



Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola, Timo Järvinen,  
Ismo Tiihonen, Timo Lötjönen & Samuli Rinne

## Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille



# Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille

Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola,  
Timo Järvinen & Ismo Tiihonen

VTT

Timo Lötjönen

MTT

Samuli Rinne

YTY-Konsultointi



Euroopan maaseudun  
kehittämisen maatalousrahasto:  
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



ISBN 978-951-38-7699-9 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7700-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2011

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola, Timo Järvinen, Ismo Tiihonen, Timo Lötjönen & Samuli Rinne. Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille [The procurement of reed canary grass for power plants in Central Finland]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2577. 148 s. + liitt. 5 s.

**Avainsanat** energy crops, reed canary grass, mixed fuel, combined heat and power, business opportunities, harvesting of energy crops

## Tiivistelmä

Tämä julkaisu liittyy hankekokonaisuuteen ”*Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille*”. Hankkeen tavoitteena on edistää ruokohelven laajamittaisia käyttömahdollisuuksia Keski-Suomessa. Seuraavassa on esitetty projektin keskeisiä tuloksia yhteenvetona.

### *Helven viljelyhalukkuus*

- Rehuviljatilat ja jo nykyisin helpeä viljelevät ovat muita tuotantosuuntia kiinnostuneempia viljelemään helpeä. Näistä viljelijöistä enemmistö katsoo helven olevan heille eri tavoin ajateltavissa oleva vaihtoehto. Viljelijän olosuhteista riippuen mielipide helvestä kuitenkin vaihtelee paljon.
- Maito- ja lihakarjatilat suhtautuvat vähemmän myönteisesti helpeen, koska ne panostavat täysillä nykyiseen tuotantomuotoon. Vaikka osa viljelijöistä on valmis helven kasvatukseen, niin ainakaan lähitulevaisuudessa nämä viljelijäryhmät eivät tulle tuottamaan merkittäviä määriä helpeä.
- Kiinnostus helven viljelyyn ei ole niin suurta, että ainakaan lähitulevaisuudessa voitaisiin tuottaa sellaisia määriä helpeä kuin keskisuomalaiset voimalaitokset pystyisivät optimitilanteessa käyttämään. Suurin yksittäinen hidaste helven lisääntymiselle on sen halvaksi koettu hinta, mikä puhuttaa monia viljelijöitä.
- Suurin osuus korjuukalustosta on eläintiloilla, mutta suurin viljelyhalukkuus rehuviljatioilla. Eläintilojen urakointihalukkuus mahdollistaisi ainakin laskennallisesti helpialan merkittävän lisäyksen Keski-Suomessa ilman, että kaluston puute rajoittaisi korjuuta.

- Viljelijät ovat suhteellisen halukkaita myymään olkea polttoaineeksi. Pelkästään energiamäärää tarkastelemalla olki olisi erittäin merkittävä vaihtoehto helven rinnalla Keski-Suomessa.

#### *Helven korjuuteknologian kehittäminen*

- Paalaimen ajonopeus ja karheen koko eivät selitä käytännössä havaittua suurta paalien tiheysvaihtelua. Selittäväksi tekijäksi jää se, miten paalauksurakoitsija säättää paalikammion avautumispaineen. Paalikohtainen taksoitus ei kannusta tekemään tiiviitä paaleja. Toisaalta paalaimen rikkoontumisriski voi kasvaa tavoiteltaessa hyvin tiiviitä paaleja.
- Niiton ja paalauksen yhdistämisellä voidaan työajanmenekkiä merkittävästi vähentää, jolloin yhden koneyksikön vuosittain korjaama ala voi kasvaa. Korjuun kustannukset eivät alene suhteessa yhtä paljon.
- Paalien keräilyyn on olemassa itsenoukkivia paalivaunuja, joilla paalien keräilyä voidaan tehostaa. Laitteiden hinnasta johtuen ensisijaisesti laitteita hankkinevat urakointiin erikoistuneet viljelijät.

#### *Helven varastoinnin kehittäminen*

- Pyramidipäätyiset paalikasat (kasan poikkileikkaus on kolmion muotoinen) tulisi rakentaa siten, että niissä on aina harjapaali. Muutoin peitettyihin kasoihin muodostuu vesipusseja, joista vesi todennäköisesti jossain vaiheessa valuu kasaan.
- Paalikasojen peittäminen ja pohjustaminen ehkäisee veden pääsyä kasoihin, joko sadevedestä tai maasta nousevasta vedestä.
- Ilman peittämistä osa paaleista voi olla hyvinkin kosteita, pinnaltaan jopa 70–80 %. Kostunut kerros ulottuu yleisimmin alle 20 cm:n etäisyydelle paalin pinnasta ja jää lähes poikkeuksetta alle 30 cm:iin.
- Jos paalikasoihin on pohjustus jonka päällä ei voi ajaa koneella, vaikeutuu etukuormaajalla varustetun traktorin käyttö kasojen teossa, koska ladata vaikeutuu ja kasojen koko pienenee kuormaajan tehollisen ulottuvuuden pienentyessä. Ratkaisuna on käyttää puutavara-kuormaajaa tai kurottajaa, jolla kasat voidaan tehdä sivulta käsin latoen.
- Pyöröpaalivarastojen peittämiseen käsityönä liittyy aina turvallisuusriski, jos paalit alkavat vieriä ja kasa luhistuu. Päällekkäiset paalikerrokset tulisi latoa osin limittäin.

### *Helven toimituslogistiikan kehittäminen*

- Helven toimituslogistiikkaa tulisi tarkastella aina suhteessa käyttömääriin ja käytön aikaan.
- Paras tilanne kuljetusten kannalta on, jos käyttö on ympärivuotista. Etenkin junakuljetukset on järjestettävissä paremmin, jos käyttö on enustettavissa ja tasaista sekä kuljetusmäärät ovat riittäviä.
- Suurin absoluuttinen ja suhteellinen helven vuosikäyttömäärä voimalaitoksissa saavutetaan, jos helven suhteellinen osuus koko polttoainevirrasta kuukausittain on vakio. Kuljetusten on sopeuduttava helven kuukausittain muuttuviin toimitusmääriin, mutta niinhän on nytkin muiden polttoaineiden kanssa.
- Helven satunnaisessa käytössä, esimerkiksi vain kesäaikaan, ei tulla saavuttamaan kovin suuria vuosikäyttömääriä, koska hetkelliset osuudet eivät voi olla kuljetinlaitteiston ja kattilakemian rajoituksista johtuen kovin suuria, nykytietämyksen mukaan energiaosuus on 5–20 % koko polttoainevirrasta. Tämä tilanne ei kannusta tekemään pelkästään helvelle tarkoitettuja investointeja, kuten kiinteitä katettuja varastoja, kuljetuksen erikoiskalustoa ja voimalaitoksen investointeja.
- Uusimpien risu-kantoautoyhdistelmien kuormatila on tieliikennelain ja auton teknisten ratkaisujen sallimalla ylärajalla eikä autojen teknisellä kehityksellä tulla saavuttamaan merkittävää kuormakoon kasvua helven kuljetuksissa. Käytännössä helpeä kuljetetaan kuitenkin autoilla, joiden kuormatila ei ole maksimaalinen.
- Jatkettu lähikuljetus traktorilla on rekkakuljetukseen verrattuna kilpailukykyinen vaihtoehto, jos tämä kuljetus ei ole ylimääräinen työvaihe ketjussa. Pisin taloudellinen kuljetusmatka traktorilla voisi olla aina kolmeen kymmeneen kilometriin saakka.

### *Helven kosteusmittauksen kehittäminen*

- Projektissa kokeilluilla NMR- (Nuclear magnetic resonance) ja mikroaaltomenetelmillä voitiin helpinäytteen kosteus määrittää keskimäärin tarkasti, joskin yksittäisissä havainnoissa saattoi olla eroja. Menetelmät soveltuvat käytettäväksi vain laboratorio-oloissa, joten niitä ei voi käyttää esimerkiksi viljelmillä tapahtuvaan määrittämiseen. Kokonaiskosteuksien

määrityksessä näytteenotto muodostaa merkittävän virhelähteen verrattuna itse näytteen analysointiin.

- Paalit kostuvat varastoinnissa, ja vaikka päältäpäin voi ehkä erottaa kostuneet paalin osat, ei voida tietää kuinka syvälle kosteus on edennyt paalissa. Sen vuoksi näytteenotto paalista on haastavaa tarkan kosteuden saamiseksi.
- Mitkään tässä kokeillut sähköiset määrittämenetelmät eivät juuri toimi helvellä, jonka lämpötila on alle 0 asteen.
- Projektissa testatun paalien painomittaukseen perustuvan määrittämenetelmän tulosten mukaan menetelmä ei olisi niin tarkka kuin etukäteen oli oletettu. Erääksi selittäväksi tekijäksi oletettiin mikrobiologisen toiminnan aiheuttama kuiva-aineen muutos. Tämän havaintoaineiston perusteella ei painomittausmenetelmää kuitenkaan kannata sulkea pois, koska se on helppo tehdä ja se ratkaisisi monia näytteenottoon ja määrittäykseen liittyviä ongelmia.
- Kairattaessa kosteusnäytteitä paaleista tulee tietää oikea kairausvyvyys, mikä on aina pienempi kuin pyöröpaalin säde. Oikealle kairausvyvyydelle ei juuri ole yleisiä säännönmukaisuuksia, vaan se riippuu kosteusprofiilista. Projektissa mitatuille kosteusprofiileille oikea kairausvyvyys oli 20–34 cm (1,2 metrin paali). Kairausvyvyden keskiarvo oli 26 cm.
- Käytännön toiminnassa voidaan käyttää vain yhtä kairausvyvyttä, joksi tässä yhteydessä suositellaan 25 cm.

Tarkempi yhteenveto projektin tuloksista on esitetty luvussa 8.



Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola, Timo Järvinen, Ismo Tiihonen, Timo Lötjönen & Samuli Rinne. Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille [The procurement of reed canary grass for power plants in Central Finland]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2577. 148 p. + app. 5 p.

**Keywords** energy crops, reed canary grass, mixed fuel, combined heat and power, business opportunities, harvesting of energy crops

## Abstract

This report describes the results of the project “Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille – The supply of reed canary for power plants in Central Finland”. The aim of the project was to promote the large-scale use of reed canary grass (RCG) in Central Finland. The summary of the results is given below.

### *Cultivation willingness of reed canary grass of farmers*

- Feed grain farms and farms which already at present cultivate RCG are more willing to cultivate RCG compared to other type of farms. Slight majority of these farmers see that RCG can be an option compared to present crop cultivation. Willingness however varies depending on the conditions of the individual farmers.
- Dairy farms and beef cattle farms have more negative attitude towards RCG, because they are devoted to present production. Although some of these farmers may be ready to produce RCG, it is probable that large quantities of RCG are not produced, at least in the near future by these farmers.
- Interest towards RCG among farmers is not so great that such quantities could be produced, at least in the near future, which power plants could use on optimal conditions.
- Many farmers are worried about the price of RCG.
- Most of the production machinery suitable to RCG harvesting is on cattle farms, while greatest interest towards RCG is on feed grain farms, which have less production machines. Cattle farms are however willing

to participate RCG harvesting outside own farm, and this willingness would enable to significantly increase cultivation area from present, without that the lack of machinery would limit the cultivation area.

- Farmers are relatively willing to sell straw as fuel. Considering just the energy amount, straw could be significant source of energy in Central Finland.

#### *The development of harvesting technology of RCG*

- The driving speed of a baler and size of the windrow on baling does not explain the large density variation of bales which is observed in practice. The only explaining factor is how the opening pressure of bale chamber is adjusted. The bale specific charge does not encourage the contractor to make dense bales. On the other hand the risk of breaking the baler increases if opening pressure is adjusted very high.
- By combining mowing and baling to the same tractor, the capacity of harvesting can be improved significantly, and annually harvested area of one unit can increase significantly. The relative reduction of harvesting costs is however lower than the relative increase of capacity.
- There are commercial bale wagons, which load themselves, without use of second tractor, and the gathering of bales from field becomes more efficient. Due to price of these machines, they are mainly bought by farmers who do also contracting work.

#### *The development of RCG storage*

- The bale storages should always be build in a way that they have comb shape form. Otherwise, when covered with plastic film, the rain water and water from melted snow is gathered into pools, and this water very probably penetrates into storage at some stage of the storage.
- By covering bale storages and making an insulating bottom to storages prevents water to penetrate into bales.
- If not covered, some bales in a storage can have very high moisture content, surface layer can be 70–80%. This moist layer usually extends up to 20 cm from the bale surface, but nearly without exception is thinner than 30 cm.

- If bale storage has insulating bottom, on top of which the tractor cannot drive, the loading of bales has to be done from sides of the storage.
- The manual covering of bale storages creates a safety risk, if especially round bales start to roll or fall and the storage collapses. Bales should be loaded in a way that the contact surfaces of lower and upper bales partially overlap each other.

*The development of CRG supply logistics*

- The supply logistics of RCG should be considered in parallel with use volumes and use time.
- Best conditions for transport of RCG are if use occurs year-around. Especially train transport can be arranged better if use can be predicted, use is even and transport volumes sufficient.
- Largest use volumes can be achieved on yearly basis if relative, momentary share of RCG is always constant compared to total fuel use. The transport capacity of RCG has to be adjusted to these varying supply volumes, but this is the case already with other fuels.
- If RCG is used occasionally, for example in summer time, it is not possible to achieve large use volumes, because due to limitations of conveyor system and combustion process, the momentary use share cannot be too high, according to present knowledge only about 5–20% from the total fuel use. This does not encourage to make investments to equipment intent only for RCG. Such investments are for example roofed storages, specialised transport equipment and investments to power plant technology.
- The load space volume of the newest trucks used to transport wood fuels is nearly the maximum, when taking into account the traffic laws and technical aspects of truck building. Technical development of truck structures does not significantly increase the load space dimensions. In practice RCG is also transported with older trucks, which do not have the maximal load space volume.
- On short transport distances, the transport with tractor can be competitive alternative compared with truck, if tractor transport is not an extra work stage on supply chain. Longest transport distances for tractor can be up to 30 km.

### *The development of damp measuring of RCG*

- By using the NMR (nuclear magnetic resonance) and microwave techniques, which were studied in the project, the moisture content of RCG can be measured relatively accurately on average, although there were some deviation on individual measurements. These methods can only be used in laboratory conditions, so they cannot be used for example at the cultivations of RCG. To get the correct average moisture content of RCG batch, the sampling from bales is a significant source of error compared to measurement itself.
- RCG bales get wet during storage period, and although the wetted areas can possibly be seen, it is not possible to see how deep these wet areas are. Therefore the sampling from bales is a challenging task in order to get the correct moisture content.
- None of the tested electrical measuring techniques does not work with frozen RCG.
- The measuring method based on weighing the bales was not as accurate as beforehand was predicted. One explaining factor can be the microbiological activity during storage stage which causes the change of dry matter amount. Due to limited tests of the accuracy, this measuring technique should not be excluded from further development, because it is easy to carry out and it could solve many problems related to sampling and measuring the moisture content.
- When drilling moisture content samples from round bales it is important to know the correct drilling depth, which is always lower than the radius of the round bale. There are no general rules for correct drilling depth, but this depends on the moisture content profile of the bale. By using the data collected in the project, the correct drilling depths varied between 20–34 cm (1,2 m round bale). On average this was 26 cm.
- In practice only fixed drilling depth can be used, and it is recommended to use depth of 25 cm.

More detailed summary of the results is given on chapter 8.

## Alkusanat

Tämä julkaisu liittyy hankekokonaisuuteen ”*Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille*”. Hankkeen tavoitteena oli edistää ruokohelven laajamittaisia käyttömahdollisuuksia Keski-Suomessa. Hankkeen tilaaja oli Vapo Oy ja sen toteuttivat VTT, ProAgria Keski-Suomi, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT ja YTY-Konsultointi. Hankkeen rahoittajia olivat Keski-Suomen ELY-keskus (Manner-Suomen maaseutuohjelma), Vapo Oy ja Jyväskylän Energia Oy.

Hankkeen projektipäällikkönä on toiminut Tuulikki Lindh VTT:stä. Hankkeen toteuttajat haluavat kiittää hyvistä neuvoista projektin ohjausryhmää, johon ovat kuuluneet Mia Suominen, Olli Reinikainen ja Pasi Sironen (vuonna 2010) Vapo Oy:stä, Risto Janhunen Keski-Suomen ELY-Keskuksesta, Tapo Lehtoranta ja Ahti Weijo (2010) Jyväskylän Energia Oy:stä, Vesa Laitinen ProAgria Keski-Suomesta ja Panu Volanto viljelijöiden edustajana.

Hankkeen osatehtävien vastuuhenkilöinä ja samalla tämän julkaisun osien kirjoittajina ovat toimineet seuraavat henkilöt: helven viljelypotentiaali – Teuvo Paappanen, VTT, korjuuteknologian kehittäminen – Timo Lötjönen, MTT, varastoinnin kehittäminen – Risto Impola, VTT, toimituslogistiikan kehittäminen – Samuli Rinne, YTY-Konsultointi ja kosteusmittauksen kehittäminen – Timo Järvinen, Ismo Tiihonen ja Teuvo Paappanen, VTT. Julkaisun on koontanut Teuvo Paappanen. Lisäksi Vesa Laitinen ProAgria Keski-Suomesta on pääsääntöisesti vastannut viljelijöille suunnatuista tiedotustilaisuuksista ja viljelijöiden neuvonnasta.

Jyväskylässä 7.2.2011

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	7
Alkusanat .....	11
1. Johdanto .....	15
2. Tutkimuksen tavoite ja tehtävät .....	16
3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa .....	18
3.1 Viljelijäkyselyn tulokset .....	18
3.1.1 Ruokohelven viljelyhalukkuus Keski-Suomessa .....	19
3.1.2 Näkemykset ruokohelven viljelyn taloudesta .....	21
3.1.3 Korjuukoneresurssit maakunnassa .....	23
3.1.4 Kiinnostus oljen myyntiin .....	27
3.2 Peltoala Keski-Suomessa .....	28
3.2.1 Peltoalan jakautuminen kasviryhmittäin .....	28
3.2.2 Peltoalojen maantieteellinen analyysi .....	30
4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen .....	34
4.1 Korjuun tehostaminen työvaiheita yhdistämällä .....	34
4.1.1 Niiton ja paalauksen yhdistäminen .....	34
4.1.2 Paalien lähikuljetuksen tehostaminen .....	39
4.2 Pyöröpaalien tiheyden lisääminen .....	42
4.2.1 Tiheyteen vaikuttavia tekijöitä .....	43
4.2.2 Paalauskoheet 2009 ja 2010 .....	44
4.2.3 Johtopäätökset .....	50
5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen .....	53
5.1 Varastointikoejärjestelyt .....	53
5.1.1 Varastojen teko .....	53
5.1.2 Varastojen purku .....	56
5.2 Laatumuutokset varastoinnin aikana .....	58
5.2.1 Paalien kosteudet syksyllä 2009 .....	58
5.2.2 Paalien kosteudet keväällä 2010 .....	59
5.2.2.1 Vatasen auma .....	59
5.2.2.2 Yhteenveto Vatasen aumasta .....	64
5.2.2.3 Sirkkasuon auma .....	67
5.2.2.4 Yhteenveto Sirkkasuon aumasta .....	71
5.2.2.5 Huomioita molemmista aumoista .....	71
5.3 Näytteenoton luotettavuudesta .....	73
5.4 Suosituksia ruokohelven varastoinnille .....	74

6.	Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen .....	78
6.1	Helven polttoaineominaisuuksista .....	80
6.2	Helven käyttö eri vuodenaikoina .....	82
6.3	Keräilyvarastot .....	87
6.3.1	Kuljetuksen kustannukset .....	87
6.3.2	Keräilyvaraston kustannuksista .....	89
6.3.3	Helpikasojen peittämisen vaikutuksista .....	93
6.4	Helven kuljetukset .....	99
6.4.1	Nykyisen autokannan soveltuvuus helven kuljetuksiin .....	100
6.5	Rautatiekuljetukset .....	105
7.	Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen.....	110
7.1	Kosteusmittausmenetelmät .....	111
7.2	Paalien näytteenottotavoista ja kosteushajonnoista .....	111
7.3	Tutkimukseen valitut kosteusmittaustekniikat.....	114
7.3.1	Kapasitiivinen mittaus .....	115
7.3.2	Mikroaaltomenetelmät .....	116
7.3.2.1	Tulokset BMA-mittauksista .....	118
7.3.3	Ydinmagneettinen resonanssi (NMR) -menetelmä.....	120
7.3.3.1	Tulokset NMR-mittauksista .....	122
7.3.4	Muita mahdollisia instrumentaalimenetelmiä ruokohelven kosteuden määrittämiseen .....	125
7.3.4.1	Impedanssispektroskopiaan perustuva kosteuden mittaus .....	125
7.3.4.2	Infrapuna (IR) -kosteusmittaus .....	127
7.3.4.3	Painomittaukseen perustuva kosteuden mittaus .....	128
7.4	Kairanäytteenoton ja paalien punnituksen teknisiä toteuttamismahdollisuuksia .....	132
7.4.1	Näytteenotokaira.....	132
7.4.2	Paalipiikkivaaka .....	134
7.5	Näytteenoton menetelmätarkastelua .....	135
7.5.1	Kairausyvyyden määrittäminen .....	135
7.5.2	Yhteenvedo näytteenotosta kairaamalla.....	139
8.	Yhteenvedo .....	140
	Lähdeluettelo.....	146
	Kirjallisuus .....	148

## Liitteet

Liite A: Kyselylomake viljelijöille





# 1. Johdanto

Ruokohelven viljelyala Keski-Suomen maakunnassa vuonna 2009 oli 1 400 hehtaaria, josta pääosa on Vapon sopimusviljelmiä. Isot voimalaitokset Keski-Suomessa ovat kiinnostuneita ottamaan ruokohelven polttoainevalikoimaansa. Jyväskylän Rauhalahden voimalaitos on käyttänyt helpeä vuodesta 2005 lähtien.

Hanketta suunniteltaessa oletettiin, että Keljonlahden uusi voimalaitos käyttäisi helpeä 5 % laitoksen koko polttoainemäärästä vuoteen 2015 mennessä. Tällöin Jyväskylän Energian vuosikäyttö olisi 200 GWh, jolloin helpiviljelmiä tarvittaisiin 8 000–9 000 ha. Projektin aikana Jyväskylän Energia on tehnyt päätöksen, että helpeä poltetaan toistaiseksi ainoastaan Rauhalahden voimalaitoksessa, jolloin vuosittainen käyttömäärä jää alle suunnitellun. Toisaalta muualla maakunnassa on potentiaalisia helven käyttäjiä.

Maakunnassa on viljanviljelystä vapaata peltoalaa (kesantoa ja luonnonhoitopeltoa) 13 000 ha. Lisäksi suopohjia vapautuu turvetuotannosta noin 300 ha vuodessa. Suopohjien määrä on 1 600–1 700 ha vuoteen 2010 mennessä.

## 2. Tutkimuksen tavoite ja tehtävät

Hankkeen tavoitteena on ollut edistää ruokohelven laajamittaisia käyttömahdollisuuksia Keski-Suomessa. Hanke on jakaantunut eri osatehtäviin, jotka on kuvattu seuraavassa.

### 1. Ruokohelven viljelyn potentiaalikartoitus

- Kysely viljelijöille halukkuudesta ja resursseista viljellä helpeä
- Korjuukoneressurssien selvitys (viljelijäkysely)
- Peltoalojen tilastollinen tarkastelu  
(Osallistujat VTT ja ProAgria)

### 2. Ruokohelven korjuuteknologian kehitys

- Korjuun tehostaminen työvaiheita yhdistämällä
- Paalien lähikuljetuksen kehittäminen
- Paalitiheyden lisääminen  
(Osallistujat MTT ja VTT)

### 3. Ruokohelven varastointi ja logistiikka

- Varastointitutkimus
- Keräilyvarastojen toteutusmahdollisuudet
- Kuljetukset maantie- ja rautatiekuljetuksina  
(Osallistujat VTT ja YTY-Konsultointi)

### 4. Ruokohelven energiasisällön mittaaminen

- Selvitetään instrumentaaliset kosteus- ja massanmittausmenetelmävaihtoehdot
- Kokeet valituilla mittaustekniikoilla  
(Osallistuja VTT)

5. Markkinointi

- Tiedotustilaisuudet viljelijöille
  - Liiketoimintamahdollisuuksien selvittäminen ja esittäminen viljelijöille
  - Tiedotusmateriaalin laadinta
- (Osallistujat ProAgria ja VTT)

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Teuvo Paappanen  
VTT

#### 3.1 Viljelijäkyselyn tulokset

Kaikille Keski-Suomen maakunnan viljelijöille lähetettiin kysely ruokohelvestä. Siinä kysyttiin tilan yleistietoja, konekalustoa, aikomusta viljellä helpeä, urakointihalukkuutta helven korjuussa, helven viljelyn kannattavuutta sekä halukkuutta myydä viljojen olkea energiaksi. Kyselylomake on esitetty liitteessä A.

Kysely lähetettiin kaikille Keski-Suomen maakunnan viljelijöille, joita oli 3 321 kappaletta. Vastauksia saatiin 390, jolloin vastausprosentiksi muodostui 11,7 %. Taulukossa 1 on esitetty vastanneiden tilojen yleistietoja tuotantosuunnittain.

Taulukko 1. Kyselyyn vastanneiden tilojen yleiskuvaus tuotantosuunnittain.

	<b>Maito</b>	<b>Vilja</b>	<b>Liha</b>	<b>Muu</b>	<b>Helpi</b>
<b>Tiloja, kpl</b>	72	116	47	161	34
<b>Pinta-ala, ha - josta vuokralla, %</b>	51,6 36 %	33,7 20 %	57,2 34 %	25,8 23 %	39,0 26 % helpi 14,8 ha kok. helpi 504 ha
<b>Viljelijän ikä</b>	47	47	45	49	49
<b>Etäisyys JKL:stä</b>	80	66	78	76	84

### 3.1.1 Ruokohelven viljelyhalukkuus Keski-Suomessa

Helven viljelyhalukkuutta ja kannattavuutta kysyttiin kahdessa kysymyksessä. Kysymysryhmän 3 kysymyksissä pyydettiin rastittamaan mm. seuraavat vaihtoehdot:

- En sulje pois mahdollisuutta viljellä helpeä, mutta en ole ajatellut asiaa tarkemmin.
- En nyt ja lähitulevaisuudessa katso helven olevan minulle vaihtoehto nykyiselle tuotantosuunnalle.

Kysymyksessä 6 kysyttiin:

- 6A: Katsotteko, että helven viljely voi olla teille kannattava vaihtoehto verrattuna nykyiseen tuotantoonne ja tuotantotilanteeseen (K/E)?
- 6B: Jos ette tällä hetkellä koe helpeä kannattavaksi vaihtoehdoksi, niin missä tilanteessa se voisi tulla teille kannattavaksi?

Yhteenveto näiden kysymysten vastauksista on esitetty taulukossa 2. Myönteisimmin helven viljelyn kannattavuuteen suhtautuivat viljatilat ja myös nykyisin jo helpeä viljelevät tilat. Kielteisintä suhtautuminen oli maito- ja lihakarjatiljoilla.

Taulukko 2. Viljelijöiden vastaukset helven viljelyn kannattavuutta liittyviin kysymyksiin.

	Maito	Liha	Vilja	Muu	Helpi
<b>Kysymys 3</b>	En sulje pois mahdollisuutta viljellä helpeä (En sulje pois) En nyt ja lähitulevaisuudessa katson helven olevan vaihtoehto (En nyt ja tulev.)				
<b>Tilojen lkm</b>	67	47	116	164	32
<b>Mielipide asiasta, %</b>	93	94	97	80	
<b>Joista</b>					
- En sulje pois (%)	56,7	56,8	79,6	64,8	
- En nyt ja tulev. (%)	43,3	43,2	20,4	35,2	
<b>Kysymys 6</b>	Voiko helpi olla kannattavaa verrattuna nykyiseen tuotantosuuntaan				
<b>Joista</b>					
- Kyllä (%)	13,9	17,0	39,7	28,0	35,3
- Ei (%)	65,3	70,2	37,9	41,0	23,5
- Ei vastausta (%)	20,8	12,8	22,4	31,1	41,2

Kysymysryhmässä 3 noin 80 % viljatiloista ei sulkenut pois helpeä ja 20 % ei katsonut sen olevan vaihtoehto. Kysymyksessä 6 hieman suurempi osuus viljanviljelijöistä katsoi helven olevan kannattava vaihtoehto kuin katsoi, että se ei ollut kannattava vaihtoehto.

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Kysymysryhmässä 3 noin 43 % maito- ja lihakarjatiloi-  
sta sulki helven pois jo tässä vaiheessa. Kysymyksessä 6 tämä mielipide vielä jyrkkeni: noin 65–70 % ei pitänyt helpeä kannattavana verrattuna nykyiseen tuotantosuuntaan ja vain 14–17 % piti helpeä kannattavana.

Myös helpeä jo nykyisin viljelevät pitivät sen kannattavuutta hyvänä, esimerkiksi kysymyksessä 6 Kyllä-vaihtoehto 35 % ja Ei 24 %. Kuitenkin helpiviljelijöistä huomattava osuus (41 %) ei ottanut kantaa kysymykseen 6, kun muilla tuotantosuunnilla epätietoisten osuus oli 13–31 %.

Kysymyksessä 6 saattoivat viljelijät antaa myös Kyllä/Ei-vastauksen lisäksi sanallisen selityksen kannattavuuteen. Maito- ja lihakarjatilat esittivät selvästi enemmän helvelle kielteisiä perusteluja kuin myönteisiä perusteluja. Yleisin ajatuskuviota näiden viljelijöiden keskuudessa oli, että on mahdollisesti äskettäin investoitu nykyiseen tuotantosuuntaan, siihen panostetaan täysillä, kaikki pelto-ala tarvitaan rehujen tuottamiseen ja sen katsottiin olevan kannattavampi vaihtoehto kuin helpi. Kun kysyttiin, milloin helpi voisi tulla kannattavaksi vaihtoehdoksi, selvästi yleisimmäksi perusteluksi ilmoitettiin tilanne, jossa nykyinen tuotanto loppuu. Myös helven hinnan nousu voisi muuttaa näiden viljelijöiden mielipidettä. Pienehkö osuus katsoi, että helpi ei voi kilpailla kannattavuudessa maidon ja lihan kanssa.

Viljatilat esittivät Kyllä-syitä miksi siirtyä helpeen enemmän kuin Ei-syitä. Merkittävimmät syyt siihen, miksi helpi voi olla kannattavaa ovat, että viljan hinta on alhainen, sen kannattavuus huono ja on tarve vähentää työmenekkiä. Syitä siihen, miksi ei siirtyä helpeen ovat, että viljan viljely katsotaan kannattavammaksi, ei ole omia koneita helven korjuuseen ja pinta-ala on pieni.

Myös helpiviljelijät ilmoittivat enemmän Kyllä-syitä helvelle kuin Ei-syitä. Yleisin helvelle myönteinen syy oli sen kannattavuus, mutta kannattavuudella perusteltiin yleisesti myös kielteistä suhtautumista helpeen. Ne helpiviljelijät, jotka eivät nähneet viljelyä kannattavana, esittivät, että helven hinnan nousu olisi tärkein (ainoa) tekijä, joka tekisi siitä houkuttelevan.

Myöskään muiden tuotantosuuntien tilat eivät nähneet helpeä yhtä houkuttelevana kuin viljatilat ja nykyisin helpeä viljelevät. Näistä tiloista suuri osuus tuottaa kuivaheinää tai tuorerehua, tiloilla on hevosia tai jotain muuta erikoistuotantoa, kuten marjoja, kuminaa tai muita eläimiä kuin lypsylehmiä tai lihakarjaa. Myös nämä tilat mainitsivat usein, että keskittyvät nykyiseen tuotantoon ja pitävät sitä kannattavampana kuin helpeä.

### 3.1.2 Näkemykset ruokohelven viljelyn taloudesta

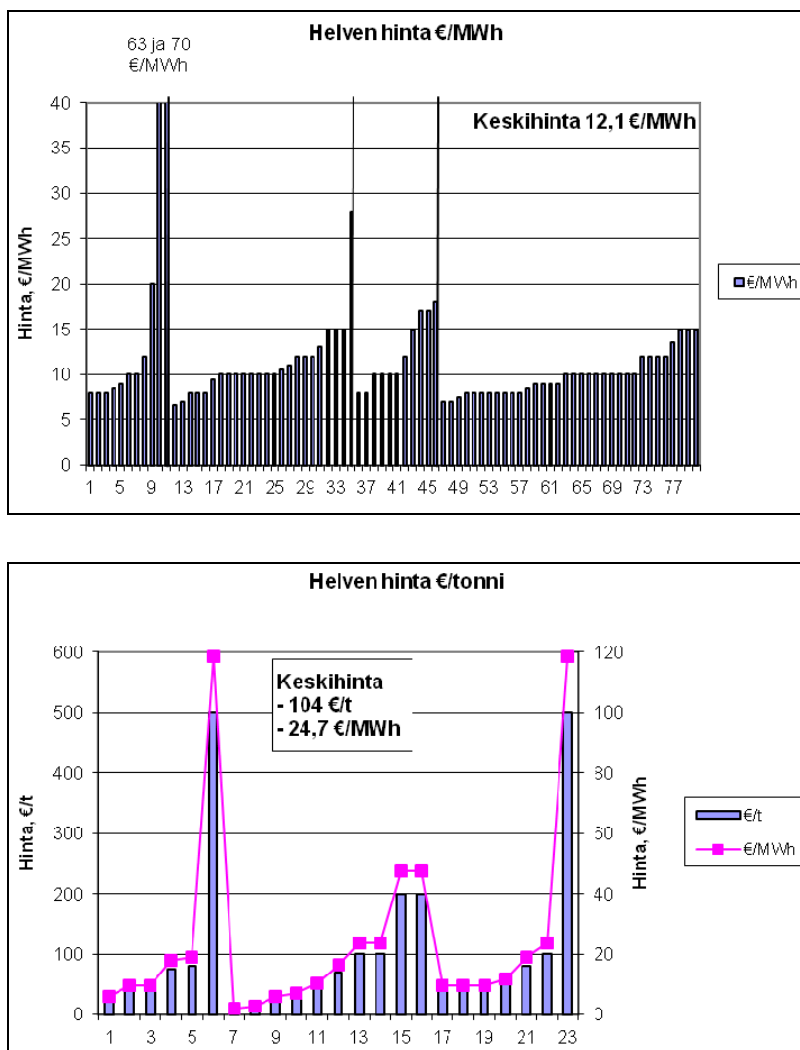
Hyvin moni viljelijä mainitsi helven alhaisen hinnan ja toivoi siihen parannusta, jotta se ”kattaisi edes paalauksen kustannukset”. Tämä toteamus on sinänsä oikein, mutta viljelijät eivät ehkä aina tiedosta maataloustukien merkitystä helven viljelyn kannattavuuteen.

Viljelijöiltä kysyttiin, mikä olisi käypä hinta helvestä pellon reunaan varastokasoihin peitettyinä. Evästeeksi annettiin, että Vapon Keski-Suomessa maksama keskihinta on 6,3 €/MWh ja vaihteluväli 3–8 €/MWh. Hinnan saattoi ilmoittaa yksikössä €/MWh tai €/tonni. Vastauksista lasketut keskihinnat on esitetty taulukossa 3 ja yksittäiset hinnat kuvassa 1. Osa viljelijöistä ilmoitti syystä tai toisesta erittäin korkean hinnan. Tämän vuoksi laskettiin myös redusoitu hinta, joista kaksi suurinta hintapyyntöä poistettiin (vrt. taulukko 3 ja kuva 1). Redusoiduksi keskihinnaksi saatiin laadussa €/MWh 10,7 ja laadussa €/t 52,6 (12,5 €/MWh). Taulukossa 3 on myös esitetty viljelijöiden ilmoittama hintatoive oljesta, jota kysyttiin toisaalla kyselylomakkeessa. Tämän keskiarvo oli 11–14 €/MWh, mikä on likimäärin sama kuin helvelle. Olkea koskevassa kysymyksessä tiedusteltiin nimenomaan pelkän raaka-aineen hintaa ilman korjuukustannuksia, mutta viljelijät eivät syystä tai toisesta tehneet eroa helven ja oljen välille, vaikka helven hinnassa tulee olla mukana korjuukustannukset ja oljella vain raaka-aineen hinta.

Taulukko 3. Viljelijöiden ilmoittamat helven ja oljen myyntihintatoiveet.

	Laadussa €/MWh	Laadussa €/tonni
<b>Helpi</b>		
- Kaikki	12,1	104 (24,7 €/MWh)
- Redusoitu	10,7	52,6 (12,5 €/MWh)
<b>Olki</b>	11	53 (14 €/MWh)

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa



Kuva 1. Viljelijöiden hintapyyntö helvestä MWh ja tonnia kohti.

Yhteenvedona helven viljelyhalukkuudesta ja sen kannattavuudesta voidaan todeta, että nykyisin helpeä viljelevistä enemmistö suhtautuu positiivisesti helven kannattavuuteen, vaikka epätietoisien osuus on suurempi kuin sellaisilla viljelijöillä, joilla ei ole omakohtaista kokemusta helvestä. Myös viljatilat suhtautuvat periaatteessa positiivisesti helpeen. Yksittäisen tilan kohdalla ratkaisu voi perustua tilakohtaisten ominaispiirteiden lisäksi helven ja viljan hintaeroon sekä siihen, onko vilja pystytty markkinoimaan tilan ulkopuolelle. Maito- ja lihakarjatilojen halukkuus helven viljelyyn on helpi- ja viljatiloja pienempi.



### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Potentiaalista tarvetta helvelle on 8 000–9 000 ha:n pinta-alalle, kun nykyinen pinta-ala on 1 400 ha. Kyselyssä tiedusteltiin, kuinka paljon helpeä tilat aikovat lähitulevaisuudessa viljellä. Tämä pinta-ala on kuitenkin vain pienehkö osuus tarpeesta. Lisäksi kahdeksan viljelijää ilmoitti kyselyssä kiinnostuksesta tehdä viljelysopimus Vapon kanssa. Viljelijöiden mielipiteitä kuultiin myös ProAgrian ja VTT:n järjestämissä viljelijätilaisuuksissa sekä kontakteissa ProAgrian neuvojien ja viljelijöiden välillä. Vaikka teoriassa viljelijöillä on kiinnostusta helpeä kohtaan, voidaan käytännössä olettaa, että ainakaan lähitulevaisuudessa tavoiteltua 8 000–9 000 ha:n helpialaa ei tulla saavuttamaan.

#### 3.1.3 Korjuukoneressurssit maakunnassa

Viljelijäkyselyssä tiedusteltiin, mitä helven korjuuseen soveltuvia koneita maatiiloilla on. Tulokset on esitetty taulukossa 4. Koneiden lukumäärät ovat kyselyyn vastanneilta tiloilta, joiden osuus kaikista tiloista oli 11,7 %. Jos oletetaan, että vastanneiden tilojen konekalusto on keskimäärin samanlaista kuin vastaamatta jättäneiden tilojen, saadaan koko Keski-Suomen maakunnan konekaluston määrä kertomalla taulukon luvut noin 8,5:lla (vastausprosentti 11,7 %).

Taulukko 4. Tilojen konekaluston määrä.

	<b>Koneita, kpl</b>	<b>Osuus, % tiloista</b>	<b>Muuta</b>
<b>Niittomurskain</b>	115	29,6	Nostolaite: 63 %, hinattava 34 % ja etunostol. 3 % Kierrosluvun säätö: Kyllä 55 %, Ei 45 %
<b>Lautasniittokone</b>	169	43,8	
<b>Pyöröpaalain</b>	79	20,4	Muuttuvakamm. 18 %, kiinteäkamm. 82 %
<b>Suurkanttipaalain</b>	2	0,5	
<b>Tarkkuussilppuri</b>	29	7,5	
<b>Paaliperävaunu</b>	70	18,0	Paaleja keskimäärin 14,6 kpl
<b>Paalaimen peräv.</b>	2	0,5	
<b>MT-silppuri</b>	15	3,8	
<b>Paalimurskain</b>	3	0,8	
<b>Etukuormaaja</b>	232	59,8	
<b>Etunostolaite</b>	24	6,2	
<b>Tuubikäärin</b>	1	0,3	
<b>Metsäkärä</b>	147	37,8	
<b>Muu</b>	lieriöniittokone, kaksoissilppuri, pöyhin/karhotin, kaivinkone, pyöräkuormaaja, metsätraktori, kuorma-auto (peräkäräjä yms.)		

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Taulukon tiedoista voidaan tehdä seuraavat havainnot:

- Suurin osa niittomurskaimista on nostolaitekiinnitteisiä, mutta myös hinnattavia on paljon. Sen sijaan etunostolaitteessa olevia on vain 3 % kaikista koneista. Murskainosan kierrosnopeutta voidaan säätää yli puolessa koneista.
- Yli 80 % pyöröpaalaimista on kiinteäkammioisia.
- Suurkantipaalaimia löytyi 2 kappaletta.
- Pyöröpaalaimia on lähes kolme kertaa enemmän kuin tarkkuussilppureita.
- Paaliperävaunuja on yllättävän paljon ja ne ovat yllättävän suuria (keskimäärin 14,8 paalia/vaunu).
- Etukuormaajia on hyvin monessa traktorissa.
- Etunostolaitteita on 24 traktorissa (tässä kuitenkin kysymys oli epätarkka, koska olisi pitänyt kysyä etunostolaitetta ja -voimanottoa).
- Metsäkärriä on hyvin monella tilalla.

Konekaluston määrä (kappalemäärät ja %:lla tiloista) eri tuotantosuuntien tiloilla on esitetty taulukossa 5. Taulukosta voidaan havaita, että eniten koneita sekä kappalemääräisesti että suhteellisesti tarkasteltuna on maito- ja lihakarjatiljoilla (sininen väri) sekä muilla tiloilla ja vähiten viljatiljoilla (punainen väri). Esimerkiksi pyöröpaalaimia on vain 6 %:lla viljatiljoista, kun niitä maito- ja lihakarjatiljoilla on noin 40–60 %:lla tiloista. Ainoat koneet, joita viljatiljoilla on paljon, ovat lautasniittokone ja metsäperävaunu. Nykyisin helpeä viljelevillä tiloilla on suhteellisesti tarkasteltuna enemmän helven korjuuseen soveltuvaa kalustoa kuin esimerkiksi viljatiljoilla.

Tuotantosuunnan Muu tilat ovat heterogeeninen joukko tiloja. Näilläkin tiloilla helvelle soveltuva konekalusto on keskittynyt tarkoituksenmukaisella tavalla: lähinnä heinä/tuorerehu- ja hevostiloille tai tilat harjoittavat maidon tuotantoa tai lihakarjan kasvatusta.

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Taulukko 5. Tilojen konekalusto eri tuotantosuuntien tiloilla (sinisellä värillä on ilmaistu kunkin koneen suurin määrä ja punaisella pienin määrä).

kpl	Maito	Liha	Vilja	Muu	Helpi
<b>Niittomurskain</b>	48	30	16	27	9
<b>Lautasniitto</b>	27	16	55	73	14
<b>Pyöröpaalain</b>	28	27	7	21	11
<b>Sk-paalain</b>				2	
<b>Tarkkuussilppuri</b>	18	6	4	3	2
<b>Paaliperävaunu</b>	23	19	9	22	8
<b>Metsäkärri</b>	36	20	55	40	12

%:lla tiloista	Maito	Liha	Vilja	Muu	Helpi
<b>Niittomurskain</b>	66,7	63,8	13,8	16,8	26,5
<b>Lautasniitto</b>	37,5	34,0	47,4	45,3	41,2
<b>Pyöröpaalain</b>	38,9	57,4	6,0	13,0	32,4
<b>Sk-paalain</b>				1,2	
<b>Tarkkuussilppuri</b>	25,0	12,8	3,4	1,9	5,9
<b>Paaliperävaunu</b>	31,9	40,4	7,8	13,7	23,5
<b>Metsäkärri</b>	50,0	42,6	47,4	24,8	35,3

Viljatilat ovat kaikista halukkaimpia viljelemään helpeä, mutta niillä on kaikkein vähiten korjuuseen soveltuvaa kalustoa. Kuitenkin viljelijäkyselyn perusteella maito- ja lihakarjatilat ovat suhteellisen halukkaita urakoimaan helven korjuussa. Paalaus on yksi avaintyövaihe helven tuotantoketjussa. Tämän vuoksi tarkasteltiin pelkästään paalaimen omistavien viljelijöiden urakointihalukkuutta sekä helven että oljen korjuussa (taulukko 6). Suurin halukkuus on ryhmän Muu paalaimen omistavilla viljelijöillä. Näistä 81 % on valmis urakoimaan helven korjuussa, vielä siten, että yli 70 % näistä on valmis urakoimaan laajemminkin koko helven korjuukauden ja vajaa 30 % vain naapureille. Maito- ja lihakarjatilosta 50–58 % on valmis urakoimaan paalauksessa. Näistä urakoinnin työmäärä (naapureille tai laajemmin) lihakarjatiloihin suhteutuu likimäärin noin 40 % ja 60 %, kun se maitotiloilla on päin vastoin. Tämänkin voisi olettaa kuvaavan lihakarjatilojen pienempää työn sitovuutta verrattuna maitotiloihin. Hieman yllättävää on, että viljatilojen urakointihalukkuus (niillä joilla on paalain) on pienintä ja urakoinnin laajuus on vain naapureille. Tässä joukossa on toki osa-aikaisia viljelijöitä, mutta niin on myös ryhmän Muu viljelijöissä.

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Taulukko 6. Urakointihalukkuus paalaimen omistajien keskuudessa helven ja oljen paalauksessa.

	<b>Paalaimia, kpl</b>	<b>Joista valmis urakoimaan helpeä, %</b>	<b>Joista valmis urakoimaan olkea, %</b>
<b>Maitotilat</b>	28	50,0 % Naapurille 61,5 % Laajemmin 38,5 %	28,5 %
<b>Viljatilat</b>	7	42,9 % Naapurille 100 % Laajemmin -	28,6 %
<b>Lihakarja</b>	26	57,7 % Naapurille 42,9 % Laajemmin 57,1 %	38,5 %
<b>Muu</b>	21	81,0 % Naapurille 28,6 % Laajemmin 71,4 %	76,2 %

Urakointivalmius oljen korjuussa on selvästi pienempää kuin helven korjuussa. Ainoastaan ryhmän Muu paalaimen omistajista 76 % olisi valmis urakoimaan myös olkea. Muilla ryhmillä urakointihalukkuus vaihtelee 29–39 %, joista suurin halukkuus on lihakarjatiloiilla. Syytä tähän ei tiedetä, koska kysymyslomakkeessa ei kysytty ajankohdan soveltuvuutta työkiireitä ajatellen. Sekä helven että oljen korjuu voi ajoittua samaan ajankohtaan kuin muut maataloustyöt. Toisaalta viljelijät voivat epäillä oljen korjuumahdollisuuksia sateisena syksyaikana, eivätkä siten ole halukkaita urakoimaan.

