al. 1996). Aikaisemmissa tutkimuksissaan Työtehoseura on selvittänyt osatehtävissään lähinnä paalaukseen perustuvia korjuumenetelmiä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin myös erilaisia irtokorjuumenetelmiä. Tavoitteena oli löytää ruokohelven tuotantoon soveltuvat kustannustehokkaat koneketjut, laatia tuotantokustannuslaskelmat ja tehdä kustannusten suhteen herkkyyksianalyysi keskeisten muuttujien suhteen. Tarkastelukohteina olivat pyöröpaalaus- ja irtokorjuumenetelmät. Koska ruokohelven syyskorjuu osoittautui selvästi kevätkorjuuta epäedullisemmaksi, jatkotutkimuksessa on keskitytty pelkästään kevätkorjuuseen. Kustannuslaskelmien lisäksi ruokohelven viljelyn kannattavuutta verrattiin ohran viljelyyn.

Biomassojen saatavuutta on selvitetty aikaisemmin Kuusankosken, Imatran ja Äänekosken alueilla. Tässä tutkimuksessa saatavuusselvitykset tehtiin Alavuden, Forssan ja Saarijärven alueilla.

Tavoitteena oli selvittää:

- ruokohelven ja oljen saatavuutta energiantuotantotarkoituksiin valtakunnallisessa mittakaavassa tarkastelemalla ruokohelven ja oljen potentiaalisen tuotantoalan määrää biomassan polttoon soveltuvien lämpölaitosten läheisyydessä.
- kuinka paljon Suomessa on ruokohelven tai oljen polttoon soveltuvia lämpölaitoksia ja onko 30 km:n kuljetusetäisyyden päässä näistä laitoksista riittävästi ruokohelven ja/tai oljen tuotantopotentiaalia.
- biomassan saatavuusselvitykseen liittyi myös säätilastoihin perustuva oljen korjuuvarmuustarkastelu.

Koska edellä kuvatun tutkimuksen tarkastelu rajoittui vain olkeen, on tuloksiin liitetty myös lyhyt yhteenveto aiemmin tehdystä ruokohelven korjuuvarmuudesta.

Tässä julkaisussa esitetyt tulokset on julkaistu osittain myös Työtehoseuran maataloustiedotteena (Palonen 1997). Siinä esitetyt tuotantokustannuslaskelmat on päivitetty vastaamaan vuoden 1999 kustannustasoa. Myös tarkastelun kohteena olleet irtokorjuun koneketjut on uudistettu.

2 Ruokohelven ja oljen tuotantokustannukset

2.1 Yleiset laskentaperusteet

Ruokohelven viljelyn ja oljen korjuun työmenekit ja kustannukset on laskettu Työtehoseurassa kehitetyn laskentamallin avulla. Laskentamallin konekustannukset perustuvat Urakointihinnat ja konetyön kustannukset -tiedotteeseen (Laaksonen 1999) sekä hankkeen puitteissa tehtyihin työntutkimuksiin. Työmenekit on laskettu maatalouden työnormit -järjestelmän periaatteiden mukaisesti (Työtehoseura 1988, Laine & Peltonen 1992, Laaksonen & Vanhala 1992, Peltonen & Vanhala 1992, Peltonen 1993). Tässä laskentatavassa oletetaan että työtä tehdään 8 tuntia päivässä, josta tehollista työaikaa on 6,6 h. Varsinaisen työn lisäksi aikaa kuluu siirtymisiin ja työkonien käyttöönottoon.

Tuotannon työmenekit on laskettu vain välittömien kasvinviljelytöiden osalta, joten viljelyn suunnittelun, viljelytarvikkeiden hankinnan, markkinoinnin ja taloushallinnon edellyttämä työpanos jää tarkastelun ulkopuolelle.

Työkustannuksena on käytetty 50 mk/ha ja pääoman korkona 4 %. Maan pääomakustannuksena on käytetty 800 mk/ha vuodessa. Tämä vastaa noin 10 000–12 000 mk pellon hintaa 20–25 vuoden poistoajalla ja 3–5 % reaalikorolla. Maan pääomakustannuksen voidaan katsoa vastaavan myös pel-

lon vuokrahintaa. Koska ruokohelvellä maan pääomakustannus kohdistuu tuotantoon kaikkina viljelyyn sidottuina vuosina (lopettamisvuotta ei laskettu mukaan), saadaan ruokohelven satovuosia kohti laskettaessa maan pääomakustannukseksi noin 890 mk/ha. Viljelystä aiheutuvien muuttuvien kustannusten sekä saatujen tuottojen perusteella on laskettu tulojen ja menojen nettohykyarvot sekä näiden perusteella ns. liikepääoman vaihtoehtoiskustannus.

Kustannuslaskelmat sisältävät kone-, tarvike- ja työkustannukset tilalla sekä kuljetuskustannukset tilalta lämpölaitokselle ja ne on tehty kuiva-ainetonnia kohden. Tarvikkeiden hintoina on käytetty syksyn 1999 arvonlisäverottomia hintoja. Laskelmiin ei sisälly mitään tukia.

2.2 Kuljetuskustannusten laskentaperusteet

Sekä paalien että irtotavaran kuljetukset pellolta lämpölaitokselle kannattaa hoitaa täysperävaunurekalla aina, kun se vain olosuhteiden puolesta on mahdollista. Pelkän kuorma-auton käyttö ei ole taloudellisesti perusteltua, koska rekan ja kuorma-auton kustannusero (mk/km tai mk/h) on suhteessa pienempi kuin niiden kuljetuskyvyn ero. Tuusulan KTK (Kuorma-autojen tilauskeskus) veloittaa kuljetuksesta rekalla 7 mk/km. Tähän taksaan sisältyy lastaus- ja purkuajaa korkeintaan 2 h. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää aikaperusteista veloitusta, joka on 320 mk/h. Kuorma-autoliiton marraskuussa 1999 ilmoittamien laskentaperusteiden mukaan (Heikkinen, O., Kuorma-autoliitto, kirjallinen tiedonanto, 29.11.1999) täysperävaunurekan kustannukset olivat 7,3 mk/km, kun rekalla ajetaan vuodessa noin 150 000 km. Kun kustannukset jaetaan erikseen ajomatkalle sekä lastaus- että purkuajalle, saadaan kilometrikustannukseksi 5,1 mk/km ja lastausajan kustannukseksi 170 mk/h.

Yllä olevien vaihtoehtoisten veloitusperusteiden mukaan laskettuna pyöröpaalien kuljetuskustannukset täysperävaunurekal-

la 30 km:n päähän vaihtelevat välillä 40–55 mk/t (622–852 mk/kuorma). Irtotavaran kuljetuskustannukset vaihtelevat selvästi vähemmän. Vaihteluväli oli 72–75 mk/t (688–716 mk/kuorma). Irtotavaran kuljetuksessa päädytään edullisempaan kustannukseen kuorma-autoliiton laskentaperusteilla, koska siinä aikaveloitus on alhaisempi, ja irtotavaran lastaus vie enemmän aikaa kuin paalien lastaus.

Tässä raportissa esitetyissä ruokohelven ja oljen tuotantokustannuslaskelmissa kuljetuskustannukset on laskettu kuorma-autoliiton määrittämien kustannusperusteiden mukaan (Heikkinen, O., Kuorma-autoliitto, kirjallinen tiedonanto, 29.11.1999). Laskelmassa on ajokilometrimääränä käytetty 75 kilometriä (10 km tallilta lastauspaikalle, 30 km lastauspaikalta lämpölaitokseen ja 35 km lämpölaitoksesta talille).

2.3 Ruokohelven tuotantokustannus

Ruokohelpikasvusto voidaan korjata joko syyskesällä tai keväällä. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu ainoastaan kevätkorjuuta, koska syyskorjatun ruokohelven tuotantokustannukset ovat korkeammasta lannoitustasosta ja sadon kuivaustarpeesta johtuen noin 200 mk/t korkeammat. Lisäksi korjuun säärisi keväällä on syyskesää alhaisempi (Hemming et al. 1996).

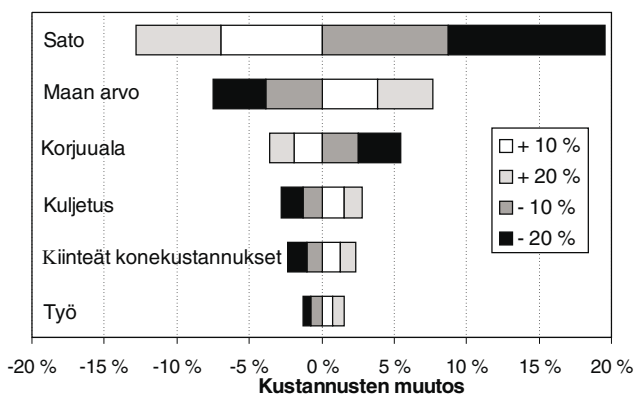
Laskelmissa satona on käytetty 6 tonnia kuiva-ainetta/ha. Satovuosia on laskettu olevan yhdeksän niin, että ensimmäinen korjuukelpoinen sato saadaan kahden vuoden kuluttua kylvöstä. Kasvuston kierroksi tulee näin ollen 11 vuotta. Kasvuston perustamisvaiheessa tyypeä annetaan 40 kg/ha, ja sen jälkeen vuosittain 60 kg/ha. Kylvövuonna rikkakasvien torjuntaan käytetään kevätiljajärbisidiä.

Kasvuston perustaminen ja vuosittainen lannoitus tehdään normaaleilla vilja- ja nurmenviljelyyn soveltuvilla koneilla. Kevätkorjuussa heinä paalataan pöyhimättä. Paalit tai irtotavara varastoidaan peltolohkon läheisyydessä ulkona, muovikalvolla tai hal-

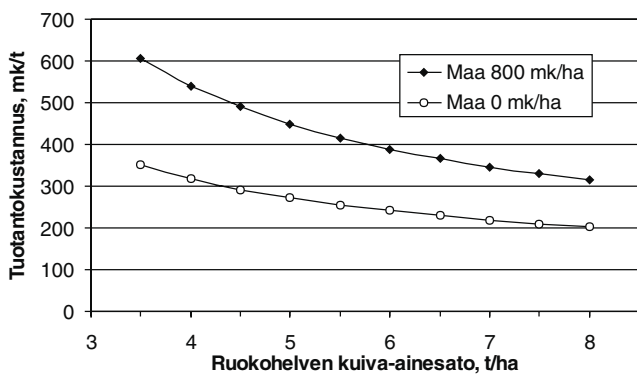
valla kuormapeitteellä peitettynä. Laskelmissa käytetyt koneet, niiden työnmenekit ja niillä tehtävän työn hinnoittelu on erittely liitteessä 2.

Keväällä tehokkaalla urakoitsijatason pyöröpaalaimella korjatun ruokohelven tuotantokustannus on 389 mk/t. Eri kustannuserien suhteelliset osuudet tuotantokustannuksesta ovat: maan pääomakustannus 38 %, korjuu 19 %, vuotuinen hoito 18 %, kuljetus lämpölaitokselle 14 %, perustaminen 9 % ja liikepääoman vaihtoheitoiskustannus 2 %. Kiinteiden kustannusten osuus tuotantokustannuksista on 50 %, työn vain 7 % ja muuttuvien kustannusten 43 %. Tarkempi erittely tuotantokustannuksista on liitteessä 1.

Eri tekijöiden vaikutusta tuotantokustannuksiin selvitettiin myös herkkyysanalyysillä joka tehtiin urakoitsijatason pyöröpaalausmenetelmälle (Kuva 1). Tämä tarkastelu osoitti selvästi satotason suuren vaikutuksen. Satotason vaikutus tuotantokustannuksiin on esitetty tarkemmin kuvassa 2. Muista yksittäisistä tekijöistä seuraavaksi eniten vaikutusta oli maan pääomakustannuksella ja korjuualalla. Kuljetuskustannusten, kiinteiden konekustannusten ja työkustannusten vaikutukset tuotantokustannuksiin olivat selvästi pienemmät kuin edellä mainituilla tekijöillä.



Kuva 1. Eri tekijöiden muutosten (+/- 10 % ja +/- 20 %) vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin (mk/t) urakoitsijatason pyöröpaalausmenetelmällä.



Kuva 2. Ruokohelven tuotantokustannus (mk/t), kun sato on 3,5–8,0 t/ha (kuiva-ainetta) ja maan pääomakustannus on 0 mk/ha tai 800 mk/ha. Muut lähtötiedot kuten liitteessä 1.

Taulukko 1. Työtehoseuran laskentamallin mukainen tuotantokustannuslaskelma oljelle, joka on korjattu keväällä tehokkaalla urakoitsijatasen pyöröpaalaimella.

| | mk/ha | mk/t |
|---------------------------------|-------|------|
| Tarvikkeet | 25 | 13 |
| Konekustannukset | 29 | 15 |
| Kuljetus | 109 | 54,5 |
| Muuttuvat kustannukset yhteensä | 163 | 82 |
| Työkustannus | 64 | 32 |
| Kiinteät konekustannukset | 97 | 48 |
| Kustannukset yhteensä | 324 | 162 |

2.4 Oljen tuotantokustannus

Oljen tuotantokustannus on 162 mk/t kuiva-ainetta (Taulukko 1). Laskelma sisältää ainoastaan oljen korjuusta aiheutuvat välittömät kustannukset. Koska vilja on pellon päätuote, perustamisen ja hoidon kulut raskitavat sitä, eikä niitä tarvitse enää oljen korjuussa ottaa huomioon. Sama koskee myös maan pääomakustannusta. Kuljetuskustannukset rekalla 30 kilometrin päähän sisältyvät laskelmaan.

Laskelmassa olkisato on 2 tonnia kuiva-ainetta/ha, karhot ovat 2,9 metrin välein (puimurin työleveys 3,0 m) ja korjuu tehdään tehokkaalla pyöröpaalaimella. Laskennallisesti kokeiltiin myös, kannattaisiko olkikarhot yhdistää karhottimella puimurin jäljiltä, mutta tämä lisäsi ihmistyötä 20 % ja kustannuksia 10 %.

2.5 Vaihtoehtoisten korjuumenetelmien kustannukset

Korjuukustannukset on laskettu pyöröpaalaukselle kahdella ja irtokorjuulle viidellä vaihtoehtoisella koneketjulla. Käytetyt koneketjut, koneiden työnmenekit ja kustannukset on esitetty liitteessä 2. Kova- ja kanttipaalauksen kustannukset on laskettu agrokuidun tuotantoa ja käyttöä selvittävässä tutkimuksessa (Hemming et al. 1996).

Koska näillä molemmilla menetelmillä korjuukustannukset ovat selvästi kalliimpia kuin pyöröpaalausmenetelmällä, ei pidetty tarpeellisena päivittää laskelmia vuoden 1999 kustannustasoa vastaavaksi. Korjuu kovapaalausmenetelmällä oli 15 % ja kanttipaalauksen menetelmällä 11 % pyöröpaalaukselta kalliimpaa.

Pyöröpaalauksessa molemmat koneketjut muodostuivat niittomurskaimesta, pyöröpaalaimesta ja paalien siirtoon käytettävästä etukuormaajasta, mutta ne erosivat koneiden koon ja vuotuisen käytön suhteen. Ensimmäinen koneketju edusti tyypillistä maatilakoneistusta, jossa esimerkiksi paalaimen vuotuinen käyttö vastasi noin 70 hehtaarin korjuuta. Toinen koneketju edusti urakoitsijoiden käyttämää koneistusta. Nämä koneet olivat tehokkaampia ja kestävämpiä kuin ensimmäisen ketjun koneet, joten niiden vuotuinen käyttö voitiin mitoittaa huomattavasti suuremmaksi, esimerkiksi paalaimella noin 220 ha/vuosi. Urakoitsijakoneiden ajonopeus ja niillä tehtävien paalien tiheys olivat suurempia kuin tyypillisellä maatilakoneistuksella, mikä osaltaan vähensi korjuun yksikkökustannuksia (mk/t). Tuotantokustannuslaskelmissa käytettyjen pyöröpaalien mitat on esitetty taulukossa 2.

Urakoitsijatasen pyöröpaalauksalustolla korjuukustannukset olivat 140 mk/t eli tilatason koneketjulla tehtyyn korjuuseen verrattuna 36 mk/t (-21 %) alhaisemmat (Taulukko 3). Eniten alenivat kiinteät konekustannukset (-27%), mutta myös työ (-21 %) ja kuljetuskustannukset (-14 %) alenivat merkittävästi. Kuljetuskustannus

Taulukko 2. Ruokohelven ja oljen tuotantokustannuslaskelmissa käytettyjen pyöröpaalien mitat.

| | Tilatason koneistus | Urakoitsijakoneistus |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|
| Leveys, m | 1,2 | 1,2 |
| Pituus/halkaisija, m | 1,5 | 1,5 |
| Tiheys, kg/m ³ (ka) | 120 | 140 |
| Tilavuus, m ³ | 2,12 | 2,12 |
| Paino, kg (ka) | 254 | 297 |

Taulukko 3. Ruokohelven ja oljen vaihtoehtoisten korjuumenetelmien kustannukset (mk/t).

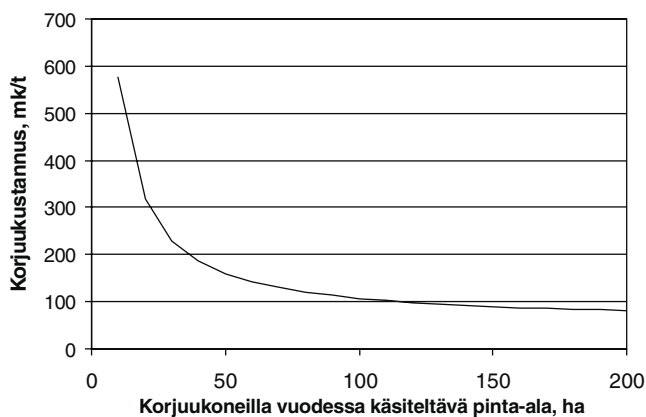
| | Muuttuvat kustannukset | | | | Kiinteät konekust. | Kaikki yht. |
|-----------------------------|------------------------|--------|----------|-----|--------------------|-------------|
| | Tarvikkeet | Koneet | Kuljetus | Työ | | |
| Pyöröpaalaus | | | | | | |
| - tilatason koneistus | 13 | 16 | 64 | 25 | 58 | 176 |
| - urakoitsijakoneistus | 13 | 10 | 55 | 20 | 42 | 140 |
| Irtokorjuu tark.silppurilla | | | | | | |
| - tilatason koneistus | 8 | 18 | 72 | 24 | 77 | 200 |
| - urakoitsijakoneistus | 8 | 14 | 72 | 26 | 52 | 171 |
| - VTT:n ketju | 8 | 11 | 72 | 17 | 41 | 149 |
| Irtokorjuu kaksoissilp. | 8 | 15 | 72 | 22 | 66 | 184 |
| Claas Jaguar | 8 | 16 | 72 | 24 | 49 | 168 |

aleni, koska kuljetettavien paalien lukumäärä väheni paalien ollessa tiiviimpiä. Korjuukustannuksen suuruus on voimakkaasti sidoksissa korjuukoneiden vuotuisen käyttömäärään. Jos koneita käytetään vain vähän, korjuukustannukset nousevat hyvin suuriksi (Kuva 3).

Irtokorjuun kustannukset laskettiin kolmella erilaisella niittomurskaimeen ja tarkkuussilppuriin perustuvalla koneketjulla sekä yhdellä kaksoissilppuriin perustuvalla koneketjulla ja yhdellä itsekulkevaan rehusilppuriin perustuvalla koneketjulla (Liite 2). Näistä kustannuksiltaan edullisin (149 mk/t) oli VTT:n irtokorjuumenetelmän kehittämistutkimuksessa (Lindh et al.

1998) tehokkaimmaksi havaittu koneketju. Tavanomaisista koneketjuista toiseksi edullisin (171 mk/t) oli urakoitsijatason koneketju, jossa niittomurskaimeen ja tarkkuussilppurin lisäksi oli traktori ja kaksi kippavaa, rehuvarustuksella varustettua perävauunua, joilla helpi siirrettiin aumaan pellon laidalle (Taulukko 3). Itsekulkevaan rehusilppuriin (Claas Jaguar) perustuva koneketju oli hieman edellä mainittua edullisempi (168 mk/t).

Tulos ei kuitenkaan ole kovin hyvin yleistettävissä, koska lähtöarvot perustuvat pitkälti vain yhdeltä koneyritykseltä saatuihin tietoihin oljen korjuutyöstä. Tällä kalilla koneketjulla voidaan päästä alhaisiin



Kuva 3. Urakoitsijatason koneistuksella (niittomurskain ja pyöröpaalain) korjatun ruokohelven korjuukustannus vuosittain korjattavan pinta-alan funktiona. Kustannukset sisältävät sekä tarvikkeekustannukset että korjuun työvaiheiden työ- ja konekustannukset.

korjuukustannuksiin, jos koneiden vuotuiset käyttömäärät ovat suuria ja silppurin kapasiteetti saadaan täysin hyödynnettyä usean niittokarheen yhdistämisellä. Traktorin, kaksoisilppurin ja yhden perävaunun muodostama koneketju, jolla tehtiin sekä yhdistetty niitto ja silppuaminen että kuljetus ja tyhjennys aumaan, oli edullisempi (184 mk/t) kuin tilatason tarkkuussilppuriketju (200 mk/t). Kaksoisilppuria käytettäessä kahden perävaunun käyttö peltokuljetuksiin ei ollut kannattavaa mutta erillinen niitto työlevydeltään suuremmalla (2,4 m) niittomurskaimella ei vaikuttanut merkittävästi kustannuksiin. Laskelmissa irtotavaran tiheydeksi oletettiin 70 kg/m³.

VTT on laskenut omalla laskentamallillaan ja laskentaperusteillaan em. tehokasta tarkkuussilppuriketjua käytettäessä ruokohelven tuotantokustannukseksi 92 mk/MWh (Lindh et al. 1998). Työtehoseurassa määritettiin samalle koneketjulle korjuukustannukset TTS:n laskentamallia ja vuoden 1999 hintatasoa käyttäen. Tulos oli lähes sama (91 mk/MWh) kuin VTT:n laskelmissa. Kaksoisilppurimenetelmää käytettäessä VTT laski tuotantokustannusten olevan 97 mk/MWh ja TTS:ssa tulokseksi saatiin 99 mk/MWh.

2.6 Ruokohelven saamat tuet

Nykyisen (1999) maatalouden tukijärjestelmän puitteissa ruokohelpeä voidaan viljellä ns. non food -kesannolla tai kokonaan kesannon ulkopuolella. Non food -kesannolle maksetaan CAP-tukea mutta ei ym-

päristötukea, kesannon ulkopuolella viljeltävällä ruokohelvellä tilanne on päinvastoin. Ruokohelven kaikkien tukien yhteissumma on A-tukialuetta lukuunottamatta korkeampi non food -kesannolla kuin kesannon ulkopuolella (Liite 3). On kuitenkin huomattava, että viljelijä saa saman tuen myös muulle hyväksytylle kesannolle, eivätkä ruokohelven tuotantokustannukset tällöin rasita häntä.

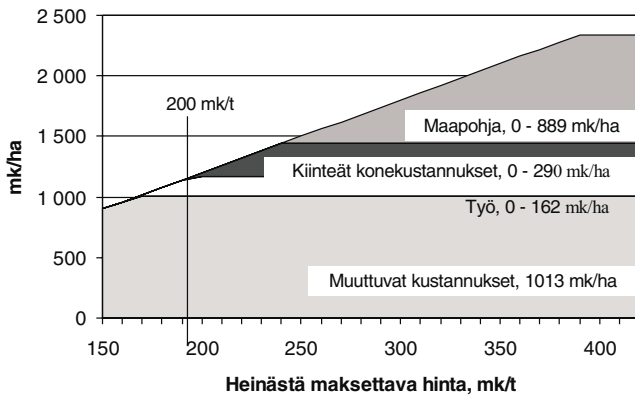
2.7 Ruokohelven ja oljen viljelyn kannattavuus

Kannattavuuslaskelma (Taulukko 4) perustuu oletukselle että energian tuottamiseen tarkoitettusta ruokohelvestä ja oljesta maksetaan sama hinta (mk/MWh) kuin turpeesta. Kun turpeen hinta tällä hetkellä on 45 mk/MWh (KTM 1999) käyttöpaikalla ja ruokohelven ja oljen energiasisältö on 4,5 MWh/t, muodostuu ruokohelven ja oljen hinnaksi täten noin 200 mk/t (20 p/kg kuiva-ainetta). Tämä korvaus ei riitä kattamaan ruokohelven koko tuotantokustannusta (389 mk/t), vaan se kattaa ainoastaan tuotannon muuttuvat kustannukset (lannoitteet, muut tarvikkeet, muuttuvat konekustannukset, kuljetuksen ja liikepääoman vaihtoehtoiskustannuksen), työ- ja hieman konekustannuksia (Kuva 4).

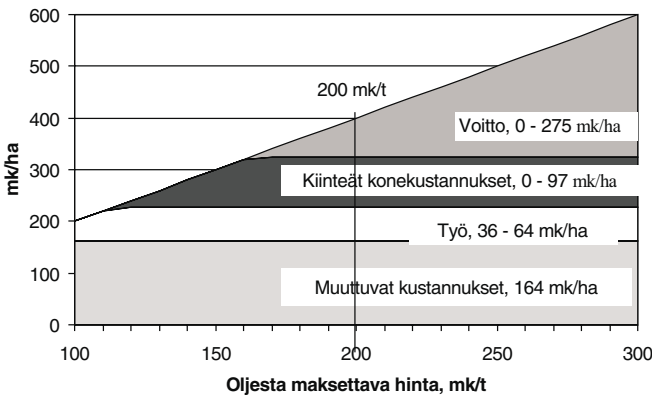
Kun ruokohelven viljelyä energiatarvoksi verrataan rehuohran viljelyyn, havaitaan, että esimerkiksi B-tukialueella ohra tuottaa selvästi paremman katteen, jos ainoastaan tuotannon muuttuvat kustan-

Taulukko 4. Ruokohelven ja oljen viljelyn taloudellinen kannattavuus, kun ruokohelven sato on 6,0 t/ha, oljen sato on 2,0 t/ha ja kummankin myyntihinta on 200 mk/t.

| | Ruokohelpi | | Olki | |
|-------------------------------|------------|------|-------|------|
| | mk/ha | mk/t | mk/ha | mk/t |
| Viljelijälle maksettava hinta | 1200 | 200 | 400 | 200 |
| Tuotantokustannus | 2335 | 389 | 324 | 162 |
| Viljelijän nettotulos | -1135 | -189 | 76 | 38 |



Kuva 4. Ruokohelven tuotantokustannuksen eri kuluerien katteeksi jäävä korvaus heinästä maksettavan hinnan funktiona. Laskelman lähtötiedot kuten liitteessä 1.



