



Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Janne Kärki,
Risto Impola, Samuli Rinne, Timo Lötjönen,
Anna-Maija Kirkkari, Raili Taipale & Timo Leino

Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoiminta- mahdollisuuksien parantamiseksi

Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoiminta- mahdollisuuksien parantamiseksi

Teuvo Paappanen, Tuulikki Lindh, Janne Kärki, Risto Impola,
Raili Taipale & Timo Leino

VTT

Samuli Rinne
YTY-Konsultointi

Timo Lötjönen
MTT

Anna-Maija Kirkkari
Työtehoseura



ISBN 978-951-38-7242-7 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7243-4 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2008

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 2749

VTT, Koivurannantie 1, PB 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 2749

VTT Technical Research Centre of Finland
Koivurannantie 1, P.O. Box 1603, FI-40101 JYVÄSKYLÄ, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 2749

Toimitus Maini Manninen

Edita Prima Oy, Helsinki 2008

Paappanen, Teuvo, Lindh, Tuulikki, Kärki, Janne, Impola, Risto, Rinne, Samuli, Lötjönen, Timo, Kirkkari, Anna-Maija, Taipale, Raili & Leino, Timo. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi [Development of reed canary grass fuel chain]. Espoo 2008. VTT Tiedotteita – Research Notes 2452. 158 s. + liitt. 9 s.

Avainsanat energy crop, reed canary grass, business opportunities, harvesting losses, transport cost, production cost, combined heat and power, mixed fuel, fouling, high-temperature corrosion, greenhouse gases, emission reduction

Tiivistelmä

Projektin tavoitteena oli tarkastella ruokohelven koko tuotantoketjua korjuusta kuljetuksiin ja käyttöön voimalaitoksilla kiinteänä polttoaineena. Tuotanto-käyttökettujen ongelma-kohtiin on etsitty sekä teknisiä että toimintatapoihin liittyviä ratkaisuja.

Ruokohelven käytön nykytilanne voimalaitoksilla

Ruokohelpeä polttoaineena käyttäviä laitoksia on noin 25. Kokonaiskäyttö vuonna 2007 oli 60 GWh, ja se on kaksinkertaistunut edellisestä vuodesta. Tyypillinen helven käyttäjä on suuri CHP-laitos, jossa on leijukerroskattila. Kolmasosalla laitoksista kattilateho oli yli 200 MW_{th}, ja pienimmät kattilat olivat alle 5 MW.

Helven käytön alkutaival ei ole mennyt täysin ilman ongelmia. Ongelmat johtuvat helven erilaisesta mekaanisesta rakenteesta turpeeseen ja hakkeeseen verrattuna. Helpi on kevyttä, ja se aiheuttaa tukkeentumisia ja holvaantumisia polttoaineen käsittelyjärjestelmässä. Kriittisiä kohtia ovat vastaanottoasemien ritilät, kiekoseulat, niiden jälkeiset ylitemurskaimet ja välivarastojen ruuvipurkaimet. Ongelmien välttämiseksi helpeä pitää syöttää riittävän pienellä nopeudella ja tasaisesti, jotta suuria puhtaan helven patjoja ei joudu käsittelyjärjestelmään.

Ruokohelven korjuu

Helven korjuutappioita voidaan alentaa 20–30 %:iin käyttämällä niittoon lautasniittokonetta tai niittomurskainta, jonka murskainosa on säädetty väljäksi ja kierrosnopeutta on alennettu. Myös riittävän pieni leikkuukorkeus ja teräkulman säätäminen mahdollisimman jyrkäksi on tärkeää ottaen kuitenkin huomioon kivien ja puun aiheuttama rikkoontumisriski. Swather-niittokoneella on pienet korjuutappiot, mutta koneita ei ole juurikaan Suomessa.

Irtokorjuun ja paalauksen kokonaistyöaika hehtaaria kohti on likimäärin sama kun otetaan huomioon kaikki työvaiheet niitosta helven siirtoon pellonreunalle varastoon. Sen sijaan irtokorjuu on hieman tehokkaampaa, jos tarkastellaan kapasiteettia yksikössä tonnia tunnissa. Verrattaessa helven korjuun kapasiteetteja normaaleihin maatalouden töihin ei kapasiteeteissa ole juuri eroa.

Kaukokuljetus

Kuormakoot pyöröpaaleilla ovat 13–15 tonnia ja suurkantipaaleilla 20–21 tonnia. Helpoin keino kaukokuljetuskustannusten alentamiseksi on vähentää käytännössä havaittuja suuria tiheyseroja eri pyöröpaalierien välillä. Paalien tiheysero voi olla kymmeniä prosentteja ja maksimissaan jopa kaksinkertainen. Paalien tiheys ei näyttäisi selittyvän konemerkin ja -mallin avulla, joten urakoitsijoiden ohjeistaminen (paalaimen säädöt ja ajotapa) ja palkitseminen tekemään mahdollisimman tiiviitä paaleja on tärkeää. Paalien kuljetukseen tulisi käyttää suurimpia olemassa olevia rekka-autoja tai niitä voidaan rakentaa helven kuljetuksiin. Näillä keinoilla kuljetuskustannuksia voidaan alentaa merkittävästi. Muuttuvakammioisella pyöröpaalaimella saadaan noin 10 % tiiviimpiä paaleja kuin kiinteäkammioisella.

Helven seoskuorman energia voi olla jopa merkittävästi enemmän kuin paaleilla, joten näennäisesti helpeä voidaan kuljettaa edullisesti seoksessa. Kuorman massa ja energiamäärä ovat tyypillisesti kuitenkin pienempiä kuin puhtaalla turpeella. Jos tällöin oletetaan, että turpeen kustannus energiayksikköä kohti ei saa muuttua seoskuljetuksessa puhtaaseen turpeeseen verrattuna, nousee helven kuljetuskustannus. Helven kuljetuksen kustannus seoksena turpeen kanssa on tyypillisellä turverekalla hieman kalliimpaa kuin paalien kuljetus. Helven osuuden pienentäminen kuormassa vähentää kustannuksia. Käyttämällä suurimpia olemassa olevia turverekkoja (140 m³) voidaan seoskuljetusten kustannuksia alentaa merkittävästi, ja kuormien energiamäärä on samaa luokkaa kuin turpeella. Tämä on helpoin tapa alentaa seoskuljetuksen kustannuksia, jolloin olisi helpompaa täyttää myös useiden voimalaitosten toive saada helpi valmiina seoksena.