Kyselyn tuloksiin perustuen tarkasteltiin paalainten riittävyyttä Keski-Suomen alueella perustuen paalainten lukumääristä ja urakointihalukkuudesta. Laskennan oletukset olivat:

- Korkeintaan 90 km:n etäisyys Jyväskylästä
- Tällä etäisyydellä vastasi 264 tilaa, jolloin tiloja oletettavasti kaikkiaan 2 256 (264 = 11,7 % kaikista tiloista, kyselyn vastausprosentti)
- 264 tilalla on olemassa olevia paalaimia 49, joten oletettavasti 2 256 tilalla on 418 paalainta
- paalaimen omistajista 57,9 % on valmis urakoimaan helven korjuussa, eli 242 paalainta

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

- näistä naapurille 50 %, 121 paalainta
  - laajemmin koko korjuukauden 50 %, 121 paalainta
- Helven tavoiteltu korjuuala on 8 000 ha.

Tällöin voidaan tehdä seuraava laskelma:

- Vain naapurille urakoivat kattavat pinta-alan: 121 paalainta x 14 ha (oletus) = 1 700 ha
- Laajemmin urakoiville jää pinta-ala: 8 000 – 1 700 = 6 300 ha, mikä on 52 ha/paalain eli 3 työpäivää (21 h).

Laskelma osoittanee, että helven viljely voisi lisääntyä merkittävästikin ja silti korjuu voidaan tehdä olemassa olevilla paalaimilla. Laskelma on kuitenkin hyvin karkea ja sen alkuarvojen paikkansapitävyys ei ole varmaa. Lähinnä virhemahdollisuus liittyy olemassa olevien paalainten kokonaismäärään. Ei ole tiedossa, millaisia tiloja on jättänyt vastaamatta kyselyyn. Laskenta olettaa, että nämä jakautuvat eri tuotantosuuntiin ja ovat keskimäärin samanlaisia kuin vastanneetkin tilat. Voihan esimerkiksi olla, että kyselyyn ovat vastanneet aktiivisimmat ja suurimmat tilat, jolloin paalainten kokonaismäärä tulee yliarvioitua.

#### 3.1.4 Kiinnostus oljen myyntiin

Viljelijäkyselyssä tiedusteltiin myös halukkuutta myydä olkea polttoaineeksi. Oljen määrää arvioitiin olettamalla viljelijöiden ilmoittama oljen myyntihalun todelliseksi kertymäksi. Tämän mukaisesti saatiin kertymäksi vajaa 1 900 ha. Kun tämä määrä tulee vain kyselyyn vastanneilta (vastausprosentti 11,7 %), saadaan kokonaiskertymäksi koko Keski-Suomesta 16 100 ha. Tämä olisi merkittävä määrä polttoainetta, vaikka oljen hehtaarisäntö onkin esimerkiksi vain 1/3 helven saannosta.

Myönteisimmin oljen myyntiin suhtautuivat viljeltilat, joista 50 % voisi myydä olkea (kaikki syntyvä olki) ja noin 38 % ei myisi olkea. Varauksellisimmin oljen myyntiin suhtautuivat lihakarjatilat, joista vain 28 % myisi olkea ja 64 % ei myisi. Lihakarjatilat luultavasti käyttävät olkea maitotiloja enemmän eläinten kuivutukseen, mikä selittää lihatilojen pienemmän oljenmyyntihalun.

Oljen myyntihalukkuus jakoi viljelijät kahteen eri ryhmään: niihin jotka eivät olisi valmiita myymään lainkaan olkea ja niihin jotka voisivat myydä. Niistä jotka voisivat myydä, hyvin usea ilmoitti myytäväksi määräksi 100 % tai lähes 100 % kaikesta oljesta, oli tämä sitten suojavilja-aloilta tai pelkiltä vilja-aloilta.

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Nämä viljelijät eivät siis nähneet oljella muuta käyttöä maataloudessa. Tulosten ristiriitaisuuden vuoksi ei voida tehdä varmoja päätelmiä siitä, kumpaa olkea viljelijät olisivat valmiimpia myymään, nurmen suojavilja-aloilta vai vilja-aloilta. Tämä olisi vaatinut tarkemmat kysymykset aiheesta ja muutoinkin kysymys olisi pitänyt muotoilla helpommin ymmärrettävään muotoon.

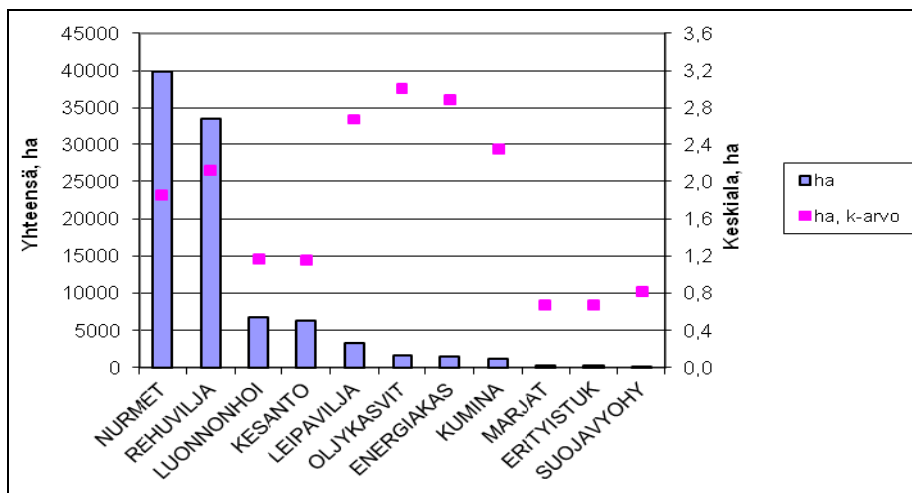
## 3.2 Peltoala Keski-Suomessa

Keski-Suomen pellon käyttöä analysoitiin sekä numeerisesti että maantieteellisesti Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksesta Tikestä saadun aineiston perusteella. Aineistossa oli eriteltynä peruslohkoittain niillä kasvavat kasviryhmät. Aineisto tilattiin kasviryhmittäin, koska tukijärjestelmä sisältää hyvin monia kasveja, joiden analysointi erikseen ei ollut järkevää. Lisäksi aineisto sisälsi tiedon tilan tuotantosuunnasta, jolle peruslohko kuului. Näin ollen tuloksia pystyttiin analysoimaan ottaen huomioon viljelijäkyselyn tulokset erityyppisten tilojen halukkuudesta viljellä helpeä, ja tarkastelu voitiin tehdä numeerisesti tai ottamalla huomioon maantieteellinen sijainti.

### 3.2.1 Peltoalan jakautuminen kasviryhmittäin

Aineiston perusteella laskettu Keski-Suomen maakunnan peltoalan kokonaiskäyttö on esitetty kuvassa 2. Kuvasta näkyy myös käytetty kasvilaji- tai käyttömuotoryhmittely. Kaksi merkittävintä kasvilajia ovat nurmet ja rehuvilja, joiden kokonaisala on 73 500 ha. Se on 74 % kaikesta aineiston noin 99 400 hehtaarin kokonaispinta-alasta. Tämän jälkeen tulevat luonnonhoitopellot ja kesanto, joiden kokonaisala on 13 100 ha. Edellisiä pienempiä pinta-aloja on muilla kasveilla, kuten leipävilja, öljykasvit jne. (Kuva 2).

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa



Kuva 2. Keski-Suomen peltoalan kokonaiskäyttö eri kasveille ja kasvin keskimääräinen kuvion koko. Peltopinta-ala Keski-Suomessa on yhteensä 99 400 ha.

Jos ajatellaan helven viljelyn lisäämistä, niin luonnollisin vaihtoehto olisi käyttää siihen luonnonhoito- ja kesantopeltoja. Kuvassa 2 on myös esitetty kunkin kasvilajin keskimääräinen viljelyala per kuvio. Kesannon ja luonnonhoitopellon keskiala on alle 1,2 ha, kun se esimerkiksi nurmi- ja rehuviljalohkoilla on noin 2 ha:n tietämissä. Tämä vahvistaa aikaisempaa oletusta, että kesanto- ja luonnonhoitopelloiksi valitaan useasti tilan pienimpiä lohkoja.

Tilastollisesti tarkasteltuna noin joka viidennellä peruslohkolla on kesantoa tai luonnonhoitopeltoa. Jokaista neljää peruslohkoa kohti, jossa viljellään jotain kasvia, on siis yksi peruslohko, jossa on kesantoa tai luonnonhoitopeltoa. Näitä kesanto- ja luonnonhoitopeltolohkoja on enemmän sellaisilla tiloilla, joilla ei ole eläimiä, mutta myös eläintiloilla on näitä lohkoja. Kesanto- ja luonnonhoitopellon kokonaispinta-alasta noin 67 % eli 8 800 ha on muilla kuin eläintiloilla, mutta eläintiloillakin pinta-alaa on 33 % eli 4 300 ha. Koska eläintilojen halukkuus viljellä helpeä on vähäisempi kuin esimerkiksi viljatilojen, niin suurempi osuus pinta-aloista on sellaisilla tiloilla, joilla on ehkä enemmän halukkuutta viljellä helpeä. Toisaalta eläintiloillakin olisi mahdollisuus viljellä helpeä, koska osalla tiloista osaa peltoalasta ei käytetä eläinten rehun tuottamiseen, eli peltoa on ainakin tilapäisesti kesantona tai luonnonhoitopeltona.

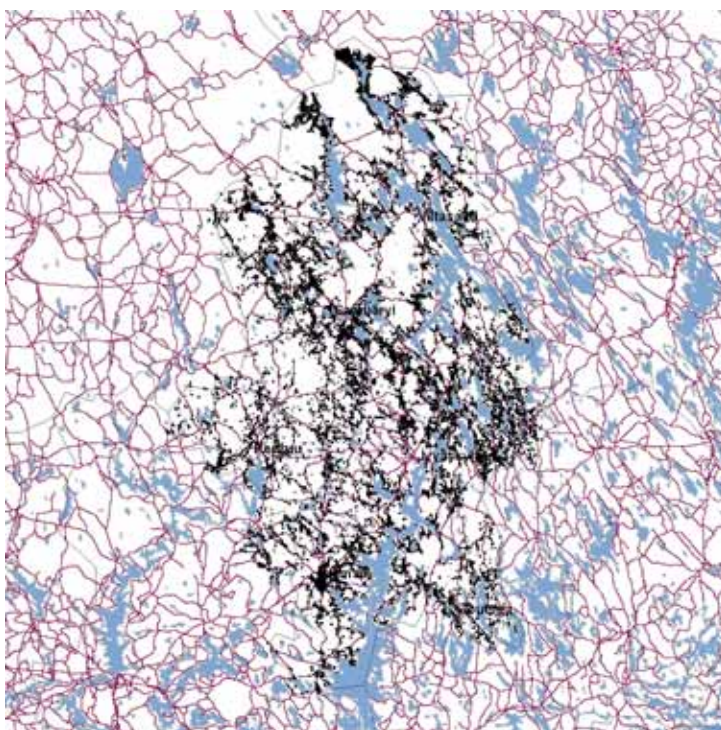
Helpeä voitaisiin kasvattaa myös aloilla, jotka tulevat suuruusjärjestyksessä kesannon jälkeen. Näitä peltoja on korkeintaan 11 300 ha, ja helven viljely näillä pelloilla syrjäyttäisi suhteellisesti tarkasteltuna suuren osan nykyisistä kasveista.

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Suurin näistä lopuista pellon käyttömuodoista on leipävilja, jota on 3 200 ha. Toinen vaihtoehto on viljellä helpeä rehun tuotannon aloilla (rehuvilja ja nurmet), joiden kokonaismäärä on suuri eikä helpi suhteellisesti tarkasteltuna syrjäyttäisi kovin suurta osuutta. Tässä yhteydessä ei ole tarkemmin arvioitu, mitkä sen vaikutukset olisivat keski-suomalaiseen maatalouteen.

#### 3.2.2 Peltoalojen maantieteellinen analyysi

Kuvassa 3 on esitetty peltoalan (peruslohkojen) maantieteellinen sijoittuminen Keski-Suomessa. Kuvassa peltoala on kuvattu tummalla värillä ja järvet sinisellä värillä. Suhteellisen tasaisesti peltoalaa on vyöhykkeellä, joka kulkee vinosti Jyväskylästä Saarijärvelle. Pohjoisessa Keski-Suomessa on laajoja alueita Saarijärven pohjoispuolelta alkaen, jossa ei ole peltoa. Samoin Keuruun ympäristön ulkopuolella on suhteellisen vähän peltoa.



Kuva 3. Peltoalan sijoittuminen Keski-Suomessa (tumma väri), tiestö ja järvet (sininen väri).

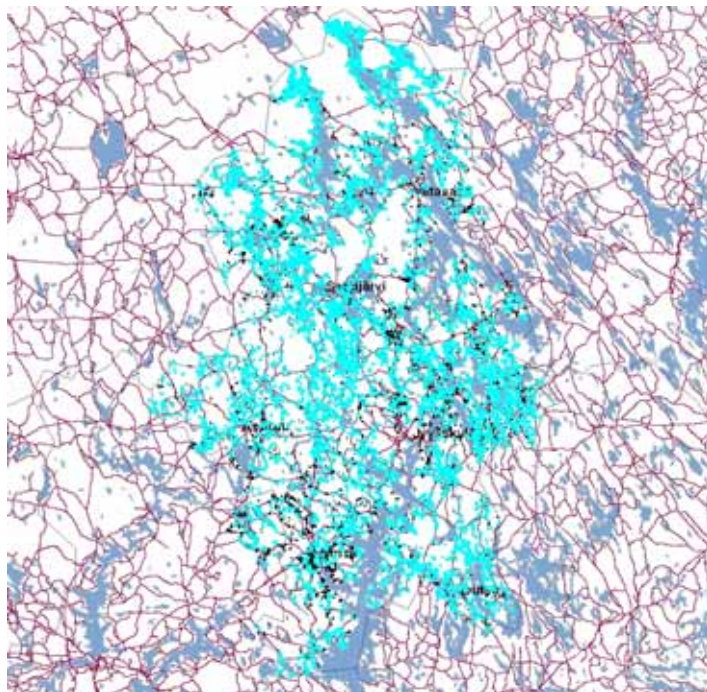


### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa

Aineiston avulla selvitettiin myös pellon sijoittuminen eri luokkiin. Näitä luokkia olivat eläintilojen pelto, ei-eläintilojen pelto sekä kesanto ja luonnonhoitopelto. Eläintilalla tarkoitetaan tilaa, jolla on jonkinlaisia eläimiä vastakohtana tilalle, jossa on vain kasvien tuotantoa. Pellon jakautuminen käytetyllä luokittelulla on esitetty kuvissa 4–6.

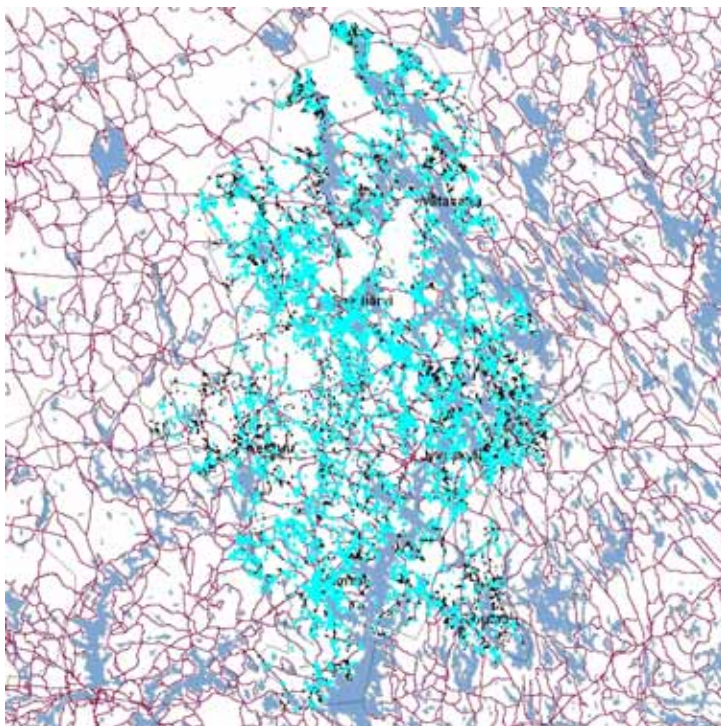
Eläintilojen (kuva 4) ja ei-eläintilojen (kuva 5) suhteen ei tässä mittakaavassa ole havaittavissa maantieteellisiä keskittyymiä, vaan tiloja on tasaisesti koko Keski-Suomessa muiden tilojen seassa. Samoin laajempia keskittyymiä ei havaittu, jos valintaperusteena käytettiin rehuviljaa, leipäviljaa tai nurmea. Yksityiskohtana voidaan kuitenkin mainita, että Jämsän ympäristössä on suhteellisesti tarkasteltuna paljon leipäviljaa.

Jos otetaan huomioon viljelijäkyselyn tulos, jonka mukaan eläintilat eivät ole yhtä halukkaita kasvattamaan helpeä kuin esimerkiksi viljatilat, ei voida havaita alueita, joilla voisi olla potentiaalisesti enemmän helven viljelyä, vaan peltoala on tuotantosuunnan ja viljeltävän kasvin mukaan tasaisesti jakautunut Keski-Suomeen.



Kuva 4. Eläintilojen pelto (kirkkaan sininen) ja muu pelto (tumma väri).

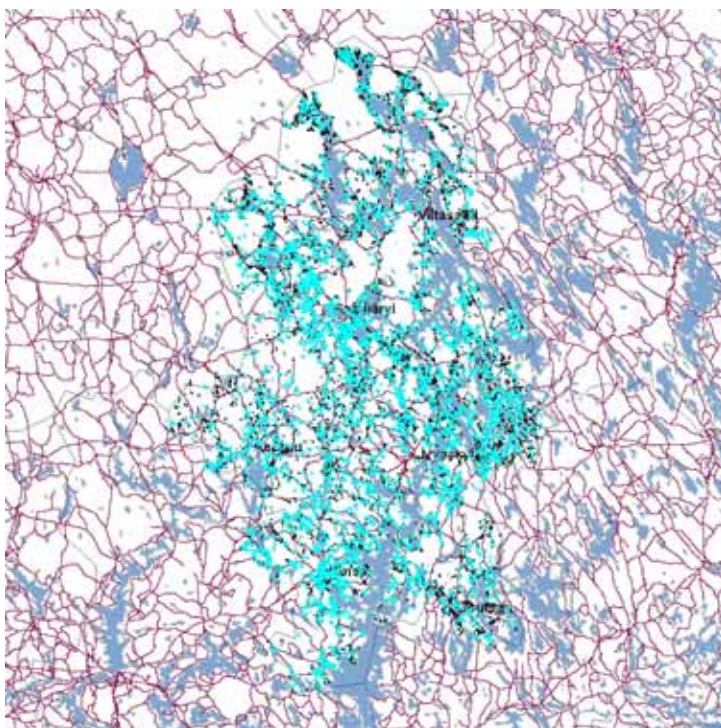
### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa



Kuva 5. Ei-eläintilojen pelto (kirkkaan sininen) ja muu pelto (tumma väri).

Kuvassa 6 on esitetty kesannon ja luonnonhoitopellon sijoittuminen Keski-Suomessa. Myöskään tämän mukaan tarkasteltuna ei ole havaittavissa maantieteellisiä keskittyimiä. Kuvaa tulkittaessa on otettava huomioon, että koko peruslohko on väritetty sinisellä, jos sillä on vähänkin kesantoa tai luonnonhoitopeltoa, väritettynä ei ole pelkästään kyseisten pellonkäyttömuotojen ala. Vaikka kesantoa ja luonnonhoitopeltoa on vain 13 % koko peltoalasta, sitä on tilastollisesti noin joka viidennellä peruslohkolla, mikä aiheuttaa kuvan 6 ulkoasun. Sama toteamus pätee myös aikaisemmin esitettyihin kuviin: koko peruslohko on väritetty, jossa sillä on edes vähän tarkasteltavaa käyttömuotoa.

### 3. Ruokohelven viljelypotentiaali Keski-Suomessa



Kuva 6. Kesanto ja luonnonhoitopelto (kirkkaan sininen) ja muu pelto (tumma väri).

## **4. Ruukohelven korjuuteknologian kehittäminen**

Timo Lötjönen  
MTT

Tehtävässä pyrittiin tehostamaan helven paalikorjuuketjua ja alentamaan korjuukustannuksia. Korjuun tehostamiseen pyrittiin työvaiheita yhdistämällä, millä voi olla myös vaikutusta korjuutappioiden pienentymiseen.

### **4.1 Korjuun tehostaminen työvaiheita yhdistämällä**

#### **4.1.1 Niiton ja paalauksen yhdistäminen**

Niitto ja paalaus voidaan yhdistää käyttämällä etuniittokonetta ja paalainta traktorin perässä. Tutkimusosion tavoitteena oli selvittää kenttäkokeiden avulla, millainen parannus yhdistelmällä voidaan saavuttaa korjuukapasiteetissa ja kustannuksissa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, saadaanko helpi korjattua yhdistetyssä korjuussa riittävän kuivana, sillä kasvusto ei ehdi kuivua niiton ja paalauksen välissä, kuten normaalisti.

#### **Yhdistetyn korjuun koe vuonna 2009**

##### **Menetelmät**

Koe suoritettiin Haapaveden Piipsannevalla 14.5.2009 Vapon ruukohelpiviljelmällä. Viljelmä on sarkaojitettua turvemaata, sarkojen leveys on 18–19 m ja pituus 265–320 m. Yhden saran pinta-ala on siten noin 0,5 ha.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Kokeessa oli kaksi koneketjua:

1. Perinteinen korjuu, jossa niitto 3,2 m:n niittomurskaimella aamupäivällä ja pyöröpaalaus iltapäivällä.
2. Yhdistetty korjuu, jossa etuniittomurskaimen (3,2 m) ja pyöröpaalaimen yhdistelmä (kuva 7).



Kuva 7. Yhdistetyssä korjuussa käytetty koneyhdistelmä.

Niittomurskainta käytettiin siksi, että samalla ajokerralla saatiin paalauskelpoiset karheet valmiiksi, mikä on välttämätöntä, jos niitto ja paalaus tapahtuvat samalla ajokerralla. Molemmissa kokeissa niittoon käytettiin Taarup 3532 F –etuniittomurskainta ja paalaukseen muuttuvakammioista Vicon RV 1601 pyöröpaalainta ilman silpputeriä (paalikoko lev. x halk. 1,2 m x 1,2 m).

Korjuukoe suoritettiin satunnaistettuna kolmella toistolla eli kokeeseen käytettiin kuutta tasalaatuista sarkaa. Paaleja tuli molemmilla korjuutavoilla 28 kpl. Niitto sekä paalaus videoitiin, jotta työmenekit voitiin laskea. Jokainen paali punnittiin digitaalisella Tru-Test-paalivaa’alla ja paaleista otettiin kosteusnäytteet näytekairalla. Kuiva-aine määritettiin kuivattamalla näytteitä 24 tuntia +105 °C:n

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

lämmössä. Korjuuketjujen kustannukset laskettiin koneiden hinnan ja urakoitsija-arvioiden perusteella.

Korjuupäivä 14.5.2009 oli tuulinen ja lämmin. Muutamaan päivään ei ollut satanut. Perinteisen korjuun niitto tehtiin klo 9.45–10.20. Yhdistetty korjuu (niitto ja paalaus samalla ajolla) tehtiin klo 14.00–15.00. Perinteisen korjuun paalaus suoritettiin välillä klo 15.20–16.00.

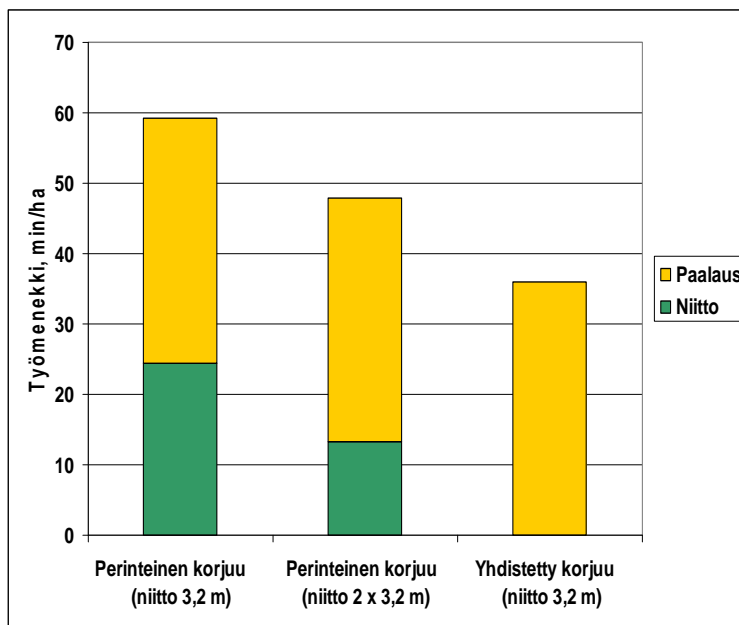
#### **Tulokset ja tulosten tarkastelu**

Perinteisessä korjuussa paalien kosteus oli 11 % (n = 28, keskihajonta = 3,4) ja yhdistetyssä korjuussa 13 % (n = 28, keskihajonta = 2,5). Molemmilla menetelmillä saatiin siis tarpeeksi kuivaa ruokohelpeä. Tavoitekosteutena pidetään yleisesti 15 %:n alittamista. On huomattava, että kokeessa yhdistetty korjuu tehtiin vasta klo 14.00–15.00. Aiemmassa tutkimuksessa niittämätön helpi kuivui tavoitekosteuteen normaaleina päivinä yleensä klo 11:een mennessä (Paappanen ym. 2008). Yhdistetyn korjuun käyttö lyhentää siis hieman korjuupäivän pituutta verrattuna siihen, että niitto tehdään edellispäivänä ja paalaus seuraavana päivänä. Tällöin paalaus voidaan monesti aloittaa jo klo 8:n tienoilla.

Yhdistetty korjuu sujui työteknisesti hyvin ja ongelmitta, vaikka kuljettaja ei ollutkaan koskaan niittänyt ja paalannut samalla ajokerralla. Etuniittokoneen käytöstä hänellä sen sijaan oli paljon kokemusta. Ajonopeuksina voitiin käyttää seuraavia: erillinen niitto 11 km/h, erillinen paalaus 9,5 km/h ja yhdistetty korjuu 9 km/h. Talteen saatu sato ei ollut koealueella viileästä edellisestä (2008) johtuen kovin suuri, keskimäärin 3 200 kg<sub>ka</sub>/ha. Niitto onnistui molemmilla menetelmillä hyvin lyhyeen sänkeen, eikä talteen saadun sadon määrissä ollut eroja. Paaleja tuli keskimäärin 18 kpl/ha. Paalien tiheydet olivat keskimäärin 132 kg<sub>ka</sub>/m<sup>3</sup>, eikä eroja korjuumenetelmien välillä ollut.

Korjuutyöt videoitiin, josta työvaiheisiin kulunut aika kelloitettiin jälkikäteen ja jaettiin seuraaviin työvaiheisiin: ajoaika, kääntyminen, aputyöt ja häiriöt. Näin saatiin kokonaistyömenekki (min/ha) (kuva 8). Lisäksi laskettiin vaihtoehto, jossa erillinen niitto tehdään etu- ja takaniittokoneen yhdistelmällä. Tulosten mukaan perinteiseen korjuuseen kului näissä oloissa 59 min/ha ja yhdistettyyn korjuuseen 36 min/ha, eli 39 % perinteistä korjuuta vähemmän. Etu- ja takaniittokoneen yhdistelmällä aikaa kului paalauksineen laskennallisesti 48 min/ha.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen



Kuva 8. Niiton ja paalauksen työmenekki vuoden 2009 kokeen perusteella laskettuna.

#### *Korjuun kustannukset*

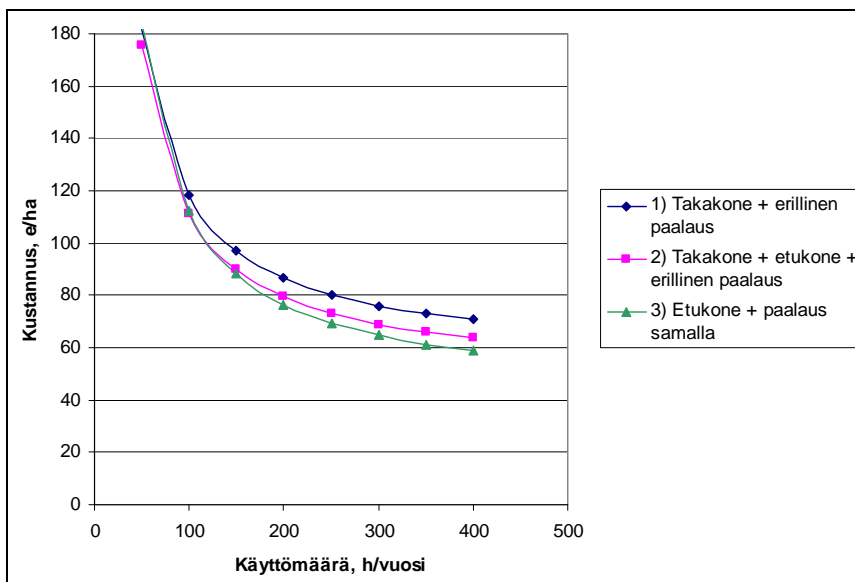
Korjuukokeen tehneen urakoitsijan mukaan yhdistettyä korjuuta ei voi juuri tehdä halvemmalla kuin perinteistä korjuuta, vaikka työajansäästö onkin merkittävä. Yhdistettyyn korjuuseen tarvitaan etunostolaite voimanulosottoineen ja etuniittokone, joiden kustannukset olisi saatava kuoletettua. Lisäksi paalusaika päivää kohti on lyhyempi, kuten edellä todettiin. Urakoitsijan mielestä yhdistetty korjuu sopii parhaiten suhteellisen kaukana sijaitseville lohkoille, jolloin etua tulee siitä, että kaikki tarvittavat koneet saa vietyä pellolle yhdellä ajokerralla.

Urakoitsijan mukaan järkevä hinnoittelu yhdistetyssä korjuussa olisi jakaa normaali niittotaksa paalien hintaan. TTS:n urakoitsijakyselyn mukaan vuonna 2008 yleisesti käytetty niittotaksa oli 35 €/ha (alv. 0 %) ja paalaustaksa 5,4 €/paali (Palva 2009). Käytännössä paalaustaksa voi olla korkeampikin (6–8 €/paali), sillä TTS:n kyselyyn vastanneita helven paalajia oli vain 3 kpl.

Tällöin yhdistetyn korjuun paalaustaksaksi tulee 7,3 €/paali eli 131 €/hehtaari, niitto mukaan lukien, jos hehtaarilta oletetaan tulevan 18 paalia. Hehtaaria tai tonnia kohden laskettuna tällainen hinnoittelu ei tietenkään säästä yhtään erilliskorjuuseen nähden vaan hinta on sama.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Kuten tiedetään, koneiden vuotuinen käyttömäärä vaikuttaa voimakkaasti niiden hehtaarikohtaisiin kustannuksiin. Kuvaan 9 on laskettu traktorin ja korjuukoneiden kiinteät ja muuttuvat kustannukset erilaisilla vuosittaisilla käyttötuntimäärillä. Kustannukset sisältävät mm. ajajan palkan, paaliverkon, etunostolaitteen aiheuttamat lisäkustannukset ja yrittäjän riskin. Työmenekkeinä on käytetty kuvassa 8 esitettyjä arvoja. Kuvan 9 mukaan yhdistetty korjuu (3) säästäisi perinteiseen korjuuseen (1) nähden noin 12 % eli säästö olisi 10 €/hehtaaria kohti, jos koneiden vuotuinen käyttömäärä on 200 h. Urakoitsijataksojen mukaisesta hinnasta (131 €/ha) laskettuna 12 %:n säästö olisi noin 16 €/ha.



Kuva 9. Niiton ja paalauksen hehtaarikohtainen kokonaiskustannus vuosittaisen käyttömäärän kasvaessa. Ruokohelven talteen saatavaksi sadoksi on oletettu 4 000 kg<sub>ka</sub>/ha.

Kuvaan 9 lasketut korjuukustannukset jäävät suurilla käyttömäärillä selvästi pienemmiksi kuin edellä urakoitsijataksojen perusteella laskettu 131 €/ha. Monet käyttävät koneitaan alle 100 h vuodessa, jolloin hehtaarikohtaiset kustannukset nousevat vahvasti. Jos sato on selvästi keskimääräistä suurempi, paalaustyö käy hitaammin ja verkkoa kuluu enemmän. Siten paalikohtainen taksa on parempi hinnoitteluperuste kuin hehtaarikohtainen veloitus. Korjuutyössä on taloudelliset riskinsä ja työn on oltava urakoitsijallekin kannattavaa. Silti kuvan 9 perusteella voidaan kysyä, olisiko paalausurakointitaksoissa jonkin verran alentamisen varaa varsinkin, jos korjataan hyviltä lohkoilta suhteellisen suurta satoa?



### 4.1.2 Paalien lähikuljetuksen tehostaminen

Tanskassa käytetään suurkanttipaalaimen kytkettyä pientä paalikärryä. Sillä voidaan siirtää paalattaessa maksimissaan kolme paalia lohkon päähän, jolloin paalien keräily välivarastoon tehostuu. Tätä paalivaunua ei voida muuntaa pyöröpaaleille sopivaksi, koska pyöröpaalaimen paalinpudotuskorkeus on suurkanttipaalaimia matalampi.

Selvisi kuitenkin, että tanskalainen Fasterholt-yritys valmistaa pyöröpaalainten perään sopivaa paalivaunua (kuva 10). Siihen mahtuu peräkkäin kolme 1,8 x 1,2 m:n (halk. x lev.) pyöröpaalia. Paalit putoavat paalaimesta vaunun edessä olevaan nostohaarukkaan, joka nostaa ne hydraulisesti vaunuun. Vaunu tyhjenetään pellon päisteessä hydraulisesti kippaamalla. Nähdyn videon perusteella vaunu toimii hyvin ainakin oljen paalauksessa. Tällaisia keruuvaunuja ovat Suomessa tehneet myös muutamat viljelijät itse (ks. [www.hannukoivisto.fi](http://www.hannukoivisto.fi), myös Koneviesti 6/2009). Näiden rakenne saattaa olla jopa Fasterholtin vaunua yksinkertaisempi ja hinta alhaisempi.



Kuva 10. Tanskalainen Fasterholt-paalivaunu, joka voidaan kytkeä pyöröpaalaimen perään. (Kuva: Fasterholt Maskinfabrik A/S).

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Suurin hyöty keruuvaunusta saadaan pitkillä pelloilla, joilla paalien lastaustyö nopeutuu huomattavasti, kun kaikki paalit on koottu varastopaikkaa lähimpään pellon päätyyn, eikä niitä tarvitse yksitellen poimia koko pellon alalta. Parhaimmillaan keruuketjusta voidaan jättää toinen traktori pois ja hoitaa keruu yhdellä perävaunulla ja etukuormaintraktorilla.

Esimerkiksi vuoden 2007 paalauskokeessa (sato n. 4 000 kg<sub>ka</sub>/ha) kanttipaalien keruuseen perävaunuun meni kahdelta traktorilta yhteensä noin 28 min/ha (14 min/traktori) (Paappanen ym. 2008). Lohkon sisäiseen ajeluun kului 8 min/ha. Jos lohkon sisäinen ajelu ja toinen traktori saadaan jäämään kokonaan pois, hehtaarin paalien lastaukseen kuluisi 10 minuuttia. Tällöin työajasta johtuvaa kustannussäästöä kertyisi 10,5 €/ha eli 2,6 €/helpitonni, kun traktorin tuntikustannukseksi oletetaan 34,9 €/h.

Fasterholt-vaunun hinta on Suomeen toimitettuna noin 9 000 € (alv. 0 %). Jos oletamme, että paalivaunua käytetään myös säilörehun ja oljen paalauksessa ja sille saadaan vuodessa 200 käyttötuntia, tulee normaaliolletuksin sen investoinnin kokonaiskustannuksiksi 8 €/h. Työajan menekin avulla muunnettuna (kuva 8) tämä on 4,6 €/ha eli noin 1,2 €/helpitonni. Kun säästyneistä paalinkeruukustannuksista vähennetään vaunun kustannukset, kokonaissäästöksi jää noin 6 €/ha eli noin 1,5 €/tonni. Säästö ei ole mahdottoman suuri, mutta lisähyödyiksi voidaan laskea pellon pinnan pysyminen tasaisempana ja se, että paalien keruussa tarvitaan yksi työntekijä vähemmän. Joskus tämä voi olla ratkaiseva etu.

Yhteenvetona voidaan todeta, että yhdistetyn korjuun ja paalivaunun käyttäminen yhdessä voisi säästää korjuun ja ajon kokonaiskustannuksia noin (16 + 6 =) 22 €/ha eli 4 tonnin kuiva-ainesadolla 5,5 €/tonni. Keskimääräisellä korjuun ja ajon kustannuksella 160 €/ha tämä olisi siis noin 14 %:n säästö.

##### *Automatisoidut paalinkeruuvaunut*

Pyörö- ja kanttipaaleille on kehitetty traktorivetoisia automaattitoimisia paalinkeruuvaunuja. Periaatteena näissä on, että vaunun etuosassa oleva keruuhaarukka tai -pöytä ajetaan paalin alle, jonka jälkeen automaattitoiminen hydrauliiikka nostaa paalin kyytiin ja järjestelee kuorman tiiviiksi.

NHK-pyöröpaalivaunuun mahtuu kahdeksan pyöröpaalia ja lisäksi yksi paali keruuhaarukkaan (kuva 11). Se on tarkoitettu erityisesti säilörehupaalien siirtoon tuubikäärimelle, mutta sillä voidaan kerätä ja siirtää myös ruokohelpi- ja olki-paaleja. Paalinostin pystyy kääntämään paalit poikittain, joten vaunua voidaan ajaa pellolla samaan suuntaan kuin paalaimellakin on ajettu. Paaleja pusketaan

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

vaunussa taaksepäin kuljetusketjun avulla, jolla tapahtuu myös vaunun tyhjennys. Koneviesti 3/2010 mukaan paalikuorman keruu kestää 4,5–5,5 min, hajallaan olevat paalit lisäävät keruu-aikaa. Paalivaunun veroton hinta on noin 29 500 € ja täyttöautomaatiikka nostaa hintaa 2 500 € (Oristo 2010a).



Kuva 11. NHK-pyöröpaalivaunu tyhjennysvaiheessa. (Kuva: NHK-Keskus Oy).

Kanadalaista Anderson pyöröpaalivaunua on kahta tyyppiä: Wraptor, joka on tarkoitettu keräämään ja syöttämään paaleja tuubikäärimelle, sekä TRB, jolla paalit voidaan kipata maahan käärimestä riippumatta (kuva 12). Suurimpiin malleihin mahtuu 14 pyöröpaalia kahteen vierekkäiseen riviin. Toimintaperiaate on samankaltainen kuin NHK-vaunussakin sillä erotuksella, että nostohaarukka ei käännä, vaan paalin kääntäminen tapahtuu maassa nostohaarukan muotoilun ja oikean ajotekniikan avulla. Paalit siirtyvät kahteen riviin vaunutyyppistä riippuen joko vaunun pohjaa kallistamalla tai painovoimaisesti. Hydraulitoiminen puskin työntää paalit vaunun perää kohti. Kippauksessa paalit jäävät maahan kahteen riviin ulkokehä maata vasten.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Anderson-vaunuihin mahtuu suuri kuorma, mutta kuormattuina ne ovat liian leveitä Suomen tieliikenteeseen. Tyhjä vaunu saa siirtää yleistä tietä pitkin. Kipattavan 14 paalin vaunun veroton hinta on noin 27 500 € (Oristo 2010b).



Kuva 12. Kanadalainen Anderson TRB-pyöröpaalivaunu. (Kuva: Anderson Group co.).

Automaattitoimiset pyöröpaalivaunut sopinevat hyvin ruokohelpipaalien keruuseen. Täytyy huomata, että paalit jäävät varastopaikalla vain yhteen kerrokseen, jolloin niitä on nosteltava varastoamaan toisella traktorilla. Laskelmaa vaunujen käytön kannattavuudesta ei voi tehdä, ennen kuin vaunujen työtehosta saataisiin tarkempia mittauksia. Vaunut ovat monikäyttöisiä: säilörehu-, kuivaheinä- ja olkipaalien keruun lisäksi ainakin NHK-vaunulla voidaan siirtää talvella muovitettuja paaleja pellolta talouskeskukseen.

#### 4.2 Pyöröpaalien tiheyden lisääminen

Tavoitteena oli selvittää, miten pyöröpaalaimen säädöt, ajotapa yms. paalainmallista riippumattomat tekijät vaikuttavat paalien tiheyteen. Tavoitteena oli etsiä syitä aikaisemmin saatuun tulokseen, jonka mukaan samallakin paalainmallilla tehtyjen paalien tiheys vaihtelee merkittävästi. Tässä pyritään mahdollisimman suureen paalien tiheyteen ja pieneen tiheyden hajontaan, joilla on suuri merkitys paalien kuljetusten kannattavuuteen.

### 4.2.1 Tiheyteen vaikuttavia tekijöitä

Kirjallisuuden ja aiempien kokemusten perusteella tiedetään, että ruokohelpeä pyöröpaalattaessa ainakin seuraavat seikat vaikuttavat paalintiheyteen:

*Paalikammion avautumispaine:* Paalintiiveyden perussäätö, joka säädetään joko jousin tai hydraulisesti mahdollisimman suureksi, kun tavoitellaan suurta tiheyttä. Valmistajan antamaa suurinta kireyttä ei saa ylittää, sillä seurauksena voi olla paalaimen hajoaminen. Joissakin paalaimissa (esim. Welger) taka-portti lukitaan mekaanisilla salvoilla.

*Karhon muoto ja koko:* Paras karho on paalikammion levyinen ja poikkileikkaukseltaan mahdollisimman lähellä suorakaidetta. Kapeammalla tai leveämmällä karholla joudutaan ajamaan mutkitellen, tai paalista uhkaa tulla joko tynnyrin tai lankarullan muotoinen (Krone 2005). Kuljettaja voi vaikuttaa asiaan paljon. Tavaraa pitäisi olla karhossa riittävästi, mutta ei liikaa (1–4 kg ka /m) (Cundiff 1996). Ylisuurilla karhoilla paalit voivat jäädä löysiksi.

*Ajonopeus:* Oletamus on, että hitaampi ajonopeus tuottaa tiiviimpiä paaleja. Säilörehun paalauksessa tätä on tutkittukin ja viitteitä tähän suuntaan on, vaikka erot eivät ole olleet aina selkeitä. Säilörehun kuiva-ainepitoisuus on 30–60 % ja helven 80–90 %, joten suoraa yleistystä ei voi tehdä. Järkevät ajonopeudet lienevät helvellä < 10 km/h, esim. 4–7 km/h. Kyse on oikeastaan siitä, paljonko on syöttö kg/s. Varsinkin kiinteäkammioisella paalaimella ajonopeutta pitäisi hidastaa kammion alkaessa täytyä. Kiinteäkammioisella hidas ajonopeus voi johtaa varisemistappioihin rullien välistä. Hidas ajonopeus ja urakoitsijan tavoitteet (paalia/h tai ha/h) voivat olla joskus ristiriidassa.

*Muuttuva- vai kiinteäkammioinen paalain:* Muuttuvakammioisella paalaimella saadaan hieman (noin 10 %) tiiviimpiä paaleja, jos paalikoko on sama (Paappanen ym. 2008). Tämä ero on pienempi kuin aiemmin on ajateltu. Muuttuvakammioinen paalain todennäköisesti varistaa kiinteäkammioista vähemmän erittäin kuivaa helpeä ja sillä voi tehdä halkaisijaltaan suurempiakin paaleja.

*Pyöröpaalin halkaisija:* Halkaisijan kasvaessa yli 120 cm:n paalintiheys loivasti pienenee (Paappanen ym. 2008).

*Silpputerät:* Piipsannevan kokeessa vuonna 2007 silpputerien käyttö ei juurikaan kasvattanut paalintiheyttä. Variseminen kasvoi hieman (Paappanen ym. 2008).

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

##### 4.2.2 Paalauskokeet 2009 ja 2010

###### Menetelmät

Edellä esitetyistä tekijöistä eniten selvittämistä todettiin kaipaavan paalaimen ajonopeuden ja karhon vahvuuden vaikutus pyöröpaalien tiheyteen. Tätä varten järjestettiin paalauskokeet yksityisten viljelijöiden salaojitetuilla ruokohelpipelloilla Konnevedellä (2009) ja Äänekoskella (2010).

Koejäsenet olivat seuraavat:

- Kaksi eri paalausnopeutta (hidas ja nopea)
- Kaksi karhonestä (yksi niittomurskaimella tehty karho ja kaksi karhoa yhdistettynä).

Yhteensä näistä tuli siis neljä eri koejäsentä. Kullakin koejäsenellä tehtiin vähintään kuusi koepaalia satunnaisessa järjestyksessä.

Koealue niitettiin niittomurskaimella tasalevyisiin karheisiin niin, että yhdestä karheesta voitiin aina paalata vähintään yksi täysi paali. Yhdistettäväksi arvotut karhot yhdistettiin karhottimella. Sadon määrää karheista mitattiin ennen paalusta punnitsemalla kahden metrin matka karhetta kolmelta linjalta läpi koealueen. Samalla otettiin näytteet kuiva-ainepitoisuuden selvittämiseksi. Paalaus tehtiin niittoa seuraavana päivänä. Paalauskokeissa käytetty konekalusto on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Paalauskokeissa käytetty konekalusto

	V. 2009	V. 2010
<b>Niittomurskain</b>	Krone 3,2 m	Taarup 2,8 m
<b>Karhotin</b>	Claas Liner 350	Claas Liner 350
<b>Pyöröpaalain</b>	Krone CombiPack 1250	Claas Rollant 250
<b>Paalaintraktori</b>	Valtra n. 96 kW	Valtra n. 77 kW

Traktoreiden nopeusnäytöt tarkistettiin GPS:n avulla ennen koetta. Koska sato ja käytetty konekalusto oli eri vuosina erilainen (taulukko 7), ei täsmälleen samoja paalausnopeuksia voitu käyttää molempina vuosina. Paalauksen järkevä maksimijonopeus haettiin koealueen ulkopuolella (nopea), josta sitten noin puolta käytettiin hitaana ajonopeutena (hidas) (taulukko 8). Molempina vuosina pelto-

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

jen epätasaisuudet rajoittivat maksimijonopeuden 10 km/h:iin. Paalattaessa yhdistettyjä karhoja suurempaa nopeutta jouduttiin alentamaan 8 km/h:iin vuonna 2009 ja 5 km/h:iin vuonna 2010, sillä paalaimet eivät kyenneet nielemään tuplakarhoja suuremmilla nopeuksilla. Paalaimia käytettiin aina 540 r/min pyörintänopeudella.

Taulukko 8. Paalauskokeissa käytetyt ajonopeudet ja karhонvahvuudet eli koejäsenet.