Kuva 5. Oljen tuotantokustannuksen eri kuluerien katteeksi jäävä korvaus oljesta maksettavan hinnan funktiona.

nukset ja työkustannus otetaan huomioon. Ilman tukia ero on 677 mk/ha ohran hyväksisi ja tukien kanssa 1108 mk/ha. Jos myös kiinteät konekustannukset ja maan pääomakustannus otetaan huomioon, tilanne muuttuu merkittävästi, sillä ohran viljelyssä kiinteät konekustannukset ovat paljon suuremmat kuin ruokohelpillä mm. siinä tarvittavan kuivurin takia. Ilman tukia laskeuttaessa on ruokohelpi 100 mk/ha edullisempi. Ohran ruokohelpeä korkeammat tuet muuttavat tilanteen kuitenkin niin, että tukien kanssa ohra on 331 mk edullisempi. Vertailulaskelma on esitetty liitteessä 4.

Oljen korjuu on tämän tutkimuksen mukaan selvästi kannattavaa, sillä oljen oletettu hinta 200 mk/t riittää kattamaan kaikki tuotantokustannukset (162 mk/t) ja

viljelijä saa vielä hieman voittoakin (Kuva 5). Vertailun vuoksi voidaan todeta että oljen hinta Tanskassa vuonna 1996 oli 530 DKK (413 mk) kuiva-ainetonnia kohti (Parsby 1996). Tällä hinnalla oljen korjuu on viljelijälle erittäin kannattavaa ja niinpä oljen poltto Tanskan lämpölaitoksissa onkin hyvin yleistä.

2.8 Yhteenveto tuotantokustannuksista

Ruokohelven tuotantokustannus tehokkaalla pyöröpaalaimella korjattuna on 389 mk/t ja oljen tuotantokustannus vastaavasti 162 mk/t. Kustannukset sisältävät kuljetuksen lämpölaitokselle. Energiatarkoitukseen myytävän biomassan oletettu hinta

(200 mk/t) kattaa ruokohelven tuotanto-kustannuksista ainoastaan muuttuvat kustannukset, työkustannukset ja osan kiinteistä konekustannuksista. Oljen tuotanto-kustannuksen ko. hinta sen sijaan kattaa kokonaan.

Vaikka energialähteeksi myytävästä ruokohelvestä saatava hinta ei katakaan koko tuotantokustannusta, ruokohelven viljely saattaa silti olla kannattava vaihtoehto yksittäisellä tilalla, jos tilalla on vapaata työvoimaa, sopivaa peltoa ja tarvittavat koneet vailla vaihtoehtoista tuottavaa käyttöä.

Ohra tuottaa selvästi paremman katteen, jos ainoastaan tuotannon muuttuvat kustannukset ja työkustannus otetaan huomioon. Jos myös kiinteät konekustannukset ja maan pääomakustannus otetaan huomioon, tilanne muuttuu merkittävästi, koska ohran viljelyssä kiinteät konekustannukset ovat suuremmat kuin ruokohelpillä. Ilman tukia laskettaessa ruokohelvi on jopa hieman ohraa edullisempi. Tukien kanssa ohra on kuitenkin 331 mk ruokohelpeä edullisempi.

Tämän tutkimuksen mukaan ruokohelven ja oljen korjaaminen on edullisinta, kun käytetään tehokasta urakoitsijatasen pyöröpaalainkoneketjua, jonka vuotuinen käyttömäärä on suuri. Irtokorjuun kilpailukykyä alentavat paaleihin verrattuna korkeammat kuljetus- ja kiinteät konekustannukset.

Vaikka laskennalliset kustannukset urakoitsijatasen koneilla jäävät normaalia maatilakoneistusta alhaisemmiksi, viljelijän kannattaa kuitenkin useimmiten käyttää omia koneitaan, jos hänellä on niitä ja ne ovat tarkoitukseen sopivia. Omien koneiden kiinteät kustannukset rasittavat häntä joka tapauksessa.

Yksittäinen kustannuslaskelma ei ole yleispätevä, vaan todelliset tuotantokustannukset ovat aina tapauskohtaisia, ja niiden suuruuteen vaikuttavat monet eri tekijät. Sadon suuruus ja koneiden vuotuinen käyttömäärä vaihtelevat paljon ja vaikuttavat merkittävästi tuotantokustannuksiin. Tuotantokustannusten suurimmat yksittäiset

kuluerät olivat maan pääomakustannus (38 %), lannoitteet (18 %), kuljetus (14 %) ja kiinteät konekustannukset (12 %).

3 Peltobiomassan saatavuus

3.1 Peltobiomassan saatavuus potentiaalisten lämpölaitosten ympäristössä

Ruokohelven ja oljen saatavuutta energiantuotantotarkoituksiin valtakunnallisessa mittakaavassa on selvitetty tarkastelemalla ruokohelven ja oljen potentiaalisen tuotantoalan määrää biomassan polttoon soveltuvien lämpölaitosten läheisyydessä.

Tarkastelun tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon maassamme on ruokohelven tai oljen polttoon soveltuvia lämpölaitoksia ja onko 30 kilometrin kuljetusetäisyyden päässä näistä laitoksista riittävästi ruokohelven ja/tai oljen tuotantopotentiaalia. Tarkasteluun valittiin 63 kappaletta yli 5 MW lämpölaitosta ja lämpövoimalaitosta, joissa on joko mekaaninen arina tai leijukerospoltto. Kunkin laitoksen ruokohelven ja/tai oljen tarve laskettiin siten, että 10 % laitoksen tarvitseman polttoaineen energiasisällöstä tulee ruokohelvestä/oljesta.

Ruokohelven ja oljen tuotantopotentiaalın selvittämistä varten hankittiin maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksesta kuntakohtaiset viljojen ja kesanto-peltojen alat. Nämä tiedot perustuvat vuonna 1995 tukea hakeneiden tilojen tietoihin. Laskelmassa oletettiin, että 30 % viljojen olkimäärästä saadaan käyttöön ja että 30 % kesantoalasta otetaan ruokohelven viljelyyn. Olkimäärän laskennassa huomioidiin viljalajikohtaiset olkisadot. Varsinaisen lämpölaitosten ja niiden ympärillä olevan tuotantopotentiaalın tarkastelu on tehty käyttäen paikkatieto-ohjelmistoa (Arc-Info).

Tulokset on esitetty taulukossa 5 ja kuvassa 6. Sekä ruokohelven että oljen tuotan-

Taulukko 5. Aineiston lämpölaitosten lukumäärät eri kokoluokissa ja niiden laitosten lukumäärät, joiden ympäristössä on 30 km:n säteellä riittävä peltobiomassojen tuotantopotentiaali 10 % energiaosuuden saavuttamiseksi.

| Kattilateho | Laitoksia aineistossa | Ruokohelppi täyttää 10 % energiaos. | Olki täyttää 10 % energiaos. | Ruokohelppi ja olki täyttävät 10 % energiaosuuden |
|-------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| Alle 10 MW | 21 | 16 | 17 | 17 |
| 10 - 49 MW | 19 | 6 | 12 | 12 |
| 50 - 100 MW | 14 | 2 | 4 | 6 |
| Yli 100 MW | 9 | - | - | - |
| Yhteensä | 63 | 24 | 33 | 35 |

topotentiaali riittää täyttämään useimpien alle 10 MW laitosten 10 % energiaosuuden. Tätä suuremmista laitoksista oljen tuotan-

topotentiaali riittää täyttämään huomattavasti useamman laitoksen 10 % energiaosuuden kuin ruokohelven tuotantopotentiaali. Yli 100 MW:n laitosten 10 % energiaosuus ei täytynyt missään edes ruokohelven ja oljen yhteenlasketun tuotantopotentiaalın avulla. Koska monet tarkastellun lämpölaitokset sijaitsevat niin lähellä toisiaan, että 30 kilometrin hankintasäteet menevät päällekkäin, peltobiomassan tuotantopotentiaali ei riitä täyttämään kaikkien laitosten samanaikaista energiantarvetta.



Kuva 6. Lämpölaitosten sijainti ja 30 km:n hankintasäde. Ehdot täyttyvät, mikäli säteen sisältä löytyy oljen ja ruokohelven yhteenlasketua tuotantopotentiaalia riittävä määrä laitoksen 10 %:n energiaosuuden saavuttamiseksi.

3.2 Viljelyhalukkuuskysely

3.2.1 Tutkimusaineisto ja menetelmät

Viljelijöiden kiinnostusta ja valmiuksia tuottaa ruokohelpeä tai olkea energiakäyttöön kartoitettiin kirjekyselyllä Alavuden, Forssan ja Saarijärven ympäristössä. Kyselyn tavoitteena oli lähinnä selvittää viljelijöiden yleistä kiinnostusta ja tuotantovalmiuksia eri puolilla Suomea, ei niinkään kartoittaa polttoaineen riittävyttä ko. paikkakuntien lämpölaitoksille. Otanta-alueeksi valittiin kultakin paikkakunnalta 30 kilometrin säteellä olevat kunnat, joiden maa-alasta suurin osa jäi säteen sisälle. Otokoko kullakin alueella oli 200 tilaa niin, että kustakin valitusta kunnasta otettiin otokseen sama prosenttiosuus kunnan tiloista.

Otanta tehtiin maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksessa vuoden

1995 maatilarekisterin perusteella ja kysely toteutettiin marraskuussa 1996. Kuntien sisällä tilojen valinta oli täysin satunnainen. Tiloja ei rajattu tuotantosuunnan mukaan, mutta tuotannonkeskeytys-, luopumism. sopimuksen tehneet tilat rajattiin otoksen ulkopuolelle. Kysely lähetettiin ainoastaan suomenkielisille viljelijöille. Kyselylomakkeen mukana viljelijöille lähetettiin lyhyt selostus ruokohelven viljelytekniikasta sekä viljelyn taloudesta.

Kahden muistutuskirjeen jälkeen kyselyn vastausprosentiksi saatiin Alavuden alueella 59 %, Forssan alueella 56 % ja Saarijärven alueella 46 %. Kaikkien alueiden yhteenlaskettu vastausprosentti oli 54 %. Vastanneiden tilojen peltoalat edustivat Alavuden alueella 12 %, Forssan alueella 8 % ja Saarijärven alueella 23 % alueiden yli 15 ha:n tilojen peltoaloista (Taulukko 6).

Kuntakohtainen erittely kokonaistilaluvusta, otoskoosta sekä vastanneiden tilojen lukumäärästä ja niiden hallussa olevasta peltoalasta on esitetty liitteessä 5.

3.2.2 Vastaajien taustamuuttajat

Vastanneiden tilojen keskimääräiset peltoalat olivat Alavuden alueella 27 ha, Forssan alueella 39 ha ja Saarijärven alueella 28 ha. Peltoalalla tarkoitetaan kesäkuussa 1996 tilan hallinnassa ollutta omaa ja vuokrattua peltoa. Kaikkien vastanneiden tilojen keskimääräinen peltoala oli 31 ha ja 78 % tiloista oli kooltaan alle 40 ha. Yleisin peltoalaluokka oli 20–30 ha. Vastanneiden tilojen jakautuminen eri peltoalaluokkiin on

esitetty tarkemmin liitteessä 6.

Pellonkäytön suhteen Alavuden ja Saarijärven alueet olivat melko samanlaisia. Vilja-, öljy-, palko- tai nurmikasvien osuus näiden alueiden peltoalasta oli noin 45 % ja kesannon osuus noin 7 %. Forssan alueella viljan osuus oli huomattavasti suurempi (70 %) ja nurmikasvien osuus vähäisempi (14 %). Kesantoalan osuus tällä alueella oli 10 %. Keskimääräiset vilja-, öljy- tai palkokasvien viljelyalat olivat Alavuden alueella 12 ha/tila, Forssan alueella 30 ha/tila ja Saarijärven alueella 14 ha/tila. Kesannoivien tilojen keskimääräinen kesantoala eri alueilla oli 5–7 ha/tila.

Yleisin tuotantosuunta Alavuden ja Saarijärven alueilla oli lypsykarjatalous ja Forssan alueella viljanviljely. Naudanlihan tuotanto oli yleisintä Alavuden ja Saarijärven alueilla ja sianlihan- ja porsastuotanto Forssan alueella. Tilojen tuotantosuunnat on esitetty liitteessä 6. Kyselyyn vastanneiden viljelijöiden keski-ikä oli kaikilla alueilla 43–45 vuotta. Alle 40-vuotiaiden suhteellinen osuus oli Alavuden alueella hieman muita alueita korkeampi.

3.2.3 Korjuukapasiteetti tiloilla

Viljelijäkyselyyn avulla selvitettiin tiloilla oleva heinä- ja oljenkorjuuseen sopiva kalusto. Alavuden alueella 92 % kyselyyn vastanneista tiloista ilmoitti, että heillä on sopivaa kalustoa. Forssan alueella vastaava luku oli 75 % ja Saarijärven alueella 89 %. Yleisimmät koneet olivat leikkuupuimuri (58 %:lla vastanneista tiloista), karho-

Taulukko 6. Viljelijäkyselyyn vastanneiden tilojen, otostilojen ja alueen kaikkien yli 15 hehtaarin tilojen lukumäärät ja peltoalat. Prosenttiluku ilmoittaa ko. tilojen peltoalan osuuden yli 15 hehtaarin tiloista.

| | Alavus | | | Forssa | | | Saarijärvi | | |
|-------------------|--------|-------|----|--------|-------|----|------------|-------|----|
| | kpl | ha | % | kpl | ha | % | kpl | ha | % |
| Vastanneet | 118 | 3140 | 12 | 111 | 4319 | 8 | 92 | 2543 | 23 |
| Otostilat | 200 | 5437 | 21 | 200 | 7315 | 13 | 200 | 5357 | 48 |
| Yli 15 ha:n tilat | 936 | 25504 | | 1445 | 54583 | | 412 | 11078 | |
| Kaikki tilat | 1760 | 33157 | | 2137 | 62009 | | 824 | 14716 | |

tin/pöyhin (55 %), kelasilppuri (49 %), lautasniittokone (42 %) ja kovapaalain (32 %). Niittomurskaimia löytyy vain 12 %:lla tiloista, tarkkuussilppureita ja pyöröpaalaimia 10 %:lla ja noukinvaunuja vastaavasti 3 %:lla vastanneista tiloista. Silppuavia pyöröpaalaimia oli Alavuden alueella 6 kpl, muilla alueilla ei ollenkaan. Kanttipaalainta ei ollut yhdelläkään kyselyyn vastanneella tilalla. Eri korjuukoneiden tyypilliset työleveydet olivat lautasniittokoneilla 180–200 cm, karhottimilla/pöyhimillä 260–320 cm ja kelasilppureilla 110–130 cm. Paalienkuljetukseen sopivia perävaunuja oli 62 %:lla vastanneista tiloista (useilla 2–3 kpl) ja irtotavarankuljetukseen sopivia perävaunuja vastaavasti 36 %:lla. Kuorma-autoja tiloilta löytyi 9 kappaletta. Varastointiin sopivia rakennuksia oli 38 %:lla tiloista (useilla 2–3 kpl) ja latokuivuri 14 %:lla tiloista. Koneiden lukumäärät eri alueilla on esitetty liitteessä 7.

Omien ruokohelpilohkojen niitto kevätkorjuun aikaan oli mahdollista (sopii melko tai erittäin hyvin) yli puolelle kyselyyn vastanneista viljelijöistä. Omien lohkojen paalaus oli mahdollista 30 %:lle ja lämpölaitoskuljetusten järjestäminen 21 %:lle viljelijöistä. Mahdollisuudet irtokorjuuseen olivat vähäiset. Niittourakointia piti mahdollisena 20 % ja urakointia paalaimella 14 % viljelijöistä. Muuten viljelijöiden mahdollisuudet toimia urakoitsijoina olivat vähäiset. Alueiden välillä ei ollut merkittäviä eroja.

Urakointipalvelujen saatavuutta ruokohelven kevätkorjuun aikaan pidettiin hyvinä. Noin 60 % viljelijöistä uskoi että niittoon, paalaukseen tai kuljetuksiin löytyy urakoitsija. Irtokorjuu-urakoitsijan löytymiseen uskoi sensijaan vain vajaa kolmannes viljelijöistä. Alavuden alueella urakoitsijoita oli kyselyn mukaan saatavissa jonkin verran paremmin kuin Forssan ja Saarijärven alueilla.

Oman olkisadon paalausta piti mahdollisena vajaa puolet viljelijöistä. Oljenkorjuun urakointi paalaimella tai lämpölaitoskuljetusten järjestäminen oli mahdollista joka neljännelle viljelijälle. Omien olkilohkojen irtokorjuu tarkkuussilppurilla tai ura-

kointi naapurille oli mahdollista noin joka kymmenennelle viljelijälle. Urakointipalvelujen saatavuutta oljenkorjuuseen pidettiin hyvinä. Paalausurakoitsijan löytymiseen uskoo 77 %, kuljetusurakoitsijan 56 % ja irtokorjuu-urakoitsijan 26 % viljelijöistä.

3.2.4 Kiinnostus ruokohelven ja oljen tuotantoon

Valmiutta ruokohelven ja oljen tuotantoon kysyttiin viljelijöiltä pyytämällä heitä ilmoittamaan sen hehtaarimäärän, jolla he olisivat periaatteessa valmiita tuottamaan ruokohelpeä tai olkea myyntitarkoituksiin, jos markkinoita olisi ja tuotteen hinta olisi tyydyttävä. Vastaavasti kysyttiin hehtaarimäärää, jolla he olisivat käytännössä valmiita tuottamaan ruokohelpeä tai olkea, jos hinta olisi 20 p/kg. Tämä hinta perustuu olettamukseen, että ruokohelvestä ja oljesta maksetaan sama hinta kuin turpeesta (45 mk/MWh).

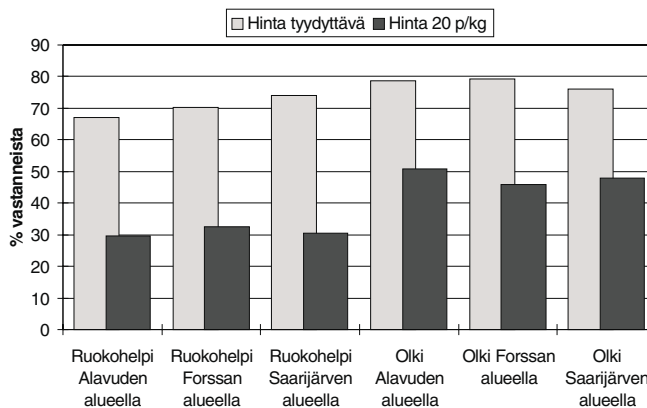
70 % vastanneista viljelijöistä oli halukkaita tuottamaan ruokohelpeä tyydyttävällä hinnalla, kun keskimääräinen viljelyala oli 11 ha. Hinnalla 20 p/kg halukkaita oli vain 31 % viljelijöistä, ja keskimääräinen ala oli tällöin 8 ha.

Halukkuus oljen tuotantoon oli hieman suurempi. 78 % viljelijöistä oli halukkaita korjaamaan olkea tyydyttävällä hinnalla keskimäärin 15 ha:n alalla. Hinnalla 20 p/kg 48 % viljelijöistä oli halukkaita korjaamaan olkea keskimäärin 13 ha:n alalla. Kiinnostuneiden viljelijöiden osuus alueittain on esitetty kuvassa 7 ja vastaajien lukumäärät sekä mahdolliset tuotantoalat alueittain taulukossa 7.

3.2.5 Myyntitavat ja välivarastointi

Suosituimmat ruokohelven myyntitavat olivat myynti pystykasvustona tai paaleina. 35 % viljelijöistä oli kiinnostuneita näistä myyntitavoista. Alavuden ja Forssan alueella myynti pystykasvustona oli hivenen suosituimpaa kuin myynti paaleina. Saari-

Kuva 7. Halukkuutensa ruokohelven ja/tai oljen viljelyyn kyselyssä ilmaisseiden viljelijöiden osuus kaikista vastanneista, kun tuotteen hinta on tyydyttävä tai 20 p/kg.



järven alueella puolestaan myynti paaleina oli suositumpaa kuin myynti pystykasvustona (Kuva 8). Suosituimmat oljen myyntitavat olivat myynti karholta (54 %) ja myynti paaleina (38 %). Alueelliset erot oljen myyntitavoissa olivat pieniä. Oljen tai ruokohelven toimittaminen käyttöpaikalle kiinnosti 9 % vastaajista ja myynti irtotavarana ainoastaan 6 % vastaajista. Noin neljäsosa vastaajista oli ilmoittanut useamman kuin yhden sopivan myyntitavan.

Suosituin (58 % vastaajista) paalien tai irtotavaran välivarastointitapa tilalla oli ulkona muovilla tai kuormapeitteellä katettuna. Varastoinnin rakennuksessa pystyisi hoitamaan 26 % vastaajista ja katoksessa 9 % vastaajista. Viidennes vastaajista ei ollut lainkaan halukas tilavarastointiin. Viljelijöiden suosimat varastointitavat alueittain on esitetty kuvassa 9. Varastointiin sopivarakennus on 38 % vastaajista (123 kpl) ja latokuivuri 14 % vastaajista (45 kpl).

3.2.6 Oljen nykyinen käyttö tiloilla

Olkisatoa ainakin jonkin verran korjaa 63 % niistä kyselyyn vastanneista tiloista joilla on viljanviljelyä. Vähintään puolet olkisadostaan korjaa noin neljännes em. tiloista. Keskimääräinen korjuuala oli Alavuden ja Saarijärven alueella noin 5,2 ha ja Forssan alueella noin 6,5 ha.

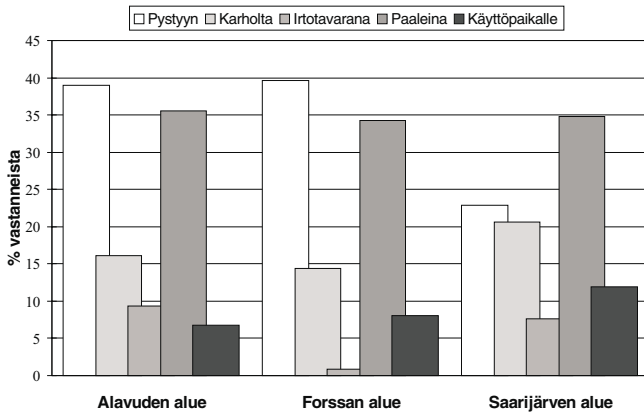
Kuivikkeena olkea käyttivät lähes kaikki (93 %) sitä korjaavat tilat. Muu oljen hyötykäyttö olikin vähäistä. Ruokintaan olkea käytti 10 % tiloista ja polttoaineena ainoastaan kolme tilaa. Viidennes tiloista myi olkea tilan ulkopuolelle. Suurin osa myydystä oljesta käytettiin kuivikkeeksi.

3.2.7 Ruokohelven ja oljen mahdolliset tuotantoalat

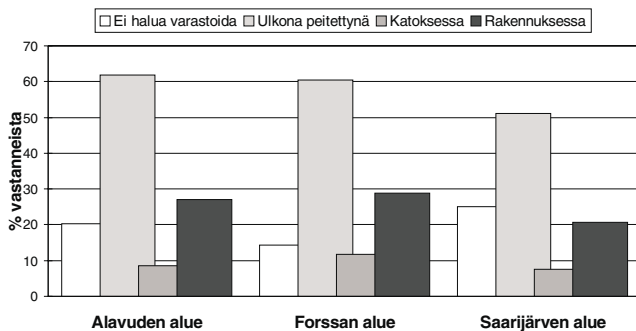
Mahdollisten tuotantoalojen määrittämi-

Taulukko 7. Alueiden yli 15 ha:n tilojen kesantoaloista ruokohelven tuotantoon ja vilja-aloista oljen tuotantoon saatavat osuudet (%) sekä tuotantoala/tila viljelijäkyselyn vastausten perusteella, kun tuotteen hinta on tyydyttävä tai 20 p/kg.

| | Alavuden alue | | Forssan alue | | Saarijärven alue | | Kaikki | |
|-------------------------|---------------|---------|--------------|---------|------------------|---------|--------|---------|
| | % | ha/tila | % | ha/tila | % | ha/tila | % | ha/tila |
| Helpi, hinta tyydyttävä | 67 | 10 | 70 | 10 | 74 | 13 | 70 | 11 |
| Helpi, hinta 20 p/kg | 30 | 9 | 32 | 8 | 30 | 9 | 31 | 8 |
| Olki, hinta tyydyttävä | 79 | 14 | 79 | 15 | 76 | 14 | 78 | 15 |
| Olki, hinta 20 p/kg | 51 | 13 | 46 | 12 | 48 | 15 | 48 | 13 |



Kuva 8. Viljelijöiden kiinnostus ruokohelven myyntitapoihin. Vaihtoehdot olivat pystykasvustona, karholta niitteen, irtotavarana tai paaleina välivarastosta sekä käyttöpaikalle toimitettuna.