Kehitystyön seurauksena (kuormatilan koko ja paaleilla myös tiheys) voidaan alentaa sekä paalien että seoskuljetusten kustannuksia. Kuitenkin myös tässä tilanteessa paalien kuljetukseen perustuvat ketjut ovat kokonaistaloudellisesti tarkasteltuna hieman edullisempia kuin seoskuljetusketjut. Näin ollen tulevaisuuden tavoitteena voi olla kehittää voimalaitoksen tekniikkaa siten, että se mahdollistaa paalien kuljetuksen.

Helven murskaus ja seostus

Teknisesti hyvin helven murskaukseen soveltuvia murskaimia ovat järeät kaukalo- ja vasaramurskaimet. Paalinarut eivät ole ongelma, ja silppu on erittäin lyhyttä. Haittapuolina ovat pölyäminen ja korkeahkot kustannukset. Joillakin malleilla voidaan murskata samanaikaisesti sekä puuta että helpeä, jolloin saadaan valmis seos.

Maatalouden paalisilppurien soveltuvuus helven murskaukseen riippuu paljon koneen rakenteesta. Joillakin koneilla paalinarut ovat todellinen ongelma ja silppu on pitkä. Joillakin nämä ongelmat ovat siedettävällä tasolla. Sekä järeiden murskainten että maatalouden paalisilppurien kustannukset ovat samaa luokkaa.

Yksi mahdollinen vaihtoehto on käyttää laitoksen omaa kiinteää murskainta helven silppuamiseen, koska murskauksen kustannus on pienempi kuin mobiilimurskainten. Murskan kapasiteetti helvellä on kuitenkin pienempi kuin puulla, joten murskalla tulisi olla ylimääräistä kapasiteettia tai sen käyttöaika tulisi jatkaa. Toinen vaihtoehto on rakentaa voimalaitokselle kiinteä, hidaskäyntinen helvelle suunniteltu murskain. Tämän rakenne voi olla yksinkertaisempi ja kevyempi kuin puumurskan, jolloin sen kustannukset voivat olla alle mobiilimurskainten kustannusten, jos laitteella on riittävä vuotuinen käyttöaika.

Yksi lupaava murskaintyyppi on kaivinkoneeseen asennettava helvelle suunniteltu murskain. Paalinarut eivät ole ongelma ja silppu ovat kohtuullisen lyhyttä. Koneen edullisuus perustuu siihen, että se tarvitsee vain yhden voimakoneen ja työntekijän.

Tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset

Kokonaiskustannuksiltaan edullisin tuotanto-toimitus-käyttöketju on toimittaa helvi paaleina viljelmiltä voimalaitokselle, jossa helvi murskataan kiinteällä tai mobiilimurskalla. Suurkanttipaalit ovat kaikkein edullisin vaihtoehto, mutta koneita on vähän, joten ainakin lähitulevaisuudessa pyöröpaalit ovat vallitsevia. Paalien kanssa lähes samaan kustannukseen päästään seoskuljetusketjulla, jos viljelämä sijaitsee turvetuotantoalueella ja korjuu tehdään tarkkuussilppurilla. Näitä viljelmiä on kuitenkin vähemmän kuin mineraalimailla olevia. Helven välikuljetus viljelijöiden pelloilta turvetuotantoalueelle lisää kustannuksia siten, että seoskuljetusketjun kustannus on suurempi kuin paalien suorat kuljetukset voimalaitokselle.

Nykytilanne ei välttämättä kannusta viljelijöitä tuottamaan mahdollisimman suuria satoja. Paras tulos saadaan pienillä satotasolla tai tulos ei kasva samassa suhteessa sadon lisäyksen kanssa. Keinoja tilanteen parantamiseksi ovat lisätä voimalaitoksen maksamaa hintaa, lisätuki tai sitoa ainakin osa tuista sadon määrään.

Helven käyttö voimalaitoksilla

Jotkin voimalaitokset epäilevät, että helven tiettyjen aineiden, kuten alkaliain piin, pitoisuudet aiheuttavat kattilan likaantumista ja kuumakorroosiota. Tätä tutkittiin testiajoissa. Tulosten mukaan ei havaittu muutoksia kattilan likaantumisen- ja korroosionopeuksissa. Helven käyttö ei lisännyt pysyvien likakerrostumien tai korroosion määrää.

Helven osuus testiajoissa oli 1–2 % kokonaisenergiasta. Nykyisin helpeä käytetään pieninä osuuksina turpeen kanssa, joten likaantumisen- ja korroosioriskit ovat alhaisia. Jos osuudet ja käyttöjaksojen pituudet kasvavat, voivat riskit muodostua ongelmiksi.

Paappanen, Teuvo, Lindh, Tuulikki, Kärki, Janne, Impola, Risto, Rinne, Samuli, Lötjönen, Timo, Kirkkari, Anna-Maija, Taipale, Raili & Leino, Timo. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi [Development of reed canary grass fuel chain]. Espoo 2008. VTT Tiedotteita – Research Notes 2452. 158 p. + app. 9 p.

Keywords energy crop, reed canary grass, business opportunities, harvesting losses, transport cost, production cost, combined heat and power, mixed fuel, fouling, high-temperature corrosion, greenhouse gases, emission reduction

Abstract

The objective of the project was to study the whole production, supply and use chain of reed canary grass (RCG) as a method to produce solid fuel. Both technical solutions and solutions related to way of actions have been discovered to the problems of production – use chain.