Koejäsen	V. 2009	V. 2010
<b>Hidas1</b>	5,5 km/h + yksi 3,2 m:n niittoleveys	5 km/h + yksi 2,8 m:n niittoleveys
<b>Hidas2</b>	5,5 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty	3 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty
<b>Nopea1</b>	10 km/h + yksi 3,2 m:n niittoleveys	10 km/h + yksi 2,8 m:n niittoleveys
<b>Nopea2</b>	8 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty	5 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty

Molemmat paalaimet ovat kiinteäkammioisia ja niissä on verkkosidonta. Ennen paalauksen aloittamista kuljettajia kehoitettiin säätämään paalikammion avautumis-paine (paalin tiukkuus) mahdollisimman suureksi. Vuonna 2009 lienee oltu hieman ohjekirjan suositteleman maksimipaineen alapuolella. Vuonna 2010 kiristämistä olisi ollut enemmän, mutta tätä kuljettajia ei suostunut tekemään vedoten paalaimen rikkoutumisriskiin.

Paalauksen jälkeen mitattiin paalin muodostukseen kulunut matka, mistä voidaan epäsuorasti päätellä paalauksessa syntyneitä varisemistappioiden eroja. Jokainen paali punnittiin digitaalisella Tru-Test-paalivaa'alla (punnitustarkkuus  $\pm 1\%$ ) ja paaleista otettiin kosteusnäytteet näytekairalla. Kuiva-aine määritettiin kuivattamalla näytteitä  $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämmössä 24 h. Paalien ulkomitat mitattiin. Näin voitiin laskea paalien kuiva-ainetiheydet. Kuiva-ainetiheyksien keskiarvojen tilastollista merkitsevyyttä verrattiin SAS-ohjelman Mixed-proseduurilla.

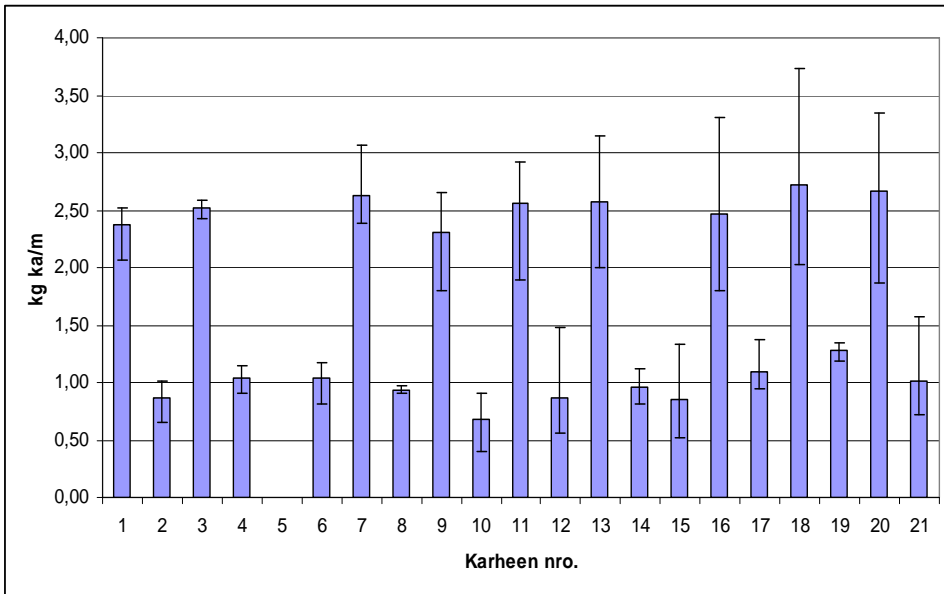
### Tulokset

#### *Vuoden 2009 koe*

Karhemitauksen mukaan 1 metrin matkalla yksinkertaista karhetta oli noin  $1,0\text{ kg}_{ka}$  ruokohelpeä (kuva 13). Yhdistetyissä karheissa helpeä oli keskimäärin  $2,5\text{ kg}_{ka}/m$ . Vaihtelu eri karheiden välillä oli melko vähäistä. Näistä mittauksista ei voi päätellä suoraan ruokohelven biologista satoa, koska niittokone jättää osan lakoon-

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

tuneesta helvestä maahan. Voidaan kuitenkin laskea, että karheissa oli ruokohelpeä 3 200–4 200 kg<sub>ka</sub>/ha eli hieman normaalia pienempi sato.



Kuva 13. Karheista mitatut ruokohelven kuiva-ainemassat (kg<sub>ka</sub>/m) vuonna 2009. Pylväät ovat kolmen mittauksen keskiarvo. Mitattu suurin ja pienin arvo on merkitty janoilla. Yhdistetyt karheet erottuvat yhdistämättömistä selvästi.

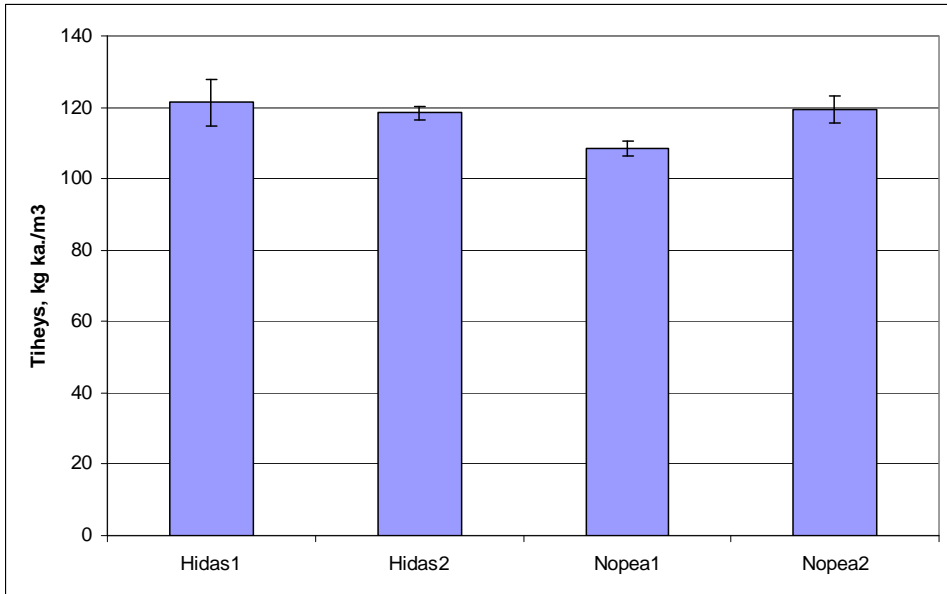
Yhdistettyjen karheiden suurempaa satoa voidaan selittää sillä, että karhotin todennäköisesti repii mukaansa niittämättä jäänyttä ylipitkää sänkeä ja maahan varissutta kasvustoa, jolloin korjuusaanto paranee. Ilmiö on havaittu myös aiemmissa ruokohelven korjuukokeissa (Lötjönen & Isolahti 2007).

Ruokohelvi oli paalattaessa hyvin kuivaa, keskimääräinen kosteus paaleissa oli 11 %. Paalien mitattu koko oli: leveys 1,22 m ja halkaisija 1,32 m, eli tilavuus oli 1,67 m<sup>3</sup>. Koneen teknisten tietojen mukaan paalin halkaisija olisi 1,25 m, mutta käytännössä se oli siis suurempi.

Paalien kuiva-ainetiheys vaihteli eri koejäsenissä keskimäärin välillä 108–121 kg<sub>ka</sub>/m<sup>3</sup> (kuva 14). Paalien tiheys koejäsenten sisällä vaihteli melko vähän eli paalit olivat tasatiukkoja. Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero oli käsittelyjen Hidas1 ja Nopea1 välillä. Ajonopeudella 10 km/h paalit jäivät siis muuta löysemmiksi.



#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen



Kuva 14. Paalien kuiva-ainetiheydet vuonna 2009. Paalien lukumäärä oli kussakin koejäsenessä 6–8 kpl. Keskihajonta on merkitty janalla.

Taulukkoon 9 on koottu paalauskoeksessa mitattuja arvoja. Syöttö ( $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{s}$ ) saadaan ajonopeuden ja karheissa olleen helpimassan tulona. Tulosten mukaan hyvin erilaisillakin syöttömäärillä saatiin käytännössä yhtä tiukkoja paaleja.

Taulukon 9 sarakkeeseen ”Paalattu ( $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{m}$ )” on laskettu paalien kuiva-ainemassa suhteessa paalin tekoon tarvittuun matkaan. Tässä on mielekästä verrata toisiinsa seuraavia koejäsenpareja: Hidas1 vs. Nopea1 ja toisaalta Hidas2 vs. Nopea2. Erot ovat hyvin pieniä, joten voidaan todeta, ettei ajonopeuden muutoksella ollut vaikutusta paalauksen aikaisiin varisemistappioihin.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Taulukko 9. Vuoden 2009 paalauskokeen tuloksia. Paalien lukumäärä oli kussakin koejäsenessä 6–8 kpl.

	Selite	Syöttö kg <sub>ka</sub> /s	Paalin- tiheys kg <sub>ka</sub> /m <sup>3</sup>	Keski- hajonta	Paalattu kg <sub>ka</sub> /m	Keski- hajonta
Hidas1	5,5 km/h + yksi 3,2 m:n niittoleveys	1,5	121	3,0	1,1	0,21
Hidas2	5,5 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty	3,9	118	13,9	2,4	0,20
Nopea1	10 km/h + yksi 3,2 m:n niittoleveys	2,7	108	4,5	1,0	0,22
Nopea2	8 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty	5,6	119	7,2	2,3	0,23

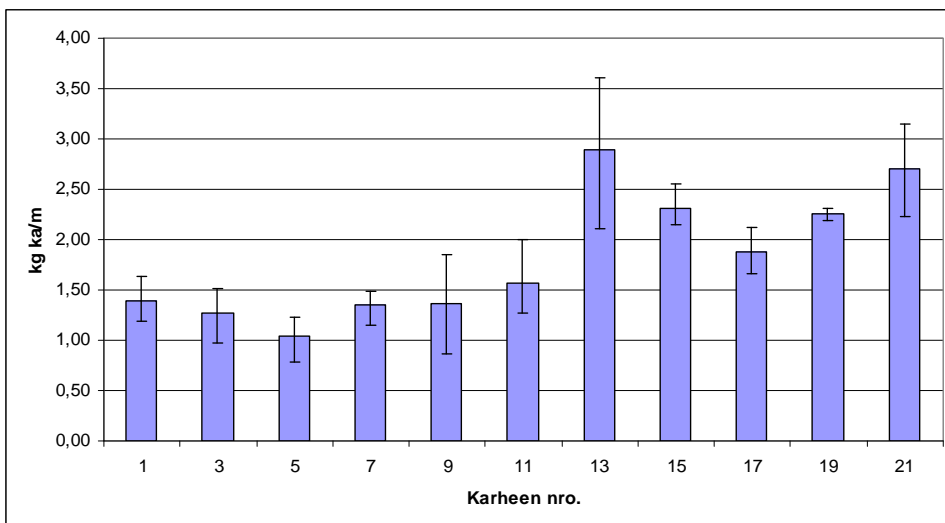
#### *Vuoden 2010 koe*

Karhemittausten mukaan 1 metrin matkalla yksinkertaista karhetta oli noin 1,3 kg<sub>ka</sub> ruokohelpeä (kuva 15). Yhdistetyissä karheissa helpeä oli keskimäärin 2,4 kg<sub>ka</sub>/m. Vaihtelu yhdistämättömien karheiden välillä oli melko vähäistä (kuva 15). Yhdistetyissä karheissa vaihtelu oli suurempaa. Laskennallisesti karheissa oli ruokohelpeä 4 600–5 100 kg<sub>ka</sub>/ha, eli suhteellisen normaali sato. Nyt karhottamisen satoa nostavaa vaikutusta ei havaittu samalla tavoin kuin vuonna 2010. Helven lakoontuminen oli erilaista pellon eri osissa ja siten niitetyn sängen pituus vaihteli, jolloin ilmiö ei tullut karheiden vahvuudessa esille.

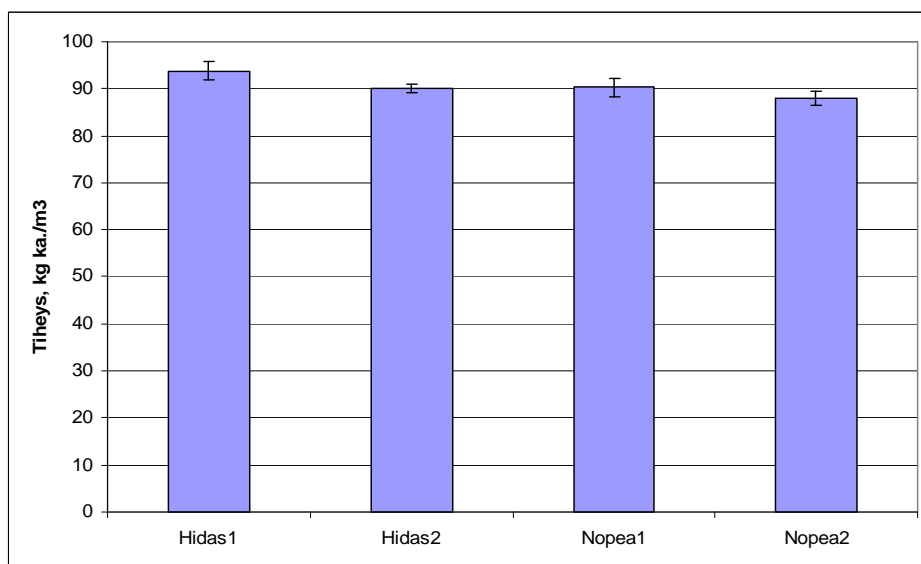
Ruokohelpi oli paalattaessa kosteudeltaan keskimäärin 14 %. Paalien mitattu koko oli: leveys 1,20 m ja halkaisija 1,40 m, eli tilavuus oli 1,85 m<sup>3</sup>. Koneen teknisten tietojen mukaan paalin halkaisija olisi 1,25 m, mutta käytännössä se oli siis suurempi.

Paalien kuiva-ainetiheys vaihteli eri koejäsenissä keskimäärin välillä 88–94 kg<sub>ka</sub>/m<sup>3</sup> eli paalit olivat kaikkiaan melko löysiä (kuva 16). Paalien tiheys koejäsenten sisällä vaihteli melko vähän eli paalit olivat tiiveydeltään tasalaatuisia. Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero oli käsittelyjen Hidas1 ja Nopea2 välillä.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen



Kuva 15. Karheista mitatut ruokohelven kuiva-ainemassat (kg ka/m) v. 2010. Pylväät ovat kolmen mittauksen keskiarvo. Vuonna 2010 massat mitattiin vain joka toisesta karheesta. Mitattu suurin ja pienin arvo on merkitty janoilla. Yhdistetyt karheet ovat karhenro:t 13–21.



Kuva 16. Paalien kuiva-ainetiheydet vuonna 2010. Paalien lukumäärä oli kussakin koejäsenessä 6 kpl. Keskihajonta on merkitty janoilla.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Taulukon 10 mukaan paalaimen syöttö ( $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{s}$ ) vaihteli eri koejäsenissä nyt vähemmän kuin vuonna 2010. Yhdistetyillä karhoilla ajonopeutta ei voitu pitää suurimmillaan yhtä korkealla kuin vuonna 2010, sillä nyt käytössä oli pienempi-tehoinen traktori ja erilainen paalain.

Taulukko 10. Vuoden 2010 paalauskokeen tuloksia. Paalien lukumäärä oli kussakin koejäsenessä 6 kpl.

	Selite	Syöttö $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{s}$	Paalin- tiheys $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$	Keski- hajonta	Paalattu $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{m}$	Keski- hajonta
Hidas1	5 km/h + yksi 2,8 m:n niittoleveys	1,8	94	3,9	1,4	0,14
Hidas2	3 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty	2,0	90	2,0	2,6	0,41
Nopea1	10 km/h + yksi 2,8 m:n niittoleveys	3,7	90	4,0	1,5	0,14
Nopea2	5 km/h + 2 niittoleveyttä yhdistetty	3,3	88	3,1	2,3	0,38

Taulukon 10 sarakkeeseen ”Paalattu ( $\text{kg}_{\text{ka}}/\text{m}$ )” on laskettu paalien kuiva-ainemassa suhteessa paalin tekoon tarvittuun matkaan. Tässä on mielekästä verrata toisiinsa seuraavia koejäsenpareja: Hidas1 vs. Nopea1 ja toisaalta Hidas2 vs. Nopea2. Erot ovat hyvin pieniä, joten voidaan todeta, ettei ajonopeuden muutoksella ollut vaikutusta paalauksen aikaisiin varisemistappioihin.

#### 4.2.3 Johtopäätökset

Vuosien 2009–2010 pyöröpaalauskokeissa paalintiheydet jäivät merkittävästi pienemmiksi kuin esimerkiksi Piipsannevan vuoden 2007 kokeessa. Siinä kiinteäkammioisella Welger-paalaimella (paalin halkaisija 1,3 m) helpipaalien tiheydeksi saatiin  $141 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$  ja muuttuvakammioisella Vicon-paalaimella  $146\text{--}155 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$  (paalien halkaisijat 1,62 m tai 1,25 m) (Paappanen ym. 2008). Vapon laajan mittausaineiston mukaan kiinteäkammioisen pyöröpaalaimen paalintiheydet ovat olleet keskimäärin  $136 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$  ja muuttuvakammioisen  $148 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$  (paalien halkaisijat 1,2 m) (Paappanen ym. 2008).

Vapon aineiston käsittelyn yhteydessä todettiin, että paalien tiheys voi vaihdella merkittävästi samanlaisella paalainmallilla tehdyissä paaleissa sen mukaan,

kuka paalit on tehnyt. Siten ei kannata ajatella, että vuosien 2009–2010 kokeissa käytetyt paalaimet olisivat olleet huonompia kuin esimerkiksi vuoden 2007 kokeessa käytetyt paalaimet. Vapon aineiston vaihtelun aiheuttajaksi esitettiin eroja paalaimen säädöissä ja ajotavassa (Paappanen ym. 2008).

Kuten edellä todettiin, vuoden 2009 kokeessa paalaimen paalikammion puristuspainetta olisi voitu säätää hiukan tiukemmalle. Vuoden 2010 kokeessa säätövaraa olisi ollut enemmänkin. Kumpikaan kuljettaja ei kuitenkaan suostunut lisäämään puristuspainetta vedoten paalaimen rikkoutumisriskiin. Riski onkin todellinen, mikäli valmistajan ilmoittama maksimiarvo ylitetään. Käsivaraisesti arvioituna molempien vuosien paalit olivat tiukan tuntuisia ja säilyttivät hyvin muotonsa käsiteltäessä. Myös paalien muoto oli tasaisen lieriömäinen.

Nyt tehdyissä kokeissa (2009–2010) kokeiltiin monenlaista ajotapaa eli ajonopeutta ja karhovahvuutta. Silti paalintiheydet vaihtelivat vain vähän samana koevuotena. Näyttäisikin siltä, että paalikammion puristuspaineen säätö lähelle maksimiarvoaan on tärkein yksittäinen tekijä, kun tavoitellaan suurta paalintiiveyttä. Ihan varmasti asiaa ei voi sanoa, ennen kuin järjestettäisiin asiaa selvittävä koe. Irlantilaisen säilörehun paalaustutkimuksen mukaan suhteellisen pienet muutokset puristuspaineen säädössä vaikuttivat yllättävän paljon paalien tiheyteen (O’Kiely ym. 1999). Paalaimen ajonopeudella oli tässäkin tutkimuksessa vähäisempi vaikutus.

Vuosien 2009–2010 kokeissa ajotavan ääripäät, esimerkiksi heikko sato ja reilusti yli 10 km:n/h ajonopeus, jäivät kokeilematta peltojen epätasaisuuden vuoksi. Tällaisiakin yhdistelmiä käytännössä esiintyy, mikäli pellot ovat tasaisia ja karheet pieniä. Kokeissa olleiden ajotapakombinaatioiden välille olisi voinut tulla enemmän eroja, mikäli paalainten puristuspainheet olisivat olleet maksimissaan.

On muutama seikka, jotka vähentävät urakoitsijoiden halua paalainten maksimipaineiden käyttöön. Paalaimen mekaaniset osat kuormittuvat enemmän kun puristuspainetta on suuri, ja tällöin pelätään paalaimen ennaikaista rikkoutumista. Paalista voi tulla myös niin tiukka, että on vaikeuksia saada se vierimään ulos paalikammion. Kolmas tekijä on se, että suurin osa urakoitsijoista käyttää laskutuksessa paalitaksaa, jolloin urakoitsijan etu on se, että paaleja tulee mahdollisimman paljon hehtaarilta. Tämä epäkohta poistunee vasta silloin, kun urakoitsijoille aletaan maksaa tuntuvaa lisäkorvausta tiiviistä paaleista tai laskutus muutuu tonniperusteiseksi. Käytännössä nämä ehdotukset ovat hankalia toteuttaa, sillä paalit voidaan punnita joskus vasta vuodenkin kuluttua paalauksesta, jolloin urakoitsijan laskutukseen tulee pitkä viive.

#### 4. Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen

Olisi eduksi, jos urakoitsijalla olisi traktorissaan luotettava etukuormainvaaka. Tällöin hän voisi paalauksen aluksi punnita muutaman paalin ja osoittaa, että paaleista tulee riittävän tiiviitä. Käsivaraisesti paalien tiiveyden arviointi ei ole riittävän tarkkaa.

Yhteenvetona tehdyistä kokeista voidaan todeta, että pyöröpaalaimen ajonopeus ja karhevahvuus vaikuttivat melko vähän ruokohelpipaalien tiheyteen, kun pysyttiin alle 10 km:n/h ajonopeuksissa. Ajotavalle ei tarvitse tässä mielessä antaa tämän tarkempia ohjeita. Karheen muodolla on tietysti vaikutusta, suorakaiteen muotoinen ja noin paalikammion levyinen karhe antaa tasamuotoisimmat paalit, epämuotoisilla karheilla paalin täyttymistä täytyy säädellä mutkittelevalla ajotavalla (Krone 2005). Tärkein ohje tiukkojen paalien saavuttamiseksi näyttäisi olevan paalikammion puristuspaineen säätäminen lähelle maksimi-tiukkuutta ja kammion tasaisesta täyttymisestä huolehtiminen ajotavalla.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

Risto Impola & Ismo Tiihonen  
VTT

Ruokohelpipaalit varastoidaan yleensä lähellä tuotantoaluetta joko suoraan helpipellon reunassa tai lähetyvillä olevalla kuivalla paikalla, josta paalit voidaan hakea rekka-autolla ympäri vuoden. Useiden kuukausien, jopa lähes vuoden varastointiaika asettaa haasteita kuivana korjatun helpisadon säilyvyydelle varastoauressa. Nykyisen ohjeistuksen mukaan paalivarastot on peitettävä heti korjuun jälkeen sekä estettävä pohjapaalien kostuminen maakosteuden kautta.

### 5.1 Varastointikoejärjestelyt

#### 5.1.1 Varastojen teko

Keväällä 2009 otettiin ruokohelven varastointiseurantaan kaksi helpiaumaa. Toinen sijaitsi Konneveden Tankokankaalla Vatasen helpiviljelmän läheisyydessä kuivahkolla kankaalla, jota on käytetty myös erilaisten maa-aineksien varastoalueena. Toinen sijaitsi Laukaan ja Suolahden välillä Sirkkasuolla, joka on Vapon entistä turvetuotantoaluetta. Sirkkasuon ruokohelven tuotannosta vastaa nykyisin yksityinen urakoitsija, joka myös teki keväällä 2009 molemmat koeaumat yhteistyössä VTT:n kanssa. VTT vastasi aumojen peittämisestä. Tavoitteena oli säilyttää peitetty koeaumia seuraavaan kevääseen saakka. Molemmat varastot tehtiin touko–kesäkuun vaihteessa ja peitettiin kesäkuun alkupuolella.

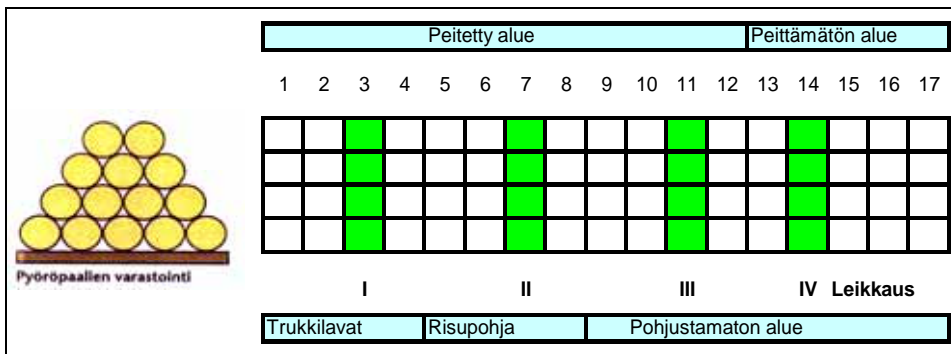
## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

### Vatasen auma

Vatasen tilalla tehtiin keväällä 2009 ruokohelven korjuukokeita, jossa osa pyöröpaaleista punnittiin ja niistä määritettiin kosteus kairausnäytteenotolla otetuista näytteistä. Paaleja tuli yhteensä noin 250 kappaletta, jotka varastoitiin koeaumaksi. Koeauma tehtiin maataloustraktorin etukuormaajaan kiinnitetyillä paalipihdeillä (kuva 17). Tavoitteena oli tutkia sekä peittämisen että pohjustuksen vaikutuksia helpipaalien säilyvyyteen varaston eri osissa. Pohjamateriaaleiksi valittiin sekä trukkilavoista että kuivista risuista kasattu pohjakerros ja peitemateriaaliksi perinteinen Vapon käyttämä peitemuovi. Näin koeaumaan saatiin neljä erilaista kuvassa 18 esitettyä tutkimuslohkoa. Jokaiseen tutkimuslohkoon valittiin leikkauslinja, johon jokaiseen sijoitettiin kuusi punnittua ja analysoitua koepaalia samalla tavalla (kuva 18).



Kuva 17. Vatasen aumalle paalit siirrettiin läheiseltä pelloilta maataloustraktorin paalikärryllä ja paalit nostettiin aumaan traktorin etukuormaajan paalipihdeillä.



Kuva 18. Tutkimusauman rakenne ja siinä olevat tutkimuslohkot sekä koepaalien leikkauslinjat.



Koeauman pohjakerros muodostui viidestä helpipaalista, ja poikkileikkauksesta tuli perinteinen kolmionmuotoinen kuvio. Koska traktorin etukuormain ei yltänyt nostamaan ylintä ”harjapaalia”, jätettiin ylin kerros tekemättä. Leikkauksen muoto näkyy kuvassa 19. Kuvassa on esitetty myös koeauma peittämisen jälkeen eli auman toinen pääty jätettiin peittämättä ja pohjustetut koelohkot sijaitsivat varaston peitettyssä päädyssä. Muovipeitteet pyrittiin kiinnittämään naruilla ja niihin kiinnitetyillä puupainoilla mahdollisimman hyvin kestämään tuulet ja sateet.



Kuva 19. Kuusi merkattua koepaalia sijoitettiin joka leikkaukseen samalla tavalla. Oikeassa kuvassa on osin peitetty Vatasen koeauma keväällä 2009.

### **Sirkkasuon auma**

Urakoitsija vastasi Sirkkasuon varaston tekemisestä. Varastoon tuli yhteensä noin 250 pyöröpaalia. Poikkileikkaukseltaan Sirkkasuon auma oli pienempi. Pohjakerroksessa oli vain neljä paalia rinnakkain ja myös tästä aumasta puuttui ylin yhden paalin kerros (kuva 20). Varasto sijaitsi turvesuolle johtavan tien varressa. Maapohja oli vanhaa tervetuotantoaluetta eikä aumaa pohjustettu millään tavalla. Tavoitteena oli tutkia suopohjan vaikutusta pohjapaalien kosteusmuutoksiin ja kahden erilaisen peitemateriaalin vaikutusta varaston säilyvyyteen. Varaston toinen pääty peitettiin perinteisellä mustalla muovipeitteellä. Toisessa päädyssä testattiin uutta vihreää kestopeitettä. Tätä PolyTex-peitettä käytetään maataloudessa mm. olkipaalien peiteenä. Peitteen koko oli 9,8 x 25 m. Oikein käsiteltynä peite kestää uudelleen käyttöä muutamia vuosia. Uusi kevytrakenteinen peite oli helppo levittää auman päälle ja se pysyi hyvin paikoillaan, vaikka peitteen mukana tulleita hiekkatäytteisiä reunapainoja oli aika harvassa (kuva 20). Kyseiset painot soveltuvat hyvin myös perinteisen muovipeitteen painoiksi.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

Sirkkasuon aumaa tehtäessä punnittuja ja analysoituja koepaaleja ei ollut käytettävissä. Peittämisvaiheessa valittiin koelinjat molempien peitemateriaalien osalta. Näiden koelinjojen muutamista helpipaaleista kairattiin kosteusnäytteitä. Paalien kosteuspitoisuudet olivat 8,8–12,3 %.



Kuva 20. Sirkkasuon auma ennen peittämistä ja peittämisen jälkeen. Peittämisessä keuhkettiin uutta vihreää kestopaitettä ja perinteistä mustaa muovipeitettä.

### 5.1.2 Varastojen purku

Koevarastot purettiin touko–kesäkuun vaihteessa vuonna 2010 eli varastojen pitoaika oli noin yksi vuosi. Vatasen aumaa purettaessa leikkauksiin sijoitetut koepaalit eroteltiin erilleen. Koepaalit punnittiin kuvassa 21 esitetyllä traktorin etukuormaajaan rakennetulla riippuvaa'alla. Punnitustarkkuus oli 0,5 kg.



Kuva 21. Varastoja purettaessa koepaalit punnittiin traktorin etukuormaajaan rakennetulla riippuvaakajärjestelmällä.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

Aumojä purettaessa peitteestä, leikkauksista ja paaleista tehtiin myös visuaalisia havaintoja. Kun koepaalien alkukosteus ja alkupaino keväältä 2009 tiedettiin, voitiin paalin painonnoususta laskea paalin keskikosteus auman purkuhetkellä olettamalla, ettei muutoksia kuiva-aineessa ole tapahtunut.

Osasta koepaaleja otettiin kosteusnäytteitä sekä kairaamalla että kerrosnäytteenotelmällä, jotka on esitetty kuvassa 22. Kerrosnäytteet otettiin yhteensä kymmenestä paalista, osasta paalin kahdelta eri puolelta. Näytteenottoerokset olivat 0–5, 5–10, 10–20, 20–30 ja 30–40 cm ja yhden näytteen tilavuus oli noin viisi litraa. Jokaisen kerrosnäytteenottoaikan vierestä otettiin kaksi kairausnäytettä 40 cm:n syvyyteen. Paalikohtaiset kairausnäytteet yhdistettiin yhdeksi 1–2 litran näytteeksi. Lopuista noin 15 koepaalista otettiin vain kairausnäytteet. Joka toisesta paalista otettiin kaksi kairausnäytettä paalin vastakkaisilta puolilta ja lopuista kolmelta puolelta 120 asteen välein. Kairausnäytteet yhdistettiin paalikohtaisiksi näytteiksi. Näytteistä määritettiin kosteudet sekä kaappikuivauksilla että eri instrumentaalimenetelmillä, joita on kuvattu luvussa 7 – Ruokohelven kosteusmittauksien kehittäminen.

Sirkkasuon koeaumasta tutkittiin purkuvaiheessa samat kaksi leikkausta, joista oli otettu kosteusnäytteitä sekä auman tekovaiheessa keväällä 2009 että saman vuoden lokakuussa. Leikkauksen kaikki yhdeksän paalia punnittiin, ja niistä kaikista otettiin kaksi kairausnäytettä vastakkaisilta puolilta paalia. Lisäksi muutamista paaleista otettiin kerrosnäytteet.



Kuva 22. Koepaaleista otettiin kosteusnäytteitä sekä kairaamalla että ”puukkomenetelmällä” kerroksittain.

## 5.2 Laatumuutokset varastoinnin aikana

### 5.2.1 Paalien kosteudet syksyllä 2009

Keväällä Vatasen auman tutkimusleikkauksiin sijoitettujen koepaalien kosteudet olivat 9,2–13,4 % (keskiarvo 11,1 %). Paalien painot olivat 187–221 kg (keskiarvo 221 kg) ja lasketut kuiva-ainepainot 167–245 kg (keskiarvo 197 kg). Vaihtelut paalien brutto- ja kuiva-ainepainoissa johtuvat paalien tiiviysvaihteluista.

Sirkkasuolla muutamien peittämisvaiheessa mitattujen paalien kosteudet olivat 8,8–12,3 %.

Syksyn sateiden jälkeen lokakuussa 2009 käytiin molempien koeaumojen muutamista paaleista ottamassa kosteusnäytteet. Kerrosnäytteet paalin pinnasta otettiin ns. ”puukkommenetelmällä”, jotta saadaan selville kosteusprofiili 5–10 cm:n välein paalin pinnalta keskipistettä kohti (kuva 22). Kerroksien kosteuksista voidaan laskea koko pyöröpaalin keskikosteus olettamalla, että paalin sisäosan kosteus on sama kuin syvimmän määritetyn kerroksen kosteus. Lisäksi oletetaan, ettei kosteusvaihteluita ole paalin leveyssuunnassa. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

Vatasen aumassa kesän ja syksyn sateet olivat odotetusti kasteelleet peittämättömänä olevien helpipaalien pintoja, varaston pohjoispuolelta enemmän kuin eteläpuolelta. Näissä paaleissa hyvin märkä kerros ulottui noin 3 cm:n syvyyteen. Homekerroksia ei ollut havaittavissa paalin kosteimmissä osissakaan. Molempien aumojen peitetyissä osissa paalit olivat säilyneet hyvin. Niissä paalien pintakosteudet olivat nousseet vain noin yhden prosenttiyksikön verran. Peitteet olivat pysyneet suhteellisen hyvin paikoillaan ja olivat ehjiä. Sirkkasuon muovipeite oli löystynyt ja muodostanut vesipusseja varaston päälle, josta vedellä on mahdollisuus valua paaleihin.

Taulukko 11. Lokakuussa 2009 otettujen kerrosnäytteiden kosteuspitoisuudet (m-%) ja niistä lasketut paalien keskikosteudet.

Näytteenotto- kerros cm	Vatasen auma			Sirkkasuon auma	
	Peitetty	Peittämätön		Kuitupeite	Muovipeite
		Etelä	Pohjoinen		
0–5	14,8	45,6	69,7	12,3	13,3
5–10	13,2	17,2	23,7	10,4	12,4
10–15	12,6	16,1	19,4	10,2	11,3
15–20	12,3	15,2	17,7	10,1	11,4
20–30	11,5	13,9	16,0	10,0	11,0
Paalin keskikosteus (100 % pinnasta kastunut)	12,5	21,7	35,1	10,5	11,6
Paalin keskikosteus (50 % pinnasta kastunut)	12,4	18,7	27,9	10,3	11,5

## 5.2.2 Paalien kosteudet keväällä 2010

### 5.2.2.1 Vatasen auma

Seuraavassa käydään Vatasen koeauman laadunmuutokset läpi tutkimusleikkauksittain. Leikkauskuvista (kuvat 23–26) näkyy koepaalien sijainti aumassa. Kuvista näkyy myös osittain paalien kostuneet vyöhykkeet tummempina kerroksina. Kuvan vieressä oleva taulukko esittää koepaalien keskikosteuksien muutokset perustuen paalien punnitustuloksiin. Kuvien alla olevissa taulukoissa (taulukot 12–14) on esitetty kerrosnäytteenotolla saatujen yksittäisten kerrosnäytteiden kosteudet sekä niistä lasketut helpipaalien keskikosteudet. Keskikosteuksia laskettaessa on arvioitu, kuinka suuri osuus paalin kehästä on kostunut.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

### *Leikkaus I, peitetty, pohjustus trukkilavoilla*



		Paalien kosteudet	
		Teko %	Purku %
Paali	11	11,5	12,7
Paali	14	10,6	34,7
Paali	9	11,5	19,8
Paali	12	10,6	44,2
Paali	8	11,3	19,0
Paali	15	11,4	17,1
Keskiarvo		11,1	26,2

Kuva 23. Peitetty trukkilavapohja -leikkaus Vatasen aumaa purettaessa keväällä 2010 ja koepaalien kosteuden muutokset vuoden kestäneen varastoinnin aikana. Trukkilavat olivat märkiä auman keskiosassa.

Taulukko 12. Yksittäisten kerrosnäytteiden kosteudet ja niistä lasketut paalien keskiarvokosteudet (peitetty, pohjustus trukkilavoilla).

Kosteudet kerroksittain (%)				
Cm	12A	12B	14A	14B
0–5	78,8	80,2	67,8	37,6
5–10	74,3	69,6	27,5	15,4
10–20	50,5	25,1	16,5	14,3
20–30	18,5	16,8	17,2	13,1
30–40				
Laskettu keskiarvo	56,4	52,1	18,4	33,7

Trukkilavapohjustuksessa paalien punnitustulokset osoittivat, että koepaalit 12 ja 14 olivat kostuneet merkittävästi. Auman keskellä olevan pohjapaalin (paali 14) kostumista osoittaa myös trukkilavojen selvä kostuminen auman keskiosissa. Käytettäessä trukkilavoja auman pohjalla ilma pääsee pohjan kautta kiertämään ja sillä saattaa olla jokin vaikutus keskellä olevien pohjapaalien kostumiseen.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

Paali numero 12 keskellä ylhäällä oli hyvin märkä koko kehältä jopa 20 cm:iin saakka, joten myös kerrosnäytteistä laskettu keskikosteus on yli 50 %. Tämän paalin kostumiseen saattaa vaikuttaa ylhäältä muovipeitteen päällä muodostuneesta ”vesipussista” ajan kuluessa valunut irtovesi.

Muissa koepaaleissa, jotka sijaitsivat pääosin varaston reunoilla, kosteusmuutokset olivat pienempiä ja kaikkien näiden paalien loppukosteudet olivat alle 20 %.

### *Leikkaus II, peitetty, pohjustus risuilla*



		Paalien kosteudet	
		Teko %	Purku %
Paali	10	11,0	12,4
Paali	18	11,2	18,2
Paali	19	10,4	18,5
Paali	5	12,4	22,7
Paali	7	13,1	19,0
Paali	13	12,0	15,3
Keskiarvo		11,7	17,9

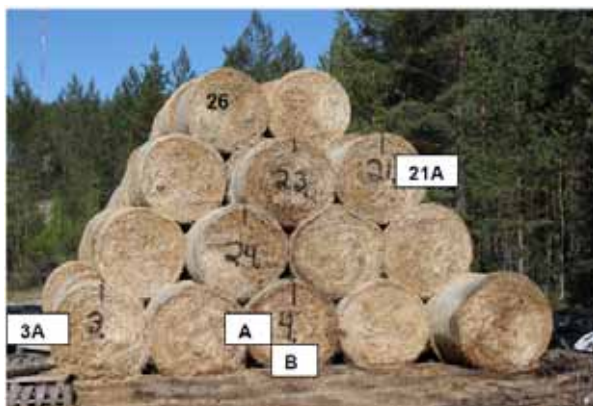
Kuva 24. Peitetty risupohja -leikkaus Vatasen aumaa purettaessa keväällä 2010 ja koepaalien kosteuden muutokset vuoden kestäneen varastoinnin aikana. Paaleissa ei näy tummia kostuneita vyöhykkeitä.

Kuivilla risuilla pohjustetussa leikkauksessa ei ollut vuoden varastoinnin jälkeen erityisen kosteita paaleja. Kostein koepaali (numero 5 ja kosteus 22,7 %) tässäkin leikkauksessa sijaitsi ylhäällä keskellä, joten irtovettä on saattanut valua peitteen läpi pieniä määriä.

Kerrosnäytteitä otettiin vain yhdestä paalista eli keskeltä alarivissä olevasta paalista. Risupohjaa vasten olevan paalin pintakerros on kostunut vain 20 %:iin. Seuraavat kerrokset olivat kosteukseltaan jo alle 15 %.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

### *Leikkaus III, peitetty, pohjustamaton*



		Paalien kosteudet	
		Teko %	Purku %
Paali	3	13,4	24,3
Paali	4	12,2	47,4
Paali	24	10,1	25,7
Paali	23	9,7	39,4
Paali	26	9,4	13,5
Paali	21	9,7	12,5
Keskiarvo		10,8	29,6

Kuva 25. Peitetty pohjustamaton -leikkaus Vatasen aumaa purettaessa keväällä 2010 ja koepaalien kosteuden muutokset vuoden kestäneen varastoinnin aikana. Kostuneita, tummia vyöhykkeitä näkyy auman keskiosassa.

Taulukko 13. Yksittäisten kerrosnäytteiden kosteudet ja niistä lasketut paalien keskikosteudet (peitetty, pohjustamaton).

Kosteudet kerroksittain (%)				
Cm	3A	4A	4B	21A
0–5	11,6	76,9	72,6	14,5
5–10	14,8	65,7	75,0	14,2
10–20	14,4	21,5	43,7	13,5
20–30	14,2	16,6	20,2	12,5
30–40				
Laskettu keskikosteus	14,1	47,7	52,5	13,3

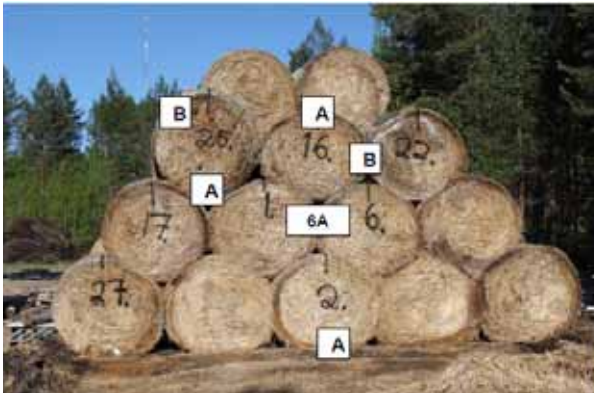
Peitettyssä ja pohjustamattomassa leikkauksessa varaston keskellä olevien koepaalien kostuneet vyöhykkeet näkyvät kuvassa 25. Samoin pohjapaalien pinnat näkyvät kuvassa tummina kostuneina kerroksina. Varsinkin pohjalla keskellä oleva paali numero 4 on kostunut joka puolelta ja sen keskikosteus sekä painomuutoksesta että kerrosnäytteistä laskettuna on lähes 50 %. Pintakosteudet tässä paalissa ovat joka puolella yli 70 %. Koska myös sen yläpuolella olevat koepaa-



lit ovat kastuneet, on ilmeisesti myös tässä leikkauksessa irtovettä valunut auman yläosasta. Ylhäällä varaston reunoilla olevat paalit ovat säilyneet hyvin.

Pohjustamattomassa aumassa paalien maata vasten olevat pinnat ovat hieman kostuneet. Paaleja nostettaessa niiden pintoihin tarttui myös hieman maa-ainesta, hiekkaa ja pieniä kiviä, jotka aiheuttavat ongelmia sekä murskauksessa että laitoksella käsittelyssä ja poltossa.

#### *Leikkaus IV, peittämätön, pohjustamaton*

	Paali	Paalien kosteudet	
		Teko %	Purku %
	27	9,2	41,2
	2	12,9	38,4
	1	12,5	23,5
	16	10,5	43,9
	25	9,3	28,9
	22	10,0	34,7
	<b>Keskiarvo</b>	<b>10,7</b>	<b>35,4</b>

Kuva 26. Peittämätön pohjustamaton -leikkaus Vatasen aumaa purettaessa keväällä 2010 ja koepaalien kosteuden muutokset vuoden kestäneen varastoinnin aikana. Kostuneita ja osin homehtuneita paaleja löytyy myös varaston pintakerroksista.

Kuvassa 26 näkyy selvä ero peittämättömän auman leikkausprofiilissa verrattuna vastaaviin peitettyihin leikkauksiin. Merkittävin ero on siinä, että varaston molempien puolien reunapaalit ovat kastuneet. Osassa niistä näkyy myös homehtuneita vyöhykkeitä. Koska pohjustusta ei ollut tässäkään leikkauksessa, pohjapaalit ovat imeneet kosteutta jonkin verran myös maaperästä. Kostein paali tässäkin leikkauksessa oli ylhäällä keskellä (numero 16) eli ilmeisesti sadevesi ja lumesta sulanut vesi ovat valuneet ylimmän kerroksen paalien välistä auman keskiosiin. Vaikka reunapaalit 22 ja 25 näyttävät lähes ”läpikastuneilta”, niiden kosteudet olivat kuitenkin vain 35 ja 29 %. Koska auma purettiin vasta toukokuun lopulla, peittämättömän osan reunapaalien pintaosista on todennäköisesti haihtunut kosteutta kevään aikana. Tämä näkyy mm. paalin 25B hyvin alhaisena pintakosteutena,

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

joka oli alle 22 %. Tämä auman puoli oli suoraan etelän suuntaan. Reunapaalien purkuhetken pintojen ero näkyy myös kuvassa 26.

Taulukko 14. Yksittäisten kerrosnäytteiden kosteudet ja niistä lasketut paalien keskikosteudet (peittämätön, pohjustamaton).

<b>Kosteudet kerroksittain (%)</b>						
Cm	2A	6A	16A	16B	25A	25B
0–5	64,3	72,0	74,0	80,8	74,5	21,9
5–10	32,6	62,9	69,6	72,5	22,1	18,8
10–20	20,5	18,6	51,4	67,1	17,0	14,3
20–34	18,4	15,1	16,9	50,0	14,3	12,4
30–40		16,8	15,6	12,4		
Laskettu keskikosteus	33,4	43,1	51,8	62,9	37,5	15,3

### 5.2.2.2 Yhteenveto Vatasen aumasta

Kuvassa 27 näkyy selvä ero peitettyjen ja peittämättömien reunapaalien osalta. Muovipeitteen alla olevien paalien väri ei ole muuttunut alkuperäisestä vuoden varastoinnin jälkeen, mutta peittämättömät paalit ovat paitsi kostuneet pinnalta myös tummuneet selvästi.

Taulukossa 15 on esitetty Vatasen auman eri tutkimusleikkauksien keskikosteudet laskettuna leikkauksiin sijoitettujen koepaalien painomuutoksen perusteella määritetyistä kosteuksista. Pelkästään numeron perusteella peitetty risu-pohja -leikkauksessa paalit olisivat säilyneet parhaiten. Tuloksia verrattaessa on kuitenkin huomioitava, että tässä leikkauksessa ei kostumista tapahtunut ylhäältäpäin eli veden oletettua valumista peitteeseen mahdollisesti muodostuneesta ”vesipussista” (kuva 24).

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen



Kuva 27. Peittämättömät helpipaalit olivat tummuneet vuoden varastoinnin aikana.

Taulukko 15. Vatasen auman leikkauksien keskikosteudet laskettuna koepaalien kosteuksista.