Kuva 9. Viljelijöiden kiinnostus paalutun tai irtotavarana olevan ruokohelven tai oljen varastointitapoihin maatilalla.

seksi selvitettiin Alavuden, Forssan ja Saarijärven lämpölaitosten ympäristössä eri etäisyyksillä olevat kokonaispeltoalat sekä vilja- ja kesantopeltojen alat (Kuva 10). Selvitystä varten hankittiin maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksesta kuntakohtaiset eri pellonkäyttömuotojen alat, jotka perustuvat vuonna 1995 tukea hakeneiden tilojen tietoihin. Peltoalamäärittäminen tehtiin paikkatieto-ohjelmistolla 20, 40, 60, 80, 100 ja 120 kilometrin säteellä lämpökeskuksen postinumeralueen keskipisteestä. Kustakin kunnasta laskettiin säteen sisälle jäävä osuus kunnan koko pinta-alasta. Tällä osuudella sitten kerrottiin ko. kunnan tutkittavan pellonkäyttömuodon pinta-ala.

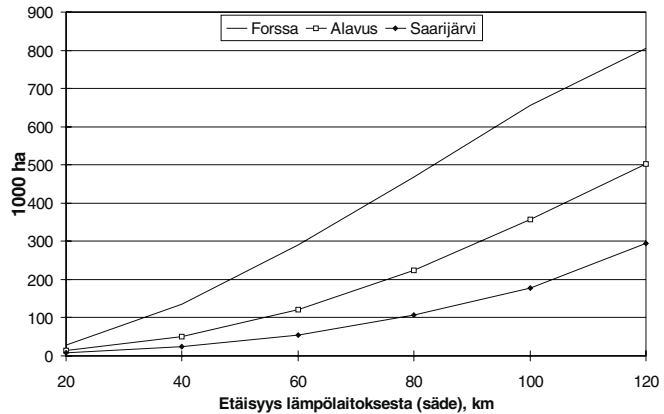
Paikkatieto-ohjelmistolla voidaan tarvittaessa ottaa huomioon myös peltojen sijainti kunnan sisällä tai todellinen kuljetusetäisyys maanteitä pitkin. Tätä mahdol-

lisuutta ei kuitenkaan käytetty, koska tarvittavien karttatietokantojen hankinta olisi tullut tähän alustavaan tarkasteluun liian kalliiksi.

Arvioitaessa mahdollisia tuotantoaloja viljelijäkyselyn tulosten perusteella havaittiin, että kyselyyn vastanneet viljelijät olivat halukkaita tuottamaan ruokohelpeä myyntitarkoituksiin selvästi suuremmalla alalla kuin mikä heidän tämänhetkinen kesantotalansa on. Oljen kohdalla viljelijöiden ilmoittamat halutut korjuualat olivat selvästi enemmän sidottuja nykyisiin vilja-aloihin (Taulukko 7).

Peltobiomassan riittävyyden selvittämiseksi Alavuden, Forssan ja Saarijärven lämpölaitosten tarpeisiin laskettiin kunkin laitoksen tarvitsema peltobiomassan tarve siten, että 10 % laitoksen tarvitseman polttoaineen energiasisällöstä tulee ruokohelvestä tai oljesta. Koska Alavuden ja Saarijärven

Kuva 10. Kokonaispeltoalat Alavuden, Forssan ja Saarijärven ympäristössä.



laitokset ovat pieniä (nimellisteholtaan 4 MW), saadaan niiden tarvitsema pelto- ja biomassa kootuksi joko oljesta tai ruokohelvestä jo huomattavasti alle 20 kilometrin etäisyydeltä, jos 30 % alueen kesantoalasta on ruokohelven tuotannossa tai jos olki korjataan 30 %:lla alueen vilja-alasta. Forssan laitos on paljon suurempi kuin Alavuden ja Saarijärven laitokset (nimellisteholtaan 55 MW), mutta senkin tarvitsema helppi- tai olkimäärä saadaan samoin edellytyksin kootua 20 kilometrin säteeltä.

3.3 Korjuuvarmuus

Korjuuvarmuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, kuinka todennäköistä korjuun onnistuminen on korjuukaudella vallitsevissa sääoloissa. Sekä syys- että kevätkorjatun ruokohelven korjuuvarmuuden tarkastelu on tehty agrokuituprojektin yhteydessä (Hemming et al. 1996). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vain oljen korjuuvarmuutta.

3.3.1 Tutkimusaineisto ja menetelmät

Korjuukauden sää ja sen vaihtelu vaikuttaa oleellisesti kasvuston kosteuteen. Se puolestaan ratkaisee, milloin työ eri vaiheissa on teknisesti mahdollista ja järkevää toteuttaa. Kasvuston kosteuteen vaikuttavat ilman

haihduntaolosuhteet (tuuli, lämpötila, ilman suhteellinen kosteus) ja sadeolot. Tässä selvityksessä oljen korjuuvarmuutta määritettiin 30 vuoden ajanjaksolta tehtyjen sademäärähavaintojen perusteella. Aineisto sisälsi päivittäiset sademäärätiedot Jokioisten havaintoasemalta (havainnot klo 9.00 ja klo 21.00) vuosilta 1961–90. Sadeaineiston lisäksi määritettiin vuosittain viljankorjuun aloittamisajankohdat vuosilta 1961–90 kerätyn lämpösunnan kertymäaineiston perusteella (Jokioisten säähavaintoasema).

Usean vuoden säähavaintojen perusteella määritettiin todennäköisyyttä sille, että työ ehditään tekemään suotuisana ajankohdaksi tai toisaalta riskiä sille, että työtä ei ehditä tekemään. Oljen korjuuseen käytettävissä olevan ajan määrittämiseksi muodostettiin sateen määrään ja sen ajoittumiseen perustuvat kriteerit. Niiden oli tarkoitus kuvata sadeolosuhteisiin perustuvaa rajatilannetta, jolloin työ on teknisesti tehtävissä, olosuhteet työn suoritukselle ovat suotuisat ja yrittäjä oletettavasti suorittaa työn. Kriteerit koostuivat työpäivää koskevasta sademäärän raja-arvosta ja työpäivää edeltävän ajanjakson (edeltävä yö ja edeltävät vuorokaudet) sadeolosuhteista.

Työhön soveltuvien päivien lukumäärä määritettiin vuosittain 30 vuoden ajanjaksolta. Kullekin tarkastelujakson vuodelle viljankorjuun aloittamisajankohta määritettiin lämpösunnakkertymän perusteella. Vuosittainen puinnin aloittamishetki mää-

ritettiin siten, että päivämäärään, jolloin lämpötilasumma saavutti 800 °C, lisättiin 7 vuorokautta. Lämpösumman avulla pystytään suhteellisen hyvin ennustamaan viljankorjuulle sopiva aloitushetki.

Koska sään vuosittaisen vaihtelun voidaan olettaa olevan satunnaista, oletettiin aineiston jakautuvan normaalijakauman mukaisesti. Keskiarvon ja keskihajonnan perusteella normaaliksi muokattua aineistoa käytettiin todennäköisyystarkastelun perustana.

Työhön soveltuvan ajan suhteellista määrää kuvaamaan muodostettiin kerroin siten, että sääkriteerien perusteella määritetty työhön soveltuvien päivien lukumäärä jaettiin koko tarkastelujakson päivien määrällä:

$$\text{Korjuupäiväkerroin } K = T_s / T_k$$

K = työhön soveltuvien päivien suhteellista määrää kuvaava kerroin tarkasteluajanjaksona

T_s = työhön soveltuvien päivien lukumäärä

T_k = tarkasteltavan korjuukauden pituus

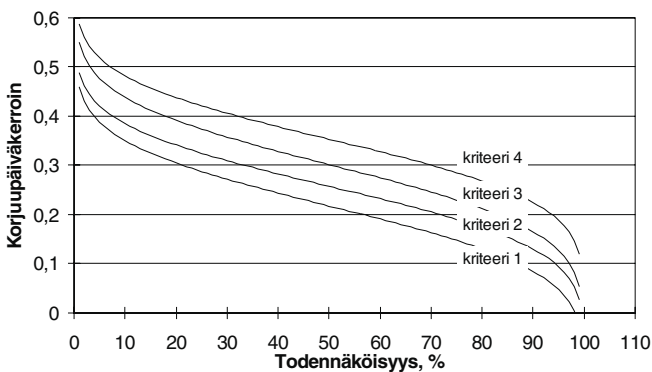
Näin määritetty kerroin havainnollistaa työhön soveltuvan ajan suhteellista määrää millä tahansa kalenterijakson pituudella.

3.3.2 Korjuuvarmuus

Oljenkorjuuseen soveltuvien päivien määrä vaihtelee runsaasti vuosittain. Tarkastelussa olleen aineiston perusteella 40 vuorokauden korjuukauteen mahtuu keskimäärin (50 % todennäköisyys) 10–12 korjuupäivää (kriteerit 2 ja 3). Kerran kymmenessä vuodessa toistuvana sääoloiltaan huonona vuotena (10 % riski) on käytettävissä 5–7 korjuupäivää (Kuva 11, Taulukko 8).

Oravan (1980) tekemän selvityksen mukaan oljenkorjuuseen on vuosittain käytettävissä keskimäärin 12 työpäivää. Vähemmän kuin seitsemän korjuupäivää on todennäköisesti vain yhtenä vuotena kymmenestä. Orava käytti tarkastelujaksona kiinteää kalenteriaikaa 15.8.–30.9. (45 päivän korjuukausi).

Oljenkorjuuseen vuosittain käytettävissä oleva aika ja korjuupotentiaali riippuu



Kuva 11. Oljenkorjuuseen käytettävissä olevan ajan todennäköisyysjakamat määritettynä neljällä eri sääkriteerillä. Korjuupäiväkerroin on työhön soveltuvien päivien suhteellista määrää kuvaava kerroin. Kriteeri 1: korjuupäivänä, edellisenä yönä ja kahtena tätä edeltävänä vuorokautena pouta. Kriteeri 2: korjuupäivänä, edellisenä yönä ja tätä edeltävänä vuorokautena pouta, näitä edeltävän vuorokauden sade korkeintaan 1,5 mm. Kriteeri 3: korjuupäivänä, edellisenä yönä ja tätä edeltävänä vuorokautena pouta, näitä edeltävän vuorokauden sade korkeintaan 10 mm. Kriteeri 4: korjuupäivänä ja edellisenä yönä pouta, edeltävän vuorokauden sade korkeintaan 0,5 mm.

Taulukko 8. Kuvan 11 perusteella määritetty oljenkorjuuseen soveltuvien päivien lukumäärä (pv/v) eri todennäköisyyssarvoilla ja eri sääkriteereillä (korjuukauden pituus 40 vuorokautta).

| Todennäköisyys, % | 99 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 1 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Kriteeri 1 | 0 | 3 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 18 |
| Kriteeri 2 | 1 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 20 |
| Kriteeri 3 | 2 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 22 |
| Kriteeri 4 | 5 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 18 | 19 | 23 |

Taulukko 9. Riskitarkasteluun (10 % riski) perustuen määritetyt tavoitteelliset vuotuiset oljenkorjuualat (ha/vuosi) korjuukauden pituuden vaihdellessa. Korjuupäivien määrä määritettiin kriteerien 2 ja 3 perusteella (kts. kuva 11).

| Korjuukausi, vrk | 25 | 30 | 35 | 40 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Korjuupäiviä, pv/vuosi | 1,8-2,5 | 2,4-3,3 | 4,3-5,7 | 5,2-6,6 |
| Irtokorjuu (9 ha/pv), ha/vuosi | 15-25 | 20-30 | 40-50 | 45-60 |
| Pyöröpaalaus (10 ha/pv), ha/vuosi | 20-25 | 25-35 | 45-55 | 50-65 |
| Kanttipaalaus (25 ha/pv), ha/vuosi | 45-60 | 60-80 | 110-140 | 130-165 |

oleellisesti korjuukauden pituudesta (Taulukko 9). Korjuukauden pituuden merkitystä työhön käytettävissä olevaan aikaan tarkasteltiin laskemalla aineistosta työhön soveltuvien päivien määrä eri sääkriteereillä, kun korjuukauden pituus vaihteli 20:stä 40:een päivään.

Yksittäisen tilan kannalta korjuukauden pituuteen vaikuttavat tilakohtaiset olosuhteet ja yrittäjän valinnat viljalajien ja -lajikkeiden osalta. Jos oljenkorjuuta tarkastellaan esimerkiksi alueella toimivan urakoitsijan näkökulmasta, yksittäisen tilan ratkaisut eivät ratkaise korjuupotentiaalia. Alueen tasolla korjuukauden pituuteen vaikuttavat mm. korjuukauden sääolot ja kesän kasvuolojen (mm. lämpösusma) vaikutus viljankorjuukauden ajoittumiseen ja viljojen tuleentumiseen.

Viljankorjuukauden siirtyminen myöhäiseksi lyhentää oljen korjuulle suotuisaa aikaa. Lämpösusmien kertymätarkastelun perusteella keskimääräinen puinnin aloittamispäivämäärä Etelä-Suomessa (Jokioisilla) on 10. elokuuta. Aloittamisajankohdat vaihtelivat vuosina 1961–90 välillä 23.7.–6.9. Huomionarvoista on, että kolmena

vuotena kolmestakymmenestä puinnin aloitus on Etelä-Suomessakin siirtynyt syyskuun alkuun. Tämä lisää osaltaan oljenkorjuun riskiä, koska korjuupäivän keskipituus syys-lokakuussa on lyhyempi kuin elokuussa.

3.3.3 Viljelyvyöhykkeen merkitys

Viljankorjuuseen vaikuttavat sadeolot eivät merkittävästi muutu eri sääasemien alueilla sisämaassa (Laine 1996). Savelan (1984) tutkimuksen mukaan myöskään ilman suhteellisen kosteuden perusteella määritetty puintaika ei suuralueilla eroa merkittävästi, kun tarkastellaan samaa kalenteriaikaa eri alueilla.

Viljan- ja oljenkorjuuseen käytettävissä olevaan aikaan eri viljelyvyöhykkeillä vaikuttaa mm. se, että viljelyyn suositeltavien lajikkeiden määrä vähenee pohjoiseen siirryttäessä. Tämä lyhentää puintiin käytettävissä olevaa kalenteriaikaa eli korjuukauden pituutta. Lisäksi viljankorjuukausi siirtyy pohjoisessa yleensä etelää myöhäisemmäksi. Tämä aiheuttaa sen, että keskimääräinen

puintipäivän pituus on pohjoisessa lyhyempi kuin etelässä 222 (esim. Savela 1984). Jos mahdollinen korjuujakso lyhenee viisi päivää/viljelyvyöhyke pohjoiseen siirryttäessä ja jos tämä jakso siirtyy myös viisi päivää myöhäisemmäksi, viljankorjuuseen käytettävissä oleva aika vähenee arviolta 10–15 %/ viljelyvyöhyke.

3.3.4 Ruokohelven korjuuvarmuus

Kevätkorjuussa niitto ja paalaus voidaan yleensä tehdä samana päivänä. Kulottuneen kasvuston kosteus on 10–20 %. Korjuun aloittaminen ei yleensä onnistu, jos maa on vielä roudassa. Lakoutunut kasvusto on tällöin liian kosteaa. Kevätkorjuun lopetusajan määrää uusien versojen kasvu. Noin 10–20 cm:n vihreä kasvusto on arvioitu rajaksi, jota ennen vanha kuloheinä on korjattava pois. Niittokorkeuden nostaminen lisää satotappioita.

Syyskesän korjuussa ruokohelpikasvuston lähtökosteus niittohetkellä on noin 60 %. Syyskorjuun oletettu sato on 7,5 kuiva-ainetonna/ha, joten näin suuren kasvimassan kuivuminen pellolla vaatii hyvät sääolosuhteet. Kasvuston kuivumista voidaan nopeuttaa niittomurskauksen avulla sekä pöyhintäkertoja lisäämällä. Käytännössä ruokohelven syyskorjuu ajoittuu heinäkuun puolivälistä elokuun alkupuolelle. Korjuun aloittamisen määrää riittävän kormimassan kehittyminen. Korjuu on tehtävä ennen 20.8., koska tämän jälkeen tehty niitto vaarantaa kasvuston talvehtimisen. Elokuun loppupuolella päivälämpötilat laskevat ja ilman suhteellinen kosteus nousee niin korkeaksi, että korjuun onnistuminen käy epävarmaksi.

Sadetilastojen perusteella ruokohelven kevätkorjuun onnistuminen näyttää hyvältä. Keväällä korjuuseen käytettävissä olevan ajanjakson pituudeksi arvioitiin 10–15 vuorokautta. Sadetilastojen perusteella tähän jaksoon sisältyy yhdeksänä vuotena kymmenestä vähintään 4–6 korjuupäivää. Siten keväällä pystytään yhdellä pyöröpäälaimella lähes aina paalaamaan vähintään

35 ha. Huonoina vuosina joudutaan pidentämään korjuujaksoa tai hankkimaan lisää korjuukapasiteettia. Ongelmaksi kevätkorjuussa voi joinakin vuosina muodostua maanpinnan kantavuus.

Ruokohelven syyskorjuun onnistuminen heinä-elokuun vaihteessa ilman paalien koneellista kuivausta on hyvin epävarmaa. Korjuuvarmuus nousee, jos kaikki tai osa paaleista kuivataan kuivurissa, mutta tällöin korjuukustannukset nousevat huomattavasti.

4.4 Yhteenveto saatavuudesta

Oljen ja ruokohelven saatavuutta energiantuotantoon selvitettiin tarkastelemalla valtakunnanlaajuisesti lämpö- ja lämpövoimalaitosten ympäristössä olevaa peltobiomasojen tuotantopotentiaalia, toteuttamalla viljelyhalukkuuskysely ja peltoalatarkastelu kolmella alueella sekä tarkastelemalla oljen korjuuvarmuutta sadetilastojen perusteella. Ruokohelven korjuuvarmuutta on kuvattu tarkemmin agrokuituprojektin loppuraportissa (Hemming et al. 1996).

Suomessa on useita kymmeniä lämpölaitoksia ja lämpövoimalaitoksia, jotka polttotekniikkansa puolesta sopivat peltobiomassojen polttoon ja joiden ympäristössä on riittävästi oljen ja/tai ruokohelven tuotantopotentiaalia. Tämä tuotantopotentiaali takaa riittävän polttoaineensaannin useimmille pienille ja keskikokoisille (alle 50 MW) laitoksille, mutta ei isoille (yli 100 MW) laitoksille.

Tehty kirjitys osoittaa, että noin kolme neljäsosaa viljelijöistä olisi periaatteessa halukkaita tuottamaan olkea ja ruokohelpeä energiantuotantoa varten, jos markkinoita olisi ja hinta olisi tyydyttävä. Nykyistä turpeen hintaa vastaavalla tasolla (45 mk/MWh ~ 20 p/kg) ruokohelpeä oli halukas tuottamaan 31 % viljelijöistä ja olkea 48 % viljelijöistä. Kyselyyn vastanneet viljelijät olivat halukkaita tuottamaan ruokohelpeä myyntitarkoituksiin selvästi suuremmalla alalla kuin mikä heidän tämänhetkinen kesantoalansa on, mutta oljen

kohdalla ilmoitetut korjuualat olivat selvästi enemmän sidottuja nykyisiin vilja-aloihin.

Maatiloilla on melko yleisesti joko kova- tai pyöröpaalien korjuuseen sopivaa kalustoa, mutta irtokorjuukalustoa on paljon vähemmän. Omien ruokohelpilohkojen niitto kevätkorjuun aikaan oli mahdollista yli puolelle viljelijöistä ja paalaus vastaavasti kolmannekselle viljelijöistä. Viljelijöiden mahdollisuudet toimia urakoitsijoina olivat melko vähäiset, mutta urakointipalvelujen saatavuutta ruokohelven kevätkorjuun aikaan pidettiin hyvinä. Oman olkisadon paalausta piti mahdollisena vajaa puolet viljelijöistä, ja urakointipalvelujen saatavuutta oljenkorjuuseen pidettiin hyvinä.

Viljelijät halusivat myydä ruokohelven joko pystykasvustona tai paaleina ja oljen joko karholta tai paaleina. Pääosa viljelijöistä on valmis varastoimaan paaleja tai irtotavaraa ulkona muovilla tai kuormapeitteellä katettuna, mutta polttolaitoskuljetuksia ei haluttu järjestää.

Tulokset viljelijöiden yleisestä mielenkiinnosta ja mahdollisuuksista peltobio-massojen korjuuseen olivat hyvin samansuuntaisia kuin tulokset agrokuituprojektin kyselyssä toisilla alueilla (Hemming et al. 1996). Näin ollen voidaan olettaa, että ne kuvaavat melko hyvin koko eteläisen Suo-

men viljelijöiden asennoitumista ja mahdollisuuksia. Tietenkin on huomioitava, että maidontuotantoalueilla nurmenkorjuukoneita on enemmän kuin viljanviljelyalueilla ja että viljanviljelyalueilla oljenkorjuupotentiaali on vastaavasti suurempi.

Oljenkorjuuseen soveltuviin päivien määrä vaihtelee runsaasti vuosittain. Sadetilastojen perusteella määritetty oljen keskimääräinen (50 % riski) korjuu-aika on 10–12 korjuupäivää vuodessa, ja 10 %:n riskillä korjuupäiviä on 5–7. Täten yhdellä pyöröpaalaimella saadaan normaalivuosina paalattua 60–70 hehtaaria ja yhdeksänä vuotena kymmenestä vähintään 30 ha olkea.

Ruokohelven kevätkorjuun onnistuminen näyttää hyvältä. Keväällä korjuujakson pituudeksi arvioitiin 10–15 vuorokautta. Sadetilastojen perusteella tähän jaksoon sisältyy yhdeksänä vuotena kymmenestä vähintään 4–6 korjuupäivää. Siten keväällä pystytään paalaamaan yhdellä pyöröpaalaimella lähes aina vähintään 35 ha.

Ruokohelven syyskorjuun onnistuminen heinä–elokuun vaihteessa ilman paalien koneellista kuivausta on hyvin epävarmaa. Korjuuvarmuus nousee, jos paaleja kuivataan koneellisesti, mutta tällöin korjuukustannukset nousevat huomattavasti.

Kirjallisuus

Hemming, M., Maunu, T., Suokannas, A., Järvenpää, M. & Pehkonen, A. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsitteily sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Tutkimuksen loppuraportti, II osa Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. 4. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 98 p. ISSN 1238–9935, ISBN 951–729–467–0.

KTM. 1999. Energiakatsaus 3/1999. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 40 p. ISSN 0356–9276.

Laaksonen, K. 1999. Urakointihinnat ja konetyön kustannukset. Työtehoseuran maataloustiedote 3/1999 (507). Helsinki: Työtehoseura. 8 p. ISSN 0782–6788.

– & **Vanhala, A.** 1992. Maatalouden työnormit - viljanviljelyn työketjut. Kylvytyöt. Työtehoseuran maataloustiedote 12/1992 (419). Helsinki: Työtehoseura. 8 p. ISSN 0782–6788.

Laine, A. 1996. Konekapasiteetin mitoitus ja kustannukset viljan ja nurmirehun tuotannossa. Työtehoseuran julkaisuja 349. Helsinki: Työtehoseura.

80 p. ISSN 0355–0710. ISBN 951–788–234–3.

– & **Peltonen, M.** 1992. Maatalouden työnormit – nurmiviljelyn työketjut. Säilörehun korjuutyöt. Työtehoseuran maataloustiedote 4/1992 (411). Helsinki: Työtehoseura. 8 p. ISSN 0782–6788.

Lindh, T., Kallio, E., Paappanen, T., Leinonen, A. & Kaipainen, H. 1998. Irtokorjuumenetelmän kehittäminen korsibiomassojen korjuuseen ja toimitukseen seospolttoaineeksi 1995–1997. VTT. Tutkimusraportti ENE 32/T0119/98. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 78 p.

Orava, R. 1980. Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Työtehoseuran julkaisuja 226. Helsinki: Työtehoseura. 105 p. ISSN 0355–0710, ISBN 951–788–048–0.

Palonen, J. 1997. Ruokohelpeä ja olkea energian tuotantoon. Työtehoseuran maataloustiedote 5/1997 (483). Helsinki: Työtehoseura. 6 p. ISSN 0782–6788.

Parsby, M. 1996. Halm og energiafgrøder -

analyser af økonomi, energi og miljø. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. Rapport nr. 87. København: Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. 112 p. ISSN 0107–5357.

Peltonen, M. 1993. Maatalouden työnormit: Heinän ja oljen korjuutyöt. Työtehoseuran maataloustiedote 14/1993 (436). Helsinki: Työtehoseura. 8 p. ISSN 0782–6788.

– & **Vanhala, A.** 1992. Maatalouden työnormit. Kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran maataloustiedote 14/1992 (421). Helsinki: Työtehoseura. 8 p. ISSN 0782–6788.

Savela, P. 1984. Viljan kuivaustarpeen vähentämismahdollisuudet oikealla puintistrategialla. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto. Maatalousteknologian laitos. 102 p.

Työtehoseura r.y. 1988. Maatalouden työnormit. Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston monisteita 2. Helsinki: Työtehoseura. 157 p. ISBN 951–788–133–9.