The present use of RCG and experiences of the power plants

The number of power plants using RCG is about 25. The total use in 2007 was 60 GWh and it has doubled from the previous year. The typical user of RCG is large CHP plant (combined heat and power), which is equipped with fluidized-bed boiler. About one-third of the plants have a boiler over 200 MWth and smallest are under 5 MW.

The beginnings of RCG use has not gone without problems. These are caused by different physical properties compared to peat and wood chips. RCG is light and it causes vaulting and blockings on conveyor systems. The critical parts are gratings of receiving stations, disc sieves, crushers and screw conveyors of the intermediate storages. In order to avoid problems RCG must be mixed to the main fuels so that feed rate is small enough and there are no large lumps of pure RCG on the conveyor systems.

Harvesting of RCG

The results of the project showed that harvesting losses can be reduced to 20–30% by using disc-mower or disc-mower conditioner, on which the rotation speed of the crusher part is decreased and the counter blades are removed or adjusted loose. Also low cutting height and high enough angle between blades and ground are important. The risk of damage caused by rocks and wood however must be taken into account. Also losses of so called Swather-machine are small, but these are rare in Finland.

The total time spent per hectare on harvesting stages from mowing to transport of RCG to field storage is about equal for loose harvesting and baling. However if this capacity is expressed as tons per hour, loose harvesting is little bit more efficient than baling. If

comparing work stage capacities of RCG harvesting to traditional farming activities, there are no significant difference between them.

Long-distance transport

The average load size of round bales is 13–15 tons and 20–21 tons for square bales. The easiest way to lower transport costs is to reduce the density variation of round bales. In practice this variation can be tens of per cents or even 2-fold. This variation does not correlate with the baler model, so it is important to give instruction to baling contractors about driving style and adjustments of the baler. Also grounds of payment could be changed in order to increase densities. Transport should be done with largest existing trucks or these could be built just for RCG transports. With these means transport costs could be lowered significantly. The density of variable-chamber round bale is about 10% higher than fixed-chamber bale.

The load size of fuel mixtures (RCG and peat), in terms of energy amount, can be larger than that of bale transports, so apparently transport costs can be low. Addition of RCG to peat load however decreases the total mass and energy content compared to pure peat. Therefore it would be reasonable to set a condition, that the unit cost of peat transport (€/MWh) does not change between transport of pure peat and mixtures. That increases the transport costs of RCG. Transport cost of RCG in a mixture with a typical peat truck is higher compared to bales. Low share of RCG decreases cost. By using larger trucks (140 m³) costs can be significantly lowered and energy amount of a load can be equal to pure peat load. This is the most important mean to decrease transport costs of fuel mixtures, and it would also be easier to fulfil hope of several power plants to get RCG as ready made mix.

Using previously mentioned means the costs of both bale transports and mixture transport can be lowered. Also in this case the total costs of production and supply chains based on transport of bales are little lower compared to transport of fuel mixtures. Therefore the goal of the future would be to develop power plant technology which enables the bale transports.

Crushing and mixing of RCG

In technical sense heavy-duty tube grinders and hammer crushers suit well to crushing of RCG. Chaff size is short and bale ties do not cause problems. Dusting and relatively high costs are the main disadvantages. Some models enable to crush wood and RCG simultaneously, which gives ready made fuel mix.

The suitability of agricultural bale shredders depends largely on the model of the machine. Some models can not tolerate bale ties and chaff size is long. With other models these problems are on acceptable level. The crushing cost of both heavy-duty crushers and agricultural bale shredders are about equal.

One alternative is to use power plant's stationery crusher, because costs are lower compared to mobile crushers. The efficiency of crusher can be higher with wood than with RCG, so crushers can be used at least if there is spare time. The other alternative would be to build a similar kind, but lighter crusher designed just for RCG. If the crusher has sufficient annual operating time, the costs can be lower than with mobile crushers.

One new concept for crushing is the excavator-mounted crusher designed just for RCG. Bale ties do not cause problems and chaff is relatively short. It takes only one employee and one machine to operate, so the costs can be lower compared to some other mobile crushers.

The costs of production, supply and use chain

The lowest harvesting and supply costs are for chains on which bales are transported directly to the power plant and crushed there with mobile or stationery crusher. Square bale chain is the most cheapest one, but these machines are rare in Finland, so at least in the near future round bale are predominant bale type. About the same cost level than with bale transports can be achieved with mixture transports, if cultivation locates on a peat production area, and harvesting is done with precision chopper. The total area of these plantations is however smaller than plantations on mineral soils, so intermediate transport is needed before transport of fuel mixtures. This intermediate transport increases the costs, and in that case the total costs are higher than if RCG bales are transported directly to the power plant.

The present situation does not necessarily encourage farmers to produce high yields. Best profit can be achieved with low yields or the profit does not increase in the same proportion with yield increase. Some means to improve the situation is to get higher price from RCG (which is also bind to the yield) or at least part of the subsidies should be bound to the yield.

The use of RCG at power plants

Some power plants have doubts that high content of certain elements like alkali and silicon on RCG causes fouling and corrosion inside a boiler. This was studied on test runs. As a result no significant changes on fouling and corrosion rate were discovered. Shares of RCG used on test runs had no effect on the formation of permanent foul layers. Also no evidence of increased corrosion was discovered.

The share of RCG on test runs was 1–2% on energy basis. At present RCG is mainly used on low shares with peat, so the fouling and corrosion risk remain low. If the shares increase and use periods become significantly longer, the risks can become a problem.

Alkusanat

Tämä julkaisu kuuluu osana Tekesin Climbus-ohjelman ja yritysten rahoittamaa projektia *Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi*. Projektin toteuttajia ovat VTT, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) ja Työtehoseura ry (TTS). Projekti on toteutettu 1.5.2006–31.12.2008. Projektin tavoitteena on tehostaa ruokohelven polttoaineketjujen kilpailukykyä voimalaitospolttoaineena. Tutkimus- ja kehittämiskohteina ovat mm. ruokohelven korjuu, paalausmenetelmät, kaukokuljetustekniikat, murskaus ja sekoitus, peltobiomassojen poltto ja käytön tehostaminen mm. pneumaattisella syötöllä sekä ruokohelven liiketoimintakonseptien tehostaminen.