	Keskikosteudet eri leikkauksissa (%)	
	Varaston teko	Varaston purku
Trukkilavapohja, peitetty	11,1	26,2
Risupohja, peitetty	11,7	17,9
Pohjustamaton, peitetty	10,8	29,6
Pohjustamaton, peittämätön	10,7	35,4
Leikkauksien keskiarvo	11,1	28,2

Taulukossa 16 on esitetty Vatasen auman keskellä sijaitsevien pohjapaalien maata ja pohjarakennelmia vasten olevien pintakerroksien kosteudet. Myös tämän mukaan risupohja osoittautui parhaaksi. Ero on selvä verrattuna pohjustamattomiin leikkauksiin sekä maata vasten olevien pintakerrosten että koko paalin keskikosteuden

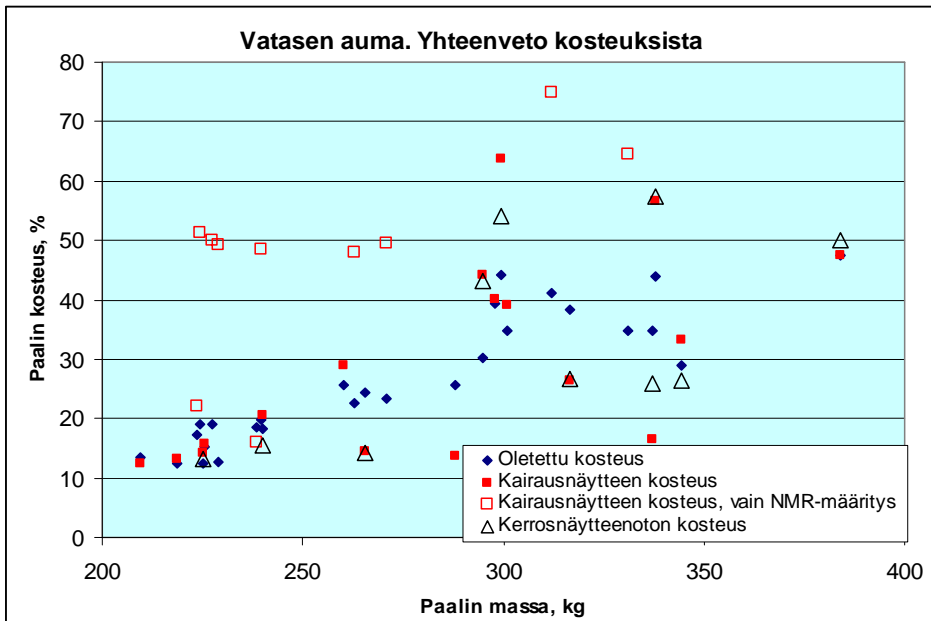
## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

suhteen. Trukkilavoilla pohjustetun leikkauksen osalta jäi epäselväksi, miksi myös pohjapaalit ja myös trukkilavat varsinkin varaston keskiosassa olivat kostuneita (kuva 23).

Taulukko 16. Vatasen auman eri leikkauksissa keskellä olevien pohjapaalien pohjaa ja maata vasten olevien pintakerrosten kosteudet.

		Pohjaa vasten olevan kerroksen kosteus (%)			Paalin keskikosteus
	Pohjustus	0–5 cm	5–10 cm	1–20 cm	
Peitetty	Trukkilavat	37,6	15,4	14,3	34,7
Peitetty	Risupohja	19,8	14,7	14,7	18,2
Peitetty	Pohjustamaton	72,6	75,0	43,7	47,4
Peittämätön	Pohjustamaton	64,3	32,5	20,5	38,4

Kuvassa 28 on esitetty yhteenvetona eri menetelmillä määritettyjen Vatasen auman tutkimusleikkauksiin sijoitettujen koepaalien keskikosteudet aumaa punnittaessa punnittujen paalien massan funktiona. Oletettu kosteus tarkoittaa paalin painomuutoksesta laskettua paalin keskikosteutta. Tässä pistesarjassa oleva hajonta johtuu paalien alkuperäisestä tiheys- eli tiiviyseroista. Kerrosnäytteenoton keskikosteuksien laskennassa on arvioitu, kuinka suuri osa paalin kehästä on kostunut. Kairausnäytteistä laskettujen paalien keskikosteuksien osalta ongelmaksi muodostui, että yhdestä NMR-määrittelyyn menneestä näyte-erästä ei tehty referenssikosteuksia lämpökaappimenetelmällä. Tämä sarja on eritelty kuvassa 28 erilleen ja arvot poikkeavat merkittävästi muista arvoista. Kaikkien muiden kuvan 28 kosteusarvoja laskettaessa on käytetty lämpökaappimenetelmän analyysituloksia.



Kuva 28. Yhteenveto Vataseen auman koepaaleista. Eri menetelmillä mitatut paalin keski-kosteudet paalin massan funktiona.

### 5.2.2.3 Sirkkasuon auma

Sirkkasuon aumaan tehtiin yksi tutkimusleikkaus molempien peitteiden kohdalle. Kuvassa 29 on vihreän kestopiiteen alla olevat koepaalit merkittynä punnitusta ja näytteenottoa varten. Vastaavia merkintöjä käytettiin perinteisen muovipeite-leikkauksen osalta.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

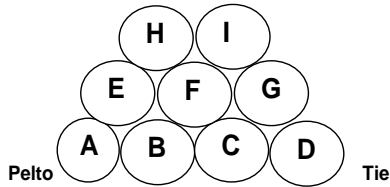


Kuva 29. Sirkkasuon auman tutkimusleikkaus vihreällä kestopelliteellä peitetystä osasta. Mustalla muovipeitteellä peitetystä leikkauksessa käytettiin samoja merkintöjä vastaavissa koepaaleissa.

Kuvan paaleissa ei näy merkittäviä kosteusvyöhykkeitä. Samaa osoittavat taulukon 17 tulokset. Taulukossa on esitetty molempien leikkauksien koepaalien keskikosteudet, jotka on määritetty sekä paalien painomuutoksen että kairausnäytteiden perusteella. Suopohjaa vasten olevien paalien kosteudet ovat suurempia kuin ylempien kerrosten paaleilla. Tämä näkyy myös taulukon 18 kerrosnäytteiden kosteuksissa A-paalin osalta. Varsinkin mustalla muovilla peitetystä päässä vesi ympäröi aumaa pellon puolella. Niinpä siinä leikkauksessa A-paalin maata vasten oleva puoli on kostunut yli 70 %:n kosteuteen aina 20 cm:iin saakka (kuva 30). Mustan muovin alla keskellä oleva F-paali oli hyvin märkä keskikosteuden ollessa yli 46 % ja pintakosteuden 20 cm:iin saakka 60–80 %. Tämä johtunee samasta ilmiöstä kuin Vatasen aumassakin eli irtovettä on valunut auman päälle muodostuneesta vesipussista. Vihreän peitteen tutkimusleikkauksessa keskipaali oli säilynyt suhteellisen hyvin. Viereisessä leikkauksessa vastaava F-paali oli hyvin kostea ja sen keskikosteudeksi saatiin jopa 55 %. Tämä märkä paali erottuu hyvin kuvassa 31. Ilmeisesti myös uusi kestopelite on läpäissyt irtovettä, vaikka reikää peitteestä ei löytynyt.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

Taulukko 17. Sirkkasuon auman molempien leikkauksien koepaalien paalin painomuutoksesta lasketut ja kairausnäytteistä lasketut keskekosteudet.



	Näytteenotto- paikat Klo	Vihreä kestopeite		Musta muovipeite	
		Laskettu kosteus	Kairausnäytteen kosteus	Laskettu kosteus	Kairausnäytteen kosteus
A	02 / 08	28,4	13,1	23,2	26,4
B	02 / 08	25,5	28,4	22,2	28,7
C	02 / 08	10,3	18,1		
D	10 / 04	27,4	22,0	16,9	15,8
E	02 / 08	9,7	18,0	14,9	15,8
F	02 / 08	25,1	20,1	46,8	36,1
G	10 / 04	9,9	21,9	9,3	13,7
H	10 / 04	15,4	14,0	10,3	17,6
I	02 / 08	15,1	15,3	13,7	14,5
Keski-kosteus		19,2	19,2	21,7	21,9

Taulukko 18. Sirkkasuon helpiauman kerrosnäytteiden kosteudet ja niistä lasketut paalien keskekosteudet.

cm	Kosteudet kerroksittain (%)						
	Uusi vihreä kestopeite			Musta muovipeite			
	A	F	G	A	F	G	D
0–5	66,1	23,9	16,3	82,5	80,3	9,6	9,7
5–10	64,7	17,1	18,0	79,4	61,6	13,3	11,4
10–20	37,2	14,7	16,1	71,5	33,0	14,9	13,8
20–30	16,7			16,2	16,3		
30–40							
Näytteenotto- paikka	klo 06	klo 11	klo 01	klo 06	klo 11	klo 01	klo 12
Laskettu keskekosteus	25,6	16,5	16,4	38,4	38,0	13,9	13,2

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen



Kuva 30. Pohjakerroksen paalien maata vasten olevat osat olivat tummuneet sekä kosteudesta että maa-aineksesta. Kuvan paalin maata vasten oleva osa oli 20 cm:iin saakka kosteudeltaan yli 70 %, mutta sisemmät kerrokset olivat kuivia.

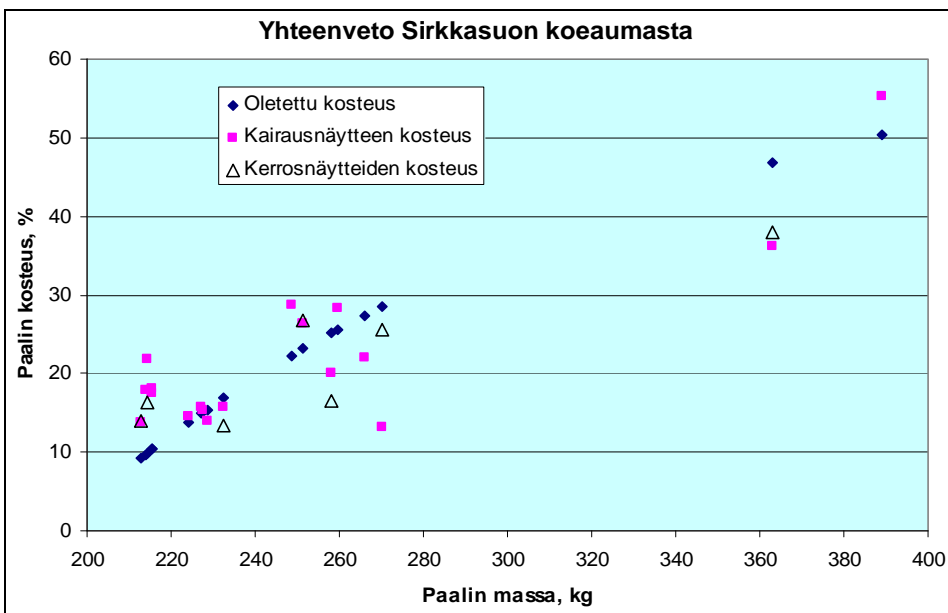


Kuva 31. Tutkimusleikkauksen viereisessä leikkauksessa oleva hyvin märkä keskipaali erottuu hyvin kuvassa. Paalin keskikosteus oli yli 55 %.



## 5.2.2.4 Yhteenveto Sirkkasuon aumasta

Kuvassa 32 on esitetty yhteenvetona eri menetelmillä määritettyjen Sirkkasuon auman tutkimusleikkauksissa olevien koepaalien keskikosteudet aumaa purettaessa punnittujen paalien massan funktiona. Oletettu kosteus tarkoittaa paalin painomuutoksesta laskettua paalin keskikosteutta. Tässä pistesarjassa ei ole hajontaa, koska auman tekovaiheessa paaleja ei punnittu ja paalien tiiviys eli kuiva-aineen määrä on oletettu vakioksi. Kaikkia kuvan 32 kosteusarvoja laskettaessa on käytetty lämpökaappimenetelmän analyysituloksia.



Kuva 32. Yhteenveto Sirkkasuon auman koepaaleista. Eri menetelmillä mitatut paalin keskikosteudet paalin massan funktiona.

## 5.2.2.5 Huomioita molemmista aumoista

Molemmissa koeaumoissa ylin yhden paalin kerros jouduttiin jättämään pois. Siitä aiheutuva ongelma on esitetty kuvassa 33. Peitteet pyrittiin kiinnittämään hyvin ja kuitenkin molempiin aumoihin muodostui jossakin vaiheessa varastointia vesitaskuja kahden ylimmäisenä olevan paalijonon väliin. Vaikka mitään isompia repeytymiä peitteissä ei havaittu, irtovettä on todennäköisesti näistä taskuista valunut useista kohdin aumaan kastellen auman keskiosan paaleja. Eli

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

paalien säilymisen kannalta on hyvin tärkeää rakentaa helpiaumat mahdollisimman terähuippuisiksi, jotta sadevesi valuu reunoja pitkin auman viereen.

Kuvan 34 koeaumat on kuvattu maaliskuun lopussa 2010. Silloin oli vielä paksu lumikerros aumojen päällä. Lunta oli kerääntynyt varsinkin peittämättömien helpipaalien päälle Vatasen aumassa. Keväästä riippuen osa lumesta haihtuu sulaessaan, mutta aina osa sulamisvedestä imeytyy paaleihin. Peitetyissä osissa sekä lumi että sulamisvedet valuvat peitettä pitkin alas maahan.



Kuva 33. Molempien koeaumojen päälle muodostui "vesipusseja", joista peitteen rikkoutuessa vesi valuu varastoon ja kastelee auman keskellä olevia helpipaaleja. Vasen kuva on otettu Sirkkasuon aumasta varastoa purettaessa kesäkuun alussa 2010.



Kuva 34. Osa peittämättömien paalien päällä olevasta lumikuormasta sulaa paaleihin, osa lumesta haihtunee sulaessaan ilmaan. Kuvat koeaumoista on otettu maaliskuussa 2010.

### 5.3 Näytteenoton luotettavuudesta

Ruokohelven varastointikokeissa seurattiin helpipaalien kosteusmuutoksia yhden vuoden varastoinnin aikana. Aumoja purettaessa kosteusmäärittäykseen otettiin sekä kairausnäytteitä että kerrosnäytteitä. Paalit olivat usein kostuneet vain toiselta puolen ja lisäksi kosteuskerrokset olivat eri paksuisia paalin eri osissa. Tämä aiheutti ongelmia luotettavan näytteenottomenetelmän valinnassa. Kosteustuloksia arvioitaessa on huomioitava mm. seuraavat näytteenoton luotattavuuteen vaikuttavat tekijät:

- Sekä kerrosnäytteet että kairausnäytteet otettiin kehältä säteensuuntaisesti, leveysuunnassa keskeltä paalia. Onko systemaattista tai satunnaista kosteusvaihtelua myös paalin leveysuunnassa? Yksittäisillä paaleilla vaihtelua oli nähtävissä. Kostuvatko paalien päädyt tietyissä oloissa muuta paalia herkemmin?
- Koska kostunut kerros ei ole tasaisesti jakautunut koko paalin kehälle, se vaikeuttaa kerrosnäytteenottomenetelmällä paalin keskikosteuden laskentaa. Aumaa purettaessa ja myöhemmin kuvista päättelemällä on arvioitu, kuinka suuri osa paalin kehästä on kostunut (kuva 35).
- Edellä mainittu ongelma vaikuttaa myös kairausnäytteenoton luotattavuuteen, kuten kairausnäytteiden lukumäärään ja kairaussyvyyteen (oikean kairaussyvyyden määrittämistä on käsitelty luvussa 7.5).

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen

- Mitä kosteampia paalin pintakerrokset ovat, sitä huolellisempaa näytteenottoa vaaditaan sekä kerrosnäytteiden että kairausnäytteiden otossa, jotta määrän pintakerroksen oikea osuus saadaan näytteeseen.
- Lisäksi on teknisenä ongelmana huomioitava, ottavatko kaikki kairausmenetelmät saman tilavuusmäärän näytettä hyvin kosteasta (esim. 70 %) pintakerroksesta kuin kuivemmasta, tiiviistä sisäosasta (esim. 15 %) samalta kairausmatkalta.



Kuva 35. Eri tavalla kostuneet paalit aiheuttavat ongelmia näytteenoton luotettavuutta arvioitaessa.

### 5.4 Suosituksia ruokohelven varastoinnille

Varastointipaikkaa valittaessa on huomioitava, että paalit saadaan haettua mahdollisimman yllä 20 m pitkällä rekka-autolla. Osa varastopaikoista voi olla ns. talvivarastoja, joista helpipaalit kuljetetaan jäätyneen maan aikana. Pääosan varastoista tulisi olla kuitenkin sellaisten teiden varrella, joita voidaan ajaa läpi vuoden. Rekka-autoille on varattava varastojen läheisyyteen myös riittävän tilava kääntymispaikka. Paaleja noutavan rekka-auton on päästävä riittävän lähelle varastoa, koska paalit lastataan autoon rekan omalla kouranosturilla. Paalivaraston ulkoreunan etäisyys tiestä on enintään kahdeksan metriä.

Tämän tutkimuksen varastointikokeiden tulokset osoittivat, että pyramidimuotoisilla helpiaumoilla varasto on rakennettava täyskorkeaksi. Normaalilla viiden pohjapaalin pyramidiamalla ylin harjapaalikerros jätetään usein pois, koska esimerkiksi traktorin etukuormain ei aina yllä niin korkealle paalia nostamaan. Isommalla traktorilla voidaan täyskorkeita varastoja rakentaa (kuva 36). Harjapaalikerroksen puuttuminen lisää varaston sisällä olevien paalien kostumista

merkittävästi sekä peittämättömillä että peitetyillä aumoilla. Huolellisestikin peitetyillä aumoilla lumi ja vesi kerääntyvät auman päälle ja muodostavat kuvassa 33 esitettyjä vesipusseja, joista vesi valuu peitteen saumakohdasta tai peitteeseen syntyneestä reiästä aumaan ja nostaa muutamien alla olevien helpipaalien kosteuksia merkittävästi.



Kuva 36. Riittävän suurilla maataloustraktoreilla ja etukuormaajan paalipihdeillä on mahdollista tehdä täyskorkeita varastoja myös viisi pohjapaalia leveillä aumoilla.

Tämän tutkimuksen mukaan maasta noussut vesi kasteli varaston pohjakerroksessa olevia paaleja. Se voidaan estää eristämällä maakosketus erilaisilla varaston pohjustuksilla. Yleisesti pohjustukseen käytetään erilaisia puurakenteita, kuten trukkilavoja, rankoja ja risuja. Kiinteiden ja monivuotisten pohjakerrosten rakentamisen estää mm. paalivaraston rakennustapa eli pyramidin muotoiset varastot rakennetaan usein traktorin etukuormaajilla (kuva 37). Tällöin kiinteät pohjarakenteet estävät traktorin liikkumista ja pohjustus on rakennettava sitä mukaa kuin varasto kasvaa pituussuunnassa. Esimerkiksi metsätraktorin riittävän pitkällä kuormaajalla varastoja voidaan tehdä sivultapäin, jolloin myös kiinteiden pohjarakenteiden käyttö on mahdollista.

Pyöröpaalivarastoja tehtäessä on huomioita myös turvallisuus esimerkiksi varaston sortumisvaaran takia. Latomalla paaleja limittäin ei synny kuvan 37 tilannetta, missä yksittäiset paalirivit helposti kallistuvat ja mahdollisesti kaatuvat jo varastoa tehtäessä.

## 5. Ruokohelven varastoinnin kehittäminen



Kuva 37. Paalien varastoinnissa on myös omat turvallisuusriskinsä. Paalit on syytä latoa osin limittäin, jotta varasto pysyy hyvin kasassa. Alimmaisiet reunapaalit saattavat myös helposti siirtyä sivusuunnassa varsinkin kovalla tasaisella alustalla ja hajottaa koko varaston.

Nykyisin monet helven tuottajat tekevät kuvassa 38 esitettyjä paalivarastoja. Niissä paalit sijoitetaan päädyt varaston sivulle päin. Tehtäessä tällaisia varastoja traktorin etukuormaajalla täytyy varaston sivulla olla riittävästi tilaa traktorille. Paalien säilymistä näin rakennetuissa varastoissa ei seurattu tässä tutkimuksessa. Peittämättömissä aumoissa helpipaalien suojaamattomia päätyosia on suhteessa enemmän paljaana kuin pyramidipäätyisissä varastoissa. Tällöin suojaamattomat reunapaalit ehkä kostuvat herkästi olettaen, että päätyosien kautta vesi imeytyy helpommin paaleihin kuin paalien kehän lävitse. Näillä varastoilla auman päälle jää usein paljon tasaista aluetta, johon peitetyissä aumoissakin lunta ja vettä kerääntyy ja vesi valuu mahdollisesti auman sisään kastellen osan paaleista.



Kuva 38. Myös varastot, joissa paalien päädyt on sivulle päin, vaativat huolellisen peittämisen.

Varastoitaessa helpipaaleja pitkiä aikoja huolellisella aumojen peittämisellä saadaan paalit pysymään suhteellisen kuivina jopa seuraavaan kevääseen saakka. Peitemateriaalina käytetään yleisimmin muovia. Esimerkiksi 18 metriä leveällä muovipeitteelle voidaan peittää viiden pohjapaalin pyramidipäätyinen auma pituussuunnassa ilman saumoja. Muovipeite voidaan korvata maataloudessa käytetyillä kestopeliteillä. Tällaisia kestopeliteitä voidaan käyttää uudelleen useita vuosia. Se kuitenkin edellyttää, että varastoja purettaessa on peitteen poistossa oltava huolellinen. Talvitoimituksissa jäätyneen peitteen poistaminen ehjänä voi olla vaikeaa.

Helpivarastojon peitteet on kiinnitettävä huolellisesti, että ne pysyvät paikoillaan myös tuulisilla ilmoilla. Muovipeite rikkoutuu myös helposti, jolloin tuulet repivät sitä lisää hyvinkin laajoilta aloilta. Peitteen kiinnittämiseen voidaan käyttää auman yli kulkevia naruja, jotka voidaan sitoa joko varaston pohjapuihin vai käyttää erillisiä painoja narujen päissä. Turvemilla paaleja varastoitaessa peitteen helmojen päälle voidaan nostella maa-ainesta kiinnittämään ja kiristämään muovi hyvin auman päälle. Kivennäismaan käyttöä tähän on vältettävä, koska osa hiekasta ja kivistä lähtee varsinkin talvitoimituksissa paalien mukana laitoksille ja murskaimille.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Samuli Rinne

YTY-konsultointi

Tässä tarkastelussa helven toimituslogistiikka on yhdistetty helven käyttötapoihin, eli toimintaa on tarkasteltu laajemmin kuin pelkkinä helven teknisinä toimituksina. Voimalaitoksen helvenkäytön ajoittuminen eri vuodenajoille ja muu toimintaympäristö vaikuttavat siihen, miten logistiikkaketju on kannattavinta järjestää. Taulukossa 19 on kuvattu, miten toimintaympäristön ominaisuudet vaikuttavat toisiinsa, ts. tukevatko ne toisiaan. Lähtökohtina suosituksille ovat seuraavat pyrkimykset:

- voimalaitoksen polttoaineiden käsittelyjärjestelmän ja kattilan luotettava toiminta
- toiminnan ennakoitavuus ja johdonmukainen suunniteltavuus
- kuljetuksista mahdollisimman vähän häiriötä ympäristölle
- tehokas pääoman käyttö.

Taulukossa esiintyviä asiakohtia on myöhemmin tarkasteltu tarkemmin.



## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Taulukko 19. Ruokohelven toimintaympäristön ominaisuuksien vaikutus toisiinsa.

	Keskitetty keräilyvarasto	Kuljetusmatka > 100 km	Rautatiekuljetukset	Räätälöidyt kattilan syöttölaitteet	Helven osuus vuosikäytöstä yli 5%	Helpeä käytetään vain kesällä	Helpeä käytetään aina vakio-osuus koko polttoainekäytöstä	Helpeä käytetään aina vakioteholla	Helven käyttö vaihtelee muiden poltto- aineiden saatavuuden mukaan
Keskitetty keräilyvarasto		+	+			-			-
Kuljetusmatka > 100 km	+		+						
Rautatiekuljetukset	+	+		+		-		+	-
Räätälöidyt kattilan syöttölaitteet			+		+	-	+	+	
Helven osuus vuosikäytöstä yli 5 %				+		-	+	+	-
Helpeä käytetään vain kesällä	-		-	-	-				
Helpeä käytetään aina vakio- osuudella koko polttoainekäytöstä				+	+				
Helpeä käytetään aina vakioteholla			+	+	+				
Helven käyttö vaihtelee muiden polttoaineiden saatavuuden mukaan	-		-		-				

+ = suositeltava ympäristö

- = vältettävä yhdistelmä

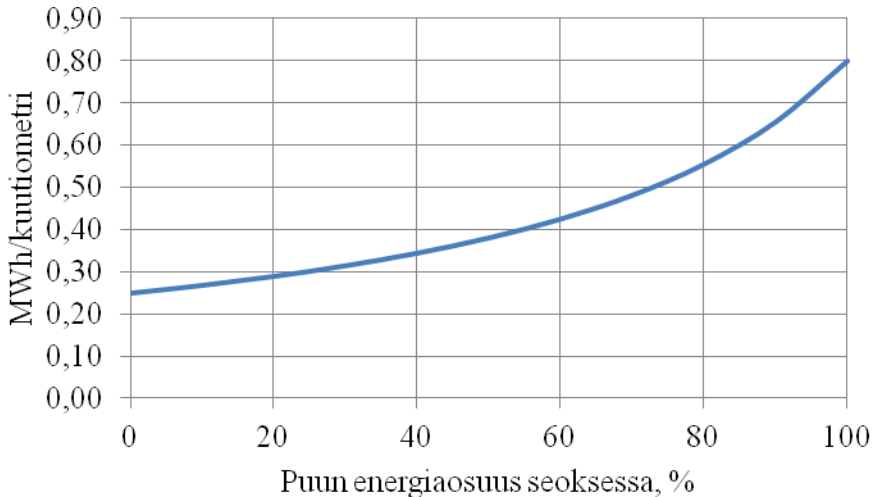
tyhjä = ei riippuvuutta

Seuraavissa kohdissa esitetään tarkempia perusteita ratkaisujen yhteensopivuudelle. Yleisesti ottaen kuljetusten kannalta edullisin on tilanne, jossa helpeä käytetään mahdollisimman tasaisesti läpi vuoden ja hyödynnetään juuri helvelle tarkoitettua kuljetuskalustoa ja käsittelylaitteita. Tämä on myös laitoksen varman toiminnan kannalta paras vaihtoehto. Edellytyksenä tälle on luonnollisesti laadun säilyttävä varastointi ja se, että helven käytön tulevaisuuteen voidaan luottaa, jolloin tarvittavat investoinnit uskalletaan tehdä.

## 6.1 Helven polttoaineominaisuuksista

Helpi korjataan Suomessa aina keväällä ennen kasvukautta, yleensä toukokuussa. Myös syyskorjuu olisi teknisesti mahdollista, mutta syyskorjatussa helvessä kloori- ja alkalimetallipitoisuudet ovat kattiloiden kannalta haitallisen suuria. Kevätkorjattu helpikin poikkeaa kuitenkin kemiallisilta ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan puusta ja turpeesta sen verran, että asia on otettava huomioon polttoaineiden käsittelyssä ja poltossa.

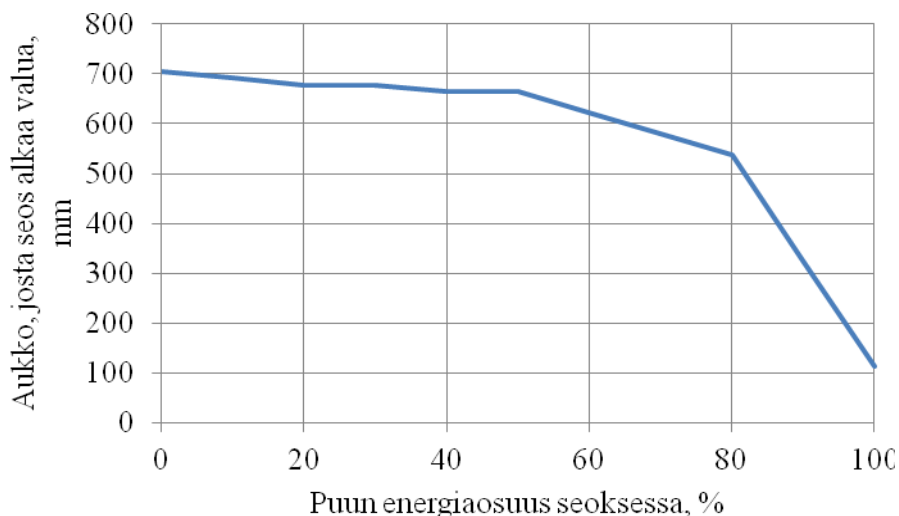
Silputun korsibiomassan energiatiheys on noin 0,2–0,3 MWh/m<sup>3</sup>, kun se puulla tai turpeella on 0,6–1,0 MWh/m<sup>3</sup>. Kuvassa 39 on esitetty puu-helpiseoksen laskennallinen energiatiheys puun energiaosuuden mukaan.



Kuva 39. Puu-helpiseoksen laskennallinen energiatiheys puun energiaosuuden mukaan. Helpisilpun mahdollista tiivistymistä puuhakkeen painamana ei ole otettu huomioon.

Samoin juoksevuusominaisuudet ovat helpisilpulla puuta tai turvetta huonommat, mikä merkitsee suurempaa alttiutta holvata pudotuspaikoissa ja jäädä sekoittumattomaksi muihin polttoaineisiin erilaisissa sekoitus- ja tasauslaitteissa ja -menetelmissä. Kuvassa 40 on esitetty puu-helpiseoksen holvautuvuus ruotsalaisten tekemissä kokeissa (Mattsson 1997). Kuten kuvasta havaitaan, puu-helpiseos alkaa holvata pelkkää puuta enemmän heti, kun helpeä aletaan sekoittaa puuhun ja 20 % helven kuivamassaosuudesta ylöspäin seoksen holvautuvuus vakioituu ja on tällöin noin viisinkertainen pelkän puun holvautuvuuteen verrattuna.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen



Kuva 40. Puu-helpiseoksen holvautuvuus puun kuivamassaosuuden mukaan. Kuivamassaosuus vastaa likimain energiaosuutta. Pystyakselin mm-lukema kuvaa, kuinka suureksi koelaitteessa olevan siilon pohjalla oleva kahden hihnan välinen aukko tulee avata, jotta seos alkaa valua siilosta ulos.

Laitoksen kuljettimien mitoituksesta riippuu, kuinka haitallisia edellä mainitut helpisilpun mekaaniset ominaisuudet ovat. Joillakin metsäteollisuuden laitoksilla, joilla kuljettimet on mitoitettu väljiksi kuorta tms. ajatellen, melko suuriakin helpiosuuksia on käytetty ongelmitta. Sen sijaan varsinkin alun perin turpeelle suunnitelluilla laitoksilla ongelmia voi tulla, koska kuljettimien mitoitusvaatimus polttoaineen energiatihedelle saattaa olla esimerkiksi  $0,8 \text{ MWh/m}^3$ . Karkeana nyrkkisääntönä on pidetty, että helpeä voidaan tavanomaisessa laitoksessa sekoittaa enintään 5 % puuhun tai turpeeseen kuljetinlaitteiden häiriöttömän toiminnan kannalta.

Myös kevätkorjatun helven tuhkan kloori, alkalimetallit ja pii voivat varsinkin yhdessä puun alkalimetallien kanssa aiheuttaa ongelmia, esimerkiksi tuhkan sintraantumista lasiksi. Turpeen tai kivihiilen kanssa poltettaessa ongelmat ovat vähäisempiä, koska alkalimetalleja on puuta vähemmän ja kyseisten polttoaineiden rikki sitoo helven tai puun alkalimetallit kattilan kannalta haitattomiksi sulfaateiksi ja toisaalta kloori vapautuu vetykloridina eikä kerry alkaliklorideiksi tulistimiin niitä syövyttämään. Näillä perusteilla suositellaan, että puun kanssa poltettaessa helpeä on enintään 10 % energiasta ja turpeen kanssa enintään 20 %. Huomattava on myös ”muisti-ilmiö” eli syövyttävien kerrostumien jääminen

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

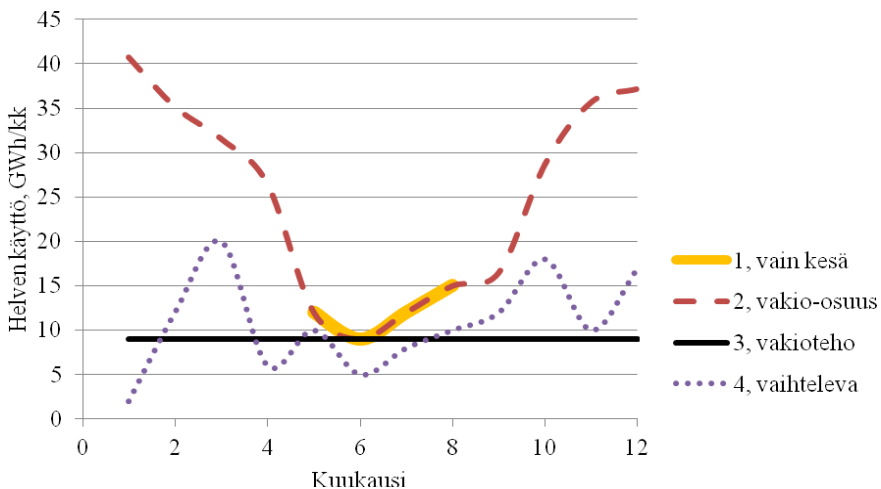
kuonakerrokseen ”varastoon”. Tästä syystä helven osuus ei saisi hetkellisestikään ylittää mainittuja.

### 6.2 Helven käyttö eri vuodenaikoina

Helven käytön tasaisuuden kannalta laitokset voidaan jakaa esimerkiksi neljään luokkaan. Käyttötavalla on suuri merkitys logistiikkaan. Tässä käytetyn ryhmitteilyn mukaan käyttötavat ovat seuraavat:

1. Helpi käytetään heti korjuun jälkeen tai kesän aikana.
2. Helpeä käytetään läpi vuoden siten, että osuus kuukausittaisesta polttoainekäytöstä pysyy vakiona.
3. Helpeä käytetään läpi vuoden siten, että absoluuttinen käyttömäärä esimerkiksi viikkotasolla pysyy vakiona.
4. Helpeä käytetään satunnaisesti sen ja muiden polttoaineiden saatavuuden, hinnan ym. mukaan.

Kuvassa 41 on esimerkki näiden käyttötapojen mukaisista helven käytön kuukausijakaumista.

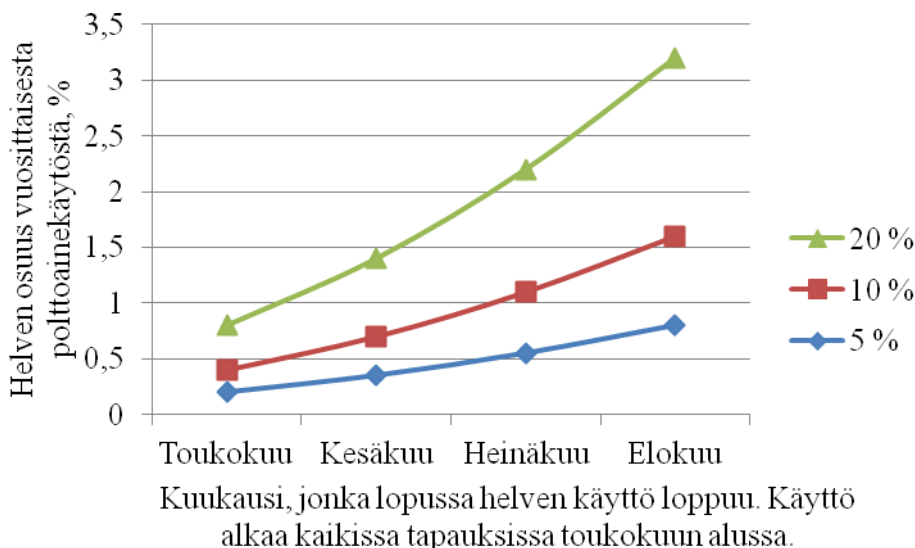


Kuva 41. Esimerkki helven käytön kuukausijakaumista vaihtoehtoisilla käyttötavoilla. Laitoksen koko polttoaineiden käytöksi on oletettu 3 TWh ja suurimmaksi hetkittäiseksi helven energiaosuudeksi 10 %.

### 1. Helpi käytetään heti korjuun jälkeen tai kesän aikana

Helpivarastojen peittäminen ei tässä tapauksessa ole välttämättä tarpeen. Toisaalta, tällöin tulee olla varma siitä, ettei peittämätön helpi jää talvella käytettäväksi. Helpivarastojen tulee myös olla sellaisten teiden varrella, että liikenne helpeä kuljettavilla rekoilla on kesällä mahdollista.

Helven käyttömahdollisuus kesällä on varsinkin kaukolämpövoimalaitoksilla melko pieni, koska polttoaineen kokonaiskulutus on pieni ja sitä pienentää vielä kesän huoltoseisokki. Kuvassa 42 on esitetty, kuinka suuri osa vuosikäytöstä voi olla helpeä, kun sitä rajoittavat joko kuljetinjärjestelmän sallima helven maksimienergiaosuus (5 % koko polttoainemäärästä) tai, kuljettimien ollessa riittävän väljiä, kattilakemian sallima osuus (10 % muun polttoaineen ollessa puuta tai 20 % muun polttoaineen ollessa turvetta). Lisäksi rajoitteeksi on otettu vaak akselilla oleva helven käyttöaika korjuuajankohdasta lukien (tässä oletettu toukokuun aluksi). Kuukausittaiseksi polttoainekäytöksi koko vuoden määrästä on tässä oletettu toukokuussa 4 %, kesäkuussa 3 %, heinäkuussa 4 % ja elokuussa 5 %.



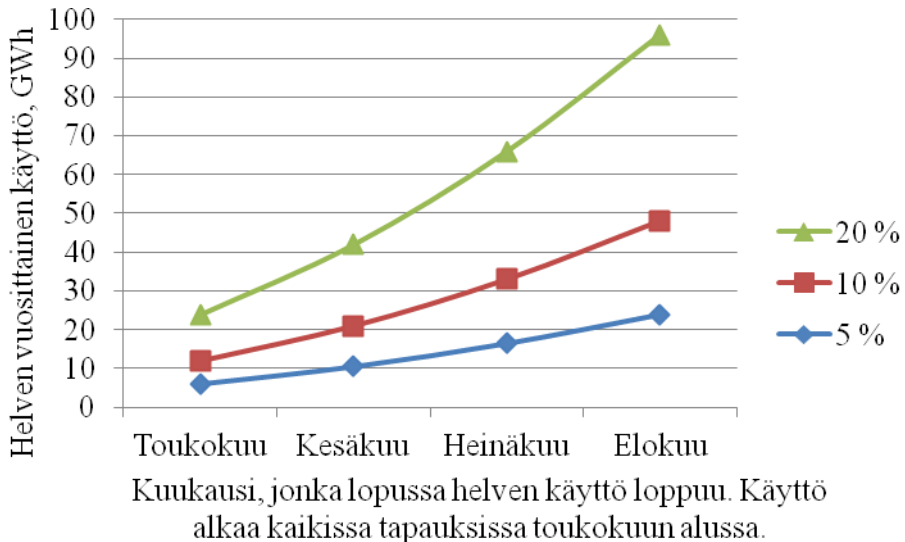
Kuva 42. Helven osuus koko vuoden polttoainekäytöstä, kun käyttö alkaa toukokuun alussa heti korjuun jälkeen ja jatkuu vaak akselilla olevan kuun loppuun saakka. Selitteessä osuus kuukausittaisesta käytöstä.

Koska monet laitokset käyttävät kesäaikana pääasiassa puuta, on 10 % lähellä keskimääräistä ”totuutta” tässä tapauksessa kattilan kannalta. Kaikissa kuvan 42

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

tapauksissa helven osuus vuositasolla jää pieneksi, noin 0,2–3,2 % kaikesta polttoainekäytöstä.

Kuvassa 43 on puolestaan sama logiikka sovellettuna kaukolämpövoimalaitokseen, jonka vuosittainen polttoainekäyttö on 3 TWh.



Kuva 43. Helven maksimikäyttömäärä vuositasolla, kun käyttö alkaa toukokuun alussa heti korjuun jälkeen ja jatkuu vaaka-akselilla olevan kuun loppuun saakka. Selitteessä osuus kuukausittaisesta käytöstä. Voimalaitoksen kokonaispolttoainekäytöksi on oletettu 3 TWh/a.

### 2. Helpeä käytetään läpi vuoden siten, että sen osuus kuukausittaisesta polttoainekäytöstä pysyy vakiona

Kaukolämpövoimalaitoksilla absoluuttinen käyttömäärä kuukausitasolla on tällöin siis kesällä pienempi kuin talvella, mutta käyttöä sinänsä on jatkuvasti. Helven maksimikäyttömäärä vuositasolla määräytyy suoraan hetkellisistä rajoitteista ja on siis 5–20 % koko polttoaine-energiasta. Suurin osa helvestä (esim. 90 %) joudutaan varastoimaan peitteiden tai katteiden alle ja kuljetusvälineiden käyttöasteen on mukauduttava kausivaihteluun, ellei tuottavuutta voida säädellä kausittain esimerkiksi ohjaamalla kesälle pidempien matkojen kuljetuksia. Käyttöasteen vaihtelu vuodenajan mukaan on toki tavallinen tilanne millä tahansa polttoaineilla. Huipunkäyttöaika sähköä ja lämpöä tuottavilla voimalaitoksilla on yleensä noin 5 000 h/a.

### 3. Helpeä käytetään läpi vuoden siten, että absoluuttinen käyttömäärä esimerkiksi viikkotasolla pysyy vakiona

Kustannusten kannalta ympäri vuoden tasainen peruskuorma kannattaisi hoitaa sillä polttoaineella, jonka tuotannossa ja käytössä kiinteiden kustannusten osuus on suurin ja tasata talven huippuja niillä polttoaineilla, joiden tuotannossa ja käytössä muuttuvien kustannusten osuus on suurin. Asian merkitys riippuu luonnollisesti siitä, kuinka suuri on laskentakorko tai pääoman tuottovaatimus. Käytännössä periaatetta sovelletaan esimerkiksi käyttämällä erillisiä öljylämpökeskuksia pakkaskeleillä huippukuorman kattamiseen.

Karkeasti ottaen jako voidaan tehdä esimerkiksi siten, että jos tulevaisuudessa on rautateitse kuljetettavia polttoaineita, niitä kannattaisi käyttää tasaisesti läpi vuoden (tai ainakin tässä esitetyn tavan 2 mukaan), koska rautatieliikenteessä kiinteiden kustannusten osuus on suurempi kuin maantieliikenteessä. Tämä pätee myös helpeen, eli rautateitse kuljetettava helpi voisi olla jatkuva, pieni osa polttoainekäyttöä. Helpi sopisi melko hyvin rautateillä kuljetettavaksi, sillä sen vuotuiset kuljetusmäärät tietyiltä kuormauspaikoilta ovat melko vakioita tässä kuvatuissa malleissa 2 ja 3, toisin kuin esimerkiksi metsähakkeella.

Jos helven absoluuttinen määrä olisi kuukausitasolla koko vuoden sama, se määräytyisi sen kuukauden mukaan, jolloin polttoaineita käytetään vähiten eli esimerkiksi kesäkuun. Aiemmin kesäkuun esimerkikikäyttömääräksi mainittiin 3 % koko vuoden käytöstä. Tämän mukaan laskien helven osuus koko vuoden polttoainekäytöstä olisi tasaisena virtana annostellen

- kuljetinlaitteiston rajoittamana  $5 \% \times 3 \% \times 12 = 1,8 \%$
- kattilakemian rajoittamana, jos muu polttoaine on puuta  
 $10 \% \times 3 \% \times 12 = 3,6 \%$
- kattilakemian rajoittamana, jos muu polttoaine on turvetta  
 $20 \% \times 3 \% \times 12 = 7,2 \%$ .

Samoin varastoitavuutta (varastoinnin kustannuksia) voidaan pitää yhtenä ohjaavana tekijänä sille, mitä polttoainetta kannattaa käyttää mihinkin vuodenaikaan. Kotimaisista polttoaineista turpeen varastoitavuus on paras, puun ja helven varastointi aiheuttaa enemmän kustannuksia. Varastointikustannukset (varastomaan arvo, pohjustus, kattaminen ja mahdolliset varastoinnin vaatimat siirrot) ovat toisaalta oikein toteutetussa varastossa melko vähäinen erä verrattuna esimerkiksi hiilidioksidipäästöoikeuksien hinnan aiheuttamiin polttoaineiden hintasuhteiden muutoksiin.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Tässä toimintamallissa helvestä pitäisi kunnolla kattaa syksyä ja talvea varten noin kaksi kolmasosaa.

### **4. Helpeä käytetään satunnaisesti sen ja muiden polttoaineiden saatavuuden, hinnan ym. mukaan**

Tämä on nykyään tavanomaisin tapa ja markkinalähtöisenä tavallaan suositeltavin. Kuitenkin, satunnaisuus aiheuttaa sen, että varastoinnin ja kuljetusten järjestely saattaa vaikeutua sen mukaan, miten helven kuljetukseen käytettävä kalusto käy muihin kuljetuksiin tai varastot muihin tarkoituksiin.

Samaa kalustoa voidaan käyttää helpipaalien ja hakettamattoman puun kuljetuksiin, joten kyseisen kaluston käyttöastetta ajatellen joustoa tilanteen mukaan voi tapahtua siinä, käytetäänkö helpi- vai puuvarastoja. Keväällä autoilla saattaa olla puunajosta vapaata kapasiteettia, joten helven ajo silloin joko terminaaliin tai suoraan laitokselle voisi olla hyvä lisätyö. Toisaalta ainakaan eräiden kokemusten mukaan tämä lisätyö ei käytännössä näy kuljetusten hinnassa. Laskennallisesti esimerkiksi vuotuisen tehollisen työajan lisäys 2 700 tunnista 3 000 tuntiin pienentää kuljetuskustannuksia vain noin 1 %, joten käytännön yhtäläisen hinta kummassakin tapauksessa on ymmärrettävää.

Jos helpeä kuljetetaan silppuna, saman ajatuskulun mukaan vaihtoehtoisia kuljetettavia polttoaineita kuljetusurakoitsijan kannalta ovat helpisilppu (sekoitettuna johonkin muuhun), hake ja turve ja näiden jako vuodenajan mukaan voidaan tehdä miten parhaaksi nähdään – kalustolle on aina käyttöä.

Mainitut ajatukset pätevät tilanteissa, joissa käytetään vain kotimaisia polttoaineita. Jos vaihtoehtoisena polttoaineena käytetään esimerkiksi kivihiiltä, tilanne muuttuu, koska kivihiilen kuljetuskalusto on yleensä aivan erilaista suuremmasta tilavuuspainosta johtuen kuin kotimaisten polttoaineiden,. Näin ollen kuljetusurakoitsijalle kivihiilen satunnainen käyttö on kotimaisten polttoaineiden vaihtelevaa käyttöä suurempi uhka kaluston käyttöasteelle ja työllisyyden ennakoinnille.

Varastoinnin kannalta helven satunnainen käyttö, olipa syy mikä tahansa, on aina hankala asia, koska on vaarana, että varastot jäävät käyttämättä. Tästä seuraa esimerkiksi se, että kovin kalliita kiinteitä varastorakennelmia ei kannata rakentaa, toisin sanoen koko helven logistiikkainfrastruktuurin tulisi olla kiinteiltä kustannuksiltaan mahdollisimman edullista.