Keväällä tehokkaalla urakoitsijatason pyöröpaalaimella korjatun ruokohelven tuotankustannuslaskelma

| | Määrä | a' mk | mk/ha | Satovuotta kohti | | | | |
|----------------------------------|--------------|-------|-------------|------------------|-------------|-------------|------|------|
| | | | | mk/ha | mk/t | % | h/ha | h/t |
| Perustaminen | 1 krt/kierto | | | | | | | |
| Siemenet, kg | 9 | 55,00 | 495 | 55 | 9,2 | 2,3 | | |
| Lannoitteet, PE3, kg | 300 | 1,33 | 399 | 44 | 7,4 | 1,9 | | |
| Torjunta-aineet, l | 2 | 25,00 | 50 | 6 | 0,9 | 0,2 | | |
| Koneet, h | 3,90 | | 607 | 67 | 11,2 | 2,9 | 0,43 | 0,07 |
| Ihmistyö, h | 4,57 | 50,00 | 229 | 25 | 4,2 | 1,1 | 0,51 | 0,08 |
| Perustaminen yht. | | | 1779 | 198 | 33,0 | 8,4 | | |
| Hoito | 9 krt/kierto | | | | | | | |
| Lannoitteet, PE3, kg | 300 | 1,22 | 366 | 366 | 61,0 | 15,5 | | |
| Koneet, h | 0,28 | | 36 | 36 | 6,0 | 1,5 | 0,25 | 0,04 |
| Ihmistyö, h | 0,33 | 50,00 | 17 | 17 | 2,8 | 0,7 | 0,30 | 0,05 |
| Hoito yht. | | | 419 | 419 | 69,8 | 17,8 | | |
| Korjuu | 9 | | | | | | | |
| Paalinaru, m | 1143 | 0,02 | 26 | 26 | 4,3 | 1,1 | | |
| Varastointimuovi, t | 6,00 | 8,28 | 50 | 50 | 8,3 | 2,1 | | |
| Koneet, h | 1,80 | | 254 | 254 | 42,3 | 10,9 | 1,80 | 0,30 |
| Ihmistyö, h | 2,40 | 50,00 | 120 | 120 | 20,0 | 5,1 | 2,40 | 0,40 |
| Korjuu yht. | | | 449 | 449 | 74,9 | 19,2 | | |
| Kuljetus (30 km), t | 6 | 54,53 | 327 | 327 | 54,5 | 13,9 | | |
| Maapohja | | | 800 | 889 | 148,1 | 38,1 | | |
| Liikepääoman vaihtoehtokustannus | | | | 53 | 8,9 | 2,3 | | |
| Kustannukset yhteensä | | | | 2335 | 389 | 100 | | |
| Koneet yhteensä | | | | 357 | 59,6 | 15,3 | 2,49 | 0,41 |
| Ihmistyö yhteensä | | | | 162 | 27,0 | 6,9 | 3,21 | 0,53 |

| | Maapohja mukana | | | Ei maapohjaa | |
|--|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | mk/ha | mk/t | % | mk/t | % |
| Lannoitteet | 410 | 68,4 | 17,4 | 68,4 | 28,0 |
| Muut tarvikkeet | 136 | 22,7 | 5,8 | 22,7 | 9,3 |
| Konekustannukset | 84 | 14,1 | 3,6 | 14,1 | 5,8 |
| Liikepääoman vaihtoehtokustannus | 53 | 8,9 | 2,3 | 8,9 | 3,6 |
| Kuljetus | 327 | 54,5 | 13,9 | 54,5 | 22,3 |
| Muuttuvat kustannukset yhteensä | 1011 | 168,5 | 43,3 | 168,5 | 69,9 |
| Työkustannus | 162 | 27,0 | 6,9 | 27,0 | 11,2 |
| Muuttuvat+Työkustannus yhteensä | 1173 | 195,6 | 50,2 | 195,6 | 81,1 |
| Kiinteät kustannukset | | | | | |
| Konekustannukset | 273 | 45,5 | 11,7 | 45,5 | 18,9 |
| Maapohja | 889 | 148,1 | 38,1 | | |
| Kiinteät kustannukset yhteensä | 1162 | 193,6 | 49,8 | 45,5 | 18,9 |
| Kustannukset yhteensä | 2335 | 389,2 | 100,0 | 241,1 | 100,0 |

- Kaikki hinnat lokakuun 1999 arvonlisäverottomia hintoja, ellei toisin mainittu
- Lannoitteet: suositushinta suursäkeissä + rahti 5 p/kg
- Konekustannukset: 1999 arvonlisäverottomat hinnat
- Työkoneiden vuotuinen kunnossapitokustannus 5 % hankintahinnasta, josta 2 % laskettu muuttuviin
- Työkustannuksessa mukana vain kasvinviljelytyöt
- Kalkitus ja salaojien poisto on oletettu sisältyvän maapohjan kustannukseen

Tuotantokustannuslaskelmissa käytetyt koneet, niiden työnmenekit ja niillä tehtävän työn hinnoittelu

| Työvaihe | Työkone tai menetelmä | Hankinta- hint, mk | Käyttö h/v | Poisto- aika, v | Konetyö h/ha | Kustannus mk/h | Kustannus mk/ha |
|--|---|-----------------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Kasvuston perustaminen ja vuotuinen hoito | | | | | | | |
| Kyntö | Sarka-aura, nostolaite 4*16" | 27 000 | 100 | 10 | 1,23 | 115 | 141 |
| Äestys (3 krt) | Joustopiikkiäes 4,5 m | 41 000 | 90 | 10 | 1,23 | 147 | 180 |
| Kylvölannoitus | Kylvölannoitin 3 m, hinattava | 63 100 | 70 | 10 | 0,71 | 224 | 160 |
| Jyräys | Hinattava jyrä 5 m | 23 000 | 40 | 12 | 0,35 | 158 | 56 |
| Kasvinsuojeluruiskutus | Nostolaiteruisku, 900 l, 14 m | 18 000 | 30 | 12 | 0,30 | 162 | 48 |
| Lannoitus | Puhallinlevitin 12 m | 17 200 | 50 | 8 | 0,26 | 136 | 35 |
| Yhteensä | | | | | 4,08 | | 620 |
| Pyöröpaalaus, tilatason koneistus | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Niittomurskain, nostolaite 2,4 m | 37 700 | 40 | 12 | 0,64 | 215 | 138 |
| Paalaus | Pyöröpaalain, narusidonta | 82 000 | 70 | 12 | 0,98 | 251 | 246 |
| Paalien siirto välivarastoon | Etukuormain ja paalipiikki | 1 000 | 40 | 12 | 0,78 | 72 | 56 |
| Yhteensä | | | | | 2,40 | | 440 |
| Pyöröpaalaus, urakoitsijatason koneistus | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Niittomurskain, 3,2 m | 65 600 | 100 | 10 | 0,46 | 181 | 83 |
| Paalaus | Pyöröpaalain, narusidonta | 114 800 | 220 | 10 | 0,74 | 158 | 117 |
| Paalien siirto välivarastoon | Etukuormain ja paalipiikki | 1 000 | 40 | 12 | 0,78 | 65 | 51 |
| Yhteensä | | | | | 1,98 | | 251 |
| Irtokorjuu, tilatason koneistus | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Niittomurskain, 2,4 m | 37 700 | 40 | 12 | 0,64 | 215 | 138 |
| Noukinta, silppuaminen ja siirto välivarastoon | Tarkkuussilppuri (sivukiinn.) + perävaunu rehuvarust., 26 m3 | 108 500 | 70 | 12 | 1,31 | 310 | 406 |
| Yhteensä | | | | | 1,95 | | 544 |
| Irtokorjuu, urakoitsijatason koneistus | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Niittomurskain, 3,2 m | 65 600 | 100 | 10 | 0,46 | 181 | 83 |
| Noukinta ja silppuaminen | Tarkkuussilppuri, hinattava | 139 000 | 160 | 10 | 0,83 | 228 | 189 |
| Silpun siirto välivarastoon | 2 perävaunua rehuvarust., 26 m3 | 94 000 | 300 | 15 | 0,83 | 112 | 93 |
| Yhteensä | | | | | 2,12 | | 365 |
| Irtokorjuu, kaksoissilppuri (työleveys 1,7 m) ja perävaunu | | | | | | | |
| Niitto, silppuaminen ja siirto välivarastoon | Kaksoissilppuri ja perävaunu rehuvarust., 26 m3 | 80 600 | 70 | 10 | 1,73 | 267 | 462 |
| Irtokorjuu, niittomurskainyhdistelmä (työleveys 5 m), karhotin, tarkkuussilppuri ja perävaunu | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Et- ja takaniittolaite, 5 m | 86 900 | 100 | 12 | 0,32 | 218 | 69 |
| Karhotus | Karhotin, käyt työlev. 7,5 m | 69 800 | 50 | 12 | 0,24 | 115 | 28 |
| Noukinta, silppuaminen ja siirto välivarastoon | Tarkkuussilppuri, hinattava perävaunu rehuvarust., 26 m3 | 136 300 | 160 | 10 | 0,62 | 228 | 141 |
| Yhteensä | | | | | 1,18 | | 238 |
| Irtokorjuu, Claas Jaguar | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Niittomurskain, 3,2 m | 65 600 | 100 | 10 | 0,46 | 181 | 83 |
| Karhotus | Keskipakopöyhin 6 m | 24 600 | 50 | 12 | 0,66 | 157 | 104 |
| Noukinta ja silppuaminen | Claas Jaguar 820, 12 m | 753 300 | 240 | 10 | 0,33 | 441 | 146 |
| Silpun siirto välivarastoon | 2 perävaunua rehuvarust., 26 m3 | 94 000 | 300 | 15 | 0,33 | 112 | 37 |
| Yhteensä | | | | | 1,78 | | 370 |
| Irtokorjuu, niittomurskain (työleveys 2,4 m), kaksoissilppuri ja perävaunu | | | | | | | |
| Niittomurskaus | Niittomurskain, 2,4 m | 37700 | 40 | 12 | 0,64 | 215 | 138 |
| Niitto, silppuaminen ja siirto välivarastoon | Kaksoissilppuri ja perävaunu rehuvarust., 26 m3 | 80600 | 70 | 10 | 1,2 | 267 | 320 |
| Yhteensä | | | | | 1,84 | | 458 |

Ruokohelven tuet mk/ha non food -kesannolla ja kesannon ulkopuolella vuonna 1999.
CAP-tuki: EU:n yhteisen maatalouspolitiikan mukainen pinta-aratuki (Common Agricultural Policy), LFA -tuki: luonnonhaittakorvaus (Less Favourable Areas).

| Tuet non food -kesannolla | | | | | | |
|---------------------------|----------|------|------|------|------|------|
| Tukimuoto | Tukialue | | | | | |
| | A | B | C1 | C2 | C3 | C4 |
| CAP - tuki | 1391 | 1146 | 1146 | 941 | 941 | 941 |
| LFA - tuki | - | 970 | 970 | 970 | 970 | 970 |
| Ympäristötuki | - | - | - | - | - | - |
| Kansallinen tuki | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Pohjoinen tuki | - | - | - | 154 | 308 | 616 |
| Tuet yhteensä | 1414 | 2139 | 2139 | 2088 | 2242 | 2550 |

| Tuet kesannon ulkopuolella | | | | | | |
|----------------------------|----------|------|------|------|------|------|
| Tukimuoto | Tukialue | | | | | |
| | A | B | C1 | C2 | C3 | C4 |
| CAP - tuki | - | - | - | - | - | - |
| LFA - tuki | - | 970 | 970 | 970 | 970 | 970 |
| Ympäristötuki | 1727 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 |
| Kansallinen tuki | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Pohjoinen tuki | - | - | - | 154 | 308 | 616 |
| Tuet yhteensä | 1750 | 1843 | 1843 | 1997 | 2151 | 2459 |

LIITE 4

Pyöröpaalaimella kevätkorjatun ruokohelven ja ohran vertailulaskelma. Koneiden ja tarvikkeiden hinnat ovat syksyn 1999 arvonlisäverottomia hintoja.

| | Tukialue A | | | Tukialue B | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Helpi* | Ohra | Erotus | Helpi** | Ohra | Erotus |
| Sato, kg/ha | 6000 | 3500 | | 6000 | 3500 | |
| Tuottajahinta, mk/kg | 0,20 | 0,70 | | 0,20 | 0,70 | |
| Tuotot (mk/ha) | | | | | | |
| Myyntitulot | 1200 | 2450 | -1250 | 1200 | 2450 | -1250 |
| - CAP - tuki | 0 | 1099 | -1099 | 1146 | 905 | 241 |
| - LFA - tuki | 0 | 0 | 0 | 970 | 970 | 0 |
| - Ympäristötuki | 1727 | 1053 | 674 | 0 | 597 | -597 |
| - Kansallinen tuki | 250 | 250 | 0 | 0 | 75 | -75 |
| Tuet yhteensä | 1977 | 2402 | -425 | 2116 | 2547 | -431 |
| Tuotot yhteensä | 3177 | 4852 | -1675 | 3316 | 4997 | -1681 |
| Kustannukset (mk/ha) | | | | | | |
| - Muuttuvat kustannukset 1) | 1011 | 1389 | -378 | 1011 | 1389 | -378 |
| - Työkustannus 2) | 162 | 357 | -195 | 162 | 357 | -195 |
| - Kiinteät konekustannukset 3) | 273 | 1139 | -866 | 273 | 1139 | -866 |
| - Maan pääomakustannus 4) | 889 | 800 | 89 | 889 | 800 | 89 |
| Kustannukset yhteensä | 2335 | 3685 | -1350 | 2335 | 3685 | -1350 |
| Katteet ilman tukia (mk/ha) | | | | | | |
| Kate 1 (tuotot - muuttuvat kustannukset) | 189 | 1061 | -872 | 189 | 1061 | -872 |
| Kate 2 (kate 1 - työkustannus) | 27 | 704 | -677 | 27 | 704 | -677 |
| Kate 3 (kate 2 - kiinteät konekustannukset) | -246 | -435 | 189 | -246 | -435 | 189 |
| Kate 4 (kate 3 - maan pääomakustannus) | -1135 | -1235 | 100 | -1135 | -1235 | 100 |
| Katteet tukien kanssa (mk/ha) | | | | | | |
| Kate 1 (tuotot - muuttuvat kustannukset) | 2166 | 3463 | -1297 | 2305 | 3608 | -1303 |
| Kate 2 (kate 1 - työkustannus) | 2004 | 3106 | -1102 | 2143 | 3251 | -1108 |
| Kate 3 (kate 2 - kiinteät konekustannukset) | 1731 | 1967 | -236 | 1870 | 2112 | -242 |
| Kate 4 (kate 3 - maan pääomakustannus) | 842 | 1167 | -325 | 981 | 1312 | -331 |
| Työtä noin, h/ha | 4 | 7 | | 4 | 7 | |

* Ruokohelvi kesannon ulkopuolella

** Ruokohelvi kesannolla

Viljelyhalukkuuskyselyn kuntien kokonaistilaluku, otoskoko sekä vastanneiden tilojen lukumäärä ja niiden hallussa oleva peltoala kunnittain.

| Kunta | Kunnan tilat | | Otos | | Vastanneet | | | |
|---------------|--------------|--------|------|----|------------|---------|-------|---------|
| | kpl | ha | kpl | % | kpl | %(kpl)* | ha | %(ha)** |
| Alavus | 299 | 10486 | 64 | 21 | 40 | 63 | 1066 | 10 |
| Kuortane | 209 | 6975 | 45 | 22 | 28 | 62 | 696 | 10 |
| Peräseinäjoki | 204 | 7610 | 44 | 22 | 21 | 48 | 569 | 7 |
| Töysä | 114 | 4030 | 24 | 21 | 14 | 58 | 397 | 10 |
| Ähtäri | 110 | 4057 | 23 | 21 | 15 | 65 | 412 | 10 |
| Yht. | 936 | 33157 | 200 | 21 | 118 | 59 | 3140 | 9 |
| Forssa | 159 | 6767 | 22 | 14 | 11 | 50 | 477 | 7 |
| Humppila | 148 | 5849 | 21 | 14 | 12 | 57 | 300 | 5 |
| Jokioinen | 189 | 7812 | 26 | 14 | 15 | 58 | 554 | 7 |
| Somero | 573 | 25694 | 79 | 14 | 43 | 54 | 1784 | 7 |
| Tammela | 188 | 7851 | 26 | 14 | 12 | 46 | 510 | 6 |
| Ypäjä | 188 | 8036 | 26 | 14 | 18 | 69 | 694 | 9 |
| Yht. | 1445 | 62009 | 200 | 14 | 111 | 56 | 4319 | 7 |
| Pyлкönmäki | 32 | 1185 | 15 | 47 | 9 | 60 | 212 | 18 |
| Saarijärvi | 216 | 7511 | 105 | 49 | 48 | 46 | 1364 | 18 |
| Urainen | 63 | 2258 | 31 | 49 | 16 | 52 | 396 | 18 |
| Äänekoski | 101 | 3761 | 49 | 49 | 19 | 39 | 571 | 15 |
| Yht. | 412 | 14716 | 200 | 49 | 92 | 46 | 2543 | 17 |
| Kaikki yht. | 2793 | 109882 | 600 | 21 | 321 | 54 | 10002 | 9 |

* otoksen tiloista

** koko kunnan peltoalasta

Kyselyyn vastanneiden tilojen hallinnassa olevat peltoalat

| Peltoala (ha) | Alavuden alue | | Forssan alue | | Saarijärven alue | | Kaikki | |
|---------------|---------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|--------|-----|
| | kpl | % | kpl | % | kpl | % | kpl | % |
| < 20 | 32 | 27 | 22 | 20 | 30 | 33 | 84 | 26 |
| 20 - 29,9 | 51 | 44 | 24 | 22 | 33 | 36 | 108 | 34 |
| 30 - 39,9 | 18 | 15 | 26 | 24 | 14 | 15 | 58 | 18 |
| 40 - 49,9 | 8 | 7 | 16 | 15 | 6 | 7 | 30 | 9 |
| 49,9 < | 8 | 7 | 22 | 20 | 8 | 9 | 38 | 12 |
| | 117 | 100 | 110 | 100 | 91 | 100 | 318 | 100 |

Viljelijäkyselyyn vastanneiden tilojen tuotantosuunnat

| | Alavuden alue | | Forssan alue | | Saarijärven alue | | Kaikki | |
|---------------------|---------------|----|--------------|----|------------------|----|--------|----|
| | kpl | % | kpl | % | kpl | % | kpl | % |
| Viljanviljely | 37 | 31 | 76 | 68 | 19 | 21 | 132 | 41 |
| Lypsykarjatalous | 72 | 61 | 25 | 23 | 51 | 55 | 148 | 46 |
| Naudanlihantuotanto | 36 | 31 | 12 | 11 | 29 | 32 | 77 | 24 |
| Sianlihantuotanto | 1 | 1 | 19 | 17 | 8 | 9 | 28 | 9 |
| Porsastuotanto | 4 | 3 | 12 | 11 | 4 | 4 | 20 | 6 |
| Muu | 17 | 14 | 15 | 14 | 8 | 9 | 40 | 12 |
| Vastanneita, kpl | 118 | | 111 | | 92 | | 321 | |

Heinän- ja oljenkorjuuseen sopiva kalusto viljelijäkyselyyn vastanneilla tiloilla. Taulukossa on ilmoitettu niiden tilojen lukumäärä jotka ovat ilmoittaneet että heillä on sopivaa korjuukalustoa ja koneiden lukumäärä ko. tiloilla.

| | Alavuden alue | | Forssan alue | | Saarijärven alue | | Kaikki | |
|---|---------------|---------|--------------|---------|------------------|---------|--------|---------|
| | tiloja | koneita | tiloja | koneita | tiloja | koneita | tiloja | koneita |
| Lautasniittokone | 52 | 52 | 38 | 39 | 45 | 45 | 135 | 136 |
| Lieriöniittokone | 17 | 17 | 10 | 10 | 10 | 10 | 37 | 37 |
| Niittomurskain | 22 | 23 | 7 | 7 | 12 | 13 | 41 | 43 |
| Karhotin/pöyhin | 72 | 75 | 45 | 48 | 58 | 65 | 175 | 188 |
| Kelasilppuri | 74 | 76 | 27 | 27 | 56 | 58 | 157 | 161 |
| Tarkkuussilppuri | 17 | 17 | 5 | 5 | 10 | 10 | 32 | 32 |
| Noukinvaunu | 3 | 3 | 0 | 0 | 5 | 5 | 8 | 8 |
| Kovapaalain | 37 | 38 | 34 | 34 | 31 | 31 | 102 | 103 |
| Pyöröpaalain | 9 | 9 | 13 | 13 | 5 | 5 | 27 | 27 |
| Silppuava pyöröpaalain | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 |
| Kanttipaalain (suurpaalain) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Leikkuupuimuri | 72 | 77 | 68 | 73 | 45 | 45 | 185 | 195 |
| Paalien kuljetukseen sopiva perävaunu | 85 | 144 | 52 | 97 | 62 | 100 | 199 | 341 |
| Irtotavaran kuljetukseen sopiva perävaunu | 54 | 79 | 21 | 38 | 39 | 52 | 114 | 169 |
| Varastointiin sopivat rakennukset | 49 | 76 | 38 | 78 | 36 | 63 | 123 | 217 |
| Latokuivuri | 6 | 6 | 14 | 15 | 25 | 25 | 45 | 46 |
| Muu korjuukalusto* | 5 | 5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 15 | 15 |
| Paalien kuljetuskalustoa** | 35 | 35 | 27 | 27 | 21 | 21 | 83 | 83 |
| Irtotavaran kuljetuskalustoa** | 24 | 24 | 10 | 10 | 16 | 16 | 50 | 50 |

* Yleisimmät muut koneet: kaksoissilppuri (4 kpl) ja sormipalkkiniittokone (4 kpl),

** maantiekuljetuksiin sopivaa

Ruokohelven seospoltto turpeen ja puun kanssa

Martti Flyktman

VTT Energia, PL 1603, 40101 Jyväskylä, martti.flyktman@vtt.fi

Syyskorjatun ruokohelven poltto-ominaisuudet ovat heikommat kuin kevätkorjatun. Syyskorjatussa ruokohelvässä on enemmän kaliumia ja klooria kuin keväällä korjatussa. Kalium alentaa tuhkan pehmenemispistettä sekä likaa lämmönsiirtopintoja ja kloori lisää kuumakorrosioriskiä.

Päästömittaukset tehtiin Kiuruvedellä Timber Oy:n sahan lämpökeskuksessa ja Kannuksen Kaukolämpö Oy:n lämpökeskuksessa. Kiuruvedellä kattilan teho on 3,5 MW, ja polttolaitteena on mekaaninen, pyörivä arina. Pääpolttoaineina ovat kuori ja puru. Mittaukset tehtiin kahdella seossuhteella. Ensimmäisessä kokeessa ruokohelven energiaosuus oli 12 % ja jälkimmäisessä 7 %. Seossuhteet määräytyivät käsittelylaitteiden toiminnan mukaan. Kannuksen kattilan teho on 4 MW ja polttotapa leijukerrostekniikka. Kannuksessa ruokohelvi sekoitettiin jrsinturpeeseen sekä metsätähdehakkeseen. Turveseoksessa ruokohelven energiaosuus oli 8 % ja metsätähde-

hakeseoksessa 10 %. Seostettuna pääpolttoaineeseen ruokohelvi ei lisännyt kattilan päästöjä peruspolttoaineeseen verrattuna.

Ruokohelven tiheys on pienempi kuin turve- ja puupolttoaineilla. Kevyt polttoaineeseos vähentää kattilasta saatavaa tehoa, koska käsittelylaitteita ei ole suunniteltu kevyiden polttoaineiden kuljettamiseen. Polttoaineet on sekoitettava huolella, koska seoksen tasaisuus vaikuttaa käytettävyyteen. Ruokohelpisilpun pitää olla tasalaatuista ja pituudeltaan mieluiten alle 4 cm. Kevätkorjattu ruokohelvi soveltuu olemassa olevissa laitoksissa seospolttoon silloin, kun kattilaa ei kuormiteta täydellä teholla. Ruokohelven energiaosuus ei useinkaan voi ylittää 10 % ilman muutoksia laitosten käsittelylaitteissa, mutta voi toki olla tätä suurempikin laitoksen käsittelylaitteiden ja pääpolttoaineen mukaan. Käyttökokeissa ongelmia on ilmennyt kuljettimien risteyskohdissa, syöttöruuveissa ja pintavahtien toiminnassa.

Avainsanat: ruokohelvi, kemiallinen koostumus, poltto, päästöt, tubka, sulamiskäyttäytyminen

Reed canary grass in mixed combustion with peat and wood-based fuels

The fuel properties of autumn-harvested reed canary grass are poorer than those of spring-harvested reed canary grass. Measured potassium and chlorine contents of autumn-harvested grass is higher than those of the spring-harvested reed canary grass. The potassium affects on the ash melting by lowering the ash softening point and chlorine increases the corrosion risk in steam boilers.

Emissions were measured at the heating plant of the Timber Oy sawmill in Kiuruvesi and at the heating plant of Kannuksen Kaukolämpö Oy. The capacity of the boiler in Kiuruvesi is 3.5 MW. The combustion equipment is a mechanical, rotating grate. The main fuels are moist wood wastes, bark and sawdust. Measurements were carried out using reed canary grass/base-fuel mixtures at two mixing ratios. In the first test reed canary grass accounted for 12 % of the energy and in second one accounted for 7 %. The mixing ratios were determined on the basis of the operation of the fuel handling devices because the fuel fed into the boiler limited the mixing ratio. The capacity of the Kannus boiler, which is based on fluidized bed technology,

is 4 MW. In Kannus the reed canary grass was mixed with milled peat and felling residue chips. The reed canary grass accounted for about 8% of the energy in the case of peat and for about 10% in the case of chips. Compared with the normal fuel of the boiler the use of reed canary grass mixtures did not increase the emissions of the boiler.

Reed canary grass is lighter than peat and wood-based fuels. Therefore in mixed combustion the power obtained from the boiler is reduced because the fuel handling equipment is not designed for conveying light fuels. The test results showed that the homogeneity of the mixture has an effect on the operability of the plant. Another important point is the length of the chopped reed canary grass. The suitability of spring-harvested reed canary grass for mixed combustion is good as long as the boiler does not have to operate at full power. The reed canary grass cannot account for more than 10% of the energy without modifications to the fuel handling equipment of the plants. Problem spots are the crossings of the conveyors, the feeding screws and the level controls.

Key words: reed canary grass, ash melting behaviour, chemical composition, co-combustion, emissions

Alkusanat

Tämä raportti sisältää vuosina 1995–97 toteutetun ruokohelven seospolttotutkimuksen päätulokset. Seospolttotutkimukset ovat olleet osina laajempia tutkimushankkeita, joissa on tutkittu biomassan tuotantoa pelloilla ja soilla sekä biomassan käyttöä energian tuotantoon. Näitä hankkeita on koordinoanut Maatalouden tutkimuskeskuksen Kasvinviljelyn tutkimusala Jokioisista ja päärahoittajina ovat olleet maa- ja metsätalousministeriö sekä Tekes. Lisäksi tutkimusta ovat rahoittaneet Sermet Oy ja VTT Energia.