Projektin rahoittajina ja yhteistyösopimuksina ovat Tekes, VTT, MTT, Vapo Oy, Jyväskylän Energiantuotanto Oy, Oulun Energia Oy, Kuopion Energia Oy, Turveruukki Oy, Elho Oy ja Rader Ab. Projektin johtoryhmään ovat kuuluneet Marjatta Aarniala (Tekes), Mia Suominen, johtoryhmän puheenjohtaja (Vapo Oy), Olli Reinikainen (Vapo Oy), Hannu Harju/Pertti Mielonen (Jyväskylän Energiantuotanto Oy), Katri Pahkala ja Timo Lötjönen (MTT), Arvo Leinonen ja Tuulikki Lindh (VTT), Arto Kallio (Oulun Energia Oy), Eljas Koskela (Kuopion Energia Oy), Heikki Karppimaa (Turveruukki Oy), Anna-Maija Kirkkari (TTS), Karl-Erik Häggblom (Oy Elho Ab), Matti Kurkela (Rader Oy), Ilpo Mattila (MTK) ja Juha S. Niemelä (Keski-Suomen TE-keskus).

VTT:ssä projektipäällikkönä toimi tutkija Tuulikki Lindh. Hän toimi myös johtoryhmän sihteerinä. Projektissa mukana olivat erikoistutkija Risto Impola sekä tutkijat Teuvo Paappanen, Janne Kärki, Raili Taipale ja Timo Leino. MTT:n osuuden projektissa on tehnyt tutkija Timo Lötjönen ja Työtehoseuran osuuden tutkimus- ja kehittämispäällikkö Anna-Maija Kirkkari. Lisäksi projektityöhön osallistui Samuli Rinne YTY-Konsultoinnista. Tutkija Teuvo Paappanen VTT:stä on vastannut tämän loppuraportin kokoamisesta. MTT yhteistyössä TTS:n kanssa on kirjoittanut kappaleen 4 sekä osallistunut yhteistyössä VTT:n kanssa lukujen 11 ja 12 kirjoittamiseen. Samuli Rinne on osallistunut lukujen 5 ja 6.1 laatimiseen yhteistyössä VTT:n kanssa. Loppuraportin muiden osien kirjoittamisesta ovat vastanneet VTT:n tutkijat.

Jyväskylä 13.11.2008

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	6
Alkusanat.....	9
1. Johdanto.....	14
2. Toteutus ja tehtävät.....	16
3. Ruokohelven käytön nykytilanne – voimalaitosten kokemuksia vuosilta 2006 ja 2007.....	18
3.1 Kyselyn tulokset.....	18
3.1.1 Laitos- ja kattilatiedot.....	18
3.1.2 Ruokohelven käyttö.....	19
3.1.3 Ruokohelven hankinta.....	20
3.1.4 Ruokohelven seostus.....	21
3.1.5 Ruokohelven ominaisuudet.....	22
3.1.6 Ruokohelven laitoskäsittely.....	22
3.1.7 Käyttäytyminen kattilassa.....	25
3.1.8 Muut kommentit ruokohelven käytössä.....	26
3.1.9 Laitosten jatkosuunnitelmat.....	27
3.1.10 Tutkimustarpeet.....	29
3.2 Johtopäätökset.....	30
4. Ruokohelven korjuu.....	32
4.1 Korjuututkimuksen tausta ja tavoitteet.....	32
4.2 Korjuututkimuksen menetelmät.....	32
4.3 Korjuututkimuksen tulokset ja tulosten tarkastelu.....	35
4.3.1 Niitto- ja karhotuskoe 2007.....	35
4.3.2 Paalauskoee 2007.....	37
4.3.3 Niittämättömän ruokohelven kosteus 2007.....	39
4.3.4 Paalaus- ja silppurointikoe 2008.....	41
4.3.5 Ruokohelven korjuun työajanmenekit.....	42
4.4 Korjuututkimuksen johtopäätökset.....	45
5. Ruokohelven kaukokuljetus.....	47
5.1 Paalien tiheys.....	47
5.2 Helven kuljetus silppuna ja paaleina.....	49
5.3 Helven seoskuljetukset.....	50

5.4	Helven kuljetuskustannukset.....	52
5.4.1	Kuljetus silppuna ja paaleina	52
5.4.2	Kuljetus seoksessa.....	55
6.	Murskaus, sekoitus ja syöttö kattilaan	59
6.1	Murskaustekniikat	59
6.1.1	Maatalouden paalisilppurit.....	59
6.1.2	Nopeakäyntiset hakkurit, vasara- ja kaukalomurskaimet.....	60
6.1.3	Voimalaitosten järeät murskaimet.....	61
6.1.4	Hidaskäyntiset, kevyet silppurit.....	62
6.1.5	Kaivinkonemurskain	63
6.1.6	Paalileikkurit	64
6.1.7	Esimurskaimet.....	65
6.1.8	Apevaunut	65
6.1.9	Hienomurskaimet	66
6.1.10	Murskainten silpupituudet.....	67
6.2	Sekoitus	69
6.2.1	Seostus rekka-autoon (Kerros-menetelmä).....	70
6.2.2	Seostus auman rintaan (Rinta-menetelmä).....	70
6.2.3	Seostus erillisessä kasassa (Erä-menetelmä).....	71
6.2.4	Sekoitus auman rinnassa	72
6.2.5	Samaan kauhalliseen helpeä ja turvetta.....	72
6.2.6	Sekoitus karjanlannan tarkkuuslevitimellä	73
6.2.7	Sekoitus seulakauhalla	73
6.2.8	Sekoituksen kapasiteetti ja kustannukset	73
6.2.9	Seostustuloksen arviointia.....	75
6.2.10	Seostusmenetelmän valinta	79
6.3	Ruokohelven laitoskäsittely ja syöttö kattilaan	80
7.	Ruokohelven ominaisuuksia polton kannalta	83
7.1	Palaminen	83
7.2	Leijukerrosmateriaalin käyttäytyminen.....	84
7.3	Kattilan likaantuminen ja kuumakorroosio	85
7.4	Projektin yhteistyölaitoksilta otettujen ruokohelpinäytteiden analyysitulokset....	87
7.4.1	Polttoaineominaisuudet.....	87
7.4.2	Alkuaineiden liukoisuusominaisuudet	90
8.	Ruokohelven käyttö Rauhalahden voimalaitoksella.....	93
8.1	Polttoaineiden käsittely laitoksella.....	93
8.2	Ruokohelpi seospolttoaineena	94
8.2.1	Ruokohelven vastaanotto ja käyttö	95
8.2.1.1	Kokonaistarkastelu.....	95