Koko ajattelutapa muuttuu siis lyhytjänteisemmäksi kuin muissa vaihtoehtoisissa, mikä ei kannusta tekemään investointeja. Erityisesti seuraavat, lähinnä



pelkästään helvelle sopivat investoinnit jäävät toteutumatta, ellei varmuutta käytöstä ole (sen lisäksi, että itse viljely voi olla liian suuri riski):

- kiinteät varistorakennukset ja helpiterminaalit, ellei muuta käyttötarkoitusta ole
- kuljetuksen erikoiskalusto
- kuljetuksen pitkäaikaiset organisaatiot, erityisesti rautateillä
- voimalaitoksen erikoisvarustus, mm. pneumasiirtojärjestelmät ja erilliset korsibiomassakattilat.

Nämä investoinnit voisivat taata toimitusvarmuutta ja laatua pienemmin kustannuksin kuin yleiskalustoa käytettäessä. Toisaalta, yksittäisen investoijan näkökulmasta on ymmärrettävää, että esimerkiksi poliittisten päätösten tai kansainvälisten polttoainemarkkinoiden vaikea ennakoitavuus aiheuttaa sen, että kiinnostusta pitkäaikaisiin investointeihin ei ole.

### 6.3 Keräilyvarastot

Helven toimitusvarmuuden parantamiseksi ja mahdollisesti myös tuotantokustannusten alentamiseksi on esitetty ajatus keräilyvarastojen tekemisestä. Nämä olisivat keskitettyjä varastoja, joihin tuodaan helpipaaleja useammalta peltolohkolta.

Keräilyvarasto kannattaa tehdä ympäri vuoden kantavan tien varteen. Yksi vaihtoehto keräilyvaraston sijainnille on terminaali, jossa käsitellään muitakin polttoaineita. Tällöin esimerkiksi helpisilpun sekoittaminen puuhun tai puun ja helven samanaikainen murskaaminen käy luontevasti.

#### 6.3.1 Kuljetuksen kustannukset

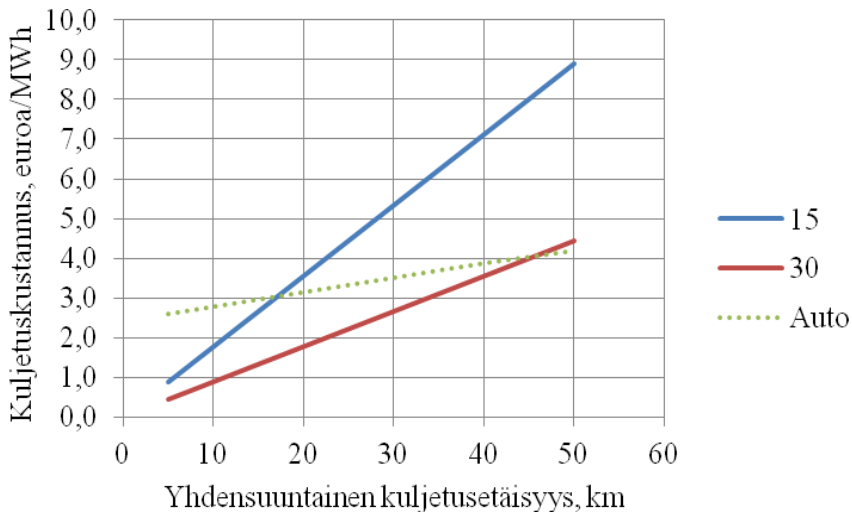
Keräilyvarastojen teossa voidaan käyttää jatkettua lähikuljetusta, toisin sanoen viedä paalit suoraan pellolta keräilyvarastoon ilman välivarastointia pellonlaitaan. Tällöin selvittää vähemmällä työvaiheilla. Menetelmä kannattaa yleensä lyhyehköillä kuljetusmatkoilla, mutta kannattavuutta pidemmällä matkoilla voidaan parantaa pidentämällä paaliperävaunua maksimimittoihin.

Traktorin peräkärriin mahtuu tehdyn kyselyn mukaan nyt keskimäärin 15 pyöröpaalia. Suurempikin kuorma olisi lain puitteissa mahdollinen. Traktorin ja kärriin suurin sallittu yhteenlaskettu pituus on 16,5 metriä. Jos traktori ja vetoaisa vievät tästä noin 6 metriä, mahtuu peräkkäin kahdeksan paalia. Jos niitä on kaksi

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

päällekkäin ja kaksi vierekkäin, mahtuu kärryyn 32 paalia eli reilu puolet siitä, mitä maksimikokoiseen täysperävaunulliseen kuorma-autoon.

Kuva 44 esittää jatkettun lähikuljetuksen laskennallisia lisäkustannuksia verrattuna siihen, että paalit jätettäisiin pellonlaitaan. Kuormauksen, purkamisen ja pellolla ajon kustannukset eivät siis ole tässä mukana, koska nämä kustannukset ovat olemassa joka tapauksessa. Traktorin suurin sallittu ajonopeus on 40 km/h, tässä on oletettu nopeudeksi 30 km/h. Traktorin ja kärryn tuntikustannusoletus on 40 €/h. Jatkettu lähikuljetus vaatii joko etu- tai puutavara-kuormaimellisen traktorin kuorman purkamiseksi, ellei esimerkiksi terminaalissa ole purkamiseen erillistä konetta. Kuvassa on vertailun vuoksi myös erillisen paalien autokuljetuksen hinta koskien halkaisijaltaan 1,2 metrin pyöröpaaleja. Laskelmassa ei ole otettu huomioon mahdollisen toisen, kuormaavan traktorin odotusaikoja.



Kuva 44. Helpipyöröpaalien jatkettun lähikuljetuksen ja autokuljetuksen hintoja. Selitteessä paalien määrä traktorin perävaunussa. Laskelmassa yksi pyöröpaali (halkaisija 1,2 m) = 1 MWh.

Näiden lähtöarvojen perusteella jatkettu lähikuljetus olisi siis kannattavaa erilliseen autokuljetukseen verrattuna noin alle 20 kilometrin kuljetusmatkoilla, jos traktorikuormassa on 15 paalia ja noin alle 30 kilometrin matkoilla, jos traktorikuormassa on maksimimäärä eli 30 paalia. Tämä siis siinä tapauksessa, että jatkettu lähikuljetus ei ole ylimääräinen työvaihe, vaan suuntautuu keräilyvarastolle, terminaalille tai voimalaitokselle, jonne paalit joka tapauksessa kuljetettaisiin.

Jatketun lähikuljetuksen soveltuvuutta arvioitaessa tulee vielä muistaa, että jos traktorilla ajetaan muuta ajoradalla kulkevaa liikennettä huomattavasti hitaammin, se voi heikentää liikenneturvallisuutta. Toisaalta, hidas nopeus, ellei siihen liity nopeuseroja muuhun liikenteeseen, yleisesti ottaen parantaa liikenneturvallisuutta ja pienentää päästöjä.

Hankkeessa tarkastellussa Tike-aineistossa ei havaittu merkittäviä keskittymiä potentiaalisten helpiviljelmien sijainnissa. Näin ollen ilmeisiä keräilyvaraston paikkoja ei myöskään voida osoittaa ainakaan peltokeskittymien perusteella. Keräilyvarastoille luontevat paikat olisivat joka tapauksessa ympäri vuoden kantavien liikenneväylien, joko maan- tai rautateiden varrella. Rautatiekuljetus vaatii esimerkiksi energiapuun kuljetuksissa mielellään noin 2 000 MWh:n erän kerrallaan. Helven paalikuljetuksissa kuljetettu energiamäärä voi olla pienempi, 1 000–1 500 MWh kerrallaan, jos lähtökohtana on se, että helpipaalit melko pienen energiatiheydensä vuoksi vaativat joka tapauksessa enemmän tilaa kuljetuksessa. Tämä johtaa helposti painon suhteen vajaakuormiin ja siksi paalien kuljetus on lähtökohtaisesti kalliimpaa.

### 6.3.2 Keräilyvaraston kustannuksista

Keräilyvaraston kannattavuus pellonlaitavarastoon verrattuna riippuu yleisesti ottaen

- näiden eri varastotyyppien saavutettavuudesta eri vuodenaikoina toisiinsa nähden
- toimitusvarmuuden arvostuksesta
- maan arvosta
- pohjustamis- ja peittämiskustannusten mahdollisista eroista
- peltolohkojen koosta
- keräilyvarastolla saavutettavista mahdollisista synergiaeduista muiden polttoaineiden käsittelyn kanssa.

Saavutettavuuden merkitystä on vaikea arvioida numeerisesti. Se ja toimitusvarmuuden arvostus riippuvat voimalaitoksen muusta polttoainekäytöstä. Jos helven osuus on melko pieni eikä sitä tarvitse jakaa tasaisesti ympäri vuoden, voidaan kelirikko- ja kesäaika hoitaa kokonaan muilla polttoaineilla kuin helvellä eikä tarvetta hyvän tien varrella olevalle varastolle ole. Tilanne on suomalaisilla

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

laitoksilla tällä hetkellä lähes poikkeuksetta kuvattunkaltainen. Toisaalta, jos korsibiomassojen käyttömäärät kasvavat ja niiden kilpailukyky muihin polttoaineisiin nähden paranee, tilanne voi muuttua. Verrattaessa pellonreuna- ja keräilyvarastoja voidaan olettaa, että keräilyvarastot voidaan keskimäärin rakentaa kantavampien teiden varsille ja kovemmalle maapohjalle kuin yhden viljelijän pellonreunavarastot.

Yksi keino parantaa saavutettavuutta keräilyvarastojen lisäksi olisi paremmin maastokelpoisten ajoneuvojen käyttö, käytännössä 6 x 6 -alustaisten kuorma-autojen. Niissä siis kaikki vetoautojen akselit vetävät, kun yleisin järjestely puutavara- ja risuautoissa nykyään on se, että takatelin molemmat akselit vetävät, mutta ei etuakseli. Vetävä etuakselikaan ei tietenkään ratkaise tilannetta kokonaan, jos kyse on tien heikosta kantavuudesta. Lisävetoakseli voi helpottaa pehmeistä paikoista pois pääsyä, mutta tiehen tulevat vauriot jäävät yhä ongelmaksi. Ne voidaan korjata, mutta kustannukset saattavat olla sen verran suuria ja suorien kustannusten lisäksi muuta harmia aiheuttavia, että vaihtoehtoiset tavat luoda toimitusvarmuutta saattavat olla suositeltavampia. Muita tapoja ovat siis esimerkiksi keräilyvarastot tai muiden polttoaineiden käyttö pehmeiden teiden aikaan.

Maatalousmaan arvo ostettaessa voi olla esimerkiksi 5 000 €/hehtaari, jos kyse on kaavoittamattomasta alueesta eikä sille ole nähtävissä vaihtoehtoja käyttöä rakennusmaana tms. Jos oletetaan, että alaltaan 7 x 1,2 metriä olevassa helpiauman yhdessä rivissä on 15 pyöröpaalia (jolloin pohjalla on viisi paalia) ja että maa-alan vuosituottovaatimus on 250 €/ha (5 % investoinnista), tulee varastoinnin viemän maa-alan arvon kautta laskien varastoinnin kustannukseksi pellonlaidassa 1,4 snt/MWh eli 0,05 % kaikista helven tuotantokustannuksista. Oletuksena tällöin on lisäksi, että paalien varastointi estää niiden vaatiman maa-alan käytön viljelyyn.

Vaikka laskennallinen varastoinnin kustannus on näin pieni, on esimerkiksi energiapuun varastoinnissa esitetty toisinaan toiveita kasojen mahdollisimman pikaisesta poisviennistä. Syy lienee enemmän psykologinen kuin taloudellinen. Paikoilleen ”unohtuneet” varastokasat luovat koko toimintaan epävarmuuden ja ei-ammattimaisuuden tuntua. Toisaalta, jos urakointimaksut riippuvat paalien viemisestä laitokselle virallisen mittauksen aikaansaamiseksi, voi käyttöpääomalle todellisesti tai piilevästi laskettava korko aiheuttaa paineita paalien ripeälle poisviennille. Ongelmien välttämiseksi tulisikin paalien logistiikasta vastaavan sopia aikatauluista ja niiden liikkumavarasta selkeästi etukäteen ja käydä varastoinnin kustannuksia maanomistajan kanssa läpi.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Maan arvo keräilyvarastossa voi periaatteessa olla sama kuin pellonlaidassa. Jos varasto kuitenkin on voimalaitosalueella asutuksen lähellä, maan arvo voi olla monikymmenkertainen. Melu- ja pölyhaitat ja kaupunkirakenteelta toivottava ihmisille avoimien toimintojen tiiviys ja saavutettavuus saattavat estää helven murskauksen ja vastaavan toiminnan, joten tältä kannalta joko pellonlaidat tai eitaajama-alueilla sijaitsevien keräilyvarastojen käyttö on suositeltavaa.

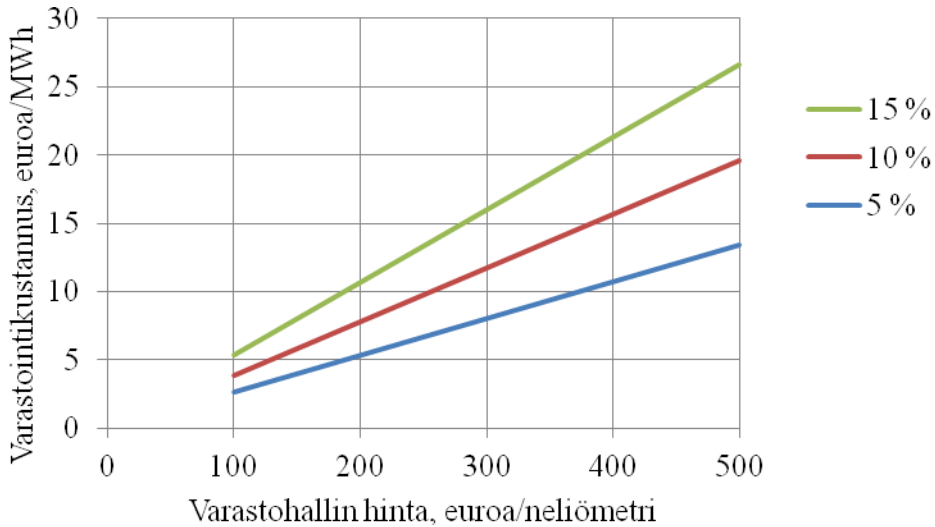
Pohjustuksen hinnaksi aluspuita käyttäen on arvioitu 0,2 €/MWh olettaen, että aluspuit kestävät viisi vuotta. Vaihtoehtona voi olla keräilyvarastossa tai etenkin terminaalissa varastokentän asfaltointi. Sen kustannukset melko tasaiselle maalle ovat noin 20 €/m<sup>2</sup> sisältäen pintamaan vaihdon kantavaan alustaan. Noudattamalla samaa laskentalogiikkaa kuin edellä saadaan asfalttialustaisen varastoinnin kustannukseksi 0,9 €/MWh, jos lisäoletuksena on 20 vuoden poistoaika asfaltointi-investoinnille. Näin ollen aluspuiden käyttö asfaltoimattomalla kentällä on helpipaaleilla taloudellisempi vaihtoehto kuin asfaltointi. Puuterminaalissa tilanne voi olla erilainen, koska jos hakekasoja kuormataan pohjia myöten, kuten käytännössä helposti tapahtuu, hakekasaan voi joutua kiviä ja muuta roskaa, joka aiheuttaa ongelmia laitoksella. Paalien kohdalla tämä ei ole mainittava ongelma, jos paalit ovat ehjiä ja aluspuiden alla oleva maa suhteellisen tasainen siten, ettei kouran piikkien väliin jää epähuomiossa esimerkiksi irrallisia kivenmurikoita.

Paalit on Suomessa peitetty perinteisesti muovipeitteellä, mutta esimerkiksi Tanskassa käytetään myös kiinteitä varastokatoksia oljelle. Toisaalta Tanskan oljenkäyttötavat ovat erilaisia kuin ruokohelven käyttö Suomessa tällä hetkellä. Tanskassa oljesta suuri osa ohjautuu pelkästään olkea käyttäviin laitoksiin, jolloin ympärivuotinen riittävän kuivan oljen saanti on välttämätöntä.

Suomessa helpihalli on rakennettu Kokkolan Voimalle. Se on kooltaan noin puoli hehtaaria ja kykenee varastoimaan laitoksen koko vuoden helven tarpeen.

Kylmien varastohallien rakentaminen maksaa noin 100–500 €/m<sup>2</sup> riippuen mm. kattokannattimien jänneväleistä, hallin korkeudesta ja maapohjan laadusta. Kuvassa 45 on laskettu hallin hinta varastoitua MWh:a kohden neliöhinnan mukaan. Laskentakorko on 5, 10 tai 15 %, pitoaika 20 vuotta, paalien kiertonopeus kerran vuodessa ja pyöröpaalien varastointitiheys 3 MWh/m<sup>2</sup>. Tässä tapauksessa paalit on ajateltu pinottavan päällekkäin siten, että ne peittävät hallin lattia-alan täysin. Pino on seitsemän metrin korkuinen ja yhtenäinen.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen



Kuva 45. Helpipaalien varastointikustannus hallissa. Investoinnin poistoajaksi on oletettu 20 vuotta, kiertonopeudeksi yksi varastointierä vuodessa ja laskentakoroksi selitteessä mainittu.

Hallin kustannukset ovat varsin suuria verrattuna muovilla peittämisen kustannuksiin, jotka ovat 1–1,3 €/MWh. Toisaalta halli on muovipeitteitä varmempi tapa estää paaleja kostumasta syksyllä ja talvella, mutta ero on tämäkin huomioiden ehkä liian suuri, jotta hallista voisi tulla vakiintunut käytäntö. Toisaalta, jos hallin kustannuksia saadaan jyvitettyä myös muulle käytölle, esimerkiksi konesuojana toimimiselle, halli voi olla kustannusmielessä perustellumpi.

Tiiviisti ladotuilla kantipaaleilla varastointikustannukset ovat noin 25 % pienemmät kuin pyöröpaaleilla, joille kuvan 45 kustannukset on laskettu. Pyörö- ja kantipaalien tiiviys on tällöin sama, ero perustuu pyöröpaalien väleihin jäävien tyhjien tilojen välttämiseen.

Yksi välimuoto irrallisille muovipeitteille tai pressuille ja kiinteälle katokselle voisi olla pressu, joka olisi toisesta päästään kiinni maassa olevassa telineessä tai painossa ja joka vedettäisiin paalipinon yli esimerkiksi puutavaranormaimella. Maatiloilla ongelma voisi tosin olla se, ettei riittävän ulottuvaa ja nostokykyistä puutavaranormainta ole yleensä saatavilla.

Puolikiinteää pressua ei tietävästi ole kokeiltu missään, mutta periaatteessa se voisi pienentää peittämiskustannuksia esimerkiksi 50 snt/MWh. Mekanismi pitäisi suunnitella sellaiseksi, että peite kestää vetämisen pinon yli ja sieltä pois ja asettuu siististi vaikkapa jousen vetämänä rullalle ollessaan käyttämättömänä.

Hiukan vastaavantyyppistä rullainlaitetta käytetään energiapuupinojen peittämiseen, mutta sen toiminta-ajatus on sikäli erilainen, että peittopaperi on kertakäyttöistä eikä sitä ole näin ollen vedetä rullalle takaisin. Laitteesta voisi kuitenkin kehittää mallin ”kestopeitteelle” lisäämällä siihen kiertojouset.

### 6.3.3 Helpikasojen peittämisen vaikutuksista

Peittämisen, tehtiinpä se sitten joustavin peittein tai kiintein katoksin, vaihtoehto-iskustannuksena voidaan pitää erilaisia haittoja, joita helven kostumisesta seuraa, tai näiden haittojen muin keinoin torjunnan kustannuksia. Haitat voivat olla seuraavanlaisia:

- tehollisen lämpöarvon pieneneminen
- mikrobien kasvun kiihtyminen, joka voi aiheuttaa hengityselinsairauksia työntekijöille
- korren heikko murskautuvuus, sitkeys
- silpun huono juoksevuus ja holvautumisherkkyyys
- välillisesti, yleisen laatua ylläpitävän moraalin heikkeneminen.

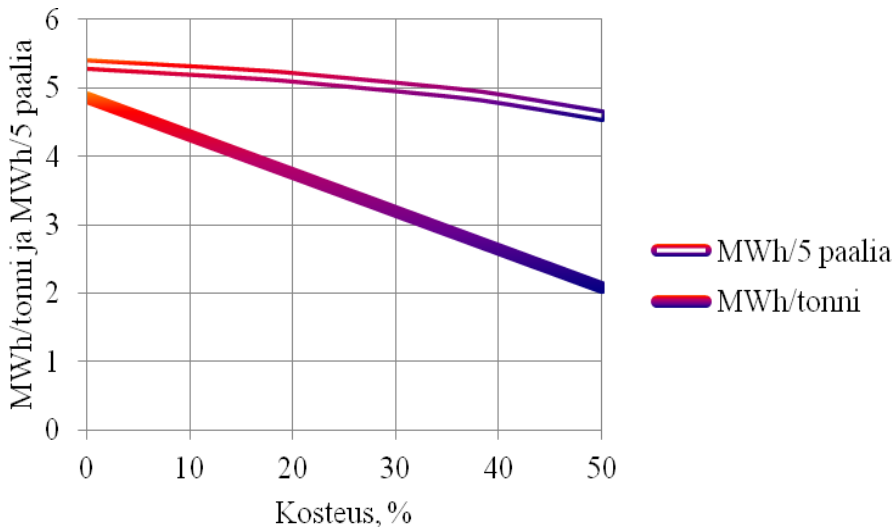
Helven kosteus peittämättömissä varastoissa vaihtelee riippuen paalin sijainnista varastoaukossa ja tarkasteltavan korren sijainnista paalissa. Pintakerros 5–20 senttimetrin syvyyteen asti voi olla märkä, kosteus jopa 80 %, vaikka keskiosat olisivat kohtuullisen kuivia (kosteus alle 20 %). Tanskalaisilla voimalaitoksilla hyväksyttävän kosteuden rajana pidetään 25:tä %, joten tämän luokituksen mukaan ilman peitettäkin varastoidut paalit olisivat sisäosiltaan kelpollisia käyttöön. Tutkimustuloksia ruokohelven varastoinnista on enemmän luvussa 5.

Liian suuren kosteuden aiheuttamien haittojen ja niiden poistamisen kustannuksia on esitetty seuraavassa.

#### 1. Tehollisen lämpöarvon pieneneminen

Kuvassa 46 on esitetty tehollisen lämpöarvon vaikutus sekä kuiva- että tuoremassaa kohden mitattuun energiasisältöön. Kuivamassaa kohden laskettu lämpöarvo vastaa likimain viiden halkaisijaltaan 1,2-metrinen pyöröpaalin energiasisältöä, koska niiden yhteenlaskettu kuivamassa on noin 1 000 kg.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen



Kuva 46. Ruokohelven kuiva- ja tuoremassaa kohden laskettu energiasisältö kosteuden mukaan. Viiden paalin kuivamassan energiasisältö ilmaisee samalla energiasisällön kuiva-ainetonnina kohden.

Helven kosteuden muutos 20 prosenttiyksiköllä 15 %:sta 35 %:iin pienentää tilavuutta kohden laskettua lämpöarvoa 5 %. Jos helven tuotantokustannukset kaikki työvaiheet mukaan lukien ovat 30 €/MWh kuivalla helvellä, merkitsee mainittu 5 % lämpöarvon menetys kostealla helvellä 1,5 €/MWh kalliimpia polttoaineen toimituskustannuksia.

Kuljetuksiin mukaan tulevan ”ylimääräisen” veden mukaantulo nostaa kuljetuskustannuksia, mutta melko vähän, ainakin jos kyse on paalien kuljetuksesta. Tällöin rajoittavana tekijänä kuormakoolle on tilavuus, ei paino, ellei helpi ole aivan erityisen märkää ja (kantti)paalit hyvin tiiviitä. Kuljetuskustannusten pieni nousu tulee polttoaineenkulutuksen noususta raskaammalla kuormalla. Tämä on täysperävaunullisella ajoneuvoyhdistelmällä noin 0,6 l/100 km/t. Jos pyöröpaalikuorma kuivilla paaleilla, kosteus 15 %, on 12,4 tonnia (50 MWh), painaa tilavuudeltaan vastaava helpimäärä 35 %:n kosteudessa 16,2 tonnia. 80 km:n kuljetusmatkalla (yhteen suuntaan mitattuna) tämä lisää polttoaineenkulutusta 3,7 litraa/kuorma. Dieselöljyn arvonlisäverottomalla hinnalla 90 senttiä/litra tämä on noin 6 senttiä/MWh.

Jos helpi kuljetetaan laitokselle silppuna seostettuna puuhun tai turpeeseen, tilanne on mutkikkaampi. Jos kuljetusyksikkö on tilavuudeltaan riittävän suuri kantavuuteensa nähden (tai seostetun helven määrä riittävän pieni), voi helven



seoskuljetuksissa tulla tilanne, jossa kuormakokoa rajoittaakin paino enemmän kuin tilavuus. Tällöin kosteuden merkitys kuljetuskustannuksiin on paljon suurempi kuin edellä mainitussa esimerkissä. Se voi 80 km:lla olla mainitulla 20 prosenttiyksikön erolla esimerkiksi 1 €/MWh.

Poltossa yleensä hukkaan menevä haihtunut vesihöyry voidaan lauhduttaa savukaasupesurissa ja näin saada sen sisältämä energia talteen. Tällöin kosteus ei enää pienennä prosessin hyötysuhdetta. Ratkaisu ei suomalaisilla voimalaitoksilla ole kuitenkaan kovin yleinen, sillä talteen saatu energia on matalaexergistä, lähinnä rakennusten lämmitykseen kelpavaa, eikä sitä voi pitää yhtä hyvänä kuin polttoaineen sisältämää, lähes kokonaan korkeaxergiseksi höyryksi muunnettavissa olevaa energiaa. Koska esimerkiksi kaukolämmöstä tuotetaan Suomessa noin 75 % sähkön ja lämmön yhteistuotantona, määräävät sähkön ja lämmön hintasuhteet paljolti ratkaisun kannattavuutta koko Suomen mittakaavassa. Pelkästään lämpöä tuottavilla, pesuria käyttävillä laitoksilla tätä ei tietenkään tarvitse ottaa huomioon. Sellaisiakin on kuitenkin Suomessa varsin vähän.

### **2. Mikrobin kasvun kiihtyminen**

Biomassan kosteuden ylittäessä 20 % (tai ilman kosteuden ylittäessä pysyvästi 70 %) ovat olosuhteet suotuisat erilaisille mikrobikasvustoille, kuten homeelle. Suuri kosteus voi aiheuttaa hengityselinsairauksia, jos työkoneiden kuljettajat altistuvat homepölylle.

Altistusta voidaan vähentää paitsi pitämällä kosteus riittävän pienenä, myös suodattamalla työntekijöiden tai muiden mahdollisesti altistuvien hengitysilma tai puhaltamalla pölyisen alueen ulkopuolelta otettua ilmaa työpisteeseen. Henkilökohtaiset suodattimet (kasvoille asetettavat) olisivat tehokkaita, mutta heikko käyttömukavuus estänee käytännössä niiden yleistymisen. Altistusriskiä tässä tapauksessa tuskin pidetään työntekijöiden keskuudessa niin vakavana, että työntekijät vapaaehtoisesti käyttäisivät kasvoille asetettavia suojaimia. Kookkaampi ja kalliimpi, mutta mukavampi vaihtoehto on ylipaineistaa traktorin tai nosturin ohjaamo ja suodattaa tuloilma. Rakennuksiin tarkoitettu monivaiheinen (kangassuodin – sähkösuodin – UV-valo), tehokas suodatin maksaa noin 2 000 €. Kangassuodatin on vaihdettava ja sähkösuodatin pestävä ajoin. Tällaiset suodattimet saattaisivat muissakin töissä kuin kostean helven käsittelyssä olla suositeltavia, sillä esimerkiksi energiapuuta käsiteltäessä on mitattu erittäin suuria ja raja-arvot reilusti ylittäviä haitallisten aineiden pitoisuuksia käsittelypaikalla.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Jos oletetaan, että mainittu 2 000 €:n suodatin kestää auton kuormaimen ohjaamossa viisi vuotta ja lisäksi sen huoltoon kuluu 200 € vuodessa, saadaan 30 000 MWh:n vuosisuoritteella suodatuksen hinnaksi 2 senttiä/MWh.

### 3. Korren heikko murskautuvuus

Korren on havaittu katkeavan heikommin, kun se on kosteaa. Kääntäen: kuiva korsi on hauraampaa ja murtuu helpommin. Tämän vuoksi kostea helpi jää silpuamisessa pidemmäksi ja voi aiheuttaa ongelmia murskauksessa ja erityisesti murskaimen jälkeisissä kuljetinlaitteissa.

### 4. Silpun huono juoksevuus ja holvautumisherkyys

Silpun huono juoksevuus ja holvautumisherkyys esimerkiksi puuhakkeeseen verrattuna ovat myös kuivan korsibiomassan ominaisuuksia, mutta tehtyjen havaintojen mukaan kosteus voi pahentaa ongelmia. Kun lisäksi korsibiomassan energiatiheys on aivan pölymäistä tuotetta lukuun ottamatta aina pienempi kuin puun tai turpeen, on tämä otettava huomioon laitoksella. Liian kosteuden aiheuttamien lisähaittojen rahallista arvoa on vaikea määrittää, mutta jos syöttölinja tukkeutuu eikä rinnakkaista kapasiteettia ole käytettävissä tukoksen purkamisen aikana, vahinko tuotannonmenetyksenä voi olla huomattava.

Kosteuden aiheuttamat lisäongelmat voivat hoitua ”sivutuotteena”, jos tehdään korsibiomassan ominaisuuksien vuoksi jokin seuraavista toimenpiteistä:

- Tasalaatuistaminen. 15–50 mm pitkä korsisilppu sekoitetaan pääpolttoaineeseen mahdollisimman tasaisesti ja toisaalta myös käyttö jaetaan mahdollisimman tasaiseksi läpi vuoden.
- Kuljettimien väljentäminen. Koko kuljetinlinjasto rakennetaan ottaen huomioon silpun ominaisuudet. Nykyiset linjat voidaan myös ohittaa esimerkiksi pneumasiirtoputkella suoraan kattilaan.
- Tiivistäminen. Korret puristetaan briketeiksi tai pelleteiksi tai jauheetaan erittäin pieneksi (< 1 mm), jolloin massa alkaa muistuttaa esimerkiksi sahapurua tai jyrshinturvetta.

Tasalaatuistaminen on nykyisin eniten käytetty tapa. Se toimii yleensä hyvin, jos korsibiomassan määrä suhteessa pääpolttoaineeseen on pieni, yleistäen alle 5 %. Jos kuitenkin halutaan hetkellisestikään suurempia osuuksia, on käytettävä muita

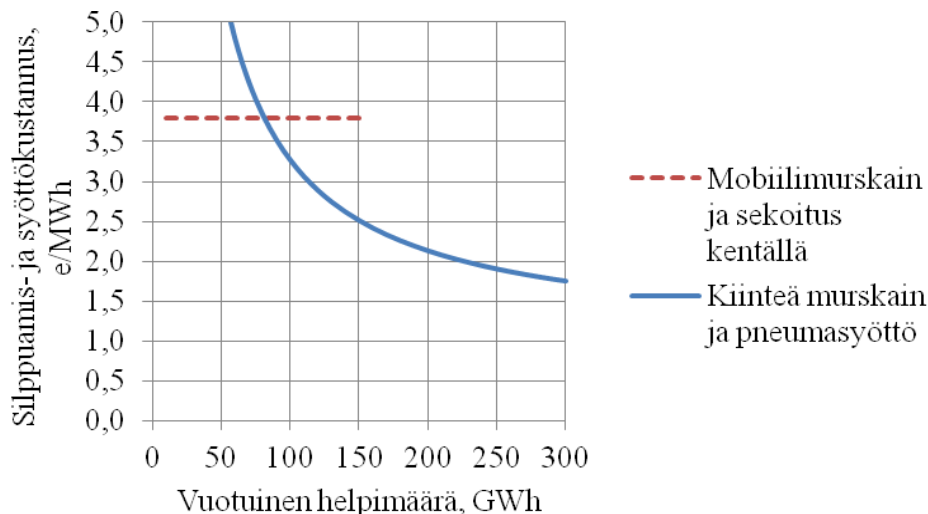
menetelmiä. Näistä pneumasiirto on käytössä Suomessa esimerkiksi Kokkolan ja Tanskassa Studstrupin voimalaitoksilla.

Myös Joensuun voimalaitoksella on tarkasteltu pneumasiirtolinjan kannattavuutta. Sen investointikustannukseksi hidaskäyntisellä murskaimella ja auto-kuorman vetävällä paalien syöttöpöydällä varustettuna on arvioitu noin 1,4 miljoonaa euroa. Tällöin pneumasiirtolinjoja on kaksi kattilan eri puolille, mikä tasoittaa palamista kattilassa ja tekee sen hallinnasta helpompaa. (Määttä 2010).

Pneumasiirtolinjalla vältetään erillinen murskaus ja sekoitus laitoksen pihalla. Näiden yhteishinta voi olla esimerkiksi 4 €/MWh. On myös huomattava, että muuhun polttoaineen sekoitetun helven käyttömäärä voi olla maksimissaan noin 5 % kokonaisenergiasta, joten erillisyttö on ainoa vaihtoehto suuremmilla käyttömäärillä.

Erillisyöttölinjan ja muuhun polttoaineen sekoituksen kustannuksia eri käyttömäärillä on vertailtu kuvassa 47.

Kuten havaitaan, erillisyötön ”kustannus” riippuu siitä, mikä on vuotuinen käyttömäärä. Yli 80 GWh:n määrällä kustannus on negatiivinen, toisin sanoen kiinteisiin laitteisiin perustuva järjestelmä on edullisempi kuin mobiililaitteiden käyttö.



Kuva 47. Ruokohelven murskauksen kiinteällä laitteella ja pneumasiirron kustannuksia eri vuotuisilla käyttömäärillä verrattuna laitoksen kentällä mobiililaittein tehtävän murskauksen ja sekoituksen kustannuksiin. Kiinteän murskaimen ja pneumasiirron muuttuviksi kustannuksiksi on oletettu 1 €/MWh. Pääoman korko on laskelmassa 10 % ja investoinnin kuoletusaika 10 vuotta. Laitoksen kaikkien polttoaineiden käytöksi on oletettu 3 TWh/a, mikä määrää helven maksimiosuuden.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

### 5. Yleisen laatumoraalin heikkeneminen

Energiapuutoimituksissa on havaittu, että vähiten epäpuhtauksia on puussa, joka haketetaan terävillä terillä tienvarressa. Tällöin palaute kivisyydestä tulee metsäpään toimijoille hakkurin käyttäjältä välittömästi. Sen sijaan voimalaitosmurskaimelle saatetaan viedä kivistäkin tavaraa, koska se ”sekoittuu” suurempaan kokonaisuuteen ja palauteketju katkeaa. Laadun heikkeneminen voi johtua myös siitä, että ajatellaan suuren voimalaitosmurskaimen sietävän hakkuria paremmin kiviä eikä siksi olla yhtä tarkkoja asian suhteen. Kun esimerkiksi kuormatraktorin kuljettajalla ei ole välttämättä tietoa, millä menetelmällä puu hienonnetaan ja toisaalta voimalaitosmurskaimen (ja laitoksen) kiviensieto saattaa vaikuttaa paremmalta kuin todellisuudessa onkaan, lopputuloksena voi olla, että kaikki toimitukset ovat keskimäärin kivisempiä järjestelmässä, jossa on sekä hakkureita että voimalaitosmurskaimia kuin järjestelmässä, jossa on pelkästään hakkureita.

Sama ilmiö voi olla riskinä myös helven kosteudenhallinnassa. Vaikka käytävissä olisikin ketju, jossa kosteudesta ei välttämättä ole kovin paljon haittaa (kuljetus paaleina, pölysuodattimet käsittelylaitteiden ohjaamoissa, erillissyöttö kattilaan), voi viesti välittyä helposti kentälle siinä muodossa, että kosteudella ei ole koskaan väliä. Tällöin myös sellaiset ketjut, joissa liika kosteus on erittäin haitallista, kärsisivät.

### Yhteenveto peittämisen vaihtoehtokustannuksista

Taulukkoon 20 on koottu peittämisen vaihtoehtokustannuksia, ts. kostean helven aiheuttamien haittojen tai niiden torjumisen kustannuksia.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Taulukko 20. Kostean helven aiheuttamien haittojen ja niiden torjumisen kustannuksia.

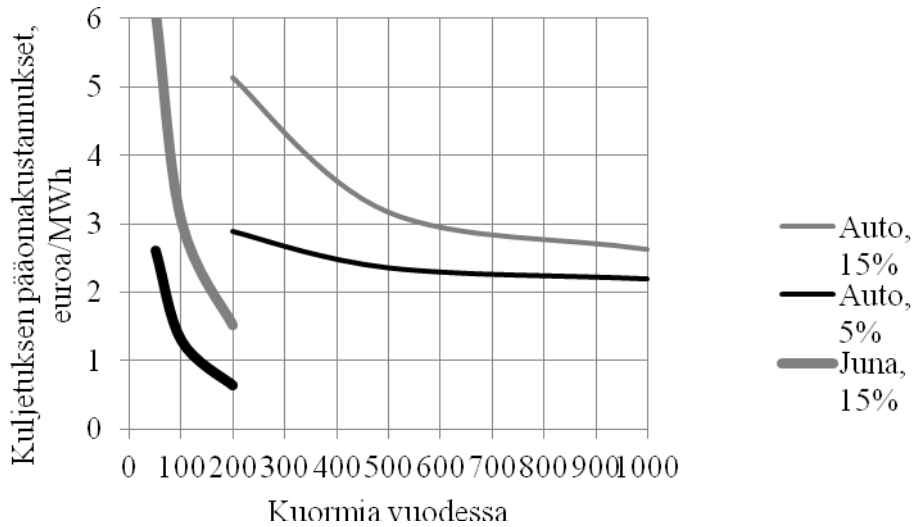
<b>Haitta</b>	<b>Torjunta</b>	<b>Tappio tai torjunnan kustannus, suuruusluokka</b>
Tehollisen lämpöarvon pieneneminen	Lämpöä tuottavissa laitoksissa savukaasupesuri	Lämpöarvon pieneneminen ei-pesuri-laitoksissa 1,5 €/MWh, kuljetuskustannusten nousu 0–2 €/MWh
Mikrobikasvun kiihtyminen	Suodattimet työkoneiden ohjaamoihin	Noin 700 €/a/kone, jos kone ammattikäytössä alle 10 snt/MWh
Korren heikko murskautuvuus	Oma syöttölinja	50 GWh/a, 1,8 €/MWh, 100 GWh/a, -0,5 €/MWh (suurilla määrillä erillislinja kannattaa siis joka tapauksessa)
Silpun huono juoksevuus ja holvautumisherkkyys	Oma syöttölinja	
Laatumoraalin heikkeneminen	Tehokas tiedotus sopivien menetelmien tapauskohtaisuudesta	Voi olla suuri, ellei kaikilla laitoksilla ole erillissyöttöä

### 6.4 Helven kuljetukset

Aiemmin mainittu voimalaitosten helven käyttötapa vaikuttaa kuljetusten pääomakustannuksiin. Kuvassa 48 on havainnollistettu asiaa. Laskennan lähtötietoja ovat seuraavat:

- Täysperävaunullisen auton hinta 300 000 € (helvelle sopivat kiinteät lavat ja puutavarakuormain), käyttöikä 3 000 kuormaa, kuormassa 50 MWh
- Veturin ja 20 vaunun hinta 5 000 000 € käyttöikä 30 vuotta, kuormassa 2 500 MWh.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen



Kuva 48. Kuljetuskaluston pääomakustannuksia erilaisilla vuosittaisilla kuormamäärillä ja laskentakoroilla. Kokonaiskustannuksien saamiseksi näihin tulee vielä lisätä työvoima-, polttoaine-, huolto-, vakuutus- ja hallintokustannukset sekä liikevoitto. Pääoma- eli kiinteiksi kustannuksiksi on tässä laskettu vain kaluston poisto, mutta käytännössä myös esimerkiksi vakuutuskustannukset ja osa työvoimakustannuksista voi olla kiinteitä.

Jos helpeä käytetään kaukolämpövoimalaitoksessa siten, että käyttö on koko ajan vakio-osuus muusta polttoainekäytöstä eli absoluuttinen määrä on talvella huomattavasti suurempi kuin kesällä, kuljetuskaluston käyttöaste on tyypillisesti noin 60 % maksimista. Esimerkkinä tämän vaikutuksesta kuljetuskustannuksiin voidaan ottaa tapaus, jossa täysin tasaisen kuormituksen tapauksessa ajettaisiin 800 kuormaa vuodessa, mutta kausivaihtelu huomioiden siis noin 500. Tämä lisää kuljetuskustannuksia noin 20–50 senttiä/MWh laskentakorosta riippuen.

Kuvasta 48 voidaan nähdä myös laskentakoron suuri vaikutus kustannuksiin erityisesti pienillä kuljetusmäärillä. 5 % on yleisesti käytetty suhteellisen riskittömille investoinneille, mutta joidenkin yritysten pääoman tuottovaatimus on 15 %. Erityisesti korkealla pääoman tuottovaatimuksella olisi erittäin tärkeää saada varmuus kaluston kohtuullisesta käyttöasteesta.

### 6.4.1 Nykyisen autokannan soveltuvuus helven kuljetuksiin

Uusimmat risu-kantoajoneuvoyhdistelmät ovat yleensä suurimmissa lain sallimissa mitoissa, toisin sanoen pituus 25,25, leveys 2,55 ja korkeus 4,2 metriä.

Kuormatilojen sisäpituudet voivat tällöin olla vetoautossa esimerkiksi 6,8 metriä ja perävaunussa 13,4 metriä. Autojen hyötytilavuudet ovat suurimmillaan noin 155 kehys-m<sup>3</sup>. Koko yhdistelmään mahtuu kaksi pyöröpaalia rinnan ja kaksi päällekkäin asetettaessa maksimissaan laskennallisesti noin 60 paalia eli tuorepainona noin 15 tonnia eli noin 60 MWh. Käytännössä kuormat ovat olleet keskimäärin hieman pienempiä, esimerkkinä eräällä laitoksella keskimäärin 13,2 tonnia eli 43 MWh. Kantipaaleilla kuormat voivat olla suurempia, laskennallisesti parhaimmillaan 90 MWh, käytännössä tähän saakka esimerkiksi 70 MWh. Mainitut laskennalliset kuormakoot pätevät tiiviille paaleille.

Yhdistelmän ulkomittoja ei voi käytännössä lisätä, ellei lakia muuteta, mikä lienee epätodennäköistä. Toisaalta paalien kuljetukseen käytännössä ei aina käytetä ulkomitoiltaan lain sallimia suurimpia autoja. Tällöin valitsemalla näitä autoja voidaan kuormakokoja jonkin verran lisätä.

Muutoin kuljetuksen tehostamismahdollisuuksia voivat olla

- lattian madaltaminen (kehittämismahdollisuus ei ole kovin suuri)
- seinien ohentaminen (kehittämismahdollisuus ei ole kovin suuri)
- tiivistämismekanismit
- sen varmistaminen, että kuormat päästään hakemaan aina perävaunun kanssa, ei pelkällä vetoautolla
- kuormauksen ja purkamisen nopeuttaminen tai tekeminen muuten edullisemmaksi
- kustannusten pienentäminen (edullisempi kalusto, polttoainekulutuksen pienentäminen, kaluston kestoajan pidentäminen ym.)
- itse paalien tiiviyden parantaminen.

### **Lattian madaltaminen**

Lattiakorkeutta voi madaltaa rakentamalla lavan pohja niin lähelle renkaita kuin mahdollista. Tämän määrää vaadittu joustovara renkaiden päällä, eikä kuormatilan korotusmahdollisuuksia tarkoitukseen tehdyissä autoissa enää juurikaan ole. Lavan pohjaa kannattelevat poikkipalkit rakennetaan yleensä suoraan kiinni perävaunun runkopalkkeihin tai vetoauton apurunkoon, jolloin poikkipalkkien yläpinta on pitkittäisten runkopalkkien yläpinnan tasolla. Pitkittäispalkkien madaltamista eivät puolestaan lujuusvaatimukset mainittavasti salli.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Lavan sisäkorkeus voi tosin olla tätä maksimia huomattavasti pienempi puuta-varapankollisissa autoissa, joista on tehty tilapäisesti risujen, paalien tms. ajoon sopivia asentamalla niihin lisälaidat. Tällöin kuormatila on 10–15 cm matalampi kuin varta vasten irtotavaraa varten rakennetussa laidallisessa kuormatilassa, koska pankkojen poikkipalkit ovat rungon pitkittäispalkkien päällä ja lattia tulee puolestaan pankkojen päälle.

Toinen tapa saada lisäkorkeutta kuormatilaan on pienentää rengaskokoa. Rengskoot pyritään valitsemaan mahdollisimman hyväksi kompromissiksi mataluuden (pienet renkaat) ja hyvän maastoliikkuvuuden (suuret renkaat) välillä. Kärkyissä yleisesti käytettyjä rengaskokoja ovat 265/70 x 19,5 ja 275/70 x 22,5 tuumaa. Eroa näiden välillä on muutama senttimetri. Ruotsissa käytetään perävaunuissa vielä pienempiä renkaita 17,5-tuumaisella vanteella, mutta ne on yleisesti katsottu liian pieniksi suomalaisille metsäteille.

Jotta runko olisi tasakorkea, on perävaunun etutelin renkaiden oltava pienemmät kuin takatelin renkaiden, koska etutelin täytyy mahtua kääntymään eturungon alla. Eturenkaat voivat olla sikälikin pienemmät, että etutelille tulee pienempi kuorma kuin takatelille. Toisaalta useiden rengaskokojen pitäminen varastossa lisää pääomakustannuksia, varsinkin kun vetoauton renkaat ovat vielä eri kokoa, hiukan suurempia kuin kumpikaan mainituista.

Lattiatason madaltamisen mahdollisuudet on siis käytännössä käytetty nykyisissä irtotavaran kuljetukseen tehdyissä yhdistelmissä. Toisaalta matalammasta lattiasta olisi hyötyä vain silloin, kun paalikerroksia saadaan lisää. Tämä voi toteutua lähinnä matalilla kanttipaaleilla tai silloin, kun suurihalkaisijaiset pyöröpaalit menisivät muuten yli kuormatilasta.

### **Seinien ohentaminen**

Lavan seinän on lain mukaan kestettävä kuorman sivullepäin aiheuttamaa painetta puolet kuorman painosta eikä käytännössä taipumakaan saa olla liian suuri. Näistä vaatimuksista voidaan johtaa seinän pystytolppien minimipaksuus. Se on tehdyissä rakenteissa ollut pienimmillään noin 30 mm, eikä tämän alle voida juuri mennä varsinkaan ilman, että taipuma kuormitettaessa kasvaa liian suureksi. Tällöin lavasta tulee ”tynnyri”, jos kuorma aiheuttaa runsaasti painetta sivuille päin eli erityisesti helposti juoksevilla tai kuormaimella tms. lavalle tiivistettävillä materiaaleilla. Liian ohuet pystypalkit myös lisäävät ylä- ja alapään hitsausliitosten rasituksia ja saattavat näin lyhentää lavan kestoikää. Toisaalta paksumpiakin rakenteita on, varsinkin siinä tapauksessa, että käytetään puutavara-auton lisälaitoja,



jolloin kuormatilan menetys leveysuunnassa voi olla esimerkiksi 15 cm. Tällä on jo ratkaiseva merkitys siihen, mahtuuko kaksi pyöröpaalia rinnan. Näin ollen tässäkin mielessä on suositeltavaa käyttää autoja, joissa on kiinteä, mahdollisimman ohutseinäinen lava. Tällöin lavan sisäleveys vetoautossa ja perävaunun etuosassa on korkeintaan 2 490 mm, käytännössä hieman vähemmän, jos jätetään pieni taipumavara. Ohuet pystyprofiilit tarkoittavat sitä, että lavan pitkittäisten yläpalkkien ja niiden kiinnityksen lavan päihin on oltava tukevat.