VTT Energian osatehtävien toteutuksesta on vastannut tutkija Martti Flyktman. Laitoksissa toteutettuihin mittauksiin ovat osallistuneet teknikko Aimo Kolsi, työtekniikko Timo Kirjalainen ja laborantti Marjatta Merta. Lisäksi kenttäkokeiden järjestykseen ovat osallistuneet apulaistutkija Pentti Pöyhönen ja tutkimusinsinööri Esa

Kallio. Tehtävä toteutettiin läheisessä yhteydessä VTT:n muiden korsibiomassatutkimusten kanssa, joista on laadittu erillinen raportti (Lindh et al. 1998).

Muita tutkimusta edistäneitä osapuolia ovat olleet Vapo Oy, jonka Alavuden lämpökeskuksella tehtiin seospolttokokeiluja. Lisäksi Alavudella kokeiltiin seospolttoa Alavuden Puunjalostustehtaan kattilassa. Seospolttoaineiden päästömittaukset toteutettiin Sermet Oy:n avustamana Kiuruveden Timber Oy:n lämpökeskuksessa, jossa on mekaaninen arina, ja Kannuksen Kaukolämpö Oy:n lämpökeskuksessa, jossa on leijukerroskattila. Kiuruvedellä toteutettuun seospolttotutkimukseen ruokohelpi saatiin MTT:n Jokioisten tutkimusasemalta, Kannukseen Vapo Oy:ltä sekä Alavuden kokeiluihin paikallisilta maanviljelijöiltä.

Jyväskylässä kesäkuussa 1998

Martti Flyktman

1 Johdanto

Suomessa ei ole vielä korjuu- ja logistiikka-järjestelmää, joka mahdollistaisi korsibiomassan tuotannon. Korsibiomassaa hyödyntävissä maissa käsittely perustuu suurkanttipaalaukseen, ja talteen saatu massa käytetään yleensä yksinomaan siihen erikoistuneissa laitoksissa. Käsittely- ja hyödyntämisketjujen ominaisuudet eivät sellaisenaan sovellu suomalaiseen käyttöön. Muissa maissa kuten esimerkiksi Tanskassa ja Englannissa korsibiomassaa voidaan hyödyntää siihen erikoistuneissa polttolaitoksissa suurten viljelyalojen, alhaisen energiantuotantarpeen ja sääolojen ansiosta. Olkea käytetään tällä hetkellä Tanskassa noin 300 000 tonnia vuosittain, mutta käyttöä on tarkoitus lisätä miljoonaa tonniin vuoteen 2000 mennessä (Sipilä et al. 1997). Myös Ruotsissa on panostettu ruokohelven ja oljen käyttötutkimuksiin energiantuotantoa varten laajemmin kuin Suomessa. Ruotsissa ruokohelpeä on tutkittu energiantuotantoa varten käyttökokein olemassa olevissa lämpökeskuksissa. Ruokohelven käyttötutkimukset ovat olleet kestoltaan pidempiä kuin Suomessa. Tuloksissa on mainittu joitain ongelmia tuhkan käsittelylaitteissa. Toisaalta käytetyt seossuhteet ja polttolaitteet ovat olleet erilaisia kuin Suomessa tehdyissä kokeissa. Eräänä ongelmana mainitaan korsibiomassojen pölyämisestä johtuvat ongelmat lämpökeskuksissa (Christensson 1997).

Suomessa ei ole toteutettu viljeltyjen energia- ja kuituheinien tai oljen organisoitua korjuuta ja toimitusta laajassa mittakaavassa. Suomessa Vapo Oy:llä on eniten kokemusta korsibiomassan korjuusta ja toimituksesta energiakäyttöön. Vuodesta 1993 lähtien Vapo Oy on korjannut järvi-ruokoa Limingan lahdelta ja vuonna 1997 ruokohelpeä koeviljelmiltään. Korsibiomassa on pääosin toimitettu Oulun Toppilan voimalaan ja Kemiran Oulun tehtaille turpeen kanssa poltettavaksi. Korsibiomassan tilavuusosuus on ollut noin 15 %. Lisäksi lyhytaikaisia polttokokeiluja on tehty

useissa muissa Oulun lähetyillä sijaitseivissa kiinteän polttoaineen lämpökeskuksissa. Vuoden 1997 aikana Vapo Oy toimitti korsibiomassa silppua; järvi-ruokoa, ruokohelpeä sekä olkea, yhteensä noin 10 000 m³. (Puuronen et al. 1998).

Suomen oloissa korsibiomassaan perustuvan polttoaineen saatavuus, pitkät kuljetusetäisyydet, energiantarpeen suuret vaihtelut eri vuodenaikoina ja kiinteän polttoaineen laitoksen suurehko investointitarve ovat käytännössä estäneet korsibiomassojen energiakäyttöön perustuvien laitosten synnyn.

Suomessa korsibiomassa voi lähitulevaisuudessa olla vain täydentävä polttoaine, jota poltetaan seoksena pääpolttoaineen kanssa tai mahdollisuuksien mukaan pääpolttoaineena osan lämmityskaudesta. Todennäköisimpiä korsibiomassan energiakäyttäjiä Suomessa tulisivat olemaan polttotekniikaltaan ja sijainniltaan sopivat lämpölaitokset, joiden pääpolttoaineena on turve, puu tai jäte. Soveltuvia polttotekniikoita ovat arina- ja leijukerrostekniikka. Olemassa olevien laitosten käsittelylaitteita ei ole suunniteltu keveiden korsibiomassojen käsittelyyn, eikä niissä useinkaan ole mahdollisuuksia polttoaineiden sekoittamiseen. Nykyisin laitosten käsittelylaitteet ovat määräävässä asemassa korsibiomassan käytössä. Olennaista nykyisten käsittelyjärjestelmien toimivuuden kannalta on, millaisia laitteita niihin kuuluu sekä mahdollisen seospolttoaineen määrä ja ominaisuudet, esimerkiksi silpun pituus. Tulevaisuudessa yhä useampien polttoaineiden käyttö tulee yleistymään polttotekniikan ja polttoaineiden hintasuhteiden kehityksen myötä, jolloin laitokset suunnitellaan ja uusitaan sen mukaisesti.

Polttotekniikan kannalta korsibiomassan ominaisuuksista tärkeintä on tuntee sekä puhtaan korsibiomassan että erilaisten pääpolttoaineiden ja korsimassojen seosten polttoaineen tuhkan sulamiskäyttäytymisen. Korsibiomassojen ominaisuudet vaihtelevat esimerkiksi korjuuajankohdan mukaan. Eri viljakasvien ominaisuuksissa on merkittäviä eroja.

2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on tietää, millä edellytyksillä ruokohelpeä voidaan polttaa sekoitettuna turpeeseen tai puuhun. Tavoitteeseen pyritään analysoimalla ruokohelven, sekä turve-ruokohelpiseosten ja hake-ruokohelpiseosten tärkeimmät polttoaineominaisuudet laboratorioanalysein, tutkimalla palamisominaisuuksia laboratoriomittakaavan leijukerroskoelaitteella sekä tekemällä laitoskokoluokan polttokokeet ruokohelven ja eri pääpolttoaineen seoksilla.

3 Tutkimuksen tehtävät ja toteutus

Tutkimus jakaantui seuraaviin osiin:

- 1 Ruokohelven ja turve- ja hakeseosten polttoaineominaisuuksien tutkiminen
- 2 Palamisominaisuuksien määrittäminen laboratoriomittakaavan leijukerroskoelaitteella
- 3 Seospolttokokeet ja -kokeilut lämpökeskuksissa
- 4 Tulosten analysointi ja raportointi.

Tutkimus toteutettiin analysoimalla laboratoriossa ruokohelven sekä ruokohelven ja jyrshinturpeen seosten ominaisuuksia. Laboratoriossa tutkittiin ruokohelven ja turpeen eri seossuhteiden vaikutus tuhkan sulamiskäyttäytymiseen ja polton päästöihin. Ruokohelpeä oli korjattu joko syksyllä tai keväällä. Laboratoriomittakaavan leijukerroskoelaitteella tehtiin poltto- ja päästömittauksia vastaavilla seoksilla. Päästöjen suhteen tutkittiin, missä määrin turpeesta oleva rikki sitoutuu seospoltossa ruokohelven alkaaliseen tuhkaan. Lisäksi näytteestä analysoitiin syntykö ruokohelpiseosten poltossa dioksiineja, koska peltobiomassossa on klooria merkittävästi enemmän kuin puussa tai turpeessa.

Täyden mittakaavan päästömittaukset tehtiin Kiuruvedellä syksyllä 1996 mekaanisella arinalla varustetussa kattilassa. Tällöin kattilasta mitattiin mm. PAH-, rikki- ja typpipäästöt sekä dioksiinit. Syksyllä 1997 Kannuksen Kaukolämpö Oy:n leijukerroskattilasta mitattiin päästöt ja hyötysuhteet.

Täyden mittakaavan laitoskokeiden avulla selvitettiin laitosten käsittelylaitteiden toimintaa ruokohelven seospoltossa. Alavudella tehtiin pariin otteeseen ruokohelven käyttöön liittyviä kokeiluja Alavuden Puunjalostus Oy:n ja Vapo Oy:n lämpökeskuksissa. Myös Kannuksessa kokeiltiin kattilan toimintaa pari viikkoa ennen varsinaista koejaksoa ruokohelven ja puujätteen eri seossuhteilla.

4 Poltto- ja palamisominaisuuksien määrittäminen laboratoriomittauksin ja leijukerroskokein

4.1 Tutkittavat polttoaineet ja niiden sekset

Polttoaineominaisuuksien määrittämistä varten hankittiin kevät- ja syyskorjattua ruokohelpeä Jokioisista. Kevätkorjattu ruokohelpeä toimitettiin kahtena pyöröpaalina ja syyskorjattu pienempinä kovapaaleina. Kevätkorjattu ruokohelpeä oli Venture-lajiketta. Peltona oli savimaa, jota oli lannoitettu 100 kg N/ha. Syyskorjattu ruokohelpeä oli korjattu elokuun lopulla, pelto oli multamaata ja maaperä eloperäistä.

Polttoaineseoksissa käytettiin jyrshinturvetta pääpolttoaineena. Polttoaine syötettiin leijukerroskoelaitteeseen pelletteinä, millä mahdollistettiin polttoaineen tasainen syöttö. Lisäksi pellettejä valmistettiin turpeesta, kevätkorjatusta ruokohelvestä ja

Taulukko 1. Polttoaineseosten ominaisuudet ruokohelvellä (k=kevätkorjattu, s=syyskorjattu), turpeella ja niiden seoksilla. Näytteet 1–5 ovat ruokohelven ja turpeen seoksia. Luvut kuvaavat niiden energiaosuuksien suhteita seoksessa (helpi/turve).

| Näyte | Kuvaus | Kosteus % | Tuhka % | Haihtuvat % | Kalorimetrinen lämpöarvo MJ/kg | Tehollinen lämpöarvo MJ/kg |
|---------|-------------|--------------|------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Näyte 1 | 10k/90 | 11,7 | 3,08 | 73,7 | 21,18 | 20,12 |
| Näyte 2 | 30k/70 | 13,5 | 4,85 | 74 | 20,72 | 19,46 |
| Näyte 3 | 50k/50 | 12,3 | 5,25 | 75,9 | 19,73 | 18,48 |
| Näyte 4 | 10s/90 | 10,7 | 2,98 | 73,4 | 21,17 | 20,02 |
| Näyte 5 | 30s/70 | 13,7 | 3,95 | 73,7 | 20,51 | 19,25 |
| Näyte 6 | Helpi syys | 6,2 | 6,66 | 74,9 | 18,31 | 17,06 |
| Näyte 8 | Helpi kevät | 11,7 | 7,74 | 77,2 | 18,72 | 17,48 |
| Näyte 7 | Jyrsinturve | 20,3 | 2,49 | 72,7 | 21,64 | 20,50 |

syyskorjatusta ruokohelvestä. Pelletit valmistettiin puristamalla polttoaineseos rengasmatriisissa. Seossuhteet valittiin siten, että saatiin riittävän selvät erot eri pellettilajien välille. Seossuhteet olivat 10/90, 30/70 ja 50/50. Esitetyt seososuudet ovat energiaosuuksia.

4.2 Polttoaineominaisuudet

4.2.1 Perusominaisuudet

Taulukossa 1 esitetään käytettyjen polttoaineiden ja polttoaineseosten ominaisuuksia.

Taulukon 1 tuhkapitoisuudet on määri-

tetty 815 °C:ssa. Vertailun vuoksi turpeen ja ruokohelpien tuhkapitoisuudet määritettiin myös alemmassa 550 °C:een lämpötilassa. Tuhkautuslämpötila vaikutti eniten syyskorjatun ruokohelven tuhkapitoisuuteen. Ruokohelvellä on turpeseen verrattuna enemmän haihtuvia aineita, toisaalta myös tuhkapitoisuus on suurempi. Tuloksissa kiinnittää huomiota kevätkorjatun ruokohelven suurempi tuhkapitoisuus kuin syyskorjatulla, koska useimmiten kirjallisuudessa esitetyt tulokset ovat päinvastaisia. Syynä saattaa olla ruokohelven kasvu-alueesta. Ruokohelpien lämpöarvot ovat tyyppillisellä alueella. Seospolttoaineena käytetyn jyrsinturpeen tuhkapitoisuus on melko alhainen.

Taulukossa 2 esitetään polttoaineseos-

Taulukko 2. Polttoaineseosten alkuaineanalyysit ruokohelvellä, turpeella ja niiden seoksilla. Luvut kuvaavat helven turpeen energiaosuuksia seoksessa.

| Näyte | Kuvaus | C m-% | H m-% | N m-% | O m-% | S m-% |
|---------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Näyte 1 | Kevätkorjattu helpi 10 %/90 % | 53,4 | 4,85 | 1,14 | 37,4 | 0,13 |
| Näyte 2 | Kevätkorjattu helpi 30 %/70 % | 52,5 | 5,75 | 1,1 | 36,5 | 0,13 |
| Näyte 3 | Kevätkorjattu helpi 50 %/50 % | 49,8 | 5,77 | 1,04 | 38,1 | 0,12 |
| Näyte 4 | Syyskorjattu helpi 10 %/90 % | 53,1 | 5,23 | 1,11 | 37,4 | 0,13 |
| Näyte 5 | Syyskorjattu helpi 30 %/70 % | 51,5 | 5,77 | 1,07 | 37,6 | 0,15 |
| Näyte 6 | Syyskorjattu ruokohelpi | 45,8 | 5,72 | 0,93 | 40,7 | 0,19 |
| Näyte 8 | Kevätkorjattu ruokohelpi | 46,7 | 5,66 | 1,09 | 38,7 | 0,13 |
| Näyte 7 | Jyrsinturve | 54,1 | 5,21 | 1,17 | 36,9 | 0,12 |

Taulukko 3. Määritetyt raskasmetallit ruokohelvellä, turpeella ja niiden seoksilla. Luvut kuvaavat helven ja turpeen energiaosuuksia seoksessa.

| | As µg/kg | Pb mg/kg | Cd µg/kg | Cu mg/kg | Cr mg/kg | Ni mg/kg | Hg µg/g |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Näyte 2 (30k/70) | 775 | 5,62 | 38,6 | 4,43 | 3,57 | 2,68 | <0,01 |
| Näyte 3 (50k/50) | 558 | 3,87 | 34,5 | 5,55 | 3,80 | 2,02 | <0,01 |
| Näyte 4 (10s/90) | 547 | 7,01 | 16,4 | 3,48 | 2,29 | 1,55 | <0,01 |
| Näyte 6 (helpi syys) | <10 | 0,46 | <10 | 7,28 | 0,57 | 1,07 | <0,01 |
| Näyte 7 (turve) | 468 | 4,44 | 25,0 | 2,54 | 2,13 | 1,86 | <0,01 |
| Näyte 8 (helpi kevät) | 380 | 3,15 | 37,2 | 7,93 | 4,96 | 3,10 | <0,01 |

ten alkuaineanalyysit.

Ruokohelven hiilipitoisuus on huomattavasti pienempi kuin turpeella. Kevät- ja syyskorjatun ruokohelven ominaisuudet poikkeavat rikin suhteen huomattavasti toisistaan, syyskorjatun helven rikkipitoisuus (0,19 %) on 1,5-kertainen kevätkorjatun helven rikkipitoisuuteen verrattuna (0,13 %). Kevätkorjatun ruokohelven typipitoisuus oli pienempi kuin syyskorjatun. Koska kyse on eri paikalla kasvaneista ruokohelpiviljelmistä, selitys löytyy esim. lannoituksesta tai maaperästä. Ruokohelvelle on tyypillistä ominaisuuksien melko suuri hajonta, joka johtuu kasvuolosuhteista, maaperästä ja ruokohelven lajikkeesta. Kevätkorjattu ruokohelpi kasvoi savimaalla, mikä saattaa selittää suurehkon tuhkapitoisuuden.

4.2.2 Raskas- ja alkalimetallit

Taulukossa 3 esitetään näytteistä määrite-

tyt raskasmetallit.

Taulukossa 3 esitetyt analyysitulokset ovat kahden rinnakkaisen määrittelyn tuloksia. Rinnakkaisten määrittelyjen tulokset saattoivat poiketa huomattavasti toisistaan. Mainitun syyn takia etenkin seosten määrittelytuloksista on hankala tehdä yleisiä johtopäätöksiä. Puhtaiden ruokohelpien määrittelytuloksista voi todeta, että raskasmetallipitoisuudet ovat pääsääntöisesti kevätkorjatulla ruokohelvellä suuremmat kuin syyskorjatulla, ainoastaan kuparin (Cu) määrä on molemmilla lähes samansuuruinen. Taulukossa 4 esitetään näytteistä määritetyt alkalimetallit ja kloori

Taulukossa 4 huomionarvoista on syyskorjatun ruokohelven korkea klooripitoisuus kevätkorjattuun verrattuna eli lähes 8-kertainen. Kevätkorjatun ruokohelven klooripitoisuus vastaa suuruusluokaltaan turpeen arvoa. Syyskorjatun ruokohelven kalsium- (Ca) ja kaliumpitoisuus (K) on suurempi kuin kevätkorjatun. Etenkin syyskorjatun ruokohelven kaliumpitoisuus

Taulukko 4. Määritetyt alkalimetallit ja kloori ruokohelvellä (k=kevätkorjattu, s=syyskorjattu), turpeella ja niiden seoksilla. Luvut kuvaavat helven ja turpeen energiaosuuksia seoksessa.

| | Cl mg/kg | Na mg/kg | Ca mg/kg | K mg/kg |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Näyte 2 (30k/70) | 375 | 266 | 1012 | 1012 |
| Näyte 3 (50k/50) | 631 | 219 | 1042 | 1499 |
| Näyte 4 (10s/90) | 734 | 304 | 760 | 1739 |
| Näyte 6 (helpi syys) | 3031 | 21,4 | 1392 | 10900 |
| Näyte 7 (turve) | 461 | 285 | 566 | 732 |
| Näyte 8 (helpi kevät) | 388 | 179 | 634 | 2253 |

Taulukko 5. Tuhkan sulamiskäyttäytyminen ruokohelvellä (k=kevätkorjattu, s=syyskorjattu), turpeella ja niiden seoksilla. Luvut kuvaavat helven ja turpeen energiaosuuksia seoksessa.

| Näyte | Tuhkautus- lämpötila °C | Pehmenemispiste °C | Puolipallopiste °C | Sulapiste °C |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 (10 k/90) | 815 | 1080 | 1205 | 1300 |
| 2 (30 k/70) | 815 | 1080 | 1350 | 1415 |
| 3 (50 k/50) | 550 | 1080 | 1510 | 1550 |
| 4 (10 s/90) | 815 | 940 | 1240 | 1285 |
| 5 (30s/70) | 815 | 915 | 1290 | 1380 |
| 6 (Helpi syys) | 550 | 820 | 1190 | 1400 |
| 7 (Turve) | 815 | 1060 | 1155 | 1270 |
| 8 (Helpi kevät) | 550 | 1125 | 1555 | 1590 |

on merkittävästi suurempi kuin kevätkorjattulla eli lähes viisinkertainen.

4.2.3 Tuhkan sulamisominaisuudet

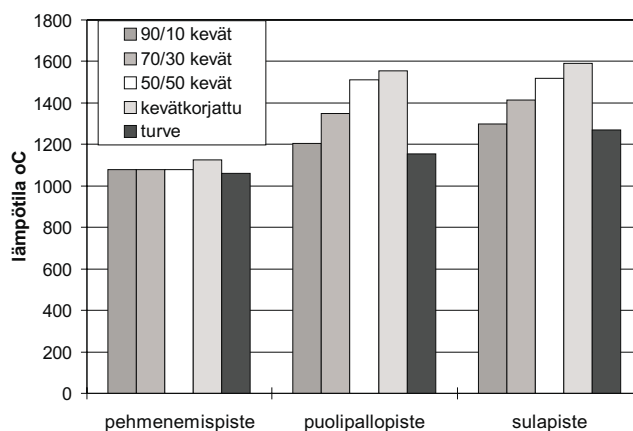
Polttoaineseoksista valmistettiin näytteet, jotka tuhkauteettiin. Näytteille määritettiin sulamiskäyttäytyminen. Määritykset tehtiin pelkistävässä atmosfäärissä, koska leijukerros-poltossa palamisolosuhteet hiekkapedissä ovat lähempänä pelkistävää kuin happavaa atmosfääriä. Tuhkan sulamiskäyttäytymisen analysoimiseksi määritettiin seuraavat lämpötilat; pehmenemispiste, puolipallopiste ja sulapiste. Taulukossa 5 esitetään polttoaineiden tuhkan sulamis-

käyttäytyminen.

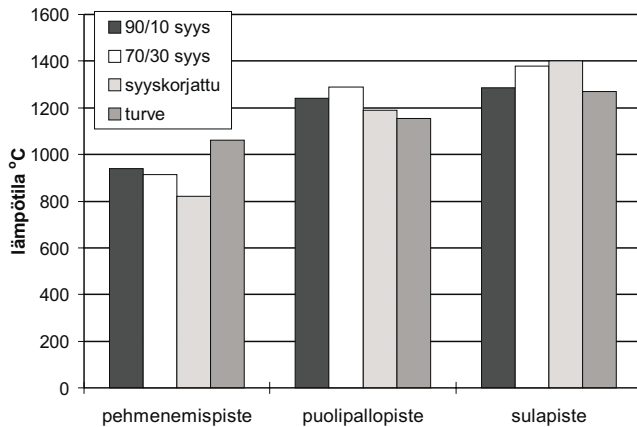
Taulukon 5 mukaan syyskorjatun ruokohelven pehmenemispiste (820 °C) on hyvin alhainen verrattuna kevätkorjatun ruokohelven vastaavaan arvoon (1125 °C). Kevätkorjatun ruokohelven tuhkan pehmeneminen alkaa turpeen vastaavaa lämpötilaa korkeammassa lämpötilassa (1060 °C).

Kuvassa 1 esitetään kevätkorjatun ruokohelven ja turpeen seosten tuhkan sulamiskäyttäytyminen.

Kuvan 1 mukaan kevätkorjatun ruokohelven seoksilla puolipallo- sekä sulapiste nousee ruokohelven määrän lisääntyessä. Seosten pehmenemispiste on ollut lähes vakio. Pehmenemispisteen lämpötila on kor-



Kuva 1. Kevätkorjatun ruokohelven tuhkan sulamiskäyttäytyminen.



Kuva 2. Syyskorjatun ruokohelven tuhkan sulamiskäyttäytyminen.

keampi kuin turpeen, mutta alhaisempi kuin puhtaan kevätkorjatun ruokohelven.

Kuvassa 2 esitetään syyskorjatun ruokohelven ja sen seosten tuhkan sulamiskäyttäytyminen.

Syyskorjatun ruokohelven ja turpeen seoksilla pehmenemispiste alenee ruokohelven osuuden lisääntyessä. Pehmenemispisteet ovat merkittävästi turpeen arvoa matalampia. Puolipallopisteet käyttäytyvät oudommin, seosten puolipallopisteet ovat korkeammalla kuin kummankaan komponentin puolipallopiste. Sulamispisteen lämpötila kasvaa ruokohelven osuuden lisääntyessä.

Ruokohelven tuhkan sulamiskäyttäytyminen on mielenkiintoinen. Seosten puolipallo- ja sulamispisteen lämpötilat ovat etenkin kevätkorjatun ruokohelven seoksilla huomattavan korkeita. Toisaalta syyskorjatun ruokohelven pehmenemispiste on matala, joka saattaa aiheuttaa ongelmia, mikäli syyskorjattua ruokohelpeä aiotaan käyttää polttoaineena. Tuhkan sulamisominaisuuksien perusteella voidaan kevätkorjatun ruokohelven käyttöä seospoltossa pitää parempana polttotarkoitukseen kuin syyskorjatun käyttöä.

Tuhkan sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat tuhkan sisältämät komponentit ja niiden suhteelliset määrät. Parhaiten näitä tuloksia selittävät kaliumipitoisuuden merkittävät erot syys- ja kevätkorjatun ruokohelven välillä.

4.3 Poltto- ja päästömittaukset leijukerroskoelaitteella

4.3.1 Koelaitte

Kokeet tehtiin leijukerrostoimisella, polttoaineteholtaan noin 15 kW:n tutkimusreaktorilla (Liite 1). Reaktorissa on vesijäähdytteinen, tulenkestävällä valumassalla vuorattu leijukerrososa, jonka halkaisija on 140 mm ja korkeus noin 400 mm. Reaktorin yläosa on tehty jäähdyttämättömästä, lämpöeristetyistä ja haponkestävästä putkesta, jonka halkaisija on 200 mm ja korkeus noin 2250 mm. Reaktoriosan jälkeen tulee vaakaputki, jonka halkaisija on 45 mm. Siihen on sijoitettu näytteenottoyhteet ja sykloni, jolla erotetaan lentotuhka savukaasusta.

Reaktoriin voidaan syöttää primääri-ilman lisäksi sekundääri- ja tertiääri-ilmaa, joiden määrää säädetään ja mitataan termisten massavirtamittareiden avulla. Polttoaine syötetään leijukerrososan päälle tärysyöttimellä, joka on vaakasuoralla.