8.2.1.2	Linjakohtainen tarkastelu.....	98
8.2.1.3	Lisätarkastelu.....	100
8.2.2	Turve-helpiseosten käytön rajoituksista Rauhalahdessa.....	101
8.3	Kokemukset käyttöpaikkamurskaimesta.....	102
8.4	Kokemuksia helpisilppukuorman toimituksista.....	105
8.5	Kustannustarkastelu Rauhalahden voimalaitokselle.....	107
8.5.1	Lähtötiedot.....	107
8.5.2	Käyttötaloustarkastelut.....	108
8.6	Helven polton seuranta Rauhalahden voimalaitoksella.....	111
8.6.1	Lähtötiedot.....	111
8.6.2	Likaantumistarkasteluiden tuloksia.....	113
8.6.2.1	Sondimittauksen perustiedot.....	113
8.6.2.2	Sondimittauksen data-analyysi.....	116
8.6.3	Sondien holkkien kuumakorroosiotarkastelut.....	119
8.6.4	Kerrostuma- ja tuhkanäytteiden analyysit.....	120
8.6.5	Johtopäätökset polton seurannasta.....	121
9.	Ruokohelven käyttö Kokkolan voimalaitoksella.....	122
9.1	Polttoaineiden käsittely laitoksella.....	122
9.2	Ruokohelven erillissyöttö Kokkolan voimalaitoksella.....	123
10.	Oljen energiakäyttö Tanskassa.....	127
10.1	Oljen korjuu.....	127
10.2	Kaukokuljetus.....	128
10.3	Oljen käyttö laitoksissa.....	129
10.3.1	Oljen poltto arinakattilassa Avedoressa.....	129
10.3.2	Oljen yhteispoltto hiilen kanssa Studstrupissa.....	130
10.3.3	Olkipellettien poltto pölypolttokattilassa Amagerissa.....	131
10.4	Tanskan mallin soveltaminen Suomeen.....	132
11.	Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset.....	133
11.1	Toimitusketjujen kustannustarkastelu.....	133
11.1.1	Helven kuljetus viljelmiltä suoraan voimalaitokselle.....	135
11.1.2	Helven viljely turvetuotantoalueella ja toimitus turpeen seassa.....	136
11.1.3	Helven viljely pelloilla, siirto turvetuotantoalueelle ja toimitus turpeen seassa.....	137
11.1.4	Helven käytön kustannus voimalaitoksella.....	137
11.1.5	Satotason vaikutus helven tuotannon kustannuksiin ja kannattavuuteen.....	139
11.1.6	Yhteenveto helven tuotanto- ja toimituskustannuksista.....	141
11.2	Tuotantosuunnan valinta erityyppisillä tiloilla.....	142

12. Yhteenveto	146
Lähdeluettelo	154
Raportit ja julkaisut	157

Liitteet

Liite A: Ruokohelven viljelyn ja korjuun kustannukset

Liite B: Ruokohelpivarastojen pohjustamisen ja peittämisen kustannus

Liite C: Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset

Liite D: Holkkien 1 ja 2 kerrostumien maksimipaksuudet ja niiden pääkomponentit

Liite E: Puolikvantitatiivisen röntgenfluoresenssianalyysin tulokset (%)

Liite F: Tuhkan sulamispisteen riippuvuus alkuaineiden pitoisuuksista

1. Johdanto

Ruokohelven viljely ja käyttö kiinteänä polttoaineena ovat voimakkaasti lisääntymässä Suomessa. Ruokohelvi on nopeasti uusiutuva ja siten hyvin edullinen päästökaupan kannalta, koska sen päästökerroin lasketaan nollassa. Oulun ja Kuopion yliopistojen tutkimusten mukaan ruokohelviljelmä voi sitoa hiilidioksidia jopa enemmän kuin sen poltossa syntyy, jolloin ruokohelpikasvusto toimii hiilinieluna (Parviainen, 2007, Shurpali ym., 2008). Ruokohelvellä voidaan korvata voimalaitoksilla kivihiiltä ja turvetta, pelletteinä myös öljyä. Maanviljelijöiden kiinnostus ruokohelven viljelyyn on koko ajan kasvamassa, sillä ruokohelven viljely kilpailee kannattavuudessa rehuohran kanssa. Ruokohelven viljelyala on viime vuosina lisääntynyt nopeasti, vuonna 2008 sen arvioidaan olevan lähes 21 000 ha.

Ruokohelven tuotantoa biopolttoaineeksi on pisimpään vienyt käytäntöön Vapo Oy, joka on viljellyt jo vuodesta 1994 lähtien ruokohelpeä turvetuotantoalueidensa jälkikäyttömuotona, ja lisäksi Vapolla on ruokohelven sopimustuotantoa myös pelloilla. Voimayhtiöistä Pohjolan Voima Oy lisää ruokohelven käyttöä laitoksillaan ja on edistänyt peltoviljelmien perustamista Pohjanmaalla.