### **Kuormaimen ulottuvuuden lisääminen**

Koska kärkyt ovat suurimmissa autoissa pitkiä, ei kuormaimella ylety niiden takaosaan. Perävaunuissa onkin hydraulisylinterillä tai -moottorilla edestakaisin liikuteltava sisälava samaan tapaan kuin pyöreän puutavaran perävaunuissa pituus suunnassa siirrettävät takapankot. Perävaunun takaosa jää muuta lavaa kaapeammaksi, koska sen täytyy mahtua liukumaan etulavan sisällä. Kavennus on vähintään noin 10 cm. Se haittaa paalien sovittelua rinnakkain, mutta pitkässä kärkyssä sisälava on välttämätön. Ulottuvuudeltaan pidemmät kuormaimet voisivat olla ratkaisu, jos perävaunu haluttaisiin pitää tasaleveänä koko pituudeltaan, toisin sanoen välttämättä liukumekanismilta. Yli 10 metrin etäisyydelle ulottuvia kuormaimia ei kuitenkaan juurikaan ole autoissa käytössä, vaikka teknisesti lisäulottuvuus on mahdollinen. Ilmeisesti on katsottu, että liikkuvassa puomistossa lisäpaino on kalliimpi ja haitallisempi kuin staattisemmassa perävaunun lavarakenteessa.

### **Kuorman tiivistäminen**

Kuormaa olisi mahdollista tiivistää erilaisilla laiteratkaisuilla, mutta tiivistimet ovat toistaiseksi jääneet muutamiin kokeiluyksilöihin. Helpipaalien kuljetukseen käytetyillä autoilla voidaan ajaa lisäksi irtohakkuutähteitä, risutukkeja, pienpuuta, puistorisuja, kantoja, rakennus- ja purkujätettä, tasauspätkiä ja jätepaaleja. Jotkin näistä materiaaleista ovat sellaisia, että mahdollisista tiivistyslaitteista on enemmän haittaa lisäpainon ja lisäkustannuksen muodossa kuin hyötyä. Esimerkiksi kantojen tiivistysmahdollisuudet on todettu huonoiksi rakenteiden rikkoutumisvaaran vuoksi. Sama koskee todennäköisesti myös rakennus- ja purkujätettä. Risutukkien ja jätepaalien ajossa tiivistinlaitteiston paino syö jo suorastaan nettokuormaa. Näistä syistä tiivistyslaitteiston kannattavuutta mietittäessä on otettava huomioon, paljonko kuljetettavasta määrästä on sellaista, jossa tiivistyslaitteistosta ei ole hyötyä. Helpipaalien tapauksessa puristusvoiman pitäisi myös

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

olla suuri, ennekuin kuorma puristuisi merkittävästi, vaikkakin esimerkiksi kolmannen pyöröpaalikerroksen puristaminen kahden päälle saattaisi olla kohtuullisin rakentein mahdollista.

### **Auton liikkumiskyvyn parantaminen**

Nuppikuormien välttämiseksi pitäisi autokaluston pystyä liikkumaan perävaunun kanssa ”paikkaan kuin paikkaan”. Tämä toteutuu periaatteessa sitä paremmin, mitä enemmän painoa on vetävillä ja ohjaavilla aksleilla. Joitakin yhdistelmiä on tehty 8 x 4 -vetoautolla, jossa siis kaksi akselia vetää ja kaksi ohjaa. Vetoauton kuormatilan pituus voi olla tällöin esimerkiksi 8,7 metriä tavanomaisen noin 7 metrin sijasta. Kun ohjaava akseli on takimmaisena, kääntösäde saadaan pidettyä riittävän pienenä. Vetoauto on tässä ratkaisussa suhteellisesti painavampi ja perävaunu kevyempi kuin tavanomaisessa toteutuksessa, jossa vetoautossa on kolme akselia ja perävaunussa neljä.

Yksi vaihtoehto olisi 6 x 6 -alusta, jossa kaikki kolme akselia vetävät, mutta tällaisia ei tiettävästi ole käytössä paalien ajossa, hakkurialustoina kylläkin. Lisäpainostaan ja -hinnastaan huolimatta tällainen ajoneuvo, jossa kaikki akselit vetävät, saattaisi olla sopiva esimerkiksi silloin, kun ajetaan melko lyhyitä matkoja vaikkapa terminaaliin. Paino ei sinänsä tule helpipaali- yms. kuljetuksissa vastaan, mutta vetävän etuakselin lisähinta ja tavanomaista suuremmat huoltokustannukset pitää huomioida ajoneuvon kannattavuutta arvioitaessa.

### ***Kuorman purkamisen nopeuttaminen***

Kuormaimella purkaminen kestää vain noin 20 minuuttia (itse purkaminen), eikä esimerkiksi kipillä voida näin ollen saavuttaa merkittävää ajansäästöä. Hidaskäyntisten murskien syöttöpalkistolle voi kipata kuorman, mutta tällöin murska pysähtyy kippauksen ajaksi, jos palkkikuljettimelle on ajettava peräpurkua varten. Tällöin kapasiteetti kärsii. Lisäksi kipatessa kuljettaja ei voi enää poimia kuorman purkuvaiheessa mahdollisesti havaitsemiaan kiviä, rautoja yms. Tämän vuoksi kuormainpurku on hidaskäyntisellä murskalla yleisesti käytetty ratkaisu. Helpipaaleissa ei kuitenkaan ole niin paljon epäpuhtauksia kuin esim. metsätähteessä ja kannoissa, joten kippaus murskan syöttimelle voisi olla mahdollinen. Sopivia autoja, joissa olisi peräpurku tai sivukippi ja kuormain lastausta varten, ei kuitenkaan ole yleisesti käytössä eivätkä myöskään murskaimien syöttökuljettimien sijoittelut mahdollista sivukippausta. Paalien epämääräisellä järjestyksellä

kippauksen jälkeen ei ole merkitystä, jos murskain on hidaskäyntinen ja suurella syöttöpöydällä varustettu.

Terminaalivarastoon purettaessa kippipurku ei välttämättä olisi kovin hyvä vaihtoehto, sillä järjestykseltään epämääräinen, matala kasa veisi paljon tilaa. Tietenkin kasaa olisi mahdollista korottaa kuormaimella kippikuorman päälle, mutta kokonaisuuden tarkoituksenmukaisuus on tällöin varsin kyseenalainen.

### 6.5 Rautatiekuljetukset

Helpipaalien kuljetukseen sopivaa laidallista vaunukalustoa on tällä hetkellä niukasti. Fat- ja lähes vastaavat Fakks-vaunut ovat periaatteessa sopivia, mutta ne ovat usein kiinni sivutuotteiden ajossa ja pienehköjä paalien painoa ajatellen. Niiden tilavuus on noin  $150 \text{ m}^3$  ja kantavuus noin 50 tonnia, joten täysi kuorma tulisi tilavuuspainolla  $330 \text{ kg/m}^3$ . 1,2 metrin pyöröpaaleja vaunuun mahtuu laskennallisesti noin 100, jolloin kuormapaino olisi noin 20 tonnia. Taulukossa 21 on esitetty muutamia muita mahdollisia laidallisia ja puutavarapankollisia vau- nuja ja niillä laskennallisesti saavutettavia kuormia.

Näistä paalien kuljetukseen on kokeiltu ainakin Hkb-vaunua.

Autokuljetusta pienempi ero paalityyppien välillä johtuu siitä, että vaunujen leveydestä jää kanttipaaleilla käyttämättä melko suuri osa. Näin käy pyöröpa- leillakin, mutta niitä voi asettaa pyöreiden ansiosta hiukan ”lomittain”, kanti- paaleja ei. Noin 15 % suurempi kuorma olisi tosin saatavissa kanttipaaleilla lait- tamalla ne syrjälleen (paalien korkeus 70 cm, leveys 120 cm).

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Taulukko 21. Nykyisten rautatievaunujen laskennallisia kuormakokoja. 1,2 metrin pyöröpaalin energiasisällöksi on oletettu 1 MWh ja 1,2 x 0,7 x 2,4 metrin kantipaalin 1,5 MWh. Suluissa olevat arvot ilmoittavat mahdollisen kuorman, kun kuormatilaa on laajennettu mahdollisella apukehyksellä. Paalien on oletettu olevan hyvällä nykytekniikalla tehtyjä, tiiviitä ja ehjiä ja huolellisesti lastattuja.

Vaunun tunnus	Käyttötarkoitus tai malli	Kuormatilan mitat			Suurin kuorma, t	Kuorma pyöröpaaleilla, MWh	Kuorma kantipaaleilla, MWh
		Pituus	Leveys	Korkeus			
Hkb	Avovaunu sivutolpilla	12,8	2,86	2,02	27	50 (75)	75
Fat	Hakevaunu	2 x 9,5	3,0	2,7	50	100	105
Habbin	Sahatavara-vaunu, avattavat kevytlaidat	24,5	3,24	3,7	59	150	155

Avovaunuissa kuormatilan korkeus tarkoittaa tolppien yläreunaan mitattua korkeutta. Kaikki vaunut eivät aivan sellaisenaan käy helpipaalien kuljettamiseen. Avovaunuissa paalit on sidottava kiinni kuormaliinoin.

Kuorman purku mainituista vaunuista vaatii puutavarakuormaimen. Kuormain ei sikäli ole ongelma, sillä paalit puretaan kaukokuljetusvälineistä nykyäänkin lähes poikkeuksetta puutavarakuormaimella.

Habbin-vaunu on suurin VR:n tämänhetkisistä vaunuista ja se on siksi otettu mukaan taulukkoon, vaikka se nykymuodossaan onkin helpipaaleille liian ”hieno”, ts. helposti vaurioituva kuormatessa ja purettaessa. Pyöröpaalit olisi siihen asetettava pystyyn, tasainen puoli vaakatasoon esitetyn kokoisen kuorman aikaansaamiseksi. Kuorman teko vaunuun voi olla hieman hankalaa, koska si-vuunkin siirrettyjä peitteitä pitää varoa ja Habbinkin täytyisi kuormata ja purkaa todennäköisesti puutavarakuormaimella, koska paalipihdeillä varustettu trukki tai pyöräkuormaaja olisi varsin hidaskäyttöinen tällaisessa työssä, jossa käsiteltävänä on paljon pienehköjä, kevyitä paaleja.

Pyöreän puun junakuljetus maksaa keskimääräisellä 270 km:n matkalla 2,3 snt/m<sup>3</sup>km (Metsäteho 2010). Oletetaan, että vaunussa on keskimäärin 50 tonnin puukuorma eli arviolta noin 70 m<sup>3</sup>. Tällöin vaunukuorman kuljetuksen hinta

olisi 435 €kyseisellä matkalla. Tästä suoraan laskien esimerkiksi kuljetus Fatvaunulla maksaisi 4,3 €/MWh, jos vaunussa on 100 MWh:n kuorma. Hinta on vain suuntaa-antava, todelliset kustannukset riippuvat mm. kuljetusmääristä, kuljetusten yksikkökoosta ja säännöllisyydestä jne.

Junakuljetuksissa kustannusten nousu matkan mukaan on melko loiva, joten esimerkiksi 100 km:n matkalla kustannukset saattaisivat olla em. kalustolla ja kuormakoolla 2–2,5 €/MWh. Tähän on lisättävä ylimääräisen käsittelyn hinta eli noin 50 snt/MWh/käsittelykerta puutavara-kuormainta käytettäessä ja vielä mahdollinen lisä kuormaimen ulottuvuutta pidempien siirtojen tekemisestä varastolla pyöräkuormajalla. Toisaalta, jos paalit tuodaan traktorilla suoraan pellolta keräilyvarastoon, ei näitä lisiä tule laskea junakuljetuksen hintaan vertailtaessa sitä autokuljetukseen – tulevathan samat kuormausvaiheet myös autokuljetuksen tapauksessa.

On kuitenkin huomattava, että kalustoa sopivasti muuttamalla kuljetuskustannuksia olisi potentiaalia pienentää huomattavasti helpipaalien tapauksessa. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi siten, että nykyisiin avovaunuihin rakennetaan mitoiltaan mahdollisimman suuret laatikot, jotka vain asetetaan olemassa olevan pohjan päälle. Näin ne olisivat helposti poistettavissa vaunujen mahdollista muuta käyttöä varten. Umpiseinät eivät liene aivan välttämättömät, mutta toisaalta ne poistavat rikkinäisten paalien aiheuttaman harmin ja vähentävät helven varisemista esim. asema-alueille.

Esimerkiksi kaksiakselinen Hkb-vaunu olisi sopiva helpivaunun alusta. Siinä on lattia valmiina, joten lisävarustus koostuisi sivu- ja päätyseinien muodostamasta kehikosta. Koska kantavuutta jää tässäkin ratkaisussa kuitenkin käyttämättä, olisi uusi tai vanhoista jatkettu, pitkä kaksiakselinen vaunu yksi mahdollinen ratkaisu, jolla vaunun rakenne saataisiin optimoitua vastaamaan kuljetettavaa tavaraa. Tällöin voitaisiin kuormakokoa nostaa noin 50 % nykyisin mahdollisesta Hkb-vaunun kuormasta, ja kuljetuskustannukset putoaisivat kolmanneksen nykytilanteesta. Tosin ”paaliseinien” lisäkustannus söisi etua jonkin verran, mutta jos ajo olisi säännöllistä, ko. lisäkustannus ei olisi kovinkaan merkittävä.

Tällä hetkellä veturinkuljettaja vain ajaa veturia eli esimerkiksi turpeen autokuljetuksissa oleva käytäntö, jossa kuljettaja kuormaa auton terminaalissa olevalla pyöräkuormajalla, ei käy. Tulevaisuudessa veturinkuljettajan työnkuva laajentunee, mutta ei välttämättä kovin pian. Jo nykyään käytössä oleva mahdollisuus on vaihtotyönjohtajan kauko-ohjaama veturi, jolloin ratapihalla ei tarvita veturinkuljettajaa erikseen, vaan vasta lähdetessä linjalle. Veturinkuljettajan toimenkuvan mahdollinen laajentuminen voi tehdä rautatiekuljetusta edullisemmaksi.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen

Junakuljetuksissa on mielellään etukäteen tiedettävä, paljonko tavaraa on tulossa ja mistä, sillä junille on kyettävä varaamaan Liikennevirastosta kulkuvälit aikataulusta jo pitkän aikaa etukäteen. VR:n kannalta olisi hyvä, että varattava kalusto todella olisi käytössä niin paljon kuin on suunniteltu. Helpi on tässä mielessä hyvä kuljetettava, sillä sato tulee vakiopaikoilta ja suurin piirtein samansuuruisena vuosittain, joten kuljetusten suunnittelu on helppoa niiltä osin. Luonnollisesti myös voimalaitoksen kannalta koko toimituksen ennakoitavuus on suuri etu.

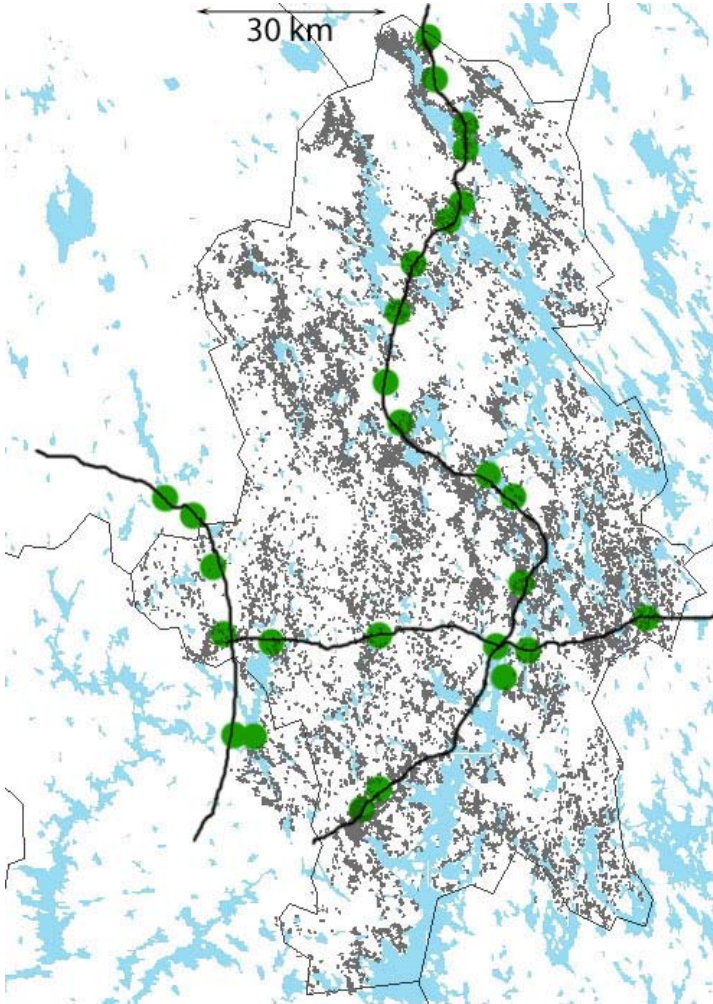
Sinänsä ei ole kovin merkityksellistä, onko tavara useassa ”pienessä” terminaalissa, joissa kussakin käydään vaikkapa kerran viikossa kuin yhdessä suuressa, jossa käydään esimerkiksi joka päivä. Tärkeää sen sijaan on, että kultakin paikalta tuleva määrä osataan likimain arvioida esim. vuodeksi eteenpäin ja se, että kuhunkin junaan saadaan vähintään noin 2 000 MWh tavaraa yhdeltä tai korkeintaan kahdelta asemalta. Tällöin voidaan käyttää edullisia kokojunakuljetuksia. Yhden tai kahden vaunun haku liikennepaikalta kerrallaan ei tule kysymykseen.

Aiemmin esitetty jatkettu lähikuljetus- ja keräilyvarastoajatukset sopisi hyvin junakuljetusten yhteyteen. Ongelmaksi voi tosin muodostua asemien sijainti. Asemat ovat historiallisista syistä yleensä lähellä melko lähellä asutusta, joten tilaa suurille varastoille ei välttämättä ole. Myös melu ja pöly sekä terminaali-toiminnoista että liikenteestä saattavat häiritä lähiseudun asukkaita.

Toisaalta Äänekoski–Haapajärvi-radnan varrella on esimerkiksi lähellä Pihtipudasta Seläntauksen liikennepaikka, joka on tällä hetkellä suljettu, mutta jonka kunnostaminen on ollut esillä. Seläntauksessa olisi tilaa hyvin ja asutus seudulla on harvaa. Myös joitakin muita vastaavantyyppisiä paikkoja on jonkin verran, varsinkin juuri kyseisen radnan varrella.

Kuvassa 49 on esitetty kuormauspaikkoja ja peltolohkojen sijainteja Keski-Suomessa. Kaikki kuvan kuormauspaikat eivät ole käytössä eivätkä peltolohkot helvenviljelyssä, mutta kuva antaa suuntaa, miten potentiaaliset paikat sijaitsevat toisiinsa nähden. Merkittäviä peltokeskittymiä ei juuri ole, mutta toisaalta ratojen läheisyydessä on melko paljon peltoa, joten ainakin teoriassa junakuljetukset voivat olla hyvä mahdollisuus.

## 6. Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen



Kuva 49. Rautatiekuormauspaikkojen ja peltolohkojen sijainteja Keski-Suomessa.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Timo Järvinen, Teuvo Paappanen & Ismo Tiihonen  
VTT

Biomassojen nopean kosteusmittauksen kehittäminen on uudelleen intensiivisen kehittämisen kohteena biopolttoaineiden energiakäytön kasvaessa. Kosteuspitoisuuden kautta voidaan laskea polttoaineiden energiasisältö esim. saapumistilassa. Kosteusmittauksia tarvitaan kenttävarastojen laadun ja luovutuksen valvonnassa, toimituksen yhteydessä polttoainetoimittaja ja -käyttäjä -rajapinnassa, laadunvalvonnassa laitosvarastoinnissa ja (poltto)prosessin ohjauksessa. Kussakin tilanteessa vaaditaan erilaisia mittauksia: kolmessa ensin mainitussa useimmiten näytteestä tapahtuvaa kosteusmäärittystä ja prosessihallinnan yhteydessä ns. online-mittausta. Biomassojen kosteusmittauksen haasteet ovat edelleen samat: kosteus on epätasaisesti jakautunut usein jo näyte- tai mittauserässä ja erillisissä biomassapartikkeleissa ja kosteus (vesimolekyylit) on suurimmaksi osaksi huokosissa, kuitujen ja solukkorakenteiden sekä solujen sisällä. Lisäksi vesi on usein jäässä. Kun mitataan ruokohelvin kosteutta, niin määrittys tehdään tuotantovaiheessa paalauksen yhteydessä, varastoinnin alku- tai loppuvaiheessa ja/tai toimituksen yhteydessä sekä mahdollisesti helpipaalin murskauksen jälkeen, kun silppu syötetään käyttävän laitoksen käsittely- ja syöttöjärjestelmään. Polttoainetoimittajan kannalta olennaista on, että helvin kosteus mitataan välittömästi polttoaineen luovutuksen jälkeen so. toimittaja-käyttäjä-rajapinnassa. Polttoaineen käyttäjän kannalta on tärkeää tietää kosteus sekä energiapohjaisen maksuperusteen että käsiteltävyyden ja polttoprosessin vuoksi. Määrittäminen tulee olla nopea, joten siihen ei riitä kosteuden standardin mukainen määrittäminen, jossa kosteusnäyte kuivataan lämpökaapissa ( $105 \pm 2$  °C) vakiopainoon, joka kestää 12–24 h riippuen



näytteestä ja lämpökaapista. Lisäksi mittauksen tulee olla riittävän tarkka niin, että sopijapuolet voivat sen hyväksyä.

Koska kosteusmääritys helpin tuotanto- ja toimitusketjun eri vaiheissa tehdään useimmiten paaleista, niin ratkaiseva kysymys kosteusmäärityksen luotettavuuden kannalta on, kuinka helpipaalista saadaan edustava näyte kosteusmittaukseen erityisesti tilanteessa, jolloin paalin kosteushajonta kasvaa. Paalin tuotantoaikainen kosteushajonta on pieni ja helpi on kuivaa (~ 10–20 m-%). Varastoinnin aikana helpipaali saattaa kostua riippuen varastointitavasta. Tällöin paalin sisäinen kosteushajonta voi kasvaa huomattavaksi vaikeuttaen edustavan näytteen saamista.

Tutkimukset tavoitteena oli tutkia instrumentaalianalyysien soveltuvuutta ja tarkkuutta ruokohelvin kosteusmäärityksessä sekä selvittää painomittauksen käyttöä kosteusmittausmenetelmänä. Lisäksi tutkittiin näytteenottotavan ja kosteushajonnan merkitystä paalin keskikosteuden määrittämisessä.

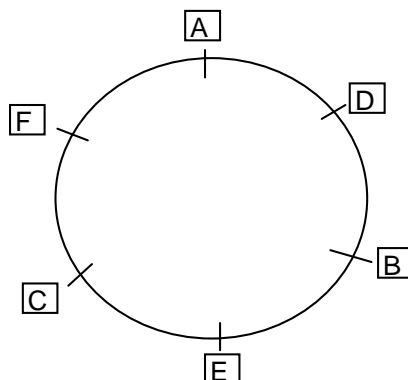
### 7.1 Kosteusmittausmenetelmät

Nopeaan kosteuden mittaukseen voidaan käyttää hyvin monenlaisia menetelmiä, esimerkiksi laajaa aluetta sähkömagneettista spektriä (gamma, röntgen, ir, rf, mikroaalto), sähkökentän ominaisuuksien muutoksen mittaukseen perustuvia menetelmiä, ydinmagneettista resonanssia (NMR) ja neutroniabsorptiomenetelmää ja jopa neutroniaktivointianalyysiä (NAA). Koska mahdollisia tekniikoita on paljon, niin ei pelkästään kehittämisessä, vaan myös soveltuvan tekniikan valinnassa on tehtävä fysikaaliseen tietoon, soveltuvuuteen ja mittausalueeseen liittyviä rajoituksia. Lisäksi useimmiten merkittävimmän puitteen asettavat investointi- ja käyttökustannukset.

### 7.2 Paalien näytteenottotavoista ja kosteushajonnoista

VTT:lle Jyväskylään tuotiin toukokuussa 2010 kaksi kappaletta koepaaleja eräästä syksyllä 2009 tehdystä koeaumasta (Vatasen auma) Konnevedeltä, jossa oli kaikkiaan 24 kpl syksyllä merkittyjä ja punnittuja pyöröpaaleja. Lopuista 22 paalista tehtiin näytteenotto leikkaamalla ja kairaamalla kentällä. Em. kahdesta koepaalistä näytteenotto tapahtui leikkaamalla ja kairaamalla kuvan 50 mukaisesti Jyväskylässä. Toinen koepaali (nro 1) oli peitetystä ja toinen peittämättömästä (nro 2) aumasta. Paali 1 oli silmämäärin hyvinkin kuiva, kun taas paali 2 oli selvästi kostunut.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 50. Leikkausnäytteenottoa ja kaavio näytteenoton suunnista toisesta (kuivasta) koepaalista. Kuiva paali merkitty 1:sellä.

Suunnista A, B ja C otettiin näytteet leikkaamalla (puukkonäyte) 10 cm:n välein 50 cm:n syvyyteen ja suunnista D, E ja F puolestaan otettiin näytteet kairamalla 10 cm:n välein 50 cm:n syvyyteen (kuva 50). Kaikista näytteistä tehtiin sekä instrumentaalimääritykset NMR-laitteella että standardikosteusmääritykset.

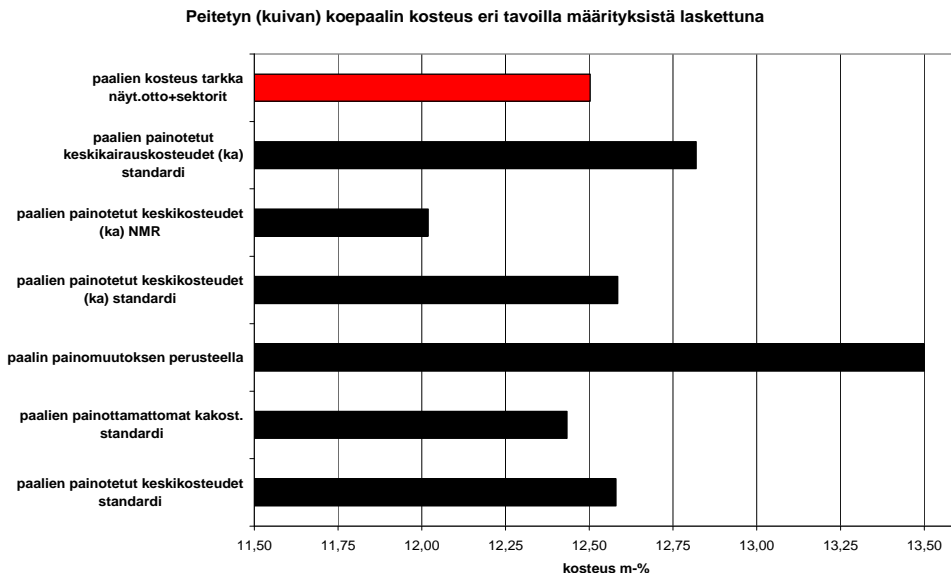
Kummankin paalin kostuneesta ja kuivasta osasta (sektorista) laskettiin erikseen kosteudet kerroksittain painotettuna ja niiden painotetuista keskiarvoista saatiin paalin todellinen keskikosteus perustuen näytteenottoon kuudelta suunnalta kerroksittain paalin keskiosan poikkileikkauksesta. Ainakaan kuivan paalin (nro 1) osalta paalin päällys- ja pohjaosan kosteudet eivät näyttäneet poikkeavan keskiosan kosteudesta (kosteusjakautumasta). Kosteaa paalin osalta tätä eroa on vaikea arvioida, mutta paalit olivat olleet aumassa ”makaavassa” asennossa. Tällöin sektoriperustainen kostumisen laskenta antaa todennäköisesti kohtuullisen approksimaation paalin keskikosteudesta.

Paalien keskikosteudeksi ja kosteuksien hajonnoiksi tarkimmalla menetelmällä (6 suuntaa 10 cm:n välein 50 cm:n syvyyteen ja sektorikostumisen huomiointi) saatiin kuvan 51 mukaiset tulokset. Kuvassa 52 ja 53 on esitetty eri menetelmillä ja laskentatavoilla saadut kummankin koepaalin keskikosteudet. Kuivan ja kostean paalin osalta leikkausnäytteistä (kolme suuntaa) standardikosteusmäärityksellä ja kerroksittain painotetulla kosteuslaskennalla pitäisi saada tarkin tulos so. lähes sama kuin tarkimmalla menetelmällä. Kuivalla paalilla tarkin menetelmä antaa paalin keskikosteudeksi 12,50 ja kolme suuntaa leikkausnäytteillä 12,59 m-% sekä kairausnäytteillä 12,82 m-%. Kostealla paalilla vastaavat arvot ovat 39,00, 38,53 ja 41,38 m-% (kuva 53).

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

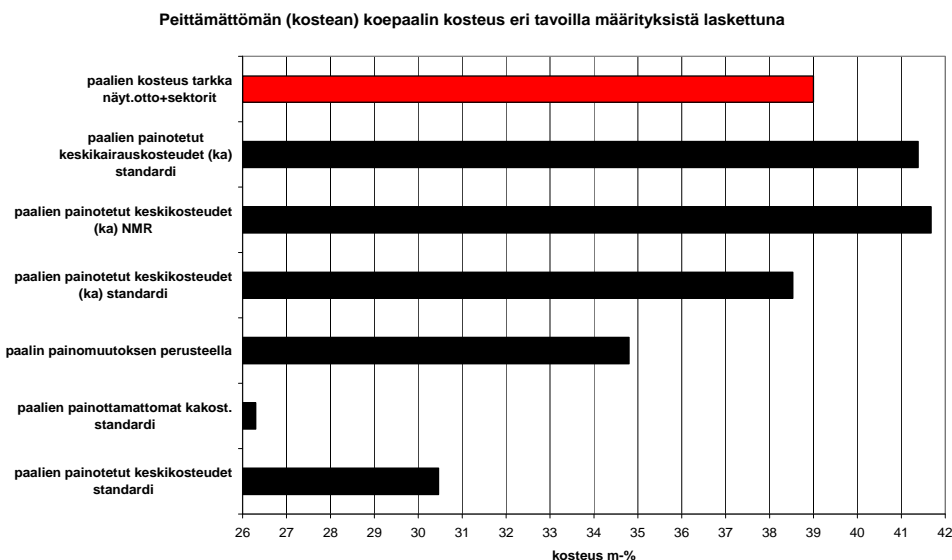


Kuva 51. Koepaalien keskipasteudet ja kaikkien mittauksien kosteushajonnat.



Kuva 52. Kuivan paalin keskipasteus eri menetelmistä eri laskentatavoilla.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 53. Kostean paalin keskikosteus eri menetelmistä eri laskentatavoilla.

Kuivalla tarkasti mitatulla koepaalilla leikkaus- ja kairausnäytteet tuottivat absoluuttisesti lähes vastaavan tuloksen kuin tarkimmalla menetelmällä saatu paalin keskikosteuspitoisuus. Suhteellinen virhe on vähän suurempi keskikosteuden pienen arvon takia. Kostealla paalilla virhe on kairausnäytteellä suurempi sekä absoluuttisesti (2,38 prosenttiyksikköä) että suhteellisesti (6 %), mutta leikkausnäytteillä huomattavan pieni sekä absoluuttisesti (0,47 prosenttiyksikköä) että suhteellisesti (1 %). Yksittäisen näytteen koon kasvu on todennäköisesti nostanut tarkkuutta.

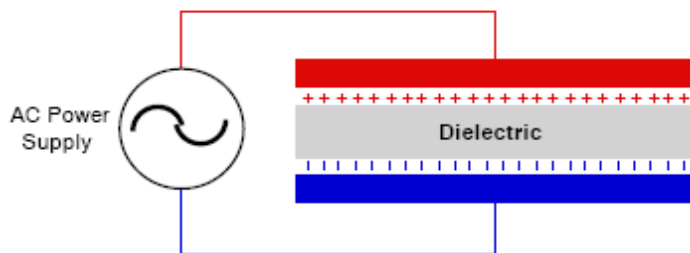
### 7.3 Tutkimukseen valitut kosteusmittaustekniikat

Tutkittaviksi instrumentaalianalyysimenetelmiksi valittiin mikroaalto-, NMR- ja kapasitiivisiin menetelmiin kuuluvat laitteet. Valinta perustui siihen, että mikroaaltolaitteista löytyy jo sovelluksia helpin kosteuden mittaukseen (tanskalainen DSE) sekä myös suomalainen laitetoimittaja (Senfit). NMR-mittauksesta oli kehitetty Vaisala Oyj:n toimesta at-line-mittaussovellusta biomassoille ja kapasitiivista mittaria oli jo paljon sovellettu helpipaalin mittaukseen ja em. menetelmään perustuvalla laitteella on myös suomalainen laitetoimittaja (Farmcomp).

### 7.3.1 Kapasitiivinen mittaus

Tässä yhteydessä kapasitiivista mittausta menetelmänä ei enää käydä tarkkaan läpi, sillä menetelmästä on Maakuntahelpi-hankkeessa tehty myös erillinen raportti (Järvinen 2009), jossa on tarkasteltu myös muiden tutkijoiden saamia tuloksia (mm. Yrjölä 2009, Forsen & Tarvainen 2000, Jensen ym. 2006)

Mittaus perustuu dielektrisyteen (permittivisyys,  $\epsilon_r$ ), jolloin mitattava materiaali muodostaa dielektrisen väliaineen kondensaattorissa, jonka mittauselektrodit muodostavat (kuva 54).



Kuva 54. Kapasitiivisen mittauksen periaate.

Sitä on käytetty paljon maa-ainesten ja rakennemateriaalien, heinän ja muiden maataloustuotteiden sekä puun kosteuden määrittämisessä. Sellaisia aineita voidaan mitata, joiden dielektriset ominaisuudet riippuvat kosteudesta ja vähän perusmateriaalista, esim. puun permittivisyys noin 2,5–6,8 ja vapaan veden permittivisyys noin 80 (+20 °C). Jäätynyttä materiaalia ei voida mitata, koska jää on eriste.

Kapasitiivisella periaatteella on toteutettu hyvin paljon erilaisia ”pikakosteusmittareita”, joista esimerkkinä ovat ns. piikkimittarit, mutta myös online-mittausratkaisuja löytyy (kuva 55).



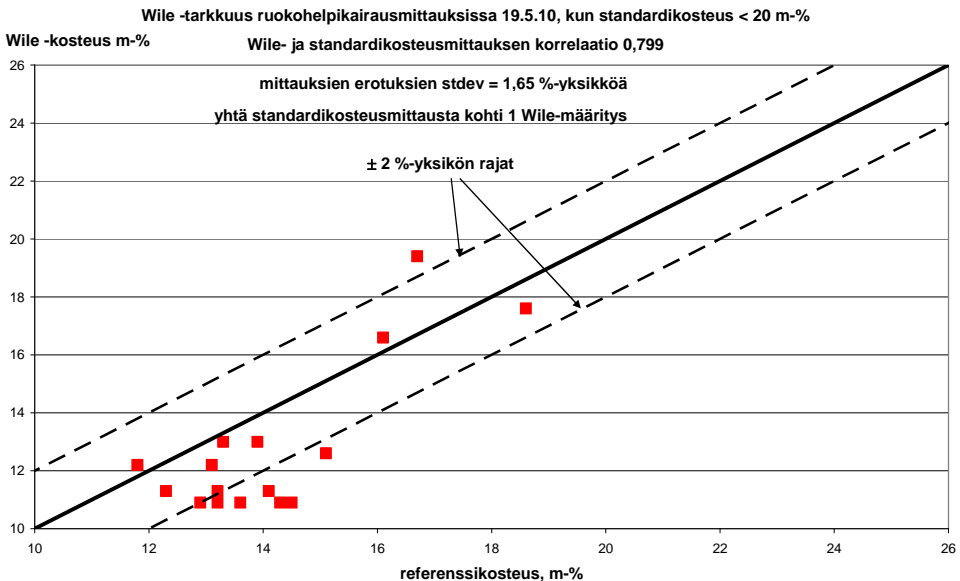
Kuva 55. Kapasitiivisiä mittareita vasemmalta oikealle: Wile-25 (uusi digitaalinen malli: Wile Bio Moisture/Farmcomp Agroelectronics), Protimer Balemaster GE Infrastructure Sensing ja Hantor MMS online -kosteusanturi.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Tässä julkaisussa kuvataan kapasitiivisen menetelmän osalta ne mittaukset ja tulokset, jotka on saatu Wile Bio Moisture -mittarilla VTT:ssä, kun on pyritty mahdollisimman tarkkaan referenssiin ja sellaisella kosteusmittausalueella, jolla kapasitiivinen mittaus on todennäköisimmin toimiva (Järvinen ym. 2009).

Mittaukset tehtiin niin, että kuivan koepaalin kairauskohdista mitattiin Wile-mittarilla ennen kairausa kosteuspuiteisuus ja kairatuista näytteistä tehtiin standardin mukainen kosteusmääritys (vrt. kuva 50). Kuvassa 56 on esitetty Wile-mittauksen tulokset. Kerroskairauksella pyrittiin saamaan näyte samasta kohdasta, johon mittaus kohdistuu.

Kuivalla helpillä Wile-mittaus korreloi kosteuspuiteisuuden kanssa, mutta tarkkuus ei ole kovin hyvä.



Kuva 56. Wile-mittausten tulokset kuivalla koepaalilla, kairausnäytteestä tehty standardimittaus referenssinä.

### 7.3.2 Mikroaaltomenetelmät

Mikroalloilla voidaan mitata hyvin monella tavalla. Mittaus voi perustua aaltojen vaimenemisen, resonanssitaajuuden, etenemisnopeuden, vaihesiirron tai niiden yhdistelmän mittaukseen. Yleisimmin mitataan vaimenemista tai se muodostaa laskennan tärkeimmän komponentin. Lämpäysmittaus ei ole herkkä pintakosteudelle. Mikroaaltomittaus tarvitsee yleensä aina tiheyskompensaation tai mitataan esim.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

tunnetun astian sisältämän näytemäärän aiheuttamaa vaimennusta (esim. Senfitin BMA-mittari).

Hakkeen, lähinnä selluhakkeen, kosteuspitoisuuden online-mittaukseen on markkinoilla jo vuosikymmeniä ollut mikroaaltolaitteita, joissa tiheyskompensaatio tapahtuu radiometrisesti (gamma-säteilyn vaimennus). Myös hiilelle löytyy paljon sovelluksia.

Mikroaalloilla tarvitaan materiaalikohtainen kalibrointi, joten monipolttoainekäytössä seoksien mittauksissa tilanne on haastava. Myöskään jäistä tai lunta sisältävää materiaalia ei voi mitata.

Kun mitataan resonanssitaajuutta, mittaus tapahtuu ns. K-kaistalla 18,0–26,5 GHz. Vesimolekyylien resonanssiabsorption taajuus on 22,2 GHz. Jos mitataan absorptioalueen alkupäässä 0,5–10 GHz, mittaus tapahtuu lähinnä vaimennusmittauksena, johon vaikuttavat myös materiaalin dielektriset ominaisuudet. Esimerkiksi tanskalainen DSE toimittaa läpäisyyn perustuvia olkipaalimittareita (DSE 4100 -sarja, kuva 57), jotka toimivat 2,4 GHz:n alueella.



Kuva 57. DSE:n mikroaaltojen vaimenemiseen perustuva olkipaalimittaus tanskalaisella voimalaitoksella.

DSE:n olkipaalimittarilla mitataan paaleja, joiden kosteus on < 28 m-%. Mittausalue ulottuu 32 m-%:iin riippuen tiheydestä. Tapauksissa, jolloin kanttipaalin

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

mittaussuunnan leveys on pienempi kuin 2,4 m, voidaan mitata 40 kosteus-%:iin saakka. Kuitenkin suurissa kosteuspitoisuuksissa vesi esiintyy jo nestemäisenä, joka aiheuttaa vaikeuksia (Petersen 2009). Myös VTT:n kosteassa koepaalissa (keskikosteus 39 m-%) oli kostuneita kohtia, joista vettä tuli näytteestä ulos kevyesti puristamalla. DSE suosittaa 3–5 mittauspäätä/pyöröpaali. Paalit punnitaan nosturissa olevalla vaa'illa, jolloin kehysmittojen kautta päästään myös tiheyteen.

Suomessa mikroaaltomittausta on kehittänyt oululainen Senfit Oy. Senfitillä on BMA -merkinen at-line-kosteusmittauslaite (Kuva 58), joka perustuu näyteenottoon.



Kuva 58. Senfitin BMA-mittari: oikealla laite valmiudessa ja vasemmalla näyteastia työnnetään mittauskammioon.

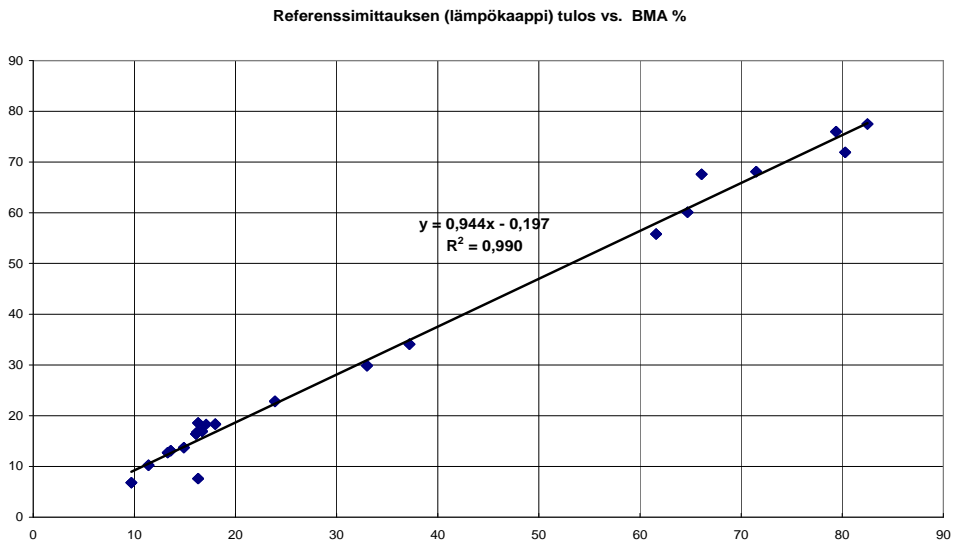
Mikroaaltomittaus on kalibroitava kullekin materiaalille. Käyttäjää voi valita halutun kalibroinnin tai valinta voidaan tehdä automaattiseksi. Näyteastiaan on aina punnittava tunnettu määrä polttoainetta. Mittaus on hyvin nopea. Tulos saadaan muutamassa sekunnissa.

### 7.3.2.1 Tulokset BMA-mittauksista

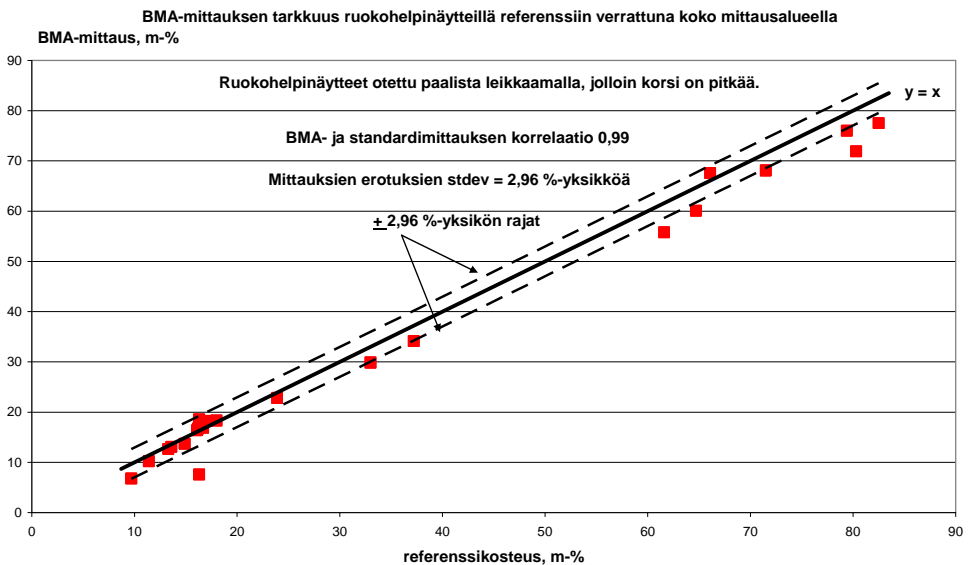
VTT:ssä mitattiin kesäkuun lopulla 2010 yhdessä Senfitin kanssa ruokohelppi-näytteitä, jotka oli otettu VTT:n koeaumojen paaleista. Senfitille oli toimitettu ennen varsinaista mittausta kalibrointinäytteet, joista oli määritetty kosteudet standardimenetelmällä. Kaikkien VTT:ssä mitattujen näytteiden kalibrointikäyrät perustuivat em. ennalta toimitettuihin näytteisiin. Kuvissa 59 ja 60 on esitetty mittauksien tulokset.



## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 59. BMA-mittauksen ja referenssimittauksien välinen lineaarinen yhteys.



Kuva 60. BMA-mittauksen tarkkuus ruokohelpimittauksissa.

Vertailu referenssimittaukseen on tehty siten, että instrumentaalimittaus on tehty ensin, minkä jälkeen tästä näytteestä on määritetty standardikosteus lämpökaapissa.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Näin mittauksissa ei ole näytteenotosta aiheutuvaa virhettä. BMA-mittauksia yhdestä näytteestä tehtiin 3 kertaa näyteastian koskematta. Näiden kolmen määrittelyn tulos oli aina lähes sama.

BMA-mittaus korreloi hyvin standardimittauksen kanssa ja sen tarkkuus on hyvä koko mittausalueella. Mittauksissa  $n. \pm 3:n$  prosenttiyksikön rajojen sisään tulee  $n. 85 \%$  BMA-mittauksista.

Mittaukset tehtiin leikkausnäytteistä, jolloin ruokohelpikorsi on pitkä. Pitkän korren ”pakkaus” näyteastian on vaikeampaa kuin lyhyemmän silpun. Silpulla, jota saadaan esimerkiksi kairanäytteestä, BMA-laitteen näyteastian saisi täytettyä helpommin ja tarkemmin. Tämä todennäköisesti lisäisi tarkkuutta.

### 7.3.3 Ydinmagneettinen resonanssi (NMR) -menetelmä

Ensimmäiset ydinmagneettiset resonanssikokeet tehtiin jo 1940-luvulla (Bloch ja Purcell). Menetelmää käytettiin aluksi laboratoriomittalaitteena. Paljon myöhemmin sitä oivallettiin käyttää ainetta rikkomattomassa testauksessa ja mittauksessa.