Reaktorin ylösajossa käytetään neste-kaasua, jolla esilämmitetään sopiva hiekkmäärä n. 650 °C:een ennen polttoaineen syötön aloittamista. Petihiekkana käytettiin luonnonhiekkaa, jonka raekoko oli 0,1–0,6 mm. Petihiekan kokonaismäärä oli 1,6–1,8 litraa polttoainemäärän mukaan. Ylösajojakson pituus oli noin kolme tuntia.

Mittaustulokset jatkuvatoimisilta mit-

Taulukko 6. Leijukerroskokeiden palamisolosuhteet.

| Koe | TI 0 | TI 1 | TI 2 | TI 3 | TI 4 | TI 5 | O ₂ % | CO ₂ % | CO ppm |
|-----|------|------|------|------|------|------|---------------------|----------------------|-----------|
| 1 | 801 | 829 | 753 | 815 | 789 | 790 | 4,84 | 15,36 | 34 |
| 2 | 826 | 839 | 748 | 773 | 741 | 748 | 5,38 | 14,79 | 65 |
| 3 | 816 | 831 | 761 | 824 | 788 | 793 | 5,55 | 14,73 | 73 |
| 4 | 798 | 818 | 767 | 837 | 795 | 806 | 5,36 | 14,98 | 366 |
| 5 | 775 | 796 | 769 | 831 | 787 | 790 | 5,72 | 14,62 | 77 |
| 6 | 712 | 741 | 723 | 826 | 778 | 784 | 5,92 | 14,61 | 442 |

talaitteilta luettiin ja talletettiin 10 sekun-
nin välein Compaq Prolinea 4/33 PC:llä ja
Hewlett Packard 3497A Data Logger -tie-
donkeruulaitteella. Liitteessä 1 on lueteltu
myös mittauksiin käytetyt laitteet.

4.3.2 Polttokokeet ja niiden tulokset

Leijukoelaitteella tehtiin polttokokeet seu-
raavilla polttoaineilla ja niiden seoksilla:

- Koe 1: turve
- Koe 2: 10 % kevätkorjattua ruokohelpeä
ja 90 % turvetta
- Koe 3: 30 % kevätkorjattua ruokohelpeä
ja 70 % turvetta
- Koe 4: 50 % kevätkorjattua ruokohelpeä
ja 50 % turvetta
- Koe 5: 30 % syyskorjattua ruokohelpeä
ja 70 % turvetta
- Koe 6: syyskorjattu ruokohelppi

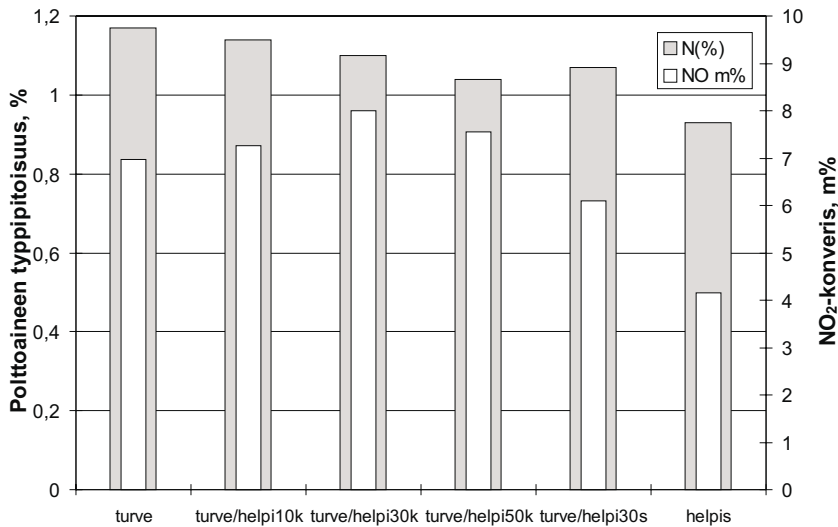
Taulukkoon 6 on koottu palamisolosuh-
teita kuvaavat suuret valituilta koejaksoil-
ta

Lämpötilat TI 0–TI 5 ovat lämpötiloja
pedistä ylöspäin lukien. Lämpötilojen hal-
linnan suhteen kokeet onnistuivat melko
hyvin, mittauspisteiden lämpötilojen kes-
kiarvot olivat 760–804 °C. Viimeinen koe
(koe 6) tehtiin pelkällä ruokohelvellä, jonka
lämpöarvo oli muita heikompi, minkä takia
pedin lämpötilaa ei samalla ajotavalla saatu
aivan samalle tasolle kuin muissa kokeissa.

Savukaasun keskimääräiset happipitoi-
suudet olivat 4,8–5,9 %. Polttoaineen syö-
tön heilahtelut aiheuttivat ajoittain merkit-
täviä muutoksia savukaasun happipitoisu-
udessa ja hiilimonoksidipitoisuudessa (CO).
Mitatut CO-pitoisuudet ovat pienet. Vas-
taavaan tasoon päästään käytännössä vasta
suurehkoissa leijukattiloissa. Yhtenä tekijä-
nä kokeiden 4 ja 6 suurempaan CO-pitoi-
suuteen voi pitää pellettien suurempaa hie-
noaineksen määrää, joka vaikutti myös
polttoaineen syötön tasaisuuteen.

Taulukko 7. Typpipäästömittausten tulokset ruokohelvellä, turpeella ja niiden seoksilla tehdyissä polttokokeissa.

| Koe | Tyyppi % –m | NO Ppm | NO Ppm (6 % O ₂) | NO ₂ mg/MJ | NO ₂ mg/m ³ _n | Konversio NO m% |
|----------------|----------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|---|--------------------|
| 1 (turve) | 1,17 | 204 | 189 | 133 | 418 | 7,0 |
| 2 (10k/90) | 1,14 | 206 | 198 | 137 | 422 | 7,3 |
| 3 (30k/70) | 1,10 | 211 | 205 | 151 | 433 | 8,0 |
| 4 (50k/50) | 1,04 | 202 | 194 | 142 | 414 | 7,6 |
| 5 (30s/70) | 1,07 | 158 | 155 | 113 | 324 | 6,1 |
| 6 (helpi syys) | 0,93 | 106 | 105 | 76 | 217 | 4,2 |



Kuva 3. Typpipitoisuudet ja typen konversio.

Taulukossa 7 esitetään typpipäästömitausten tulokset.

Konversiolla tarkoitetaan suuretta, joka kuvaa kuinka paljon (%) mitattu arvo on teoreettisesta lasketusta maksimiarvosta. NO-konversiot vaihtelivat 4,2–8,0. Pienimmät konversiot mitattiin syyskorjatulla ruokohelvellä. Kuvassa 3 esitetään kokeiden polttoaineiden typpipitoisuus ja konversio typenoksidiksi.

Taulukossa 8 esitetään rikkipäästömitausten tulokset.

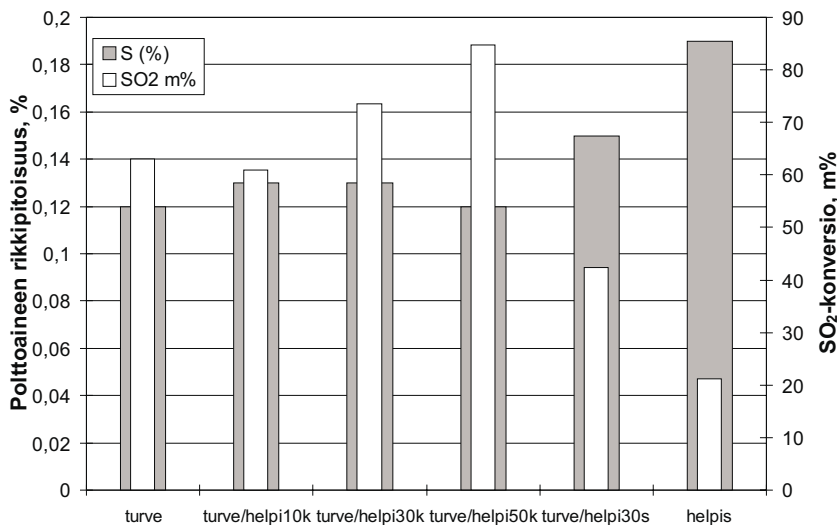
Rikkipäästöt ovat olleet melko pienet, 48–112 mg/MJ. Mielenkiintoinen havainto liittyy kokeeseen 6, jossa poltettiin pelkkää syyskorjattua ruokohelpeä. Vaikka poltto-

aineen rikkipitoisuus on suurin, niin mitatut rikkidioksidipitoisuudet (SO_2) ja SO_2 -päästö olivat pienimmät. Kokeessa 5 syyskorjattua ruokohelpeä on polttoaineessa 30 %, jolloin saavutettiin toiseksi pienimmät päästöt. Kokeiden 3 ja 5 polttoaineseokset sisälsivät yhtä paljon ruokohelpeä ja seos-turve oli samaa, mutta kokeessa 3 oli kevät-korjattua ja kokeessa 5 syyskorjattua ruokohelpeä. Vaikka syyskorjatun ruokohelven seoksessa oli rikkiä enemmän kuin kevät-korjatun ruokohelven seoksessa, niin rikkipäästö oli pienempi.

Kuvassa 4 esitetään kokeiden rikkipäästöt ja rikkikonversiot. Kevät-korjatun ruokohelven seoksilla rikkikonversiot olivat

Taulukko 8. Rikkipäästömittausten tulokset ruokohelvellä, turpeella ja niiden seoksilla tehdyissä polttokokeissa.

| Koe | Rikki %-m | SO_2 ppm | SO_2 ppm (6 % O_2) | SO_2 mg/MJ | SO_2 $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{n}}$ | Konversio SO_2 m% |
|----------------|--------------|----------------------|---|------------------------|--|-------------------------------|
| 1 (turve) | 0,12 | 81 | 75 | 75 | 36, | 63,1 |
| 2(10k/90) | 0,13 | 84 | 81 | 80 | 247 | 61,0 |
| 3 (30k/70) | 0,13 | 98 | 95 | 100 | 286 | 73,5 |
| 4 (50k/50) | 0,12 | 112 | 107 | 112 | 327 | 84,8 |
| 5 (30s/70) | 0,15 | 66 | 65 | 67 | 193 | 42,4 |
| 6(helppi syys) | 0,19 | 47 | 47 | 48 | 138 | 21,2 |



Kuva 4. Rikkipitoisuudet ja rikin konversio.

60–85 %. Rikkikonversio kasvoi helven osuutta lisättäessä. Syyskorjatulla helvellä tilanne näyttäisi olevan päinvastoin (21–42 %).

Rikinsidontaan vaikuttavat polttoaineissa olevat alkalimetallit, joita ovat kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na) ja kalium (K). Kuvassa 5 esitetään lasketut Ca/S- ja K/S-moolisuhteet. Merkittävimpänä tekijänä voidaan pitää kaliumin suurta määrää suhteessa rikkiin. Niissä kokeissa, joissa rikkipäästöt olivat pienimmät, oli K/S-suhde muita kokeita merkittävästi suurempi.

Kokeen 3 aikana mitattiin kloorivety- ja dioksiinipäästöt. Kokeen aikana poltettiin seosta, jossa turpeen osuus oli 70 % ja kevätkorjatun ruokohelven 30 %. Mittaukset tehtiin savukaasusta. Keskimääräinen kloorivetytypitoisuus oli 19 mg/m^3 (m^3 tarkoittaa kaasuntilavuutta ilmakehän paineessa ja lämpötilassa $0 \text{ }^\circ\text{C}$), kun tulos on redusoitu 11 %:n O_2 -pitoisuuteen. Kokeen aikana käytetyn polttoaineseoksen klooripitoisuus oli 375 mg/kg . Mitatut kloorivetytypitoisuudet ovat lähes samaa suuruusluokkaa aikaisemmin tehtyjen turpeen polttokokeiden tulosten kanssa.

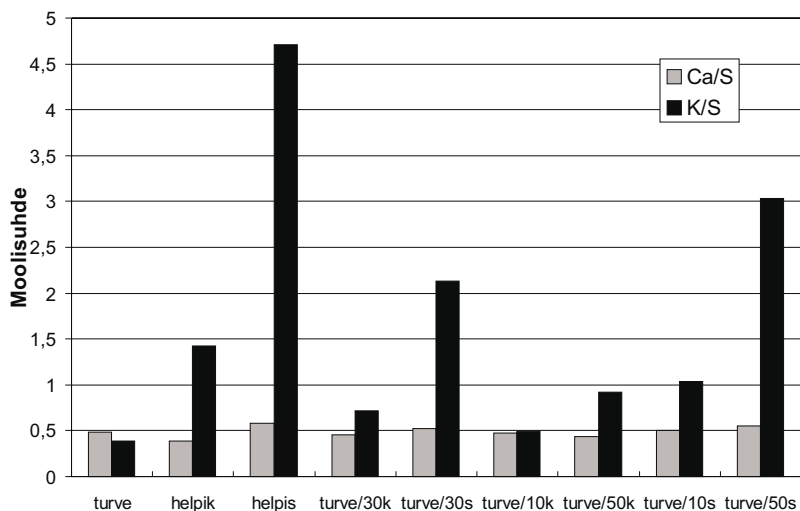
I-TEF 89 on kansainvälinen myrkylli-

syyskvivalenttikerroin, jonka mukaan jätteenpoltolla sallittu pitoisuus on $0,1 \text{ ng/m}^3$, kun savukaasun happipitoisuus on 11 %. Kokeessa päästöt mitattiin ennen savukaasun puhdistuslaitteita ja I-TEF 89 muodossa ilmaistu tulos oli $0,26 \text{ ng/m}^3$. Mitatut polykloorattujen dibentso-p-dioksiinien (PCDD) ja polykloorattujen dibentsofuraanien (PCDF) pitoisuudet olivat kohtuullisen pienet. Aikaisemmin suoritetuissa kokeissa, joissa poltettiin pelkkää turvetta, mitattiin pienempiä arvoja. Tällöin kuitenkin ajettiin leijukeroslaitetta huomattavasti korkeammassa lämpötiloissa, koska tavoitteena oli pitää savukaasun lämpötila yli $850 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja päästä haluttuun viipymäaikaan.

5 Hyötysuhde- ja päästömittaukset Kiuruvedellä

5.1 Kattilalaitoksen kuvaus

Kiuruvesi Timber Oy:llä on Sermet Oy:n toimittama $3,5 \text{ MW}$:n arinakattila. Kattila



Kuva 5. Ca/S ja K/S–moolisuhteet eri polttoaineilla ja niiden seoksilla tehdyissä polttokokeissa.

on varustettu pyörivällä mekaanisella arinalla. Polttoaineen käsittelyjärjestelmä koostuu polttoainevarastosta, jossa on tankopurkaimet, kolakuljettimesta ja syötösiilosta, jonka pohjalla oleva ruuvikuljetinjärjestelmä siirtää polttoaineen kattilan etupesään.

5.2 Mittausten suoritus

5.2.1 Yleistä

Kokeet koostuivat kahdesta kolmen tunnin koejaksosta, jonka aikana otettiin kaksi näytettä savukaasun hiukkas-, kloorivety-(HCl)-, fluorivety-(HF)- ja raskasmetallipitoisuuksien määrittämiseksi. Samanaikaisesti otettiin yksi näyte savukaasun orgaanisten yhdisteiden määrittämiseksi.

Kokeissa polttoaineena oli laitoksen normaali polttoaine, johon sekoitettiin ruokohelpeä. Lisäksi ajettiin nolla-koe laitoksen omalla polttoaineseoksella.

Nollakoe ajettiin ensimmäisenä laitoksen normaalilla polttoaineella, jossa oli noin 50 % sahausjätettä ja 50 % kuorta. Ensimmäisessä ruokohelpikokeessa polttoaineena

oli seosta, jossa laitoksen normaaliin polttoaineseokseen oli sekoitettu tilavuudesta viidesosa eli noin 12 % energiaosuudesta ruokohelpeä. Toisessa ruokohelpikokeessa ruokohelven osuus tilavuudesta oli kahdeksasosa eli energiasta on 7 %.

Liitteessä 2 on kuvattu tarkemmin mitausjärjestelyt.

5.2.2 Polttoaine- ja tuhkanäytteet

Kattilaan syötetystä polttoaineesta otettiin näytteet kolakuljettimelta puolen tunnin välein. Lisäksi otettiin näyte puhtaasta ruokohelvestä. Yhdistetystä arinakuona/lentotuhkasta kerättiin näytteet tuhkaruuvipäästä.

Polttoaineista analysoitiin lämpöarvot, tuhkapitoisuudet, C, H, N, S ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen. Lisäksi määritettiin kloori ja raskasmetallit kokeiden 1 ja 2 näytteistä sekä lisäksi Na, K ja Ca ruokohelpinäytteestä.

Tuhkanäytteistä määritettiin palamiskelpoinen ainesosa, sekä kokeiden 1 ja 2 näytteistä myös kloori ja raskasmetallit.

Taulukko 9. Kiuruveden kokeissa käytettyjen polttoaineiden ominaisuudet.

| Päivämäärä | 29.10.96 | 30.10.96 | Ruokohelpi | 26.3.1996 |
|---|----------|----------|------------|-----------|
| Koe | 1 | 2 | | perus |
| Kosteus | 59,0 | 57,6 | 24,0 | 52,8 |
| Tuhkapitoisuus | 1,85 | 1,31 | 6,80 | 1,23 |
| Haihtuvat | 80,1 | 81,2 | 77,6 | 80,4 |
| Lämpöarvo, kJ/kg | | | | |
| – tehollinen k.a | 19067 | 19159 | 17502 | 19198 |
| – kalorimetrinen | 20314 | 20410 | 18670 | 20519 |
| – saapumistilassa | 6368 | 6707 | 12711 | 7783 |
| Alkuaineet m- % | | | | |
| Hiili | 50,7 | 50,7 | 46,1 | 51,1 |
| Vety | 5,72 | 5,73 | 5,35 | 6,06 |
| Typpi | 0,25 | 0,19 | 0,82 | 0,21 |
| Rikki | 0,02 | 0,02 | 0,08 | 0,02 |
| Kloori, mg/kg | 120 | 106 | 362 | 74 |
| Tuhkan sulamiskäyttäytyminen, hapettava atmosfääri, °C | | | | |
| – pehmenemispiste | 1090 | 1131 | 1190 | – |
| – puolipallopiste | 1177 | 1189 | *) | – |
| – sulapiste | 1181 | 1192 | *) | – |

*) Ruokohelpi ei saavuttanut puolipallo- eikä sulapistettä (1550 °C)

5.3 Tulokset

5.3.1 Laitoksen toiminta ja kattilasta saatava teho

Poltettaessa seosta, jossa ruokohelven osuus kokonaistilavuudesta oli viidesosa, kattilan teho aleni jonkin verran. Kattilan polttoaineen syöttöjärjestelmä ei kyennyt normaalin automaattikan rajoissa viemään kattilaan riittävästi polttoainetta. Kattilan syöttöruuvia jouduttiin kokeen aikana käyttämään toiveittain jatkuvasti polttoaineen syötön varmistamiseksi. Laitoksen säätöjärjestelmä oli viritetty omalle peruspolttoainelle eikä sen asetuksiin puututtu. Polttoaineen syöttö olisi saattanut onnistua, mikäli kuljettimien automaatiassa olisi ollut hieman toiset rajat.

Toinen ruokohelpikoe tehtiin polttoaineseoksella, jossa ruokohelpeä oli kokonaistilavuudesta kahdeksasosa. Koe onnistui polttoaineensyötön kannalta merkittävästi paremmin kuin ensimmäinen.

Tankopurkainvarasto ei toiminut suunnitellusti, mutta ongelmat johtuivat pää-

asiassa siitä, että kokeen aikana käytettävä polttoaine haluttiin pitää erillään muusta polttoaineesta. Näin ollen syötettävä polttoainemäärä oli normaalin käytön kannalta vähäinen. Samoin normaalista käytöstä poiketen vain puolet tankopurkaimista oli käytössä.

5.3.2 Polttoaineet

Kokeissa poltettiin kahta eri seosta Ensimmäisessä kokeessa ruokohelven osuus tilavuudesta oli 1/5 (energiaosuus n. 12 %) ja toisessa 1/8 (energiaosuus n. 7 %).

Ruokohelpi tuotiin Jokioisista, jossa se oli korjattu keväällä ja varastoitu aumassa.

Taulukkoon 9 on koottu kokeissa poltettujen seosten sekä käytetyn pelkän ruokohelven ominaisuuksia. Taulukossa 10 on kokeissa määritetyt raskas- ja alkalimetallipitoisuudet.

Ruokohelven silpun kokojakauma oli sellainen, että noin puolet silpun massasta oli kooltaan alle 4 cm:n silppua ja loput pitempää kuin 4 cm. Silppu oli laitoksen käsittelylaitteille liian karkeaa. Ensimmäises-

Taulukko 10. Kiuruveden kokeissa käytettyjen polttoaineiden raskas- ja alkalimetallipitoisuudet.

| Raskas- ja alkalimetallit, mg/kg | 29.10.96 koe 1 | 30.10.96 koe 2 | Ruokohelpi | 26.3.96 perus |
|----------------------------------|----------------|----------------|------------|---------------|
| Arseeni | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,04 |
| Elohopea | 0,04 | <0,01 | <0,01 | 0,05 |
| Kadmium | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,10 |
| Kromi | 0,11 | 0,06 | 0,44 | 0,21 |
| Lyijy | 0,63 | 0,61 | 0,61 | 0,59 |
| Kupari | 5,80 | 6,40 | 9,50 | 3,12 |
| Nikkeli | 2,50 | 1,40 | 1,40 | 0,43 |
| Sinkki | 53,0 | 44,0 | 31,0 | 74,8 |
| Natrium | – | – | 158 | – |
| Kalium | – | – | 2460 | – |
| Kalsium | – | – | 2470 | – |

Taulukko 11. Yhteenveto Kiuruveden polttokokeiden mittaustuloksista. O-kevät ja O-koe viittaavat laitoksen normaalilla polttoaineella (50 % sahausjätettä, 50 % kuorta) tehtyihin polttokokeisiin.

| | 26.3.1996 0-kevät | 29.10.96 0-koe | 29.10.96 helpi 1 koe | 30.10.96 helpi 2 koe |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| T savukaasu, °C | 185 | 174 | 156 | 171 |
| T palamisilma, °C | 39,6 | 38,4 | 38,5 | 36,1 |
| O ₂ -pitoisuus, % | 5,9 | 6,0 | 6,2 | 6,0 |
| CO ₂ -pitoisuus, % | 15,0 | 14,2 | 14,2 | 14,2 |
| CO-pitoisuus, ppm | 10 | 27 | 250 | 15 |
| NO-pitoisuus, ppm | 146 | 131 | 164 | 161 |
| SO ₂ -pitoisuus, ppm | <5 | <5 | <5 | <5 |
| T1-tulipesä, °C | 748 | 783 | 675 | 705 |
| T2-tulipesä, °C | 806 | 873 | 787 | 824 |
| T3-tulipesä, °C | 892 | 940 | 834 | 876 |
| T4-polttokammio, °C | 1216 | 1156 | 1138 | 1130 |
| Kattilan teho, MW | 2,82 | 3,01 | 2,37 | 3,05 |

sä kokeessa polttoaineseos oli laitoksen ajomiesten mukaan ”pumpulia”, joka on liian kevyttä syöttöruuville.

5.3.3 Kattilan päästämittaustulokset

Taulukossa 11 esitetään yhteenveto jatkuvatoimisten mittausten ja laitosmittareiden arvoista koejaksojen ajalta. Taulukkoon 12 on koottu ruokohelpikokeiden savukaasujen pitoisuusmittausten tulokset. Lisäksi taulukossa 12 on esitetty tulokset keväällä 96 tehdystä mittauksesta, jossa käy-

tettiin normaalia polttoainetta.

Mitatut pitoisuudet olivat alhaiset. Ruokohelpiseosten päästämittaustulokset eivät poikenneet olennaisesti peruspolttoaineen arvoista. Ainoastaan ensimmäisen ruokohelpikokeen polyaromaattisten hiilivetyjen tulos (PAH) on selvästi suurempi kuin muissa kokeissa, mutta tulos selittyy polttoaineen syötössä ilmenneissä ongelmissa. Kokeen aikana polttoaineruuvia jouduttiin välillä käyttämään jatkuvasti, jonka takia syöttö ei ollut yhtä tasaista kuin muissa kokeissa.

Taulukossa 13 esitetään yhteenveto

Taulukko 12. Savukaasujen pitoisuudet kahden ruokohelpiseoksen (koe 1 ja koe 2) ja laitoksen polttoaineen (perus) polttokokeissa Kiuruvesi Timber Oy:llä. Savukaasupitoisuudet on redusoitu 11 %:n O₂-pitoisuuteen.

| Koe | Koe 1 | Koe 2 | Perus |
|--|---------|---------|---------|
| Savukaasun pitoisuudet | | | |
| Hiukkaset, mg/m ³ _n | 131 | 180 | 221 |
| Pb, Cr, Cu, Zn yht., mg/m ³ _n | 3,3 | 1,4 | 3,1 |
| Ni, As yht., mg/m ³ _n | < 0,016 | < 0,007 | 0,019 |
| Hg, mg/m ³ _n | 0,0017 | 0,0002 | 0,002 |
| Cd, mg/m ³ _n | 0,009 | 0,004 | 0,005 |
| CO, mg/m ³ _n | 210 | 12 | 8 |
| HCl, mg/m ³ _n | 2,2 | 1,3 | < 2,5 |
| HF, mg/m ³ _n | < 0,059 | < 0,048 | < 0,124 |
| SO ₂ , mg/m ³ _n | < 5 | < 5 | < 5 |
| NO NO ₂ :na, mg/m ³ _n | 226 | 219 | 198 |
| TCDD ekv., ng/m ³ _n | 0,005 | 0,002 | 0,017 |
| Klooribentseenit, µg/m ³ _n | < 0,008 | 0,006 | 5,258 |
| PCB, µg/m ³ _n | < 0,068 | 0,048 | 0,168 |
| Kloorifenolit, µg/m ³ _n | < 0,083 | 0,041 | 0,084 |
| PAH, µg/m ³ _n | 208,4 | 4,756 | 3,367 |

Taulukko 13. Tuhkanäytteiden raskasmetallianalyysit Kiuruveden polttokokeissa (kaksi ruokohelpiseosta ja laitoksen normaali polttoaine).

| Koe | Seos 1 | Seos 2 | Perus |
|------------------------------|--------|--------|-------|
| Raskasmetallit | Mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| Arseeni | 1,0 | 2,7 | 0,47 |
| Kadmium | 9,3 | 9,7 | 11,7 |
| Kromi | 2,2 | 3,2 | 0,38 |
| Lyijy | 61,0 | 63,0 | 58,4 |
| Kupari | 80,0 | 77,0 | 93,4 |
| Nikkeli | 55,0 | 36,0 | 31,3 |
| Sinkki | 1140 | 1510 | 2060 |
| Kloori | 121 | 284 | 462 |
| Palamiskelpoinen ainesosa, % | 13,3 | 18,1 | 19,8 |

tuhkanäytteiden analyysituloksista.