Lyhyestä kokemuksesta johtuen korjuu-, toimitus- ja käyttöketjussa on vielä puutteita. Korjuu- ja toimitusketjussa puutteet rajoittavat helven käyttöä sekä teknisessä että taloudellisessa mielessä. Korjuutappiot ovat suuria, helven kuljetuksissa kuormakoot pieniä ja paalien murskauksen ongelmana ovat pitkä silpun pituus, paalinarut, pölyäminen varsinkin voimalaitosympäristössä sekä murskauksen kalleus. Voimalaitoksilla käytön aloitus on aiheuttanut ongelmia olemassa olevissa polttoaineen käsittelyjärjestelmissä. Ongelmat voidaan ratkaista kehittämällä korjuu- ja toimitusketjua tai voimalaitosten tekniikkaa. Lisäksi on ollut huolta helven kattiloita likaavasta ja syövyttävästä vaikutuksesta.

Tähänastinen tutkimus on keskittynyt yksittäisten ongelmakohtien ratkaisuun. Tämän vuoksi tuleekin tuotanto- ja toimitusketjuja tarkastella kokonaisuutena, jolloin pyritään selvittämään tehokkaimmat ja taloudellisimmat tuotanto-toimitusketjut erilaisissa toimintaoloissa. Ruokohelven parissa työskentelevillä yrittäjillä ja urakoitsijoilla tulee olla koko ruokohelven tuotanto ja toimitusketjussa käytettävissään parhaat toimintamallit ja tekniikat, joilla varmistetaan toiminnan kannattavuus. Kehitystyöllä edistetään työllisyyttä ja uutta yritystoimintaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tärkeinä tuotteinä ja palveluina.

Myös kotimaiset konevalmistajat ovat ilmaisseet kiinnostuksensa peltobiomassojen korjuussa käytettävien koneiden kehittämiseen, kunhan ensin tiedetään, minkälainen on optimaalisin korjuuketju. Konevalmistajien intressinä on myös kehitetyn teknologian valmistaminen vientiin, koska Suomi on tällä hetkellä johtava valtio Euroopassa nimenomaan ruokohelven viljelyssä ja käytössä polttoaineena.

Polttolaitospäässä etenkin suurilla laitoksilla ruokohelven käytettävyyttä lisäävä vaihtoehto on helven erillinen syöttö kattilaan ohi laitoksen käsittelylaitteiden, jolloin nykyistä suurempia määriä ruokohelpeä voidaan hyödyntää kerralla. Tällainen tekniikka on esimerkiksi helven pneumaattinen syöttö kattilaan, jota käytetään Tanskassa. Erillinen syöttötekniikka luo myös uuden tuotemahdollisuuden laitevalmistajille.

2. Toteutus ja tehtävät

Projektissa kehitettiin ruokohelven koko tuotanto- ja käyttöketjua korjuusta käyttöön voimalaitoksella. Tehtäviä olivat:

- 1) Ruokohelven käytön nykytila, käyttömäärät ja -kokemukset
 - Käyttöselvityskysely voimalaitoksille vuosilta 2006 ja 2007
- 2) Korjuun kehittäminen
 - Hävikkien määrät niitossa erityyppisillä niittokoneilla, hävikit paalauksessa
 - Paalien tiheydet kiinteä- ja muuttuvakammioisilla paalaimilla ja suurkantti-paalaimilla
 - Niittoaajankohdan vaikutus helven kosteuteen
- 3) Kaukokuljetus
 - Kuljetusyrittäjien haastattelu
 - Paalien tiheyden laskenta havaintoaineistosta (paalintyyppi ja paalin koko)
 - Paalien ja silpun määrät kuljetuksissa
 - Seoskuljetusten tarkastelu (turve ja helpi)
 - Kuljetuskustannusten laskenta
 - Kuljetusten kehittämismahdollisuuksien arviointi
- 4) Murskaus ja sekoitus
 - Murskaustekniikoiden selvitys
 - Murskauksen seuranta Rauhalahden kiinteällä murskalla ja mobiilimurskaimilla
 - Murskainten silpun pituuden määrittäminen
 - Murskauksen kustannukset
 - Seostuskokeet turpeeseen ja seostuksen arviointi, seoksen läpimeno esimerkkilaitoksella
- 5) Käyttö laitoksella
 - Helven käyttäytyminen Rauhalahden vastaanotto- ja käsittelylinjoilla
 - Likaantumis- ja kuumakorroosiomittaukset sekä polttoaine ja tuhka-analyysit Rauhalahden voimalaitoksella
 - Kokkolan voimalaitoksen pneumaattisen syötön seuranta
- 6) Oljen korjuu ja käyttö Tanskassa
- 7) Polttoaineketjujen kustannukset ja liiketoimintakonseptit
 - Korjuu-toimitusketjujen kokonaiskustannukset ja soveltuvuus eri olosuhteisiin
 - Kustannusten vaikutus viljelijän ja voimalaitoksen toimintaan
 - Liiketoimintamahdollisuudet.

Tehtävien 1 ja 5 toteutuksesta on vastannut VTT. Tehtävä 2 on toteutettu yhteistyössä MTT:n ja TTS:n kesken siten, että MTT on pääasiassa vastannut tutkimuksesta ja TTS on tehnyt tehtävään liittyvät työaikatutkimukset. Tehtävä 3 ja tehtävän 4 murskausosio on toteutettu yhteistyössä VTT:n ja YTY-Konsultoinnin kesken. Tehtävään 6 liittyvään tiedonhankintaan ovat osallistuneet VTT, YTY-Konsultointi lyhyen tutustumiskäynnin avulla ja MTT hieman pidemmän tutustumiskäynnin avulla. Tehtävän 7 toteutuksesta on vastannut VTT ja tarkastelussa on soveltaen käytetty TTS:n aikaisempaa tietämystä sekä MTT:n projektissa saatua tietoa ja tulokset on yhteisesti tarkastettu VTT:n, MTT:n ja TTS:n kesken.