Menetelmä perustuu siihen, että atomiytimellä, joka pyörii akselinsa ympäri ( $\text{spin} \neq 0$ ), on magneettinen momentti. Jos ydin saatetaan magneettikenttään  $B$ , sen kulma ( $\omega$ ) tai prekessioliike suhteessa em. kenttään muodostuu seuraavan Larmorin yhtälön (1) mukaiseksi:

$$\omega_L = \gamma B, \text{ jossa } \gamma = \text{gyromagneettinen suhde.} \quad (1)$$

Jos magneettikentässä olevaan näytteeseen vaikuttaa samanaikaisesti sähkömagneettinen säteily, niin tietyillä magneettikentän ja säteilyn taajuuden arvoilla näytteeseen absorboituu energiaa taajuudella, joka vastaa ytimen prekessioliikettä. Tällöin syntyy ydinmagneettinen resonanssi (NMR), joka voidaan mitata. Tärkeimpiä ytimiä, joita helposti voidaan mitata, ovat  $^1\text{H}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$  ja mm.  $^{13}\text{C}$ , mutta myös useiden muiden alkuaineiden ytimiä mitataan. Yleisesti NMR soveltuu parhaiten paljon vetyä sisältävien materiaalien analyysiin. Hyvin sähköä johtaviin materiaaleihin ei saa synnytettyä riittävää radiotaajuista kenttää. Molekyylin ja ympäristön luomat pienet paikalliset magneettikentät aiheuttavat, että NMR-spektrissä on useita resonanssisignaaleja.

NMR-laitteiden pääkomponentit ovat magneetti, joka luo voimakkaan homogeenisen magneettikentän, radiotaajuuden säteilyn (RF) lähde, RF-taajuuden pulssitus tai magneettikentän muutos, RF-vastaanotin ja spektrin rekisteröinti sekä näytejärjestely.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

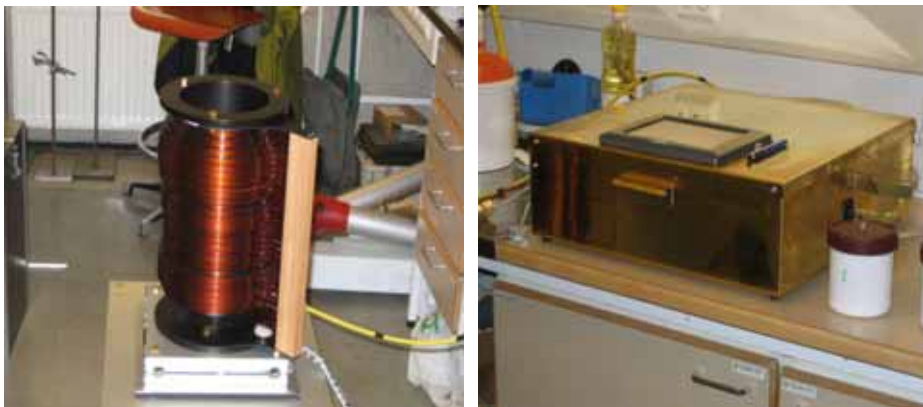
NMR-laitteilla on tehty rakenneanalyysejä ja mitattu kosteutta ennen kaikkea laboratoriossa. Vasta viime vuosina laitteita on kehitetty kevyemmiksi ja halvemmiksi sekä yleiskäyttöisemmiksi ja lähemmäksi myös online-mittaussovelluksia (kuva 61). Jopa kannettavia NMR-laitteita on käytetty myös puumateriaalille (Casieri ym. 2004). Magneetti, jolla saadaan homogeeninen kenttä, on laitteen tärkeimpiä komponentteja. Se määrittää, mitkä mittaukset ovat mahdollisia. Esim. lääketieteessä käytetyssä kerroskuvauksessa kohde eli potilas työnnetään sisään ”magneetikammioon”. Siksi kohde/magneetti vaikuttaa olennaisesti laitteen hintaan, käytettävyyteen ja käyttökustannuksiin (Magnuson 2005). Mitä vahvempi magneettikenttä on, sitä hinnakkaampi ratkaisu. Kalleimmissa sovelluksissa magneettikenttä tehdään suprajohtavilla keloilla. Hintakysymykset ovat pakottaneet kehittämään tarvittavaan signaaliin optimoituja kenttiä. Myös RF-kela-ratkaisua on kehitetty edelleen, esim. Quantum Magnetics Inc. ns. Magic Echo ja vahvistimia (VILNAD so. variable-impedance low-noise amplifier design) (Magnuson 2005).



Kuva 61. Kevyt NMR-laitteisto. Pöydällä magneetti, RF-kela ja vahvistin sekä laitetelineessä PC ja virransyöttökaapelit. Kaapeli mittausyksikköön on 6 m (Magnusson, 2005).

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Suomessa Vaisala Oyj on kehittänyt NMR-tekniikkaa myös kenttäkelpoisempaan suuntaan. Kyseessä on yleisesti käytetty ns. relaksaatio NMR, jossa nestemäinen vesi (tai veden vety) määritetään erikseen signaalikäsittelyn avulla. Kuvassa 62 on esitetty Vaisalan laitteisto.



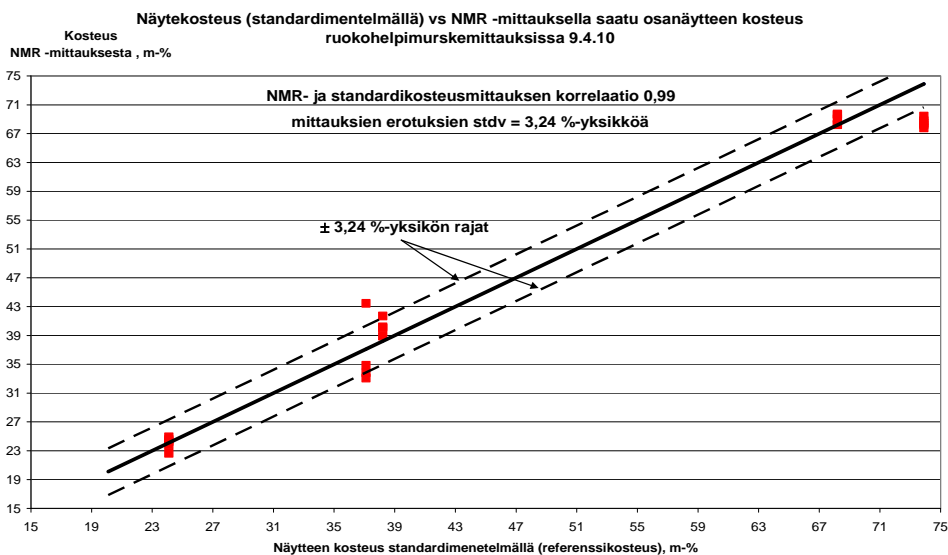
Kuva 62. Vaisalan NMR-laitteisto, vasemmalla magneetti ja oikealla keskusyksikkö sekä näyteastioita.

Laite toimii siten, että näyteastiassa (kuva 62, oikealla esim. ”Numerolla 1 merkitty purkki”) oleva näyte asetetaan magneetin sisään. Kosteustulos saadaan 1–2 minuutin kuluessa. NMR:llä ei tarvita materiaalikohtaista kalibrointia. Laitteen peruskalibrointi voidaan tehdä ”vesinäytteillä”. Suurin työ aiheutuu näytepurkkien täytöstä.

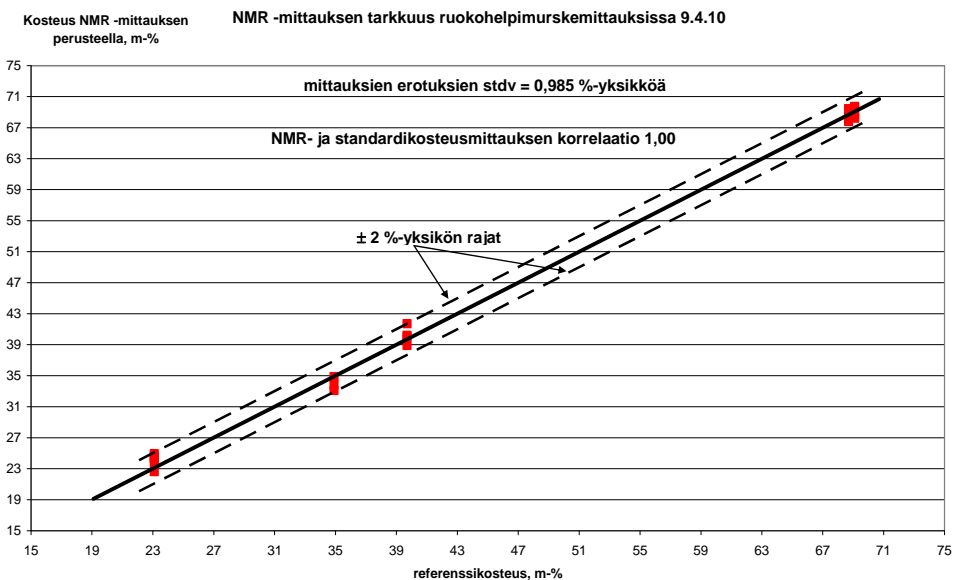
### 7.3.3.1 Tulokset NMR-mittauksista

Vaisalan, VTT:n ja Vapon yhteistyönä mitattiin ruokohelvinäytteitä kevään 2010 aikana kuvan 62 Vaisalan laitteilla. Aluksi mittauksia tehtiin näytteistä, jotka oli otettu huhtikuussa voimalaitoksen kentällä otetuista helpikasoista. Helpipaali oli murskattu Haybuster 1000 -vasaramurskaimella. Helpi oli ollut varastoituna kentällä paaleina ja murskeena vuodenvaihteesta 2009–2010. Kasoista otettiin näytettä n. 4 litraa, josta tehtiin sekä NMR-määritys että standardikosteusmääritys jakamalla em. näyte. Lisäksi NMR:llä määritetyistä näytteistä tehtiin vielä erikseen standardikosteudet, jotta saataisiin ”absoluuttinen” referenssi, joka ei sisällä näyteenotosta tai näytekäsittelystä johtuvaa virhettä (vrt. BMA-mittauksen tulokset). Kuvissa 63 ja 64 on esitetty tämän mittauksen tulokset.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 63. NMR-mittauksen tarkkuus helpimurskeen kosteuden määrittämisessä, kun mukana on yksittäisnäytteen jakamisesta (näytteen käsittely) aiheutuva virhe.

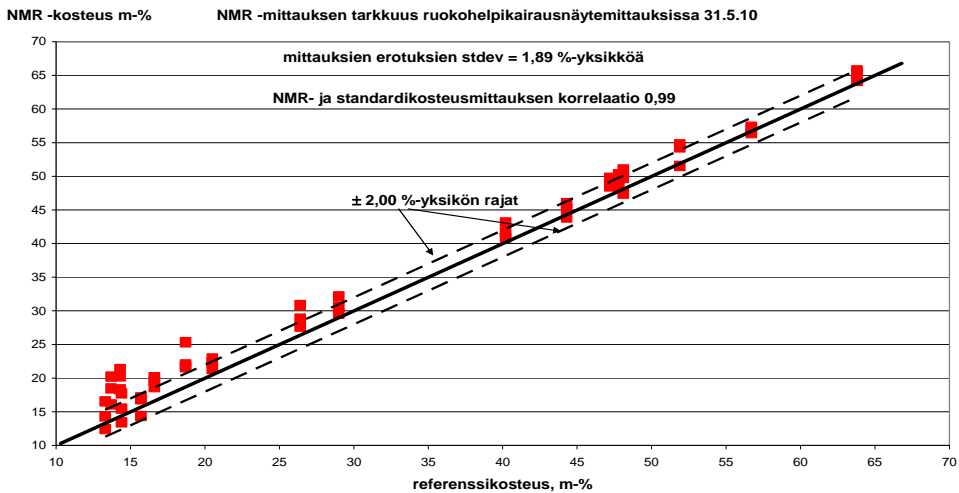


Kuva 64. NMR-mittauksen tarkkuus helpikosteuden määrittämisessä, kun mukana ei ole yksittäisnäytteen jakamisesta (näytekäsittely) aiheutuvaa virhettä.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Kuten kuvista näkee, tässä tapauksessa vain 4 noin litran helpinäytteen sisäinen kosteusjakautuma aiheutti vertailuun merkittävämpää virhettä kuin käytetty instrumentaalimenetelmä, joka näyttää erittäin tarkalta.

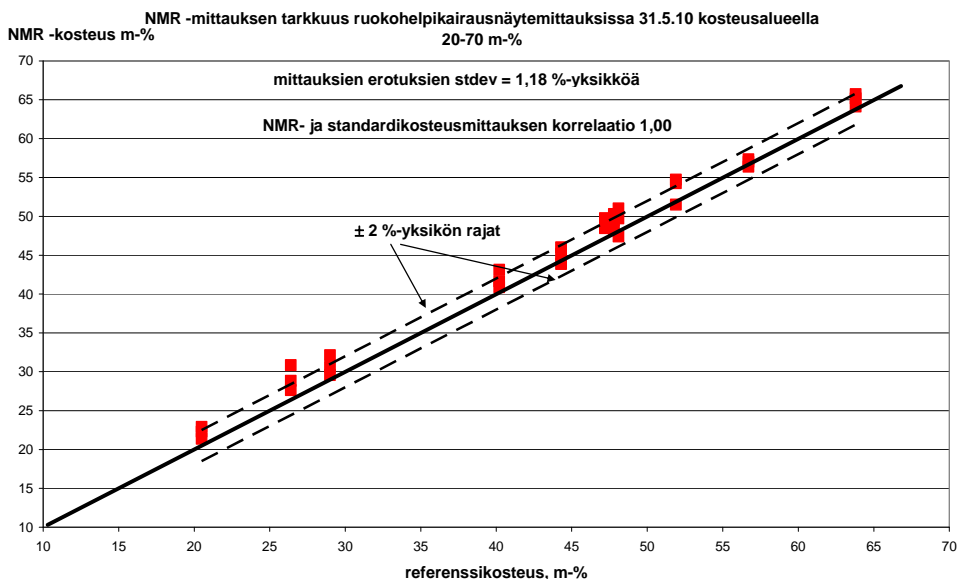
Helpimittauksia jatkettiin myöhemmin keväällä koepaaleista otetuilla kairausnäytteillä, jolloin kosteusalue muodostui laajemmaksi. Näillä näytteillä mittauseriaatteena oli myös, että NMR:llä mitatusta näytteestä määritettiin standardikosteus jälkikäteen, jolloin näytekäsittelyvirhettä ei muodostu. Kuvassa 65 on esitetty näiden mittauksien tulokset.



Kuva 65. NMR-mittauksen tarkkuus ruokohelven kairausnäyte mittauksissa.

Kun mittausalue laajenee, NMR:n tarkkuus laskee hieman varsinkin pienillä vesipitoisuuksilla. Näytteen määrä NMR-mittaukseen on kuitenkin melko pieni (näyteastian tilavuus n. 1 l, vrt. kuva 62) ja veden osuuden laskiessa suhteellinen virhe ja muut mittauserävarmuudet kasvavat. Kun kuvan 65 mittausalue (pisteet) rajataan kosteusalueelle 20–70 m-%, niin tarkkuus nousee (kuva 66) erittäin hyväksi.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 66. NMR-mittauksen tarkkuus ruokohelven kairausnäytteillä kosteusalueella 20–70 %.

### 7.3.4 Muita mahdollisia instrumentaalimenetelmiä ruokohelven kosteuden määrittämiseen

#### 7.3.4.1 Impedanssispektroskopiaan perustuva kosteuden mittaaminen

Kun kapasitiivisen mittauksen rajoitteita pyritään ratkaisemaan, niin eräs vaihtoehto on käyttää ns. impedanssispektroskopiasta, jossa mittaustulos on vastaava kuin kapasitiivisella menetelmällä. Mittausta voidaan tehdä sekä atline että online-periaatteella. Kuvassa 67 on sovelluskokeilua kummallakin periaatteella (Järvinen ym. 2007).

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 67. Impedanssispektroskopiaan perustuva ”käsimitari” ja mittarin anturi online-sovelluksessa.

Impedanssispektroskopiassa mitataan tutkittavan kohteen sähköinen taajuuspektri, jolla voidaan selvittää mittauskohteen rakennetta sekä elektrodien ja mittauskohteen vuorovaikutuksia (Järvinen ym. 2007, Barsoukov & Macdonald 2005, Lappalainen 1999, Macdonald 1987). Mittauskohteesta voidaan fysikaalisella ja matemaattisella mallintamisella muodostaa kohdetta kuvaava sähköinen malli, jonka parametrit kuvaavat näytteen rakennetta ja kosteutta (kosteusjakautumaa). Impedanssispektroskopian tyypillisiä sovelluskohteita ovat olleet erilaisten materiaalien rakennetutkimukset sekä kemiallisten reaktioiden tutkimus.

Sähköisiltä ominaisuuksiltaan erilaiset materiaalit polarisoituvat eri tavoin sähkökentässä. Polarisoitumiseen vaikuttaa materiaalin sähköinen epähomogeenisuus, joka on mahdollista todeta vain spektrimittauksella. Mittauksessa voidaan arvioida mitattavan materiaalin dispersiivisiä ominaisuuksia eli materiaalin sähköisten ominaisuuksien muuttumista epälineaarisesti taajuuden funktiona. Tyypillisesti biologiset materiaalit ovat sähköisiltä ominaisuuksiltaan hyvin dispersiivisiä, johon vaikuttaa erityisesti näytteen kosteusjakauma.

Impedanssimittauksen etuna on, että mittaus tehdään useilla eri taajuuksilla, josta edelleen spektrin mallinnuksen avulla saadaan tietoa kosteudesta eri syvyyksiltä näytteessä. Tällöin myös pintakosteuden vaikutus tuloksiin voidaan minimoida.

Kuten kapasitiivisessa menetelmässä myös impedanssispektroskopiassa mittaukseen vaikuttavat myös näytteen tiheys, lämpötila ja esim. puulla syysuunta. Kivi-aineeseen sitoutunut ja jäänyt vesi vaikuttavat sähköiseen spektriin eri tavoin kuin soluonteloissa sijaitseva kosteus, ja näin ollen spektrianalyysiin perustuen on mahdollista analysoida mm. eri tavoin puuhun sitoutunutta vettä.



Impedanssimittausta voidaan käyttää, näytteeseen saatavasta kentästä riippuen, kosteusjakautumien ja materiaalin muiden rakenneasioiden mittaukseen ja tutkimukseen. VTT:llä on impedanssispektrimittausta kokeiltu yhteistyössä Itä-Suomen (Kuopion) yliopiston kanssa puun kosteusgradientin mittauksessa ja hakkeen online-kosteusmittauksessa (kuva 67) useissa eri hankkeissa [Järvinen & Tiitta] (lähteessä Järvinen ym. 2007, Järvinen 2009).

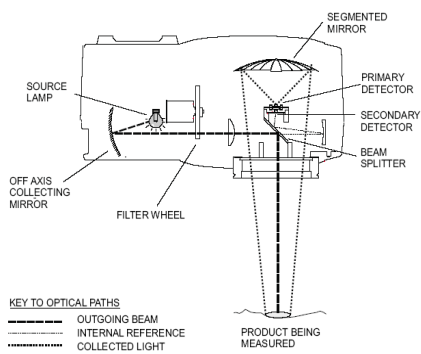
### 7.3.4.2 Infrapuna (IR) -kosteusmittaus

Eräs eniten maailmassa tutkittu ja käytetty menetelmä biopohjaisten ja muiden materiaalien kosteuden mittaukseen on ollut sähkömagneettisen spektrin infrapuna (IR) -alueen ja nykyisin erityisesti ns. lähi-infrapuna-alueen (NIR) 700–2 500 nm hyödyntäminen. Maataloudessa viljan kosteuden määrittämisessä IR-mittausta on paljon sovellettu.

Infrapunaspektroskopia on hyvin monipuolinen materiaalien kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen analysointimenetelmä ja kosteusmittaus eräs yleisistä käytännön sovelluksista. Infrapunamenetelmät jaetaan hyödynnetyn aallonpituusalueensa puolesta lähi-infrapuna- (NIR, Near Infrared), keski-infrapuna- (MIR, Mid Infrared) ja kauko-infrapuna- (FIR, Far Infrared) alueen menetelmiin. Nestemäisen veden voimakkaimmat absorptiokaistat löytyvät IR-aallonpituuksilta (6 100 ja 2 950 nm), mutta näiden käyttöä kosteusmittauksissa rajoittaa suuri absorptiokerroin ja absorption saturoituminen kosteuden lisääntyessä. Sen sijaan NIR-aallonpituuksille sijoittuvia absorptiomaksimeja (1 930, 1 440, 1 190 ja 970 nm) käytetään useissa kaupallisissa mittalaitteissa. Kun mitataan atline-periaatteella näytteestä tai esim. kuljettimella olevia polttoaineita online-periaatteella, niin mittaus perustuu useimmiten heijastuneen säteen absorptioon ja tavoitteena on mitata ns. diffusia heijastusta (diffuse reflectance), jossa heijastuva säde tunkeutuu jonkin verran mitattavaan kohteeseen ja heijastuu sieltä takaisin. Ns. ”peiliheijastus” aivan materiaalin pinnasta ei sisällä informaatiota. Läpäisymittaus (transmittance) edellyttäisi hyvin suuria energioita ja siksi se ei ole yleensä sovellettavissa polttoaineille. Heijastusmittauksissa käytetään usein 1 930 nm:n absorptiokaistaa suurimman herkkyyden vuoksi ja siksi se on yleinen tavanomaisessa erillisiin aallonpituuksiin perustuvassa tekniikassa, jossa käytetään pyörivää suodinkiekkoa (kuva 68) sekä online- että atline-sovelluksissa. Niistä löytyy useita kaupallisia sovelluksia, jossa on kaksi, tai nykyisin useampia esim. kahdeksan, interferenssisuodinta, jotka on jaettu kunkin laitetoimittajan teknologian mukaisesti referenssi- ja mittausaallonpituuksille (vesimolekyylin absorptiokaistat). Suo-

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

dinkiekon pyörimisnopeus on nykyisissä laitteissa suuri (esim. 8 000 1/min), jotta referenssi- ja mittaussäde saataisiin mahdollisimman lähelle toisiaan. Kuvassa 68 on esitetty kaavio ir-säteen kulusta NDC Infrared Engineering MM710 -mittapäässä ja purunäytteen kosteuden mittausta.



Kuva 68. Infrapunasäteen kulku MM710 -mittapäässä (NDC Infrared Engineering manuaali 2004) ja purun kosteuden atline-mittausta VTT:ssä.

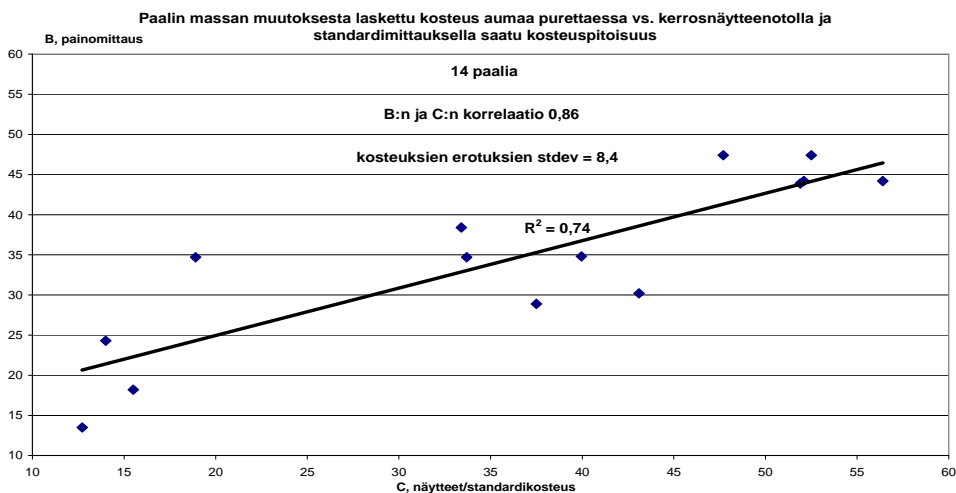
Tavanomaisen IR-mittauksen tarkkuudesta ruokohelpillä ei löydy paljon tietoja. Joitakin hajatietoja korsibiomassalle on olemassa mm. lähteissä Jensen et. al. 2006 ja Yrjölä 2009. VTT:ssä on paljon tietoa hakkeen kosteuden NIR-mittauksesta ja sen tarkkuudesta (Järvinen et. al 2008) online-periaatteella ns. kokospektrimittauksena PLS-mallinnusta käyttäen. Kokospektrimittauksia käyttävistä laitteista on vain joitakin kaupallisia sovelluksia (esim. ruotsalainen Bestwood).

### 7.3.4.3 Painomittaukseen perustuva kosteuden mittaus

Koska koko hankkeessa seurattiin aumassa olleita merkittäviä ruokohelpipaaleja, joista oli määritetty tuotantoaikainen kosteus ja samanaikaisesti punnittu paalin massa, niin tavoiteltiin myös paalin keskikosteuden määrittystä punnitusmittauksella. Tämä edellytti myös paalin kosteuden määrittystä ja punnitusta keväällä, mikä tehtiin toukokuussa 2010. Seurattujen paalien kosteuden (22 + 2 kpl) määrittys tehtiin leikkaamalla ja kairamalla (vrt. kohta 7.2). Kaikkiaan 14 paalista saatiin vertailukelpoinen leikkausnäytteeseen perustuva kerroskosteus ja 19 paalista kairausnäytteeseen perustuva kosteus. Seuratuista aumapaaleista kaksi (kohta 7.2) tuotiin VTT:hen Jyväskylään tarkempaan kosteusmittaukseen. Niistä otetuista kerroskairanäytteistä tehtiin myös NMR-määritykset.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Kuvassa 69 on esitetty punnitusmittauksista (kevällä 2009 ja 2010) ja paalin alku(tuotanto)-kosteusmäärityksestä (kevät 2009) lasketun paalin loppukosteuden yhteys leikkausnäytteistä saatuun loppukosteuspitoisuuteen kevällä 2010. Näytteistä kosteus on määritetty standardimenetelmällä.

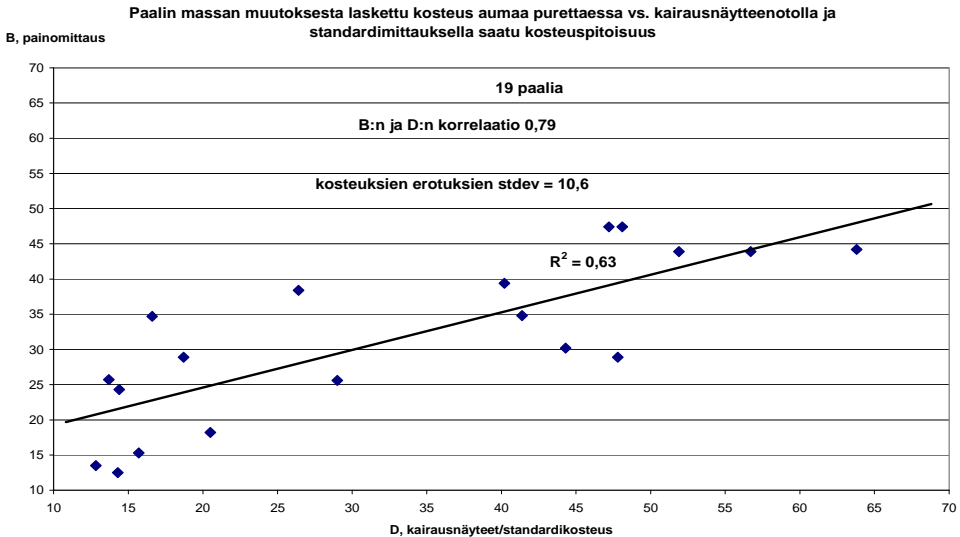


Kuva 69. Punnitusmittauskosteuden ja leikkaamalla otetun kerrosnäytteenotokosteuden yhteys aineiston perusteella.

Kuten kuvasta 69 näkee, niin punnitusmittaus- ja kerrosnäytteenotokosteudella on kohtuullinen yhteys (korrelaatio), mutta hajonta on suuri ja laskennallisen lineaarisen sovituksen selityskerroin ei ole kovin hyvä. Jos menetelmää suunnitellaan käytettäväksi, niin lineaarista tai epälineaarista sovitusta voidaan myös käyttää punnitusmittauksen kalibrointiyhtälönä. Koska kuvan 69 leikkaamalla otetuissa kerroskosteusnäytteissä on oletettu, että ao. koko kerros on kostunut samaan kosteuteen, niin laskettiin myös ”osasektori”-kostumiseen perustuvat tapaukset. Tämä tehtiin siksi, koska aumassa olevat paalit pyrkivät ainakin silmämääräisesti kostumaan enemmän vain tietyltä puolelta. Kun oletettiin, että 50 % leikkauksen pinta-alasta so. puolet ( $180^\circ$ ) oli kostunut näytteenotolla saatuun kosteuteen, niin punnituskosteuden ja näytteenotokosteuden korrelaatio oli 0,84 ja lineaarisen sovituksen selityskerroin ( $R^2$ ) 0,68. Kun oletettiin, että 37,5 % eli n. kolmannes oli kostunut, niin punnituskosteuden ja näytteenotokosteuden korrelaatio oli 0,82 ja lineaarisen sovituksen selityskerroin vastaava kuin edellä.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Koska näytteenottoa tehtiin myös kairaamalla, niin verrattiin myös punnitus-kosteusmittauksen ja kairanäytteenotolla saadun kosteuden yhteyttä (kuva 70).



Kuva 70. Punnitusmittauskosteuden ja kairaamalla otetun näytteenottokosteuden yhteys aineiston perusteella.

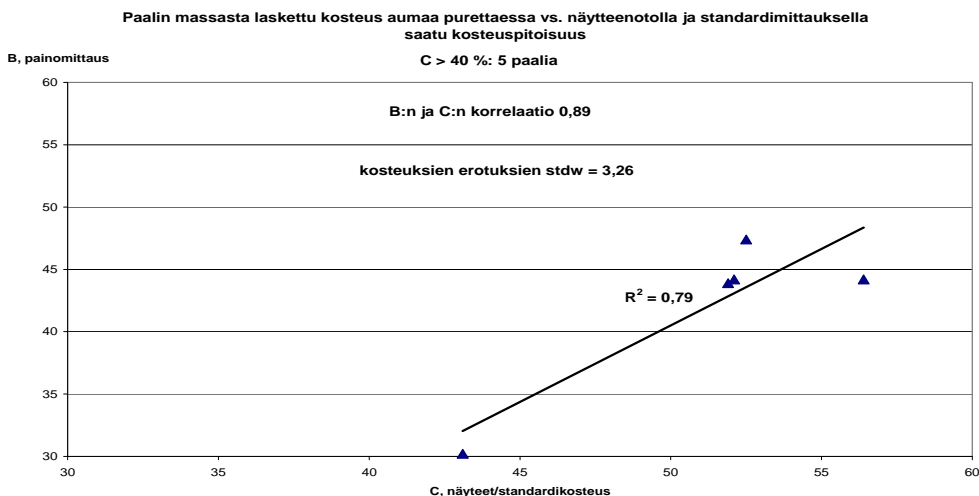
Kairanäytteenotolla ja punnitusmenetelmällä saadulla paalinkosteudella on samantyyppinen (kuva 70) mutta hieman heikompi yhteys kuin leikkaamalla kerroksittain saadulla kosteuspitoisuudella ja punnitusmittauksella. Kairaussyvyys oli 40 cm ja kaksi näytettä on otettu kerrosnäytteen molemmin puolin. Kairanäytteen koko on huomattavasti pienempi kuin leikkaamalla otetun kerrosnäytteen koko, mikä voi selittää em. laskua. Toisaalta näytekäsittelystä (jakamisesta) syntyvä virhe on pienempi kairanäytteellä, koska helpikorsi on silppuuntunut pienemmäksi.

Tarkimmin paalien keskikosteus näytteenotolla saatiin niistä kahdesta koepaalista, jotka oli tuotu VTT:hen näytteenottoon ja kosteusmäärityksiin (vrt. kohta 7.2). Näistä paaleista kosteuden laskennassa käytettiin kuutta suuntaa ja kerroksittainen näytteenotto tehtiin myös kairalla. Tulokset on esitetty kuvissa 51, 52 ja 53. Näistä paaleista on myös punnitusmittauksella saadut kosteudet, jotka näkyvät kuvissa 52 ja 53. Numeerisesti kuivalla koepaalilla punnitusmittauksella saatiin kosteudeksi 13,5 m-% ja tarkimmalla näytteenottoon ja sektorilaskentaan perustuvalla tavalla 12,5 m-%. Suhteellinen virhe on tällöin 8 % ja absoluuttinen

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

virhe 1 prosenttiyksikköä. Kostealla paalilla vastaavat arvot olivat 34,8 ja 39,0 m-%, jolloin suhteellinen virhe on 12 % ja absoluuttinen 4,2 prosenttiyksikköä. Kuva 51 osoittaa hyvin tilanteen kuivalla ja kostealla paalilla: kaikkien kosteusnäytteiden hajonta on kostealla paalilla huomattavan suuri (21,10 prosenttiyksikköä) verrattuna kuivaan paaliin (1,31 prosenttiyksikköä). Tämä kuvastaa sitä, että kuivasta paalista saa yksittäisnäytteillä huomattavasti helpommin tarkemman kosteuspi-toisuuden kuin kostuneesta paalista.

Kuivilla paaleilla kaikki näytteenottotavat ja jopa eri laskentatavat sekä määri-tysmenetelmät, myös punnitusmittaukseen perustuva tapa, tuottavat kohtuullisen tarkan paalin keskikosteuspitoisuuden, mutta kostuneilla paaleilla virhe kasvaa. Mahdollisesti kostuneissa paaleissa tapahtuu talven aikana sen verran voimakasta mikrobitoimintaa, joka vaikuttaa paalien sisältämään kuiva-aineeseen ja koste-uspitoisuuteen (massataseeseen) niin paljon, että punnitusmittaus tulee haasteel-liseksi. Kokemuksen mukaan erittäin kostuneet paalit ovat hyvin painavia, joten niissä tapauksissa punnitusmittaus voisi olla toimiva, koska suuri veden osuus ”peittää” pienet kuiva-ainemuutosten vaikutukset. Johtopäätösten tekemi-seen (kuva 71) saadussa aineistoissa on kuitenkin liian vähän pisteitä (paaleja), joiden kosteus näytteenotolla on suurempi kuin 40 %,



Kuva 71. Punnitusmittauskosteuden ja leikkaamalla otetun kerrosnäytteenotokosteuden yhteys, kun näytekosteus > 40 % aineiston perusteella.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Toisaalta on huomioitava, että jos paalin keskikosteus lähestyy tai on yli 50 m-%, niin paalissa on huomattavan kosteita (pinta)osia, koska keskiosan kosteus pysyy lähellä tuotantokosteutta. Tällöin paalin käsittely ja käyttö on haastavaa.

Yhteenvedona voidaan todeta, että vaikka etukäteisoletuksen perusteella punnitukseen perustuva kosteusmääritys olisi tarkka ja helppo tehdä, niin tulosten perusteella tarkkuus ei välttämättä ole oletetun hyvä. Tähän voi vaikuttaa mikrobiologisen toiminnan aiheuttama kuiva-aineen hävikki. Tätä tukee osaltaan kahden erittäin tarkasti määritetyn paalin tulokset (luku 7.2): kuivan paalin (vähän mikrobiologista toimintaa) painomittaukseen perustuva kosteus on lähellä referenssikosteutta, mutta kostean paalin (enemmän mikrobiologista toimintaa) kosteus eroaa enemmän referenssikosteudesta. Kuiva-aineen hävikeistä keskusteltiin tutkimuksen loppuvaiheessa, mutta niitä ei otettu huomioon ja niiden määrittäminen olisikin ollut haasteellista. Tämän havaintoaineiston perusteella ei painomittausmenetelmää kuitenkaan kannata sulkea pois, koska se on helppo tehdä ja se ratkaisisi monia näytteenottoon ja määrittämiseen liittyviä ongelmia. Erityisesti kostuneilla paaleilla menetelmä voi olla toimiva. Kuitenkin viime kädessä käytetty kosteusmittausmenetelmä on sopimuskysymys.

### **7.4 Kairanäytteenoton ja paalien punnituksen teknisiä toteuttamismahdollisuuksia**

Varastointi- ja kosteusanalysointitekniikoiden tutkimusten näytteenottotarpeisiin rakennettiin projektissa näytteenottokaira ja paalien punnitusteline riippuvaakaa hyödyntäen. Nimenomaan helvelle suunniteltu näytteenottokaira helpottaa näytteenottoa paaleista, koska sitä ei voi helposti tehdä olemassa olevilla laitteilla, kuten perinteisillä poranterillä. On olemassa erilaisia vaakoja, mutta paalien nopea punnitus edellyttää, että vaaka sijoitetaan sellaiseen konstruktion, jolla paalien käsittely on nopeaa.

#### **7.4.1 Näytteenottokaira**

Näytteenottokairan tavoitteena oli helpottaa kairausnäytteiden ottoa erityisesti siinä tapauksessa, kun monta osakairausnäytettä yhdistetään yhdeksi koontinäytteeksi. Rakennetun kairan näytteenottoputki on 450 mm pitkä ja porakärjen reiän sisähalkaisija 27 mm. Tällöin yhdellä kairauksella maksimisyvyyteen saadaan tilavuudeltaan 258 cm<sup>3</sup>:n kertainäyte. Kairan putki on yhdistetty tilavuudeltaan 1,5 litran koontisäiliöön, jonne voidaan koota viiden maksimisyvyyden tai useamman

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

osasyvyisen kairauksen osanäytteet yhdeksi koontinäytteeksi. Koontisäiliön kyljessä on avattava luukku, josta koontinäyte kaadetaan säilytyspussiin tai -astiaan. Näytekairan materiaalina on käytetty haponkestävää terästä, näytteenottoputki on kiillotettu sekä ulko- että sisäpinnaltaan kairauskitkan minimoimiseksi. Näytteenottoputken sisähalkaisija on hieman suurempi kuin porakärjen reiän koko, jotta näyte liukuu putkessa haitattomasti eteenpäin kohti koontisäiliötä. Porakärki on valmistettu erikoisteräksestä ja sen leikkauskärki on lämpökäsitelty kulutuskestävyyden ja terävänä säilymisen parantamiseksi.

Näytekairaa käytetään normaalin käsikäyttöisen sähkö- tai paineilmaporan avulla (kuva 72). Porauskierrokset näytettä otettaessa ovat 50–100 1/min ja poran tehovaatimus on vähintään 750 W. Maasto-olosuhteissa sähköporaa käytettiin kannettavalla generaattorilla. Paineilmaporan käyttö tulee kyseeseen esimerkiksi otettaessa näytteitä autokuljetuksen yhteydessä.



Kuva 72. Näytteenottokaira, jossa on säiliö useamman kairausnäytteen yhdistämiseksi.

### 7.4.2 Paalipiikkivaaka

Paalien punnitsemiseksi varastoauomojen purkamisen yhteydessä valmistettiin paalipiikki, joka voitiin ripustaa riippuvaa'alla joko traktorin etukuormaajan suursäkinostimeen (kuva 73) tai vaihtoehtoisesti autonosturiin. Paalipiikin rakenne on sellainen, että tyhjänä ollessaan se on kannatuksella ylhäältä riippuvaa'an varassa ja alareunasta tuettuna traktorin etukuormaajan suursäkinostimeen. Tällöin sitä voi käyttää kuten muutakin paalipiikkiä auman kokoamiseen ja purkamiseen sekä paalien käsittelyyn. Kun paali on otettu piikkiin, se voidaan punnita riippuvaa'alla kallistamalla etukuormaajan suursäkinostinta hieman eteenpäin, jolloin paalin ja piikkitelineen paino jää ainoastaan riippuvaa'an varaan. Kun tyhjän telineen paino on ennakkoon taarattu riippuvaakaan, voidaan paalin paino lukea suoraan vaa'an näytöltä, tai kuten tutkimuksen mittauksissa tehtiin, vaa'an kauko-ohjaimelta traktorin hytistä. Paalin poisjättäminen piikistä tehdään kuten muillakin paalipiikeillä, tämän vuoksi piikkirungon ja suursäkinostimen alanurkkien välissä käytettiin ketjuja, jotka vetävät telineen piikkeineen pois paalista ja punnitustilanteessa ketjut riippuvat vapaana.



Kuva 73. Paalien punnitusteline, joka käyttää riippuvaakaa punnitsemiseen.



## 7.5 Näytteenoton menetelmätarkastelua

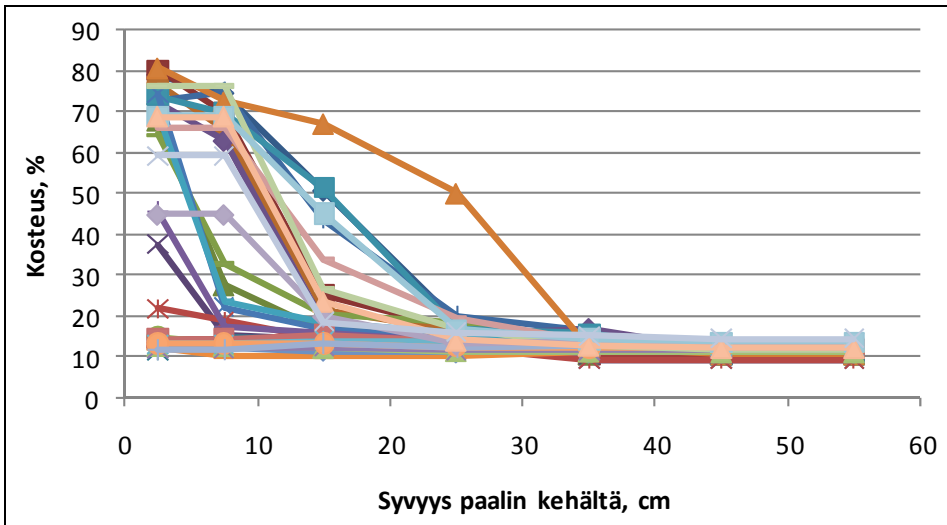
Paalien kosteus voidaan määrittää kairaamalla tai muutoin erottamalla näyte, joka otetaan paalin kehältä kohtisuoraan paalin keskustaa kohti. On tärkeä määrittää oikea kairaussyvyys, koska se ei ole paalin säteen suuruinen. Tämä johtuu siitä, että kairausnäytteeseen tulee kukin kerros samalla painoarvolla edustettuna, mutta tietyn kerroksen suhteellinen osuus koko paalin tilavuudesta pienenee suhteessa etäisyyden neliöjuureen mentäessä syvemmälle paalissa. Toisin ilmaistuna esimerkiksi 30 cm pintakerroksen tilavuus halkaisijaltaan 1,2 m:n paalissa on noin 75 % koko paalin tilavuudesta, vaikka säteen suunnassa on menty vain 50 % säteestä. Tällöin oikea kairaussyvyys on aina pienempi kuin paalin säde.

### 7.5.1 Kairaussyvyiden määrittäminen

Oletetaan, että paalin kosteusprofiili muuttuu lineaarisesti mentäessä kehältä kohti paalin keskustaa. Tällöin paalin optimaalinen kairaussyvyys on 30–34 cm, jolloin näyte kokonaisuudessaan antaa analysoituna saman kosteuden kuin mikä paalin kokonaiskosteus on. Tässä tapauksessa kairaussyvyydelle ei ole olemassa yksikäsitteistä säännönmukaisuutta, vaan se riippuu pinnan kosteudesta ja keskuksen kosteudesta. Yleisenä sääntönä on kuitenkin, että mitä kosteampi pinta-kerros on (tai mitä suurempi kosteusero pinnan ja keskuksen välillä on), sitä matalampi on kairaussyvyys. Vastaavasti mitä kuivempi paali on (tai pienempi kosteusero on), sitä suurempi on kairaussyvyys.

Kairaussyyttä arvioitiin myös projektissa kertyneiden todellisten paalien kosteusprofiilien avulla, joita määritettiin varastointi- ja kosteusmittausosatehtävissä. Nämä mitatut kosteusprofiilit, yhteensä 31 kappaletta, on esitetty kuvassa 74. Kuvan perusteella paalin kostunut kerros keskittyy paalin pintakerrokseen: useimmissa tapauksissa kosteus on laskenut alle 40 %:iin mentäessä 20 cm:n syvyyteen, joskin jossain tapauksissa tällä syvyydellä kosteus on vielä 45–65 %. Mentäessä 30 cm:n syvyyteen on kosteus lähes poikkeuksetta laskenut alle 20 %:iin. Mikään kosteusprofiileista ei ole lineaarinen, poikkeuksena kuitenkin ehkä ovat kuivat paalit, joissa paalin pinnan ja keskuksen kosteuksissa ei ole suuria eroja. Tässä voidaan profiilia pitää likimäärin lineaarisena.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

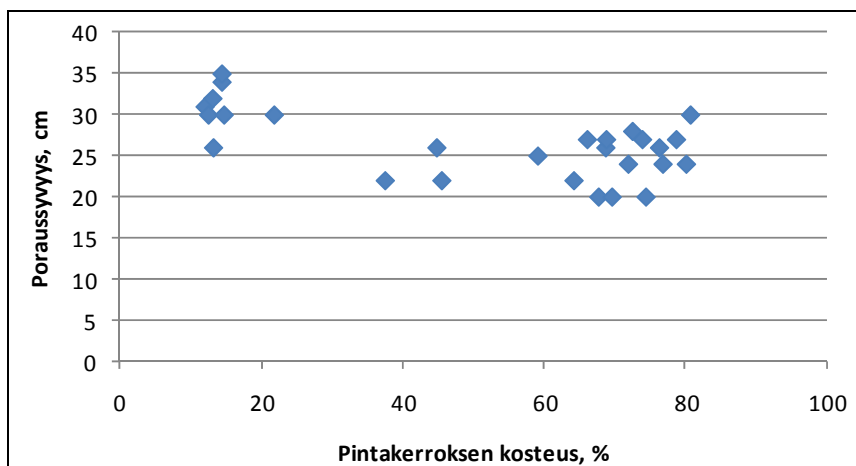


Kuva 74. Näytepaalien syvyysuuntaiset kosteusprofiilit.

Tämän aineiston kullekin tapaukselle laskettiin oikea kairaussyvyys, jolla erotettu näyte antaa saman kosteuden kuin paalin laskennallinen kokonaiskosteus, kun lisäksi oletettiin, että kosteusprofiili on sama ympäri paalia. Tulokset on esitetty kuvassa 75 paalin pintakosteuden funktiona. Paalin pintakosteus ei suoraan kuvaa kosteusprofiilin muotoa, mutta se kuvaa kuitenkin jossain määrin paalin keskikosteutta, koska kosteus paalin keskiosissa oli aineistossa lähes vakio.