Ruokohelpikokeita ennen suoritettussa ns. nollakokeessa palamiskelpoisen aineksen osuus oli 15,7 %. Palamiskelpoinen aine kiintoaineessa ei poikennut olennaisesti normaalilla polttoaineella saavutetusta palamistuloksesta.

Kattilan hyötysuhde oli kaikissa kokeissa lähes sama eli noin 84 %.

5.4 Yhteenveto mittauksista

Kattilasta mitatut päästöt olivat alhaiset. Ainoastaan PAH-päästö oli ensimmäisellä ruokohelpiseoksella normaalia polttoainetta selvästi suurempi, mutta se aiheutui syöttöongelmista. Kattilan polttoaineen syöttöjärjestelmä ei toiminut tyydyttävästi, kun käytettiin polttoaineseosta, jossa helpeä oli 1/5 tilavuudesta.

6 Hyötysuhde- ja päästömittaukset Kannuksessa

6.1 Yleistä

VTT Energia teki Kannuksen Kaukolämpö Oy:n kattilalaitoksella päästömittauksia ruokohelpi seospolttoaineena. Laitoksella on kaksi kiinteälle polttoaineelle tarkoitettua kattilaa. Toinen on nimellistehoaltaan 3,5 MW:n leijukerroskattila (valmistusvuosi 1986), jonka on toimittanut Sermet Oy, ja toinen on 2 MW:n arinakattila (valmistusvuosi 1980), jonka on toimittanut Limingan Konepaja. Mittauksilla tutkittiin ruokohelven käyttöä seospolttoaineena puun ja turpeen kanssa. Mittaukset tehtiin leijukerroskattilalla. Mittaukset toteutettiin 14.–16.10.1997. Merkittävästi kokeiden onnistumiseen vaikuttivat Kannuksen Kaukolämpö Oy:n henkilöstö sekä Vapo Oy, joka toimitti kokeissa käytetyn ruokohelven.

6.2 Kannuksen Kaukolämpö Oy:n laitospolttolaitoskuvaus

Polttoaine varastoidaan asfaltoidulla kentällä. Polttoaineet sekoitetaan pyöräkuormaajalla ja siirretään polttoainevarastoon. Polttoainevarastossa on kolapohjapurkaimet, jotka siirtävät polttoaineen kolakuljettimelle. Kolakuljetin siirtää polttoaineen kiekoseulalle, jossa ylisuuret kappaleet erotetaan. Kiekkoseulalta polttoaine siirretään kolakuljettimella kattilahuoneeseen olevaan syöttösiiloon, josta ruuvipurkaimet siirtävät sulkusyöttimen ja ruuvin avulla polttoaineen leijupetiin.

Kattila on leijukerroskattila. Palaminen tapahtuu kuplivassa leijukerrossessa. Kattilan nimellisteho on 3,5 MW. Savukaasun hiukkaset erotetaan sähkösuotimella. Viimeisessä vaiheessa savukaasut johdetaan

”pesuriin” ja lämmön talteenottolaitteistoon, jossa savukaasut luovuttavat lämpönsä kaukolämmön paluuveteen, ja loput hiukkaset erottuvat pesuveteen.

Savukaasupesurin kautta voidaan johtaa kaikkien lämpökeskuksessa olevien kattiloiden savukaasut. Kokeiden aikana muiden kattiloiden savukaasut ohjattiin ohituspellin avulla omiin savupiippuihinsa.

6.3 Mittausten suoritus

Kokeet koostuivat kolmen tunnin koejaksoista, jonka aikana otettiin kaksi näytettä savukaasun hiukkaspitoisuuden määrittämiseksi. Hiukkaspitoisuusnäytteet otettiin sekä ennen sähkösuodinta että pesurin jälkeen. Kattilaa pyrittiin kunkin koejakson aikana ajamaan noin 3,5 MW:n teholla.

Kattilalla suoritettiin neljä koetta. Varsinaiset mittaukset tehtiin seuraavasti:

koe 1: 14.10.97; klo 13–16: metsätähdehake

koe 2: 15.10.97 aamupäivä klo 9.30–12.30: jyrshinturve

koe 3: 15.10.97 iltapäivä; klo 14.30–17.30: jyrshinturve + ruokohelpi

koe 4: 16.10.97; klo 9.30–12.30: metsätähdehake + ruokohelpi

Kokeissa 3 ja 4 ruokohelven osuus seoksen tilavuudesta oli viidesosa (eli seostettiin aina yksi kauhallinen ruokohelpeä neljään kauhalliseen turvetta tai haketta). Ruokohelven energiaosuus jyrshinturve-ruokohelpiseoskokeessa oli noin 8 % ja metsähake-ruokohelpiseoskokeessa vastaavasti noin 10 %.

Lisäksi 14.10.97 varsinaisen kokeen jälkeen kokeiltiin tehon vaikutusta hyvään palamistulokseen ja 16.10.97 kokeen jälkeen tehtiin ruokohelven ja metsätähdehakkeen seospolttokokeilu, jossa ruokohelven osuus oli kolmasosa tilavuudesta eli noin 18 % energiasta Näiden kokeilujen aikana seurattiin laitoksen toimintaa jatkuvatoimisten mittareiden avulla.

Taulukko 14. Polttoaineanalyysit Kannuksen Kaukolämpö Oy:llä tehdyistä polttokokeista.

| | Metsätähdehake | Jyrsinturve | Jyrsinturveheliöseos | Metsätähdehakeheliöseos | Ruokohelpi |
|--|----------------|-------------|----------------------|-------------------------|------------|
| Tuhkapitoisuus, % | 2,46 | 4,75 | 4,55 | 2,17 | 5,94 |
| Haihtuvat aineet, % | 77,3 | 69,5 | 70,5 | 78 | 77,1 |
| Kalorimetrinen lämpöarvo, kJ/kg | 21202 | 22562 | 22071 | 20988 | 19172 |
| Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, kJ/kg | 19852 | 21280 | 20731 | 19627 | 17910 |
| Kosteus, % | 50,4 | 43,2 | 44,4 | 42,9 | 43,3 |
| Alkuaineanalyysi | | | | | |
| C-pitoisuus, % | 52,9 | 55,8 | 54,6 | 52,6 | 48,9 |
| H-pitoisuus, % | 6,19 | 5,88 | 6,15 | 6,24 | 5,79 |
| N-pitoisuus, % | 0,5 | 2,08 | 1,75 | 0,52 | 0,89 |
| O-pitoisuus, % | 37,9 | 31,3 | 32,8 | 38,4 | 38,4 |
| S-pitoisuus, % | 0,05 | 0,21 | 0,18 | 0,05 | 0,11 |

Näytteenotossa käytettiin hiukkaserotimella varustettua lämmitettävää sondia, josta savukaasut johdettiin lämmitettävää linjaa myöten jäähdyttimeen. Siellä vesi erotettiin kaasusta. Jäähdyttimeltä kaasu johdettiin hienosuodattimien ja rotametrien kautta eri analysaattoreille. Mittauspaikana oli sähkösuotimen jälkeinen kanava.

Kunkin kokeen aikana kerättiin kaksi näytettä savukaasujen hiukkaspitoisuuden määrittämistä varten. Hiukkaspitoisuudet mitattiin ennen sähkösuodinta sekä pesurin jälkeen savukanavasta. Mittauksessa sovellettiin standardia SFS 3866. Mittalaite säättää automaattisesti imunopeuden isokineettiseksi. Liitteessä 3 on lueteltu koikeissa käytetyt mittalaitteet.

6.3.1 Polttoaine- ja tuhkanäytteet

Kattilaan syötetystä polttoaineesta otettiin näytteet kattilasiilon nousevalta kolakuljettimelta puolen tunnin välein. Kosteusmäärittämistä varten otettiin näytteet muovipussiin ja samalla otettiin näyte kokoomäytettä varten. Lisäksi otettiin erillinen näyte ruokohelvestä.

Polttoaineista analysoitiin lämpöarvot, tuhkapitoisuudet sekä C-, H-, N- ja S-pitoisuudet. Tuhkanäytteistä määritettiin palamiskelpoinen ainesosa. Lisäksi palamiskel-

poinen ainesosa analysoitiin ennen sähkösuodinta otetuista hiukkasnäytteistä. Tämä toteutettiin laboratorioissa siten, että hiukkaspitoisuusmäärittämisen jälkeen kunkin koejakson aikana otetut kaksi näytettä yhdistettiin yhdeksi näytteeksi. Siitä määritettiin palamiskelpoisen aineksen osuus.

6.4 Tulokset

6.4.1 Polttoaine- ja tuhka-analyysit

Taulukkoon 14 on koottu polttoaineanalyysitulokset. Ruokohelpi oli poikkeuksellisen kosteaa, 43 %.

Kokeita varten ruokohelpi oli tuotettu Vapo Oy:n ruokohelpikasvustosta keväällä 1997 ja varastoitu aumassa. Kosteutta lukuunottamatta ruokohelpi oli hyvälaatuista eli sen kuiva-aineen lämpöarvo oli tavanomaista parempi ja tuhkapitoisuus melko alhainen. Ruokohelpikuorman massa oli 5720 kg ja sen tilavuus oli 45 m³. Kuormassa ruokohelven tiheys oli noin 128 kg/i-m³ ja kuiva-ainetiheys noin 72 kg/i-m³. Tehollisen lämpöarvon mukaan ruokohelven energiatiheys oli noin 0,32 MWh/i-m³. Ruokohelpisilppu oli pituudeltaan lyhyttä ja tasalaatuista; silpusta noin 90 % oli pituudeltaan alle 4 cm.

Polttoaineista ensimmäinen koe (metsä-

Taulukko 15. Lentotuhka- ja hiukkaspitoisuusnäytteiden palamiskelpoisten osuus Kannuksen Kaukolämpö Oy:llä tehdyissä polttokokeissa.

| | Lentotuhka; palamiskelpoiset % | Hiukkasnäyte, palamiskelpoiset % |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Koe 1 14.10.97 hake | 8,9 | 17,5 |
| Koe 2 15.10.97 jt | 6,1 | 6,3 |
| Koe 3 15.10.97 jt + rh | 6,6 | 5,9 |
| Koe 4 16.10.97 hake + rh | 3,1 | 10,2 |

tähdehake) poikkesi kosteuden suhteen muista merkittävästi, koska sen aikana kosteus oli keskimäärin yli 50 %. Muissa kokeissa käytetyn seoksen keskimuokosteus oli 42–44 %. Tavallaan huomionarvoista on turpeen melko korkea typpipitoisuus, joka selittää suurehkot typenoksidipäästöt.

Taulukossa 15 esitetään lentotuhkanäytteiden ja hiukkaspitoisuusnäytteiden palamiskelpoisen aineen osuus. Palamiskelpoisten aineiden osuudet lentotuhkanäytteissä olivat alhaiset, eikä eri kokeiden välillä ollut merkittäviä eroja. Sen sijaan ennen sähkösuodinta otetuissa hiukkaspitoisuusnäytteissä oli eroja. Ensimmäisessä kokeessa, jossa poltettiin kosteinta polttoainetta (haketta), palamiskelpoisia aineita yhdistetyssä hiukkasnäytteessä oli 17,5 %. Muissa kokeissa vastaavasti palamiskelpoisten aineiden osuus oli 6–10 %.

6.4.2 Päästö- ja hyötysuhdemittaukset

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulokset esitetään taulukossa 16. Taulukossa 17 esitetään hiukkaspitoisuusmäärittysten tulokset.

Ruokohelpi ei aiheuttanut merkittävää palamiskelpoisten kaasujen eikä palamiskelpoisen kiintoaineen kasvua savukaasuissa. Heikoin tulos palamisen suhteen saatiin pelkällä metsätähdehakeella. Tällöin savukaasujen CO-pitoisuus oli korkein, samoin myös palamiskelpoisen kiintoaineen osuus hiukkasnäytteessä. Kokeessa ajettiin myös muita kokeita suuremmalla yli-ilmalla CO-pitoisuuden alentamiseksi. Kokeen jälkeen kattilan tehoa vähennettiin noin yh-

dellä MW:lla, jolloin CO-pitoisuus aleni tasolle 100 ppm. Metsätähdehake oli muihin kokeissa käytettyihin polttoaineisiin verrattuna selvästi kosteampaa polttoainetta. Ruokohelven ja metsätähdehakeen seoskokeessa käytetyn metsätähdehakeen kosteus oli todennäköisesti alhaisempi kuin metsätähdehakekokeessa, koska seoksen kosteus oli lähes sama pelkällä ruokohelvellä.

Ensimmäisen kokeen aikana sähkösuodin ei toiminut samalla tavoin kuin muissa kokeissa vaan sähkösuodin löi jatkuvasti lävitse.

Taulukossa 17 esitetään päästömittausten tulokset ominaispäästöinä. Taulukossa 18 esitetään hyötysuhdelaskelmain tulokset kattilan ja lämmön talteenoton jälkeen. Ensimmäisessä kokeessa, pelkällä märällä metsätähdehakeella, saatiin selvästi heikoin hyötysuhde kattilan jälkeen, mutta lämmöntalteenoton ansiosta paras kokonaishyötysuhde pesurilla tapahtuvan lämmön talteenoton jälkeen. Ensimmäisessä kokeessa häviöistä korostuvat suuret savukaasuhäviöt. Pesurin jälkeen kattilan hyötysuhteet olivat kaikkien mittausten aikana lähes yhtä suuret, paras hyötysuhde (metsätähdehake, koe 1) toki saatiin kosteimmalla polttoaineella.

6.4.3 Laitoksen toiminta

Kokeiden tulokset osoittivat, että kokeissa käytetyillä seossuhteilla palamistulos ei merkittävästi poikennut tavanomaisesta. Laitoksen käsittelylaitteet toimivat kokeiden aikana hyvin, eikä ruokohelven lisäys vaikeuttanut niiden toimintaa. Viimeisen

Taulukko 16. Jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulokset savukaasun lämpötiloista ja pitoisuuksista sekä palamisilman lämpötilasta ja paineesta Kannuksen Kaukolämpö Oy:llä tehdyissä polttokokeissa (Tsk ess=savukaasun lämpötila ennen sähkösuodinta, Tsk piippu=savukaasun lämpötila piipussa, Tp ilma=palamisilman lämpötila, Pilma =ilman paine).

| | Tsk ess °C | Tsk piippu °C | Tp ilma °C | O ₂ % | CO ppm | NO ppm | SO ₂ ppm | CO ₂ % | P ilma kPa |
|------------------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------|------------------|
| metsätähdehake | 232,3 | 41,7 | 25,5 | 7,6 | | 136 | 0 | 12,4 | 100,5 |
| jyrsinturve | 193,6 | 38,3 | 24,7 | 5,5 | 250 | 265 | 165 | 14,0 | 101,3 |
| jyrsinturve- helpiseos | 205,1 | 39,5 | 23,8 | 5,6 | 446 | 255 | 132 | 14,0 | 101,5 |
| metsätähdehake- helpiseos | 196,3 | 40,3 | 22,9 | 5,9 | 311 | 210 | 31 | 14,1 | 101,7 |

Taulukko 17. Päästömittaustulokset (mg/MJ) Kannuksen Kaukolämpö Oy:llä tehdyissä polttokokeissa.

| Koe | Hiukkaset pesurin jälkeen Mg/MJ | CO mg/MJ | NO ₂ mg/MJ | SO ₂ mg/MJ | CO ₂ mg/MJ |
|-----|---------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 14 | 426 | 124 | 0 | 110 |
| 2 | 2 | 117 | 203 | 181 | 92 |
| 3 | 1 | 214 | 200 | 148 | 106 |
| 4 | 1 | 151 | 167 | 35 | 107 |

varsinaisen kokeen jälkeen kokeiltiin hake-ruokohelpiseosta, jossa ruokohelpeä oli kokonaistilavuudesta kolmasosa. Polttoaineen käsittelylaitteet toimivat tällöinkin häiriöttä. Tähän vaikutti todennäköisesti polttoaineiden hyvä sekoittaminen ennen kokeita. Tämä tapahtui siten, että eri polttoaineet levitettiin asfalttikentälle ohuena kerroksena päällekkäin, puskettiin kauhalla kasaan useampaan kertaan sekä siirrettiin polttoainevarastoon. Toinen vaikuttava tekijä oli polttoainesilpun palakokojakauma. Se oli hyvin tasainen verrattuna aikaisemmin toteutettuihin ruokohelpikokeisiin, eikä siinä ollut merkittäviä määriä pitkiä korren palasia.

6.5 Yhteenveto Kannuksen mittauksista

Ruokohelven seospoltto puun ja turpeen kanssa onnistui hyvin Kannuksen Kauko-

lämpö Oy:n leijukerroskattilassa. Ruokohelpeä oli kokonaistilavuudesta viidesosa kokeiden aikana. Lisäksi varsinaisten mitausten jälkeen kokeiltiin seosta, jossa ruokohelven osuus oli kolmasosa kokonaistilavuudesta.

Kokeiden tulokset osoittivat, että ruokohelven käyttö ei lisännyt kattilan päästöjä eikä heikentänyt kattilan hyötysuhdetta. Laitoksen käsittelylaitteet toimivat moitteettomasti kokeiden aikana.

7 Ruokohelven seospolttokokeilut Alavudella

7.1 Tausta

Alavudella on ruokohelpiviljelyksiä noin 5

Taulukko 18. Hyötysuhdelaskelmat kattilan ja lämmön talteenoton jälkeen Kanuksen Kaukolämpö Oy:llä tehdyissä polttokokeissa.

| Koe | Kattilan teho MW | LTO-teho MW | Tuotu teho yhteensä MW | Hyötysuhde kattilan jälkeen % | Hyötysuhde LTO:n jälkeen % |
|-----|---------------------|----------------|------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 | 3,4 | 1,2 | 4,24 | 80,7 | 108,5 |
| 2 | 3,1 | 0,76 | 3,62 | 85,9 | 106,6 |
| 3 | 3,4 | 0,87 | 4,00 | 85,2 | 106,8 |
| 4 | 3,3 | 0,86 | 3,84 | 86,0 | 108,3 |

ha:n alla. Alavudella on kaksi kattilaa, jotka voivat polttaa ruokohelpeä muun polttoaineen seassa. Toinen sijaitsee Alavuden puunjalostustehtaalla. Toinen sijaitsee Vapo Oy:n omistamassa laitoksessa, joka vastaa kaupungin kaukolämmöntoimituksesta.

Puunjalostustehtaalla lämpökuorma muodostuu kuivaamoista eikä se ole voimakkaasti riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Puunjalostustehtaalla on pulaa kuivasta polttoaineesta, jota voitaisiin sekoittaa määrän kuoren joukkoon niin, että seos voitaisiin polttaa.

Alavudella tehtiin ruokohelven korjuukokeita elokuussa 1995. Ruokohelven korjuussa oli käytetty niittomurskainta. Niiton jälkeen karhe oli pöyhitty ja karhe silputtu silppurilla. Silppu oli hienojakoista ja tasalaatuista, sillä pitkäksi jäänyttä kortta oli vähän. Pisin osa silpusta oli pituudeltaan noin 15 cm, mutta sen määrä oli pieni. Silpusta otettu näyte seulottiin laboratorioissa. 75 % massasta läpäisi 4 cm:n seulan, yli 4 cm:n pituisen silpun osuus massasta oli 25 %. Korjattu ruokohelpe varastoitettiin Alavuden puunjalostustehtaan pihalla pressujen alle. Ruokohelpeä varastoitettiin vajaa viikko.

7.2 Kattilalaitosten kuvaukset

7.2.1 Alavuden Puunjalostustehtas

Polttoaine varastoidaan ulkona suurissa kasoissa. Polttoaine siirretään etukuormaajalla polttoainevarastoon. Polttoainevaraston pohja on varustettu tankopurkaimilla. Tan-

kopurkaimet siirtävät polttoaineen vaaka- tasossa olevalle kolakuljettimelle, joka siirtää polttoaineen vinossa olevalle kolakuljettimelle. Kolakuljettimelta polttoaine siirtyy ruuvikuljettimelle. Ruuvikuljetin tuo polttoaineen toiselle ruuvikuljettimelle kattilan syöttösuppilon täyttöä varten. Kuljetimet on mitoitettu järeiksi, koska näin on haluttu varmistaa polttoaineen kulku silloinkin, kun polttoaineesta esiintyy suuria kappaleita.

Polttoaineena käytetään kuoren ja puun seosta. Lisäksi jalostuspuolelta saadaan kuivaa puutavaraa, joka murskataan ja poltetaan. Talvella käytetään myöskin palaturpeen seulontajätettä.

Kattila on Witermon toimittama 5 MW:n mekaanisella arinalla varustettu kattila. Kattila on tarkoitettu määrän polttoaineen polttoon. Tuhka poistetaan märkäkolakuljettimella, ja savukaasun hiukkasten erottamista varten on multisykloni. Kattilan hoidosta vastaa yksityinen urakoitsija. Kattila on varustettu nykyajan vaatimukset huomioonottaen melko vähäisellä automaatiolla.

7.2.2 Vapo Oy:n lämpökeskus

Vapo Oy toimittaa Alavudella kaukolämmön kaupungille. Lämpökeskuksessa on mekaanisella arinalla varustettu kattila, jonka teho on 3,5 MW. Polttoaineen käsittelyjärjestelmä koostuu kaksiosaisesta kolapohjapurkaimella varustetusta polttoainevarastosta. Varastosta polttoaine siirretään kolakuljettimella kattilahuoneessa ole-

vaan syöttösuppiloon. Syöttösuppilosta polttoaine valuu mekaaniselle arinalle.

Palamisessa syntyvä tuhka poistetaan märkäkolatuhkanpoistolaitteistolla. Savukaasut puhdistetaan multisyklonilla.

Lämpökeskus on varustettu PC-valvomolla, josta ohjataan kattilan toimintaa sekä kattiloiden käyttöä. Lämpökeskus on miehitetty arkisin aamupäivällä, jolloin yksi mies hoitaa laitosta. Muuna aikana laitos on hälytysten varassa.

Polttoaineena käytetään palaturvetta ja haketta. Palaturve on pääpolttoaine. Hakkeen osuus on ollut luokkaa 20–30 %.

7.3 Seospolttokokeilut

7.3.1 Kokeilu puunjalostustehtaan kattilalla

Ruokohelven seospolttoa kokeiltiin Alavuden Puunjalostustehtaan kattilassa elokuussa 1995. Ruokohelpeä oli varastoitu pihalla vajaan viikon. Korjattu helpeä oli ollut melko märkää. Ruokohelpikasa oli pinnasta homeista. Ruokohelpikasasta levisi väkevähkö, imelä tuoksu.

Ruokohelvestä otettiin kolme näytettä kosteuden määrittämistä varten. Näistä näytteistä muodostettiin kokooma näyte lämpöarvon, tuhkapitoisuuden ja kosteuden määrittämistä varten. Kahdesta ruokohelpiseoksesta otettiin kokoomanäytteet vastaavien ominaisuuksien määrittämistä varten. Kattilan palamistuloksen arvioimiseksi otettiin kattilan syklonin erottamasta lentotuhkasta näytteet palamiskelpoisen ainesosuuden määrittämistä varten. Lentotuhkasta otettiin näyte myös ennen ruokohelven polttoa lähtötilanteen selvittämiseksi. Analyysitulokset esitetään taulukossa 19. Lisäksi otettiin kuorinäyte, josta määritettiin kosteus.

Ensimmäistä koetta varten ruokohelpeä otettiin kauhallinen ja se sekoitettiin huolellisesti polttoaineen joukkoon. Seossuhteena pidettiin 1:3 eli kauhallinen ruokohelpeä sekoitettiin kolmeen kauhalliseen kuorta. Polttoaine siirrettiin polttoaineva-

rastoon. Toisessa kokeessa ruokohelpeä ja kuorta sekoitettiin suhteessa 1:1 eli kuorta ja helpeä oli yhtä paljon. Ensimmäisessä kokeessa ruokohelpeä oli kauhallinen eli noin 5 m³ ja toisessa kaksi kauhallista eli n. 10 m³. Molempien koeerien polton arvioitiin kestävän noin kolme tuntia.

Kattilan teho oli aamupäivän kokeessa 2,5–3 MW ja iltapäivällä suuremman seossuhteen kokeessa 3–3,5 MW. Kattila toimi kokeen aikana normaaleilla säädöillä eikä niitä muutettu kokeen aikana. Iltapäivän koe keskeytyi noin kahden tunnin kuluttua hydraulikkapumpun häiriöön. Tapahtuma ei aiheutunut ruokohelven poltosta.

Kokeilun aikana seurattiin kattilan ja käsittelylaitteiden toimintaa. Ensimmäisen kokeen aikana kattila ja käsittelylaitteet toimivat normaalisti. Jälkimmäisen kokeen aikana havaittiin polttoaineen siirrossa ongelmia. Seos ei edennyt tankopurkaimilla tyydyttävästi, vaan sitä jouduttiin työntämään talikolla kolakuljettimelle. Kuori-helpiseos eteni huonosti purkaimilla osin kevytensä takia ja osin myös siksi, että se ei käyttäytynyt samalla tavoin kuin pienemällä seossuhteella vaan muodosti tiukan mytyn, heikosti katkeavan polttoainematon. Polttoainematon paksuus polttoainevarastossa ei vastannut normaalia käyttötilannetta, vaan polttoainetta oli tavanomaista ohuempi kerros. Tämä saattaa selittää polttoaineen siirrossa esiintynyttä ongelmaa.