3. Ruokohelven käytön nykytilanne – voimalaitosten kokemuksia vuosilta 2006 ja 2007

Kyselyn tavoitteena oli selvittää ruokohelven käytön nykytilanne ja käyttökokemukset vuosien 2006 ja 2007 osalta suoraan laitoksilta ja kartoittaa tärkeimmät ongelmakohdat ruokohelven toimituksissa ja varsinkin käytössä.

Ruokohelven käyttöselvityskysely lähetettiin vuosittain 30–35 laitokselle, joilla tiedettiin tai oletettiin olevan kokemuksia helven käytöstä. Kyselyn kohteena oli eri kokoluokan laitoksia sekä metsäteollisuuden että yhdyskuntien voimalaitoksista. Kyselyyn vastasi vuosittain kirjallisesti noin 20 voimalaitosta, ja muutamalta laitokselta vastaavat tiedot saatiin puhelinhaastatteluilla tai laitosvierailulla.

Kyselyn tuloksia on hyödynnetty sekä tässä ruokohelven koko tuotanto- ja käyttöketjua käsittelevässä projektissa että uusien peltoenergiaan liittyvien tutkimushankkeiden suunnittelussa. Kyselyn tuloksista on laadittu erilliset raportit, jotka on lähetetty kaikille kyselyyn vastanneille laitoksille. Tällä tavalla on pyritty jakamaan laitoksille uusin Suomessa kerätty kokemusperäinen tieto ruokohelven tuotannosta ja käytöstä, ja tämän toivotaan edistävän ruokohelven lisäkayttöä sekä jo sitä käyttävillä että uusilla laitoksilla.

3.1 Kyselyn tulokset

3.1.1 Laitos- ja kattilatiedot

Kyselyssä kerättiin laitoksilta kattilan perustiedot sekä vuotuiset polttoaineiden käyttömäärät ja tuotetut energiatiedot. Taulukossa 1 on esitetty karkea jako kyselyyn vastanneista laitoksista laituskoon ja -tyypin mukaan. Taulukon mukaan ruokohelven voidaan todeta olevan suurten laitosten polttoaine. Noin kolmasosa käyttäjistä oli yli 200 MW:n laitoksia. Tosin vuonna 2007 ruokohelven käyttökokeillut olivat siirtyneet myös pienempiin kokoluokkiin. Pienimpien käyttäjien laitoskoko oli alle 5 MW (3 kpl).

Taulukko 1. Laitostietoja kyselyyn vastanneista ruokohelven käyttäjistä vuosilta 2006 ja 2007.

Laitoskoko	Metsäteollisuuden CHP		Yhdyskuntien CHP		Yhteensä	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
0–50 MW	1	3	1	5	2	8
50–100 MW	0	0	4	5	4	5
100–200 MW	1	4	1	0	2	4
Yli 200 MW	2	2	6	6	8	8
Yhteensä	4	9	12	16	16	25

Pääosa käyttäjälaitoksista oli leijukerroskattiloita (15 kuplapeti- ja 6 kiertopetikattilaa). Lisäksi ruokohelpeä käytti yksi pölypolttolaitos ja kolme pienemmän kokoluokan arinakattilaa.

Kaikki ruokohelven käyttäjät ovat seospolttolaitoksia. Varsinkin yhdyskuntalaitosten osalta pääpolttoaineena on jyrshinturpe, mutta useilla laitoksilla puun käyttö on lisääntynyt. Käytetty puu on joko metsäteollisuuden sivutuotteita tai metsähaketta. Muutamilla yhdyskuntalaitoksilla puun osuus lähenee jo 50 %:a, loppu on pääosin turvetta. Myös ruokohelpeä käyttävillä metsäteollisuuden laitoksilla jyrshinturpeen osuus on merkittävä; kolmella laitoksella se on pääpolttoaine ja vain yhdellä omien sivutuotteiden osuus on selvästi suurempi kuin turpeen.

3.1.2 Ruokohelven käyttö

Vaikka ruokohelven viljelypinta-alat ovat kasvaneet viime aikoina vuosittain hyvinkin paljon, ruokohelven käyttö jäi vuonna 2007 vielä noin 60 GWh:iin. Vuoden 2006 ruokohelven käyttö oli alle 30 GWh, joten ruokohelven käyttö Suomessa vuodessa kaksinkertaistui. Tällä hetkellä viljelypinta-ala on jo yli 20 000 ha (Matilda maatalouden tietopalvelu), joten jo vuosille 2008–2010 markkinoille on tulossa moninkertainen määrä ruokohelpeä. Finbion peltoenergiaohjelman tavoite on tuottaa peltoenergiaa yli 100 000 hehtaarin alalta, jolloin vuotuinen peltoenergiämäärä kasvaisi yli 2 TWh (20 MWh/ha) vuoteen 2015 mennessä.

Tämän kyselyn perusteella ruokohelven käyttäjät voidaan vuosien 2006 ja 2007 käyttökyselyjen mukaan jakaa kahteen luokkaan:

- Laitokset, jotka ovat valinneet ruokohelven erääksi seospolttoaineeksi ja omaavat jo muutaman vuoden kokemuksen sen käytöstä. Muutamat niistä ovat valmiita investoimaan uusiin ratkaisuihin ruokohelven laitoskäsittelyssä. Tosin muutamat käyttäjistä

suhtautuvat kriittisesti helven jatkokäyttöön ja odottavat kehitystoimia joihinkin ruokohelven käytön perusasioihin kuten kuljetus, murskaus, byrokratia jne.

- Laitokset, jotka ovat halunneet testata oman laitoksensa käsittelyjärjestelmän ja kattilan soveltuvuuden ruokohelvelle. Osalla käyttömäärä saattaa olla hyvin pieni, osalla suurempi. Osa todennäköisesti jatkaa ruokohelven käyttöä, osalla laitoksia olisi tehtävä joitakin muutoksia vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmiin ennen helven jatkuvaa käyttöä.