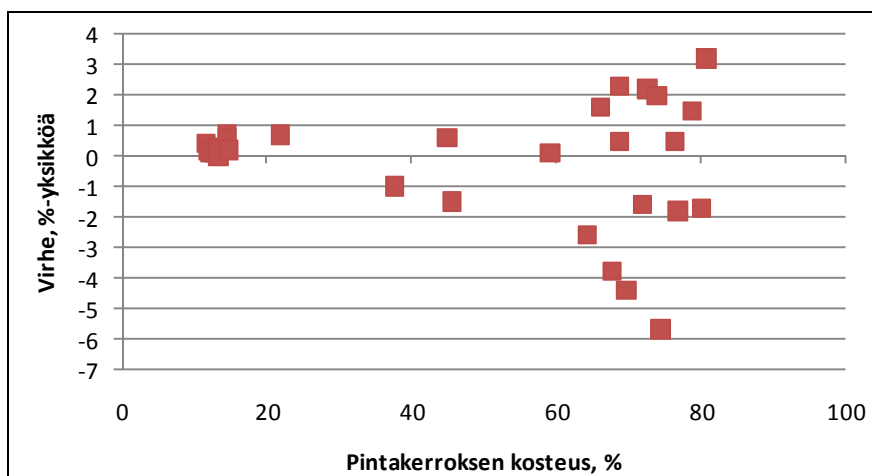
Oikea kairaussyvyys pintakosteuden ollessa alle 20 % on 25–35 cm. Tätä suuremmilla pintakosteuksilla kairaussyvyys on 20–30 cm. Pienillä pintakosteuksilla kosteusprofiili voidaan olettaa lähes lineaariseksi (vertaa kuva 74), jolloin siihen pätee edellä mainittu kairaussyvyys, joka on suurempi kuin kosteuden painottuessa paalin pintakerroksiin.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen



Kuva 75. Näytepaaleille lasketut näytteenottosyvyydet paalien pintakerroksen kosteuden funktiona esitettynä.

Aineistosta laskettu keskimääräinen kairausyvyys on noin 26 cm. Tämän perusteella tarkasteltiin, kuinka suuri virhe kosteusmäärityksessä tehdään, jos kaikki aineiston paalit kairattaisiin 25 cm:n syvyyteen todellisen paalikohtaisen syvyyden sijasta (kuva 76). Kuvassa on kairausnäytteen mukaisesta kosteudesta vähennetty paalin laskennallinen keskikosteus, jolloin kaikki negatiiviset arvot merkitsevät, että paalin todellinen kosteus on suurempi kuin näytteen antama kosteus. Vastaavasti positiiviset arvot tarkoittavat, että paalin todellinen kosteus on pienempi kuin näytteen antama kosteus.



Kuva 76. Kosteusmäärityksen virhe paalin pintakosteuden funktiona esitettynä.

## 7. Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen

Kuvan perusteella voidaan tehdä seuraavia havaintoja. Jos paalin pintakosteus on alle 20 %, niin 25 cm:n syvyyteen kairattu näyte antaa useimmissa tapauksissa paalin kosteuden siten, että virhe on 0–+1 prosenttiyksikköä ja näytteen antama kosteus on tämän verran suurempi kuin paalin todellinen kosteus. Tämä taas johtuu siitä, että näillä paalin keskikosteuksilla todellinen kairaussyvyys olisi 25–35 cm, jolloin kairaus ei ylety riittävän syvälle eikä näytteeseen tule riittävästi edustettuna paalin kuivaa keskustaa. Virhe on kuitenkin pieni. Tämä on luonnollista, koska jos paalin kosteusprofiilin muutos on pieni, niin ei ole kovin suurta merkitystä kuinka syvälle kairataan, koska kosteus on kuitenkin likimäärin oikein.

Määrityksen virhe suurenee mitä suurempiin paalin pintakosteuksiin mennään. Tapaukset, joissa absoluuttinen virhe on suurin, ovat kosteusprofiiltaan epätyypillisiä, joko siten, että paalin kosteus laskee hyvin jyrkästi tai hyvin loivasti mentäessä paalissa syvemmälle. Tällöin niiden todellinen kairaussyvyys poikkeaa eniten oletuksena olevasta vakiosyvyydestä 25 cm. Tarkasteltaessa tarkemmin näitä maksimivirheitä on aineistossa kolme tapausta, joissa kairaussyvyys on 20 cm, josta aiheutuu virhe -3,8–5,7 prosenttiyksikköä (vertaa kuva 76). Lisäksi on yksi tapaus, jossa kairaussyvyys on 30 cm, mikä johtaa virheeseen +3,2 prosenttiyksikköä. Nämä tapaukset antavat enimmäisvirheen, joka aiheutuu 5 cm:n suuruudesta kairaussyvyyden erosta oikean ja vakiosyvyyden välillä. Yhdessä nämä neljä suurinta virhettä muodostavat 13 % koko aineistosta. Nämä havainnot poistettuna jää muiden havaintojen virhe välille  $\pm 3$  prosenttiyksikköä. Toisin sanoen 87 %:ssa virhe jää välille  $\pm 3$  prosenttiyksikköä.

Kuvan 76 aineiston perusteella laskettu keskivirhe (virheiden itseisarvojen keskiarvo) on koko aineistolle 1,4 prosenttiyksikköä. Alle 20 %:n pintakosteudella virhe on vain 0,3 prosenttiyksikköä ja yli 20 %:n kosteudella 2 prosenttiyksikköä.

On vaikea arvioida, kuinka tarkasti kuvatulla näytteenotolla voidaan määrittää kokonaisten paalierien kosteus. Yhdestä paalista kairataan vähintään kaksi näytettä, jolloin mahdollisesti virheellinen tulos on edustettuna korkeintaan 50 %:n painoarvolla yhden paalin kosteutta määritettäessä. Yksittäisen kairausrei'an virhe voi olla merkittävä, mutta paalierästä kairataan lukuisia näytteitä. Tällöin voidaan yksinkertaistettuna olettaa, että kokonaisvirhe lähestyy tässä laskettuja keskimääräisiä virheitä, jolloin menetelmä voisi olla suhteellisen tarkkakin, kun kaikki paalit kairataan vakiosyvyyteen.

Voidaan myös tarkastella, tulisiko kairata mieluummin liian matalia vai syviä reikiä. Liian matalaan kairattaessa paalille saadaan liian suuri kosteus ja tapahtuu päinvastoin, jos kairataan liian syvälle.

Yhteenvedona voidaan todeta, että aineiston perusteella hyvä kairaussyvyys 1,2 metrin pyöröpaalille olisi noin 25 cm. Tämä voi tuntua liian matalalta syvyydeltä. Kosteus tuolla syvyydellä on kuitenkin pääsääntöisesti laskenut alle 20 %. Lisäksi 25 cm:n kerros kattaa paalin kokonaistilavuudesta lähes 70 %. Kairaussyvyyden hahmottaminen kosteusprofiilista ilman laskentaa on vaikeaa. Ei esimerkiksi voida asettaa ehtoa, että kairan tulee ulottua kerroksen, jonka kosteus on alle valitun rajan.

### 7.5.2 Yhteenvedo näyttöjenotosta kairaamalla

Projektissa määritettiin lukuisia paalien kosteusprofiileja erottamalla tai kairaamalla kerroksittain näytteitä paalin kehältä paalin keskustaa kohti. Kosteus paaleissa on keskittynyt paalien pintakerroksiin. Hyvinkin kostuneissa paaleissa kosteus ulottuu pääsääntöisesti alle 20 cm:n kerrokseen paalin kehältä tai korkeintaan 30 cm:n syvyyteen. Tämän jälkeen kosteus on tässä tarkastellun aineiston perusteella poikkeuksetta alle 20 %. 30 cm:n paksuisen kerroksen tilavuus paalin koko tilavuudesta on jo 75 % (1,2 metrin paalilla) ja 20 cm:n kerroksen vielä 55 %.

Paalien kosteus voidaan määrittää kairaamalla paaleista näyte tai näytteitä niiden kehältä kohti paalin keskustaa. Kairaussyvyys on aina pienempi kuin paalin säde, koska näytteeseen kukin kerros tulee samalla painoarvolla edustettuna, mutta kerroksien suhteellinen tilavuus koko paalin tilavuudesta ei muutu lineaarisesti. Paalien optimaaliselle kairaussyvyydelle ei ole olemassa juurikaan säännönmukaisuuksia, vaan oikea kairaussyvyys määräytyy kosteusprofiilista. Käytetyn havaintoaineiston perusteella tapauskohtainen kairaussyvyys vaihtelee 20–34 cm:n välillä. Pinnaltaan hyvin kuivilla paaleilla (alle 20 %) kairaussyvyys on suurempi kuin tätä kosteimmilla paaleilla. Keskimääräinen laskennallinen oikea kairaussyvyys on noin 26 cm.

Käytännön toiminnassa voidaan käyttää vain yhtä vakiona pysyvää kairaussyvyttä, joksi tässä yhteydessä suositellaan 25 cm:ä. Kuivilla paaleilla kairaussyvydellä ei ole kovin paljon merkitystä. Kairaussyvyyden poikkeaminen oikeasta syvyydestä voi tapauskohtaisesti aiheuttaa kosteuden määritykseen kohtalaisen virheen, joskin laskennallinen keskivirhe koko aineisto huomioon ottaen on pienehkö. Kosteilla paaleilla kairaussyvyyden vaikutus kosteusmäärityksen oikeellisuuteen on herkempi kairaussyvyydelle. Jos kairataan 25 cm:n sijasta 20 tai 30 cm:iin, määrityksen keskivirhe lisääntyy. Liian matalaan kairaaminen yliarvioi paalin todellisen kosteuden ja päinvastoin liian syvään kairaaminen aliarvioi paalin kosteuden.

## 8. Yhteenveto

Teuvo Paappanen  
VTT

### **Ruokohelven viljelyn potentiaalikartoitus**

Osatehtävässä tehtiin viljelijäkysely helvestä keskisuomalaisille viljelijöille. Kyselyn perusteella helven viljelyyn suhtautuivat myönteisimmin viljatilat ja jo helpeä nykyisin viljelevät. Näillä tilatyypeillä enemmän viljelijöitä uskoi viljelyn kannattavuuteen kuin ei olisi uskonut siihen. Viljatilojen kohdalla suhtautuminen helpeen riippui viljan hinnasta suhteessa helpeen ja siitä, oliko tiloilla ollut viljan markkinointivaikeuksia.

Maito- ja lihatilojen suhtautuminen helpeen ei ollut yhtä myönteistä. Yleisin syy tähän oli, että mahdollisesti lähiaikoina oli investoitu nykyiseen tuotantoon, siihen panostetaan täysillä ja kaikki peltoala tarvitaan eläinten rehun tuottamiseen. Jos nykyinen tuotanto loppuu, voisivat viljelijät harkita siirtymistä helpeen.

Kaiken kaikkiaan helven viljelyhalukkuus ei ole niin suurta, että ainakaan lähitulevaisuudessa voitaisiin tuottaa määriä, joita keskisuomalaiset voimalaitokset voisivat optimitalanteessa käyttää.

Osatehtävässä tarkasteltiin lisäksi Keski-Suomen pellon käyttöä tilastollisesti ja maantieteellisesti karttaohjelmiston avulla.

Keski-Suomen peltoalasta noin 73 500 ha käytetään eläinten rehun tuottamiseen joko viljana (33 600 ha) tai nurmena (39 900 ha), ja tämän osuus 99 400 hehtaarin kokonaispinta-alasta on noin 74 %. Seuraavaksi suurimmat pellon käyttömuodot ovat luonnonhoitopellot ja kesanto, joita on yhteensä 13 100 ha jakautuen lähes tasan kummankin kesken. Nämä olisivat myös luonnollisin kohde helven viljelylle. Loppu peltoala on suuruudeltaan yhteensä noin 12 400 ha, josta suurin yksittäinen osuus on leipäviljalla, noin 3 250 ha.

Peltoalojen maantieteellisessä sijoittumisessa ei havaittu erityisiä keskittymiä. Jos otetaan huomioon viljelijäkyselyn tulos, jonka mukaan viljatilat suhtautuvat myönteisimmin helpeen ja karjatilat vähemmän myönteisesti, ei voida osoittaa alueita, joissa olisi näiden tilaryhmien keskittymiä ja siis potentiaalisia alueita helven viljelylle, vaan kaikki tilatyypit ovat tasaisesti edustettuna ympäri Keski-Suomea.

### **Ruokohelven korjuuteknologian kehittäminen**

Kenttäkokeiden avulla etsittiin syitä käytännössä havaittuun suureen paalien tiheyden vaihteluun, joka vaikuttaa merkittävästi paalien kaukokuljetuksen kustannuksiin. Selittäviksi syiksi oletettiin paalaimen ajonopeus ja paalattavan karheen koko. Kenttäkokeissa ei kuitenkaan havaittu näiden tekijöiden merkittävää vaikutusta paalin tiheyteen. Ainoaksi selittäväksi syyksi jää paalaimen puristus-paineen säätö sekä koneen mahdollinen kunto ja ikä. Tämän vuoksi ei löydetty helppoa ratkaisua paalien tiheyden lisäämiseen. Paalausurakoitsijat katsovat usein, mahdollisesti syystäkin, että liian korkea puristus-paine rasittaa paalainta ja on myös havaintoja, joiden mukaan liian tiiviiden paalien pudottaminen paalaimesta hankaloituu. Myöskään paalauksessa useimmiten käytetty paalitaksa (€paali) ei kannusta tekemään mahdollisimman tiiviitä paaleja.

Lisäksi arvioitiin eri työvaiheiden yhdistämisen vaikutuksia korjuun kustannuksiin. Esimerkiksi niitto ja paalaus voidaan tehdä samalla ajokerralla, jos tähän on käytettävissä etunostolaitteella ja -voimanotolla varustettu traktori. Työajan säästö tällä koneyhdistelmällä on merkittävä, mikä voi helpottaa korjuun onnistumista suhteellisen lyhyen korjuujakson aikana keväällä. Kustannussäästö on kuitenkin pienempi, koska konekustannukset ovat merkittävä osa kokonais-kustannuksia ja nämä pysyvät likimäärin samana riippumatta työajan menekistä.

Etsittiin myös olemassa olevaa konekalustoa, jolla paalien keräilyä voidaan tehostaa esimerkiksi siten, että keräilyyn tarvitaan vain yksi traktori ja työntekijä tai paalien siirtelyn työmäärä pellonreunavarastoihin tehostuu. Pyöröpaaleille tehtyjä, itselastaavia paalivaunuja löytyi ainakin kaksi eri mallia, joista toinen on kotimaista valmistetta. Myös suurkantipaaleille löytyy vastaava kone. Nämä koneet soveltuvat urakointiin, koska koneiden hankintahinta edellyttää riittävää vuosittaista käyttömäärää. Tanskassa käytetään kevyitä paalaimen liitettäviä vaunuja, joilla paalit voidaan siirtää paalauksen yhteydessä lohkon päihin paalien keräilyä nopeuttamaan. Näitä vaunuja on sekä suurkantti- että pyöröpaalaimille. Jotkut suomalaiset urakoitsijat ovat itse rakentaneet pyöröpaalaimiin sopivia

## 8. Yhteenveto

paalinkeruuvaunuja. Lisäksi niin sanotulla yhdistelmäpaalaimella voidaan koota enintään kaksi paalia samaan paikkaan.

### **Ruokohelven varastoinnin kehittäminen**

Osatehtävässä seurattiin helpipaaliaumojen paalien kostumista varastoinnin aikana, kun kasat olivat eri tavoin peitetty tai olivat peittämättömiä ja lisäksi olivat eri tavoin pohjustettuja tai olivat pohjustamattomia.

Sekä kasojen peittäminen ja pohjustaminen ehkäisevät veden imeytymistä paaleihin joko sadevedestä tai maasta nousevasta vedestä. Varsinkin yksittäiset paalit peittämättömässä ja pohjustamattomassa kasassa voivat olla hyvin kosteita. Selvästi kostunut vyöhyke ulottuu useimmiten 10–20 cm:n syvyyteen, joissakin tapauksissa tätä syvemmälle. Pahimmillaan 10 cm pintakerroksen kosteus on 70–80 % ja kosteus välillä 10–20 cm on 50–70 %, mutta yli 20 cm:n syvyydessä kosteus on lähes poikkeuksetta alle 20 %.

Oleellinen tekijä pyramidipäätyisiä paalivarastoja tehtäessä on laittaa niihin harjapaali, jolloin peite laskeutuu siten, että auman päälle ei jää vesitaskuja, koska suurella todennäköisyydellä pussissa oleva vesi valuu jossain vaiheessa aumaan. Aumojen korkeus tulisi mitoittaa siten, että lastaavalla koneella voidaan kasoihin aina laittaa harjapaali.

Koeauman seurannassa oli peitetyn ja eri tavoin pohjustetun auman osan laskennallinen keskipasteisuus 18–26 %, peitetyn mutta pohjustamattoman osan kosteus 30 % ja peittämättömän/pohjustamattoman osan kosteus 35 %. Peitettyjen auman osien tapauksessa on todennäköistä, että vesipusseissa ollut vesi on valunut aumaan kastellen sitä. Tätä tukee myös se, että auman sisällä, oletetun harjan kohdalla, osa paaleista oli kastunut.

### **Ruokohelven toimituslogistiikan kehittäminen**

Toimituslogistiikkaa tulisi tarkastella yhdessä helven käyttömäärien ja käyttötavan avulla. Käyttötapoja ovat satunnainen käyttö, joko vuodenajan mukaan (kesäaika) tai muutoin satunnaisesti jaksoissa, tai jatkuva ympärivuotinen käyttö, joko suhteellisenä osuutena tai absoluuttisena käyttömääränä tarkastelun ajanjaksona.

Suurin helven absoluuttinen vuosittainen käyttömäärä saavutetaan, jos käyttö on ympärivuotista ja helven suhteellinen osuus koko polttoainevirrasta on aina vakio. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että nykyisissä laitoksissa kuljetinlaitteiston määräämä helven maksimiosuus on 5 % energiasta. Vastaava kattilakemian aiheuttama rajoitus on 10 %, jos helpeä käytetään puupolttoaineiden kanssa ja



20 %, jos käytetään turpeen kanssa. Kuljetuslogistiikka joutuu mukautumaan eri vuodenaikojen vaihtuviin kuljetusmääriin (vaikka suhteellinen käyttö vakio), mutta niinhän on tilanne jo nykyisin muiden polttoaineiden kanssa.

Absoluuttisesti vakiona pysyvä helven käyttö (MWh per ajanjakso) auttaa suunnittelemaan kuljetuksia, koska viikoittainen tai kuukausittainen helpitarve on etukäteen tiedossa. Vuositasolla helven absoluuttinen käyttömäärä jää kuitenkin edellistä käyttötapaa pienemmäksi, koska vakiona pysyvä helven käyttö on mitoitettava sen ajanjakson (kuukauden) mukaan, jolloin kokonaispolttoainekäyttö on pienin, jotta helven suhteellinen osuus pysyy aina alle sallitun osuuden.

Helven kesäaikainen tai muuten satunnainen käyttö on kuljetusten ja käytön kannalta hankalin tilanne. Lyhyistä käyttöjaksoista johtuen vuosikäyttö jää pakostakin pieneksi. Tämä taas helposti estää kehittämistoimia ja investointeja, joilla helven käyttöä voidaan laadullisesti ja määrällisesti kehittää, kuten helven kiinteät varastorakennukset, helpiterminaalit, kuljetusten erikoiskalusto, kuljetusten pitkäaikaiset organisaatiot (erityisesti rautateillä) ja voimalaitosten investoinnit helven käsittelylaitteistoon (pneumalinjat, omat murskaimet ja erilliset korsibiomassakattilat).

Uusimmat risu-kantoajoneuvoyhdistelmät ovat yleensä suurimmissa lain ja tekniikan sallimissa mitoissa, joten verrattaessa tätä kalustoa ei kehitysmahdollisuuksia kuormakoon suurentamiseksi juuri ole. Sen sijaan käytännössä helpipaa- leja ajetaan sallittuja nimellismittoja pienemmillä autoilla, joten mahdollisuuksien mukaan valitsemalla suurimpia olemassa olevia autoja voidaan kuormakokoja suurentaa ja kustannuksia alentaa. Kuormakokoja voidaan myös lisätä itse kuormatila suurentamalla, kuten lattiaa madaltamalla (rakenteita tai renkaita muuttamalla) ja seiniä ohentamalla. Näiden vaikutus on kuitenkin pieni eli nykyisissä uusimmissa autoissa on maksimaalinen kuormatila ottaen huomioon lain sallimat auton ulkomitat.

### **Ruokohelven kosteusmittauksen kehittäminen**

Osatehtävässä etsittiin ja testattiin instrumentaalimenetelmiä, joilla kosteusmit- tausta voitaisiin nopeuttaa ja samalla sen luotettavuutta parantaa. Sekä mikroaal- totekniikkaan perustuvalla Senfit Oy:n BMA-laitteella että Vaisalan NMR- tekniikkaan (ydinmagneettinen resonanssi) perustuvalla laitteella saatiin helven kosteus määritettyä suhteellisen hyvällä tarkkuudella, jos näyte on edustava. Joitakin epävarmuustekijöitä näidenkin menetelmien käyttöön liittyy. Hyvin kostealla helvellä BMA-mittaus antoi liian pieniä kosteuksia. Vastaavasti NMR

## 8. Yhteenveto

antoi hyvin kuivalla helvellä liian suuria kosteuksia. Vaikka yleisesti mittausten tulokset olivat oikeita, niin yksittäisten havaintojen poikkeama voi olla suurempi.

Kapasitiiviseen mittauksen perustuvalla Wile Bio Moisture -käsimittarilla voitiin kosteus määrittää kuivista paaleista, mutta tarkkuus ei ole kovin hyvä. Mittari toimii vain melko kuivalla helvellä, jonka kosteus on alle 20–30 %. Mittaria voidaan käyttää tuotantoaikaisten kosteuksien määrittämiseen, mutta se ei ehkä sovellu viralliseksi helven energiamäärän mittaumenetelmäksi.

Mitkään tässä kuvatut sähköiset mittaumenetelmät eivät juuri toimi jäätyneellä helvellä.

Vaikka etukäteisoletuksen perusteella punnitukseen perustuva kosteusmääritys olisi tarkka ja helppo tehdä, niin saatujen tulosten perusteella tarkkuus ei välttämättä ole oletetun hyvä. Tähän voi vaikuttaa mikrobiologisen toiminnan aiheuttama kuiva-aineen hävikki. Tämän havaintoaineiston perusteella ei painomittausmenetelmää kuitenkaan kannata sulkea pois, koska se on helppo tehdä ja se ratkaisisi monia näytteenottoon ja määrittämiseen liittyviä ongelmia. Erityisesti kostuneilla paaleilla menetelmä voi olla toimiva.

Kosteus paaleissa on keskittynyt paalien pintakerrokseen. Hyvinkin kosteissa paaleissa selvästi kostunut kerros ulottuu useimmiten alle 20 cm:n kerrokseen tai korkeintaan 30 cm:n syvyyteen, ja syvyysuuntainen kosteusprofiili ei ole lineaarinen.

Paaleista voidaan ottaa kosteusnäytteitä kairaamalla. Tällöin tulee tietää oikea pyöröpaalien kairausryvyys, joka on aina pienempi kuin paalin säde. Tämä johdetaan siitä, että kairausnäytteeseen kukin kerros tulee samalla painoarvolla edustettuna, mutta tietyn kerroksen suhteellinen osuus koko paalin tilavuudesta pienee suhteessa etäisyyden neliöjuureen mentäessä paalin kehältä kohti keskustaa. Oikealle kairausryvyydelle ei ole olemassa yleisiä säännönmukaisuuksia, vaan se riippuu kosteusprofiilista.

Projektissa kerätyn aineiston perusteella oikea kairausryvyys oli 20–34 cm ja laskennallinen keskiarvo 26 cm. Pintakerroksen kosteuden ja oikean kairausryvyyden välillä ei juuri ole yhteyttä, vaan kairausryvyys riippuu itse kosteusprofiilista.

Käytännön toiminnassa paalit voidaan kairata vain etukäteen asetettuun vakiosyvyteen, joka tässä käytetyn aineiston perusteella on 25 cm. Tällöin yksittäisiin mittauksiin tulee virheitä, jotka ovat sitä suurempia mitä suurempi ero on vakiosyvyyden ja oikean syvyyden välillä. Aineiston perusteella keskimääräinen virhe on 1,4 prosenttiyksikköä, mutta tapauskohtaisesti virhe voi olla välillä -6–+3 prosenttiyksikköä. On vaikea arvioida tarkasti, mikä on menetelmän kokonaisvirhe, kun arvioidaan paalierien kosteuksia. Yksinkertaistettuna voidaan

olettaa, että kokonaisvirhe lähestyy aikaisemmin esitettyä laskennallista keski-  
virhettä eli menetelmä voisi olla suhteellisen tarkka. Suhteellisen kuivilla paa-  
leilla tarkkuus on hyvä, mutta tarkkuus pienenee mitä suurempi vaihtelu koste-  
usprofiilissa on. Liian matalaan kairaaminen antaa paalille liian suuren kosteu-  
den ja liian syvään kairaaminen antaa liian pienen kosteuden.

# Lähdeluettelo

- Barsoukov, E. & Macdonald, J.R. 2005. Impedance spectroscopy: theory, experiment and applications. John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, USA.
- Casieri, C., Senni, L., Romagnoli, M., Santamaria, U. & De Luca, F. 2004. Determination of moisture fraction in wood by mobile NMR device. *Journal of Magnetic Resonance* 171, s. 364–372.
- Cundiff, J. S. 1996. Simulation of five large round bale harvesting systems for biomass. *Bioresource Technology* 56, s. 77–82.
- Forsen, H. & Tarvainen, V. 2000. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. VTT Publications 420. Espoo, Finland. 79 s. + liitt. 17 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P420.pdf>.
- Jensen, P.D, Hartmann, H., Böhm, T., Temmerman, M., Rabier, F. & Morsinga, M. 2006. Moisture content determination in solid biofuels by dielectric and NIR reflection methods. *Biomass and Bioenergy* 30, s. 935–943.
- Järvinen, T. 2009. Kapasitiivinen kosteusmittaus (lyhyt kuvaus sekä VTT:n ja muiden kokemuksia). VTT:n Tutkimusraportti, Maakuntahelpi-hanke, Jyväskylä 11.12.2009. 14 s.
- Järvinen, T., Malinen, J., Tiitta, M. & Teppola P. 2007. State of art -selvitys puun kosteusmittauksesta. VTT:n Tutkimusraportti, Metsäteho Oy. Puun kosteusmittaus -hanke. 90 s.
- Järvinen, T., Siikanen, S., Tiitta, M. & Tomppo, L. 2009. Wood chip moisture on-line measurement system based on the combination of the different methods. Creating business – mitigating climate change. The ClimBus Technology Programme, Final report 5/2009. S. 156–163.
- Krone 2005. Käyttöohje. Pyöröpaalain Round Pack 1250 / Round Pack 1250 Multicut. Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH. 136 s.
- Lappalainen, T. 1999. Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen. Puun kosteuden mittausmenetelmät, Tutkimusselostus ENE31/T0027/99.
- Lötjönen, T. & Iso-lahti, M. 2007. Ruokohelven korjuutappiot pienemmiksi. Koetoiminta ja käytäntö 64, 1(19.3.2007), s. 14.
- MacDonald J.R. 1987. Impedance spectroscopy. John Wiley & Sons, New York.

- Magnuson, E. 2005. Remote automatic material on-line sensor. Final report, 20 December 2005, U.S. DOE, Golden Field Office, prepared Quantum Magnetics Inc, San Diego, CA 92128-3401. S. 34.
- Mattsson, J.-E. 1997. Tendency to bridge over openings for chopped *Phalaris* and straw of *Triticum* mixed in different proportions with wood chips. *Biomass and Energy*, Vol. 12, No. 3, s. 199–210.
- Metsäteho 2010. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2009. Metsätehon katsaus Nro 43. 4 s.
- Määttä, H. 2010. Ruokohelven käytön lisääminen Joensuun voimalaitoksen kattilassa – käytettävyys, hyötysuhde ja taloudellisuus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- O’Kiely, P., Forristal, D. & Lenehan, J.J. 1999. Baled Silage – Development Of Reliable Baled Silage Systems. Beef Production Series No. 11. <http://www.teagasc.ie/research/reports/beef/4284/eopr-4284.asp#c1#c1>.
- Oristo, U. 2010a. Tehoa paalinkäärintään. *Koneviesti* 3/2010, s. 32–35.
- Oristo, U. 2010b. Anderson Wraptor, käärimen ja keruvaunun symbioosi. *Koneviesti* 3/2010, s. 28–31.
- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Taipale, R., Leino, T., Rinne, S., Lötjönen, T. & Kirkkari, A.-M. 2008. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. VTT Tiedotteita 2452. 158 s. + liitt. 9 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2452.pdf>.
- Palva, R. 2009. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. TTS tutkimuksen tiedote, Luonnonvara-ala: maatalous 3/2009 (612). 12 s.
- Petersen, L. 2009. Written notice. DSE, Denmark.
- Tiitta, M. 1992. Gamma-ray instrument for measuring internal moisture content and density distributions in wood. VTT Julkaisuja 770, Espoo, Finland. 79 s. + liitt. 17 s.
- Yrjölä, H. 2009. Ruokohelven varastointi energiakäyttöön, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Agroteknologian laitos, Pro gradu -tutkielma, Helmikuu 2009. S. 105.

## Kirjallisuus

- Järvinen, T. 2009. Kapasitiivinen kosteusmittaus (lyhyt kuvaus sekä VTT:n ja muiden kokemuksia). VTT:n Tutkimusraportti, Maakunnallinen helpi -hanke, Jyväskylä 11.12. 2009. 14 s.
- Lindh, T. 2009. Ruokohelven polttoainehankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille.-hanke. Maakuntahelpi. Energia-alan kehittämishankkeet Keski-Suomessa, Bioenergiasta elinvoimaa -klusterin ja Jyväskylän seudun Energiateknologian osaamiskeskusohjelman vuosikatsaus 2009. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. S. 26–27.
- Lindh, T. 2010. Ruokohelven polttoainehankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille, Maakuntahelpi. Energia-alan kehittämishankkeet Keski-Suomessa, Bioenergiasta elinvoimaa -klusterin ja Jyväskylän seudun Energiateknologian osaamiskeskusohjelman vuosikatsaus 2010. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. S. 40–47.
- Paappanen, T., Laitinen, V. & Lindh, T. 2011. Helven viljelyn potentiaalikartoitus, peltoalan tilastollinen analysointi ja korjuukoneselvitys Keski-Suomessa. Raportteja VTT-R-07827-10.

# Liite A: Kyselylomake viljelijöille

RUOKOHELVEN HANKINTA KESKISUOMALAISILLE VOIMALAITOKSILLE  
Kysely keskisuomalaisille viljelijöille

## 1. Tilanne yleistiedot

Kokonaispinta-ala, ha \_\_\_\_\_  
- josta omaa, ha \_\_\_\_\_  
- josta vuokrattua, ha \_\_\_\_\_

Tuotantosuunta

Maidontuotanto  
 Viljanviljely  
 Lihakarja  
 Muu ? Mikä ? \_\_\_\_\_

Päätoiminen viljelijä  
 Osa-aikainen viljelijä

Etäisyys Jyväskylästä, km \_\_\_\_\_ (maanteitse)  
Postinumero \_\_\_\_\_  
Ikä, vuotta \_\_\_\_\_

## 2. Tilanne konekalusto

Traktorit: alle 70 kW kpl, yli 70 kW kpl

Niittomurskain (tarpeeton yliviivataan: nostolaitteessa/hinattava/etunostolaitteessa)  
Voiko murskainosan pyörimisnopeutta säätää (K/E) ? \_\_\_\_\_

Lautasniittokone  
 Pyöröpaalain (tarpeeton yliviivataan: muuttuvakammioinen/kiinteäkammioinen)  
 Suurkanttipaalain  
 Tarkkuussilppuri  
 Itsekulkeva tarkkuussilppuri  
 Paaliperävaunu, mahtuu paaleja, kpl \_\_\_\_\_  
 Paalaimen kytkettävä perävaunu, jolla voidaan siirtää paalit varastoon tai lohkon päihin  
 Maatalouden paalisilppuri  
 Muu paalimurskain, merkki ja malli \_\_\_\_\_  
 Etukuormaaja traktorissa  
 Etunostolaite traktorissa  
 Tuubikäärin  
 Risurekka  
 Metsäkärny  
 Muu, mikä ? \_\_\_\_\_

## 3. Helven viljely

Viljelen helpeä tällä hetkellä, pinta-ala, ha \_\_\_\_\_  
 Aion tulevaisuudessa alkaa/lisätä viljelyä, ha \_\_\_\_\_  
 En sulje pois mahdollisuutta viljellä helpeä, mutta en ole ajatellut asiaa tarkemmin  
 En nyt ja lähitulevaisuudessa katso helven olevan minulle vaihtoehto nykyiselle tuotanto-  
suunnalle, Miksi ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Liite A: Kyselylomake viljelijöille

### 4. Helven korjuu omalla tilalla

Vastatkaa seuraaviin kysymyksiin, vaikka ette itse tällä hetkellä viljele helpeä (mihin olette valmis konekaluston ja ajankäytön perusteella osallistumaan)

En aio osallistua helven korjuuseen tilallani

Osallistun/voin osallistua korjuuseen seuraavissa työvaiheissa

- Niitto
- Paalaus
- Silppurointi
- Paalien ajo pellon laitaan ja peittäminen
- Helpipaalien murskaus
- Muu, mikä ? \_\_\_\_\_

Käytän urakoitsijoita seuraavissa työvaiheissa

- Niitto
- Paalaus
- Silppurointi
- Paalien ajo pellon laitaan ja peittäminen
- Helpipaalien murskaus
- Muu, mikä ? \_\_\_\_\_

Mitä kommentteja (toivomuksia, rajoituksia, yms.) teillä on urakoitsijoiden tekemälle työlle pelloillanne

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### 5. Urakointi helven korjuussa tilan ulkopuolella

Vastatkaa seuraaviin kysymyksiin, vaikka ette itse tällä hetkellä urakoi helven korjuussa (mitä olisitte valmis konekaluston, kiinnostuksen ja ajankäytön perusteella tekemään)

Olen jo urakoinut helven korjuussa tilan ulkopuolella

Olen urakoinut/valmis urakoimaan tilan ulkopuolella seuraavissa työvaiheissa

- Niitto
- Paalaus
- Silppurointi
- Paalien ajo pellon laitaan ja peitto
- Helpipaalien murskaus
- Muu, mikä ? \_\_\_\_\_

Urakoinnin työmäärä

- Vain naapurille/-reille
- Laajemmin koko korjuukauden

Jos olette paalanneet tai teille on paalattu helpeä tai tuorerehua, niin mitä taksaa on käytetty ?

- Paalitaksaa
- Hehtaaritaksaa
- Tuntitaksaa



Oletteko kiinnostunut urakoinnista suurkanttipaalaimella (K/E) ? \_\_\_\_\_  
Katsotteko, että suukanttipaalaimella urakoinnille olisi mahdollisuuksia lähiseudullanne ?  
Lyhyt perustelu ?

Onko teillä suunnitelmia investoida koneisiin (uudempiin tai ei olemassa tällä hetkellä) sen vuoksi, että helven käyttö lisääntyy tulevaisuudessa (K/E) ?, mihin koneisiin ?

Jos olette jo urakoinut helpeä tilan ulkopuolella, niin vastatkaa seuraavaan kolmeen kysymykseen, muutoin menkää kysymykseen 6

Mitä kommentteja teillä on urakoinnista, liittyen työn suoritukseen (hyvät ja huonot kokemukset, yksilöikää tarvittaessa työvaiheittain) ?

Katsotteko urakoinnin olevan teille kokonaistaloudellisesti kannattavaa (K/E) ? \_\_\_\_\_  
Lyhyt perustelu ?

Aiotteko jatkaa urakointia tulevaisuudessa (K/E) ? \_\_\_\_\_

## 6. Helven viljelyn kannattavuus

Katsotteko, että helven viljely voi olla teille kannattava vaihtoehto verrattuna nykyiseen tuotantoonne ja tuotantotilanteeseenne (K/E). \_\_\_\_\_  
Perustelut vastaukselle \_\_\_\_\_

Jos ette tällä hetkellä koe helpeä kannattavaksi vaihtoehdoksi, niin missä tilanteessa se voisi tulla teille kannattavaksi ?

Mikä on mielestänne käypä hinta helvestä (ilmoittakaa yksikkö, €/MWh tai €/t) ? \_\_\_\_\_  
(Pellonreunahinta paalit kasoihin peitettynä)  
(Helven toteutunut keskisato on 4,5 t/ha, vaihteluväli 3-8 t/ha. Energiasisältö 4,22 MWh/t, 14 % kosteus)  
(Ruokohelven keskihinta Keski-Suomessa on tällä hetkellä 6,3 €/MWh, vaihteluväli 3 - 8 €/MWh)

## Liite A: Kyselylomake viljelijöille

### 7. Viljojen olki

Oletteko valmis myymään olkea polttoaineeksi (K/E) ?

\_\_\_\_\_

Kuinka suuren osuuden syntyvästä oljesta voisitte myydä, % tai ha  
Kokonaisvilja-ala, ha

\_\_\_\_\_ %/ha

\_\_\_\_\_

Oletteko valmis myymään olkea muiltakin kuin nurmen  
suojavilja-aloilta (K/E) ?

Kuinka suuren osuuden tästä oljesta voisitte myydä, %

\_\_\_\_\_ %

\_\_\_\_\_

Mikä olisi mielestänne käypä hinta oljesta (raaka-aineen hinta, ilmoittakaa yksikkö, €/t tai €/MWh)

- joka tulee vilja-aloilta

\_\_\_\_\_

- joka tulee nurmen suojavilja-aloilta, voisitteko luovuttaa ilmaiseksi (K/E)

\_\_\_\_\_

(Olkisato 2,5 t/ha. Energiasisältö 3,78 MWh/t, 20 % kosteudessa)

Oletteko valmis urakoimaan oljen korjuussa (K/E) ?

\_\_\_\_\_

Jos ette ole valmis urakoimaan pelkästään helpeä, niin olisitteko valmis  
urakoimaan sekä helpeä että olkea (K/E) ?

\_\_\_\_\_

Mitä työvaiheita olette valmis urakoimaan oljen korjuussa ja missä laajuudessa ?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Voisitteko oletetussa tilanteessa (helpi ja olki) investoida koneisiin (uudempiin tai ei olemassa oleviin),  
jota ette muutoin tekisi (K/E), mihin koneisiin ?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**8. Yhteystiedot ja luottamuksellisuus**

Kaikkien yhteystietonsa ilmoittaneiden kesken arvotaan palkintona herkkukori

Nimi \_\_\_\_\_  
Lähiosoite \_\_\_\_\_  
Postitoimipaikka \_\_\_\_\_  
Puhelin \_\_\_\_\_  
Sähköposti \_\_\_\_\_

- Minulle saa lähettää kutsuja helpeä käsitteleviin viljelijätilaisuuksiin ja muuta helppi-infoa
- Toivon, että ProAgrian edustaja ottaa minuun yhteyttä liittyen helven viljelyyn tilallani (Kiinnostuneiden määrästä riippuu kuinka kattavasti tämä voidaan toteuttaa)
- Olen kiinnostunut urakoinnista helven korjuussa ja toivon yhteydenottoa (Vapon edustaja)
- Olen kiinnostunut helven viljelysopimuksesta ja toivon yhteydenottoa (Vapon edustaja)

Kaikki tässä kyselyssä antamanne tiedot käsitellään luottamuksellisesti siten, että antamianne tietoja ei voida yhdistää teihin pjojektissa syntyvässä julkisessa aineistossa

Vastauslomakkeenne ja myös yhteystietonne jäävät ainoastaan VTT:n tietoon, ellette ole muuta ilmoittaneet (Kiinnostus ProAgrian neuvontapalveluihin tai kiinnostus urakointiin ja viljelysopimukseen)

Kommentteja tämän kyselyn eri aihealueisiin ?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Kiitos vastauksestanne!





Tekijä(t) Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola, Timo Järvinen, Ismo Tiihonen, Timo Lötjönen & Samuli Rinne		
Nimeke <b>Ruukohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille</b>		
Tiivistelmä Hankkeen tavoitteena oli edistää ruukohelven laajamittakaavaisia käyttömahdollisuuksia Keski-Suomessa. Hankkeen osatehtäviä olivat helven tuotannon potentiaalikartoitus, korjuuteknologian kehittäminen, varastoinnin ja kuljetusten logistiikan kehittäminen, energiasäilytyksen mittaus ja markkinointi. Varsinkin rehuviljatilat ovat halukkaita viljelemään helpeä. Kiinnostus ei kuitenkaan ole niin suurta, että ainakaan lähitulevaisuudessa voitaisiin tuottaa määriä, joita keskisuomalaiset voimalaitokset voisivat optimitalanteessa käyttää. Työvaiheita yhdistämällä, esimerkiksi niiton ja paalauksen yhdistämisellä, voidaan korjuun kapasiteettia lisätä. Samoin on olemassa itsekerääviä paalivaunuja, joilla paalien keräilyä pellolta voidaan tehostaa. Paalikasojen peittämisellä ja pohjustamisella voidaan paalien kostumista ehkäistä. Kosteus on usein keskittynyt paalin pintakerrokseen, mutta pintakerroksen vaikutus pyöröpaalin keskikosteuteen on suurempi kuin sisempien kerrosten vaikutus. Kasoja peitettäessä tulisi niissä aina olla harjapaali, joka estää vesipussien muodostumisen muovin päälle. Tutkituilla sähköisillä kosteusmääritysmenetelmillä, kuten NMR- ja mikroaaltomenetelmät, voitiin helven kosteus määrittää keskimäärin suhteellisen tarkasti. Menetelmät soveltuvat kuitenkin käytettäväksi vain laboratorio-oloissa ja toimivat vain sulalla helvellä. Kosteusnäytteiden otto paaleista on haastavaa, koska päältä päin ei voida nähdä, kuinka syväälle kosteus on edennyt paaliin. Pyöröpaaleille määritettiin mittausaineiston avulla oikea kairausvyvyys, jolla näyte antaa paalin keskikosteuden.		
ISBN 978-951-38-7699-9 (nid.) 978-951-38-7700-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero 34806
Julkaisu-aika Maaliskuu 2011	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 148 s. + liitt. 5 s.
Projektin nimi Ruukohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille		Toimeksiantaja(t) Vapo Oy
Avainsanat Energy crops, reed canary grass, mixed fuel, combined heat and power, business opportunities, harvesting of energy crops		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Author(s) Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola, Timo Järvinen, Ismo Tiihonen, Timo Lötjönen & Samuli Rinne		
Title <b>The procurement of reed canary grass for power plants in Central Finland</b>		
Abstract The objective of the project was to promote large-scale use of reed canary grass (RCG) in Central Finland. The tasks of the project were such as production potential survey, development of harvesting technology, development of storage and supply logistics and measurement moisture content of reed canary grass. Especially feed grain farms are willing to cultivate RCG, but the interest is not so great, at least in the near future, that such quantities could be produced, which power plants could use on optimal conditions. By combining work stages, like mowing and baling, the capacity of harvesting can be increased. In addition commercial self-loading bale wagons are manufactured, with which the collection of bales from field can be rationalized. By covering the RCG stacks and building an insulating bottom to them, the moisture content increase can be prevented. The moisture is often concentrated to surface layer of a bale, but the effect of surface layer to moisture content of bale is more significant than that of inner layers. The stacks should always have comb shape form in order to prevent the rain water to gather into pools at the top of plastic cover. By using the electrical damp measuring techniques, like NMR and micro wave methods, the moisture content of RCG can be measured relatively accurately. These methods can only be used on laboratory conditions and they work only with unfrozen RCG. The moisture content sampling of RCG is a challenging task, because it is not possible to see how deep the moist layer in a bale is. Sampling depth for round bales was determined.		
ISBN 978-951-38-7699-9 (soft back ed.) 978-951-38-7700-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number 34806
Date March 2011	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 148 p. + app. 5 p.
Name of project The supply of reed canary for power plants in Central Finland		Commissioned by Vapo Oy
Keywords Energy crops, reed canary grass, mixed fuel, combined heat and power, business opportunities, harvesting of energy crops		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

## VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2560 Hanna Pihkola, Minna Nors, Marjukka Kujanpää, Tuomas Helin, Merja Kariniemi, Tiina Pajula, Helena Dahlbo & Sirkka Koskela. Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave. Results from the LEADER project (Part 1). 2010. 208 p. + app. 35 p.
- 2561 Hanna Pihkola, Maija Federley, Minna Nors, Helena Dahlbo, Sirkka Koskela & Timo Jouttijärvi. Communicating environmental impacts of print products. Results from the LEADER project (Part 2). 2010. 64 p. + app. 3 p.
- 2562 Tuomo Rinne, Kati Tillander & Peter Grönberg. Data collection and analysis of evacuation situations. 2010. 46 p. + app. 92 p.
- 2563 Marja-Leena Haavisto, Kaarin Ruuhilehto & Pia Oedewald. Rautateiden liikenteenohjaus ratatöiden aikana ja ratatöiden hallinta. 2010. 79 s. + liitt. 7 s.
- 2564 Juha Laitila, Arvo Leinonen, Martti Flyktman, Matti Virkkunen & Antti Asikainen. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. 2010. 143 s.
- 2565 Åsa Nystedt, Mari Sepponen, Seppo Teerimo, Johanna Nummelin, Mikko Virtanen & Pekka Lahti. EcoGrad. Ekotehokkaan kaupunkialueen toteuttaminen Pietarissa. 2010. 77 s. + liitt. 12 s.
- 2567 Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki, Auri Koivuhuhta, Tero Korhonen, Saija Luukkanen, Pekka Mörsky, Raisa Neitola, Henna Punkkinen & Margareta Wahlström. Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. 2010. 98 s. + liitt. 8 s.
- 2568 Katariina Palomäki. Innovatiivisen verkostoyhteistyön edellytykset turvallisuusallalla. 2011. 113 s. + liitt. 6 s.
- 2569 Asko Talja. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. 2011. 35 s. + liitt. 9 s.
- 2570 Tuomo Rinne, Peter Grönberg, Ville Heikura & Timo Lopenen. Huoneistopalon sammuus vaihtoehtoisilla sammuusmenetelmillä. 2011. 80 s.
- 2571 SAFIR2010. The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007-2010. Final Report. Puska, Eija Karita; Suolanen, Vesa (eds.) 2011. 578 p.
- 2572 Kestävän rakentamisen prosessit. Häkkinen, Tarja (toim.) 2011. 100 s. + liitt. 3 s.
- 2573 Sirje Vares, Tarja Häkkinen & Jari Shemeikka. Kestävän rakentamisen tavoitteet ja niiden toteutuminen. Espoo Suurpellon päiväkodin arvio. 2011. 48 s. + liitt. 34 s.
- 2574 Marko Jurvansuu. Roadmap to a Ubiquitous World. Where the Difference Between Real and Virtual Is Blurred. 2011. 79 p.
- 2576 Sebastian Teir, Antti Arasto, Eemeli Tsupari, Tiina Koljonen, Janne Kärki, Lauri Kujanpää, Antti Lehtilä, Matti Nieminen & Soile Aatos. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS:n) soveltaminen Suomen olosuhteissa. 76 s. + liitt. 3 s.
- 2577 Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Risto Impola, Timo Järvinen, Ismo Tiihonen, Timo Lötjönen & Samuli Rinne. Ruokohelven hankinta keskisuomalaisille voimalaitoksille. 2011. 148 s. + liitt. 5 s.