Jälkimmäisen kokeen aikana ongelma ilmeni siten, että muut käsittelylaitteet kävivät lähes jatkuvasti, mutta eivät silti kyenneet viemään kattilaan riittävästi polttoainetta. Kattilan syöttösuppilo ei ehtinyt koskaan täytyä. Kaikki muut kuljettimet tankopurkaimia lukuunottamatta toimivat tavanomaisesti, eikä niiden toiminnassa ilmennyt ongelmia.

Jälkimmäisessä kokeessa kattilan teho oli jonkin verran suurempi ja polttoaineseoksen energiatiheys alhaisempi. Tämän vuoksi kattilaan olisi pitänyt siirtää enemmän polttoainevirtaa kuin ensimmäisessä kokeessa. Ohjauksjärjestelmän säätöjen muuttaminen niin, että järjestelmä olisi ot-

Taulukko 19. Laboratorioanalyysien tulokset ruokohelven, kuoren ja niiden seosten polttokokeissa Alavuden Puunjalostustehtaalla.

| Näyte | Analyyysi | Tulos |
|-------------------------|--|-------------|
| Ruokohelppi, kokooma | kosteus | 26,8 % |
| | tuhkapitoisuus | 6,63 % |
| | haihtuvat aineet | 74,2 % |
| | kalorimetrinen lämpöarvo | 15,35 MJ/kg |
| | tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa | 14,28 MJ/kg |
| | tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa | 9,81 MJ/kg |
| Seos 1:3 | Kosteus | 63,5 % |
| 1 osa helpeä | Tuhkapitoisuus | 2,76 % |
| 3 osaa kuorta | haihtuvat aineet | 74,6 % |
| | tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa | 19,51 MJ/kg |
| | tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa | 5,58 MJ/kg |
| Seos 1:1 | kosteus | 57,4 % |
| 1 osa helpeä | Tuhkapitoisuus | 4,61 % |
| 1 osa kuorta | haihtuvat aineet | 72,9 % |
| | tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa | 18,61 MJ/kg |
| | tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa | 6,52 MJ/kg |
| Kuorinäyte | Kosteus | 70,9 % |
| Lentopöly kuoren poltto | palamiskelpoinen ainesosa | 28,7 % |
| Lentopöly seos 1:3 | palamiskelpoinen ainesosa | 26,5 % |
| Lentopöly seos 1:1 | palamiskelpoinen ainesosa | 25,9 % |

tanut paremmin huomioon polttoaineen ominaisuudet, olisi saattanut parantaa järjestelmän toimintaa. Näitä toimia olisivat olleet mm. polttoaineen patjan korkeuden säätö ja tankopurkainten rytmitys.

Lentopölynäytteiden analyysitulokset ovat lähes samoja. Tosin pieni muutos palamiskelpoisten vähenemisessä voidaan havaita seossuhteen noustessa. Toisaalta seoksen tuhkapitoisuuden nousu muuttaa tilannetta siten, että tuhkahäviöt ovat saattaneet jopa lisääntyä, koska tuhkan määrä on lisääntynyt. Tuhkahäviöitä ei kuitenkaan määritetty. Polttoaineen käyttäytymisessä arinalla ei ilmennyt toimintaa haittaavia ongelmia. Tosin suuremmalla seossuhteella polttoainepatjaan näytti syntyvän jonkin verran kraattereita, joista ilma virtasi suurella nopeudella tulipesään. Selityksenä tähän on ollut kuoren joukossa olleen kuivemman ruokohelven nopeampi palaminen.

Analyytituloksissa ihmetystä herättää

ruokohelven kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (14,28 MJ/kg), joka on alhainen muissa tutkimuksissa määritettyihin arvoihin verrattuna. Tyypillinen ruokohelven kuiva-aineen lämpöarvo on määritysten mukaan ollut 17–17,6 MJ/kg. Syy lämpöarvon heikkenemiseen on ollut varastoinnin aikainen kuumeneminen. Myöhemmin analysoidussa näytteessä, joka oli haettu Alavudelta, ruokohelven kuiva-aineen lämpöarvon todettiin vastaavan tyypillistä lämpöarvoa.

Kun ruokohelpeä ja kuorta sekoitettiin suhteessa 1:3, kuori oli vielä selvästi havaittavissa, mutta seossuhteella 1:1 lopputulos näytti ruokohelpikasalta. Tilavuuksien suhteen yhteenlasku ei päde eli kuutiosta kuorta ja kuutiosta ruokohelpeä ei synny kahta kuutiota seosta, vaan ehkä jonkin verran vähemmän, koska ruokohelppi saattaa täyttää kuorikasassa olevia aukkoja.

Laskennalliset ruokohelven energiaosuudet seospolttokokeissa olivat seuraava-

vat:

- seos 1:3 ruokohelven energiaosuus
n. 10 %
- seos 1:1 ruokohelven energiaosuus
n. 26 %

Kuoren energiatihedyyden arviointiin käytettiin kirjallisuudessa esitettyjä lämpöarvoja, ruokohelven osalta laboratorioanalyysijä. Esitetyt luvut ovat pelkästään suuntaa-antavia, koska tiheys määritettiin pienen laatikon punnitustuloksen perusteella. Samoin tarkempien tuloksien saavuttaminen olisi edellyttänyt merkittävästi suurempien näytemäärien ottamista polttoainekomponenteista analysointia varten. Tässä vaiheessa tyydyttiin kuitenkin seuraamaan laitoksen toimintaa yleisellä tasolla, koska tutkimuksessa ruokohelven seospolttokokeet toteutettiin suunnitellusti vuonna 1996.

7.3.2 Kokeilu Vapo Oy:n lämpökeskuksessa

Vapo Oy:n Alavuden lämpökeskuksella kokeiltiin ruokohelven polttoa palaturpeen seassa marraskuussa 1996 (12.–18.11. 1996). Kokeilut jakaantuivat kahteen osuuteen. Ensimmäinen polttokokeilu tehtiin valmiiksi seostetulla palaturve-ruokohel-piseoksella. Toisessa vaiheessa kokeiltiin ruokohelven ja palaturpeen sekoitusta lastausvaiheessa ja purkutapahtuman yhteydessä.

Keväällä korjattu ruokohelpi oli sekoitettu huolellisesti palaturpeen kanssa. Ruokohelven energiaosuus seoksessa oli noin 10 %. Polttoaine kuljetettiin lämpökeskukselle traktoreilla.

Seoksen poltto alkoi puolen päivän aikoihin. Aluksi kattilasta saatava teho laski hieman, mutta pienten virittelyjen (palamisilman jaon osalta) jälkeen kattilan teho oli lähes normaali. Polttoaineen käsittelylaitteet toimivat seoksella hyvin, eikä mitään erityisiä ongelmia esiintynyt tarkkailun aikana. Palamista tarkkailtiin kattilan näkölasista. Palamisvyöhykkeen voitiin

todeta siirtyneen hieman alaspäin arinalla.

Toinen lämpökeskukselle tuotu polttoaine-erä tehtiin erillään varastoidusta ruokohelvestä ja palaturpeesta. Polttoaineita ei sekoitettu, vaan lastausvaiheessa kuormaan laitettiin ensin kolmasosa tilavuudesta ruokohelpeä ja sen päälle kaksi kolmasosaa palaturvetta. Tämän toisen vaiheen kokeessa ruokohelven osuus oli jonkin verran pienempi kuin valmiissa seoksessa. Polttoaine kuljetettiin lämpökeskukselle samoilla traktoreilla. Kuljetusvaunussa oli perästä-purkava kolakuljetin, jonka ansiosta polttoaineitten odotettiin sekoittuvan riittävän hyvin purkauksen yhteydessä. Lisäksi traktorin kauhalla työnnettiin seosta kasaan purun jälkeen. Tämä seos jäi odottamaan kattilaan syöttöä valmiiksi sekoitetun erän jälkeen. Yöllä polttoaine vaihtui, jonka jälkeen alkoi ilmetä ongelmia. Polttoaine seoksessa oli liian suuria kasoja pelkkää helppiä, jotka eivät edenneet kuljettimella kattilaan saakka tai aiheuttivat tukoksia käsittelylaitteissa. Ongelmapaikkoja olivat kattilahuoneeseen nousevan kolakuljettimen ja varaston kolakuljettimen yhtymäkohta. Toinen ongelmapaikka oli kattilan syötösuppilo, jossa pintavahdit eivät kyenneet tunnistamaan helven pintaa, vaan kuljettimet toivat seosta tukokseen asti. Sekoittamaton kuorma aiheutti seuraavina viitenä päivänä useita kertoja vastaavanlaisia ongelmia. Siksi polttoaineseosta poltettiin vain päiväsaikaan

7.4 Yhteenveto polttokokeiluista

Alavuden puunjalostustehtaan polttokokeissa ruokohelpeä poltettiin ensimmäistä kertaa Suomessa muun polttoaineen joukossa. Ruokohelven poltto onnistui hyvin kuoren seospolttona Alavuden puunjalostustehtaan lämpökeskuksessa, kun seossuhde oli 1:3. Ruokohelven laskennallinen energiaosuus oli n. 10 %. Toisessa kokeessa suuremmalla seossuhteella (1:1) tankopurkaimet eivät kyenneet siirtämään ongelmitta kattilan tarvitsemää polttoainemäärää. Kokeissa ei selvinnyt, millä maksimiseos-

suhteella kuljetinlaitteet toimisivat.

Vapo Oy:n lämpökeskuksessa ruokohelpi-palaturve paloi hyvin, kun seos oli hyvin sekoitettu ja myös käsittelylaitteet toimivat moitteettomasti. Seoksessa ruokohelven osuus energiasta oli noin 10 %, tilavuudesta noin 40 %. Toisessa polttoaine-erässä ruokohelpi oli lastattu kuormaan sekoittamattomana. Ruokohelpeä kuormassa oli kolmasosa tilavuudesta. Polttoaineet eivät kuitenkaan sekoittuneet lastauksen ja purkauksen yhteydessä, vaan aiheuttivat myöhemmin kattilaan mennessä merkittäviä ongelmia. Vapo Oy:n kokeilun perusteella polttoaineet pitää sekoittaa erittäin huolellisesti.

Alavuden kokeiden perusteella voidaan todeta, että olemassa olevissa lämpökeskuksissa ruokohelven seospoltossa tekniset rajoitukset ilmenevät todennäköisemmin polttoaineen käsittelylaitteiden toiminnassa. Kiuruveden mittauksen aikana ongelmia ilmeni kattilan syöttöruuvin toiminnassa. Polttolaitteiden toiminnan osalta ongelmat ovat vähäisempiä.

Kaikissa kokeiluissa laitosten käyttäjät esittivät, että silpun lyhentäminen entisestään saattaa parantaa polttoaineen sekoitumista.

8 Yhteenveto ruokohelven seospoltto- tutkimuksesta

Tutkimuksessa tehtiin aluksi laboratorio-analyysyjä sekä pienoisleijukerrosreaktorilla polttokokeita, joilla selvitettiin ruokohelven sekä ruokohelven ja jyrshinturpeen seosten polttoaineominaisuuksia ja palamiskäyttäytymistä.

Ruokohelven polttoaineominaisuuksiin vaikuttaa korjuuajankohta. Syys- ja kevätkorjuulla on merkittävä vaikutus joihinkin polton kannalta olennaisiin tekijöihin kuten

tuhkan sulamiskäyttäytymiseen ja polttoaineen klooripitoisuuteen. Syyskorjatun ruokohelven ominaisuudet ovatkin näiden tekijöiden kannalta merkittävästi heikommat kuin kevätkorjatulla ruokohelvellä.

Laboratoriomittakaavan leijukerroslaitteella mitattiin eri polttoaineseosten ja polttoaineiden päästöjä. Syyskorjatulla ruokohelvellä ja sen seoksilla mitattiin pienimmät savukaasun rikkipäästöt. Syyskorjattu ruokohelpi sisältää huomattavasti enemmän kaliumia ja kalsiumia kuin keväällä korjattu. Toisaalta nämä aineet vaikuttavat tuhkan sulamiskäyttäytymiseen alentamalla pehmenemispistettä.

Täyden mittakaavan päästömittaukset tehtiin Kiuruvedellä Timber Oy:n sahan lämpökeskuksessa. Lämpökeskuksen kattilan teho on 3,5 MW ja sen polttolaitteena on mekaaninen, pyörivä arina. Kattilan pääpolttoaineena on sahalta saatava märkä puujäte, kuori ja puru. Kattilalla tehtiin mittaukset kahdella ruokohelpi/peruspoltto-aineseossuhteella. Ensimmäisessä kokeessa ruokohelven energiaosuus oli n. 12 % (tilavuusosuus 1/5) ja toisessa 7 % (1/8 tilavuusosuus). Seossuhteet määräytyivät käsittelylaitteiden toimivuuden mukaan, polttoaineen syöttö kattilaan asetti rajat seossuhteelle. Kattilan päästöt olivat alhaiset, eivätkä ruokohelpiseokset lisänneet käytännössä kattilan päästöjä normaaliin polttoaineeseen verrattuna.

Ruokohelpi on tiheydeltään merkittävästi kevyempää polttoainetta kuin esimerkiksi turve ja puupohjaiset polttoaineet. Tästä seuraa seospoltossa tyypillisesti kattilasta saatavan tehon aleneminen. Olemassa olevien laitosten käsittelylaitteita ei ole suunniteltu kevyiden polttoaineiden kuljetamiseen. Pahimpia ongelmakohteita ovat kuljettimien yhtymäkohdat, syöttöruuvit ja pintavahdit. Olemassa olevissa laitoksissa polttoaineen käsittely- ja syöttölaitteet ovat määräävät tekijät seossuhteiden kannalta. Laitoskokeilujen perusteella polttoaine-seoksen tasaisuudella on huomattava vaikutus laitoksen käytettävyyteen. Ruokohelpi soveltuu kevätkorjattuna olemassa olevissa laitoksissa seospolttoon hyvin siinä tapauk-

nessa, että kattilasta ei tarvitse ottaa täyttä tehoa. Ruokohelven energiaosuus ei käytännössä ilman muutoksia laito-

lylaitteissa voi ylittää 10 %. Saavutettavaan energiaosuuteen vaikuttaa myös käytettävä pääpolttoaine.

Kirjallisuus

Christensson, K. & Stridsberg, S. 1997. Stacklagring av hackad rörlan. Stiftelsen Lantbruksforskning. 39 p.

Lindh, T., Kallio, E., Paappanen, T., Leinonen, A. & Kaipainen, H. 1998. Irtokorjuumenetelmän kehittäminen korsibiomassan korjuuseen ja toimitukseen seospolttoaineeksi 1995-1997. Tutkimusselostus ENE32/T0119/98. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 79 p.

Puuronen, M., Mikkonen, T. & Käyhkö, V. 1998. Energiakasvien viljelykokeilu turvesuoalueilla ja

saatavan bioenergian soveltuvuus eri käyttökohteisiin – D501. In: Nikku, P. (ed.). Vuosikirja 1997. Osa II. Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisuja 18. Jyväskylä: Jyväskylän Teknologikeskus Oy, p 135-142. ISSN 1236-4738, ISBN 952-5165-06X.

Sipilä, K., Moilanen, A., Solantausta, Y. & Wilen, C. 1997. Peltobiomassojen käyttömahdollisuudet energiasektorilla. KTM:n tutkimuksia ja raportteja 19/1997. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 76 p. ISSN-2352, ISBN 951-739-282-6.

LEIJUKERROSKOKEISSA KÄYTETYT MITTALAITTEET

Jatkuvatoimisiin mittauksiin käytettiin seuraavia laitteita:

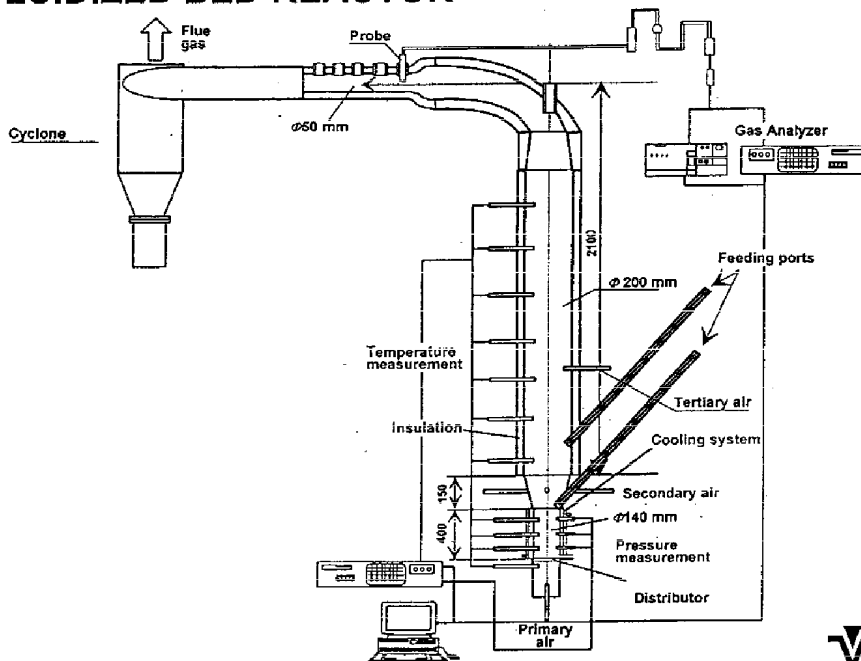
- happi; Hartmann & Braun Uras 10 E analysaattori
- hiilidioksidi; Hartmann & Braun Uras 10 P analysaattori
- hiilimonoksidi; Hartmann & Braun Uras 10 E analysaattori
- rikkidioksidi; Hartmann & Braun Uras 10 E analysaattori
- typen oksidit; Hartmann & Braun Uras 10 E analysaattori
- pedin lämpötila; PtRh–Pt termoelementti
- muut lämpötilat; NiCr–Ni termoelementti
- dp peti; Valmet Diff–El paine–erolähetin
- reaktorin paine; Alnor MP 3 KDS–mikromanometri
- polttoaineen massavirta; Sartorius 60 kg vaaka
- palamisilmamäärät; Bronkhorst Hi–Tec terminen massavirtamittari

Näytteenottoon perustuvat laitteet:

- HCl; lasiset kuplituskeräimet (kaasunpesupullot)
- lentotuhka; syklonierotin

FLUIDIZED BED REACTOR

EGOPENBY DRAW 01/21/97



MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEET KIURUVEDELLÄ

Mittausarvot jatkuvatoimisilta mittalaitteilta luettiin ja tallennettiin 15 sekunnin välein Armas 486DX4–120 tietokoneella ja HP 3497A Data Logger–tiedonkeruulaitteella.

Jatkuvatoimisiin mittauksiin käytettiin seuraavia laitteita:

- happi; Hartmann & Braun Magnos 3 paramagneettinen analysaattori
- hiilidioksidi; Infrared Industries IR–702 analysaattori
- hiilimonoksidi; Hartmann & Braun Uras 3E analysaattori
- rikkidioksidi; Hartmann & Braun Radas 2 analysaattori
- typpioksidi; Hartmann & Braun Radas 2 analysaattori
- savukaasun lämpötila; Pt–100 vastusanturi
- tulipesän lämpötilat; NiCr–Ni termoelementti

Näytteiden otossa käytetyt laitteet:

- savukaasun hiukkaspitoisuus; STL–Medi mittalaite
- HCl, HF ja raskasmetallit; lasiset kuplituskeräimet (kaasunpesupullot)
- orgaaniset yhdisteet (PAH, PCBz, PCP, PCB, PCDD ja PCDF); kokolasinen hiukkasten ja kaasunkeräyslaite

Muut mittalaitteet:

- savukaasun tilavuusvirta; L–pitot–putki ja Alnor MP3 mikromanometri

Lisäksi käytettiin laitoksen omaa tiedonkeruuhjelmaa laitospitoisuuden keräykseen.

1 Savukaasuanalyysit

Näytteenotossa käytettiin hiukkaserottimilla varustettua lämmitettävää sondia, josta savukaasut johdettiin lämmitettävää linjaa myöten jäähdyttimeen veden erottamiseksi kaasusta. Jäähdyttimeltä kaasu johdettiin hienosuodattimien ja rotametrien kautta eri analysaattoreille. Mittauspaikka oli sama kuin laitoksen happimittauksen eli heti savukaasupuhaltimen jälkeen. Samasta paikasta mitattiin myös savukaasun lämpötila.

2 Hiukkaspitoisuus

Kunkin kokeen aikana kerättiin kaksi näytettä savukaasujen hiukkaspitoisuuden määrittämistä varten. Nollakokeen aikana hiukkaspitoisuus mitattiin myös ennen puhdistinta, jolloin savukaasut kierrätettiin syklonipuhdistimen ohitse. Mittauksessa sovellettiin standardia SFS 3866. Mittalaite säätää automaattisesti imunopeuden isokineettiseksi. Kokeiden 1 ja 2 hiukkasnäytteistä analysoitiin myös raskasmetallit (As, Hg, Cd, Cr, Pb, Cu, Ni ja Zn).

3 HCl- ja HF-näytteet

Kokeiden 1 ja 2 aikana kerättiin kaksi näytettä savukaasujen HCl- ja HF-pitoisuuden määrittämistä varten. Näytteenottoaika oli 60 minuuttia ja imunopeus n. 3 litraa minuutissa. Näytteet kerättiin kuplittamalla ne kahteen kaasunpesupulloon, joissa molemmissa oli 75 ml tislattua vettä.

4 Raskasmetallinäytteet

Kokeiden 1 ja 2 kerättiin kaksi näytettä savukaasujen raskasmetallipitoisuuksien (As, Hg, Cd, Cr, Pb, Cu, Ni ja Zn) määrittämistä varten. Näytteenottoaika oli 60 minuuttia ja imunopeus n. 3 litraa minuutissa. Elohopeanäytteet kerättiin kuplittamalla ne kolmeen kaasunpesupulloon, joissa oli seuraavat liuokset:

1. pullo, 75 ml 10 % Na_2CO_3
2. pullo, 60 ml KMnO_4 + 15 ml H_2SO_4
3. pullo, 60 ml KMnO_4 + 15 ml H_2SO_4

Muut raskasmetallinäytteet kuplitettiin kahteen kaasunpesupulloon, joissa molemmissa oli 75 ml 3 % HNO_3 -liuosta.

5 Orgaaniset yhdisteet

Orgaanisten yhdisteiden (PAH, PCBz, PCp, PCB, PCDDja PCDF) näytteenottoja tehtiin yksi kokeiden aikana. Näytteenottoaika oli n. 3 tuntia ja näytemäärät noin $4,500 \text{ m}^3$. Analyysit tehtiin yhdistetyistä kaasuja hiukkasnäytteistä.

Näyte imettiin lasisondin kautta kvartsisuodattimeen, jossa erotettiin hiukkaset näytekäasusta. Suodatin oli uunissa, jonka lämpötila oli noin $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Suodattimelta savukaasu johdettiin kaksoiskierrejähdyttimeen, jossa näytteen sisältämä vesihöyry tiivistyi ja kerättiin kondenssivesipulloon. Jäähdyttimeltä savukaasu meni XAD-2-adsorbenttiin, josta edelleen näytepumpun kautta tilavuusvirran mittaukseen.

MITTALAITTEET KANNUKSEN RUOKOHELPIKOKEISSA

Mittausarvot jatkuvatoimisilta laitteilta luettiin ja tallennettiin 15 sekunnin välein Armas 486 DX4–120 tietokoneella ja HP 3497 A Dataloggerilla.

Jatkuvatoimisiin mittauksiin käytettiin seuraavia laitteita:

- happi; Hartmann & Braun Magnos 3 paramagneettinen analysaattori
- hiilidioksidi; Hartmann&Braun Uras 10P
- hiilimonoksidi; Hartmann & Braun Uras 3E analysaattori
- rikkidioksidi; Hartmann & Braun Radas 2 analysaattori
- typpidioksidi; Hartmann & Braun Radas 2 analysaattori
- savukaasun lämpötilat; Pt – 100 vastusanturi
- palamisilman lämpötila; Pt–100 vastusanturi
- ilmanpaine

Savukaasun hiukkaspitoisuuden määrittämiseksi näytteen otossa käytettiin STL–Medi mittalaitteita.

Savukaasun tilavuusvirta mitattiin L–pitotputkella ja Alnor MP3 mikromanometrillä.

Lisäksi käytettiin laitoksen omaa tiedonkeruuohjelmaa laitosmittausten keräämiseen.

Julkaisija



31600 JOKIOINEN

| | | |
|--|--|--|
| | Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 85 | |
| | Julkaisu aika (kk ja vuosi) Marraskuu 2000 | |
| Tekijä(t) Riitta Salo (toim.) | Tutkimushankkeen nimi | |
| | Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus | |
| Nimike Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raakaaineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa II. Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannus ja polttotekniikka. | | |
| Tiivistelmä <p>Tähän julkaisuun on koottu maa- ja metsätalousministeriön vuosina 1995–1997 rahoittamat ruokohelven ja oljen energiakäyttöä koskevat hankkeet. Hankkeet kohdistuivat peltobiomassojen korjuutekniikkaan, varastointiin, tuotantokustannuksiin ja polttoon. Hankkeissa selvitettiin ja kehitettiin irto- ja paalauskorjuumenetelmiä, aumavarastointia ja biomassojen kuljetusta varastolta polttolaitokselle. Lisäksi laskettiin tuotantokustannuksia eri korjuumenetelmiä käytettäessä. Myös ruokohelven poltto-ominaisuuksia ja seostusta polttolaitoksilla selvitettiin, samoin niiden soveltuvuutta jo olemassa olevien polttolaitosten käsittelylaitteisiin.</p> | | |
| Avainsanat: ruokohelvi, sato, sadonkorjuu, tekniikka, varastointi, tuotantokustannukset, poltto, olki | | |
| Toimintayksikkö | | |
| ISSN 1238-9935 | ISBN 951-729-587-1 | <input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä |
| Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 2327 Telekopio (03) 4188 2339 | Sivuja 169 s. | Hinta |

Jyväskylän yliopistopaino 2000
ISBN 951-729-587-1
ISSN 1238-9935