Kyselyyn vastanneiden laitosten ruokohelven käyttömäärät vuodelta 2007 voidaan luokitella seuraavasti

- 2 laitosta käytti noin 10 GWh ruokohelpeä vuodessa
- 3 laitosta käytti 3–7 GWh
- 8 laitosta käytti 1–3 GWh
- 12 laitosta käytti alle 1 GWh, joista pienimmät käyttömäärät olivat noin 50 MWh.

Viisi voimalaitosta ilmoitti käyttävänsä ruokohelven lisäksi myös muuta peltobiomassaa (olkea, viljankuorta, hamppua) yhteensä noin 26 GWh vuonna 2007. Vuonna 2006 vastaava luku oli vain 6 GWh eli helven lisäksi myös muun peltobiomassan käyttö on kasvussa.

Vastaajat arvioivat myös ruokohelven määrää poltetussa seoksessa sekä maksimiosuuk-sina polttoainevirrasta että keskimääräisenä osuutena käytön aikana. Suurimmat ruokohelven hetkelliset maksimiosuudet olivat 10–15 % energiasisällöstä. Tämä on myös se seossuhde, mihin Vapo Oy pyrkii sekoittaessaan ruokohelpeä jyrshinturpeeseen tuotanto-paikalla ennen toimituksia. Muut tyypilliset ruokohelven maksimiosuudet vaihtelivat 1–5 %:n välillä. Muutama laitos ilmoitti myös ruokohelven keskimääräisen osuuden sen käytön aikana. Osuudet vaihtelivat 0,5:stä 5 %:iin, yleisin arvio oli joko 1 tai 3 %.

Vuositasolla peltobiomassan osuus kaikesta käytetystä polttoainemäärästä jäi yleensä alle 1 % energiasisällöstä laskettuna, suurilla laitoksilla helven kokonaiskäyttömäärä jäi jopa alle 0,3 %. Vain kolmella isolla laitoksella (100–200 MW) päästiin 1,0–1,3 %:n osuuteen. Eräs pieni laitos (3,5 MW) pääsi vuositasolla noin 5 %:n ruokohelpiosuuteen (0,5 GWh). Ruokohelpi on nyt ja jatkossakin kausipolttoaine. Pääosa sadosta korjataan aikaisin ke-väällä, jolloin käyttö keskittyy joko kesään tai varastoinnin jälkeen seuraavaan syksyyn.

3.1.3 Ruokohelven hankinta

Laitokset ovat hankkineet käyttämänsä ruokohelven pääosin Vapo Oy:ltä tai suoraan omilta sopimusviljelijöiltään tai molemmilta. Vapo Oy:n osuus toimituksista oli noin kolme neljäsosaa. Sen lisäksi ruokohelpeä toimittaa joukko sopimusviljelijöitä, joiden tuotanto tällä hetkellä keskittyy muutaman suuren voimalaitoksen läheisyyteen.

Molempina vuosina muutama voimalaitos ilmoitti, ettei ruokohelpeä ollut saatavissa riittävästi laitoksen läheisyydestä. Vastausten mukaan näiden laitosten ruokohelven käyttö jatkossakin riippuu ainakin osittain sen saatavuudesta. Nämä laitokset ovat käyttäneet kokeiluissaan toimituspaikalla valmistettua jyrshinturpeen ja ruokohelven seosta eli niillä ei ole mahdollisuutta murskata laitosalueella helpipaaleja.

Nykyisin monet voimalaitokset varastoivat varsinkin erilaisia puupolttoaineita omalla piha-alueellaan eli laitosalueelle on syntynyt erikokoisia polttoaineterminaaleja. Muutama tällainen voimalaitos on varastoinut myös ruokohelpipaaleja laitosalueella ja murskannut ne myöhemmin seospolttoaineeksi joko omalla käyttöpaikkamurskaimellaan tai jonkin yrittäjän mobiilimurskaimella.

3.1.4 Ruokohelven seostus

Ruokohelppi on toimitettu laitoksille joko erilaisina helpipaaleina tai valmiiksi seostettuna muihin polttoaineisiin, lähinnä jyrshinturpeeseen. Monet laitokset, jotka ovat kokeilleet ruokohelpeä pienempiä määriä, ovat ottaneet sen valmiiksi turpeeseen sekoitettuna. Näin myös siksi, että laitoksilla ei ole omia murskaimia eikä myöskään mahdollisuuksia mobiilimurskaimien käyttöön omilla laitosalueillaan.

Vuonna 2007 kuudelle voimalaitokselle ruokohelppi toimitettiin paaleina ja laitos murskasi ne laitosalueellaan joko käyttöpaikka- tai mobiilimurskaimilla. Näiden kuuden laitoksen käyttämä helpimäärä oli yhteensä noin 20 GWh eli noin kolmasosa vuoden 2007 helven kokonaiskäytöstä. Näiden laitosten joukossa on kaksi suurta ruokohelven käyttäjää (10 ja 5 GWh/vuosi).

Osa niistä suurista laitoksista, jotka ovat hankkineet kiinteän käyttöpaikkamurskaimen, haluavat luonnollisesti hyödyntää sitä myös ruokohelpipaalien murskauksessa. Laitoksen käsittelyjärjestelmästä riippuen näillä laitoksilla ruokohelven seostus muihin polttoaineisiin tapahtuu joko vasta välivarastossa tai murskaamalla samanaikaisesti tai vuoroitellen esim. puupolttoaineiden kanssa. Samaa seostusmenetelmää käyttävät laitokset, jotka murskaavat helpipaalit omalla laitosalueellaan siirrettävillä mobiilimurskaimilla. Tällöin seostaminen on mahdollista tehdä myös kauhakuormaajalla laitoksen pihalla tai syöttämällä eri polttoaineita samanaikaisesti vastaanottotaskuun. Seoksen tekemistä kauhakuormaajalla käytti muutama kyselyyn vastannut laitos.

3.1.5 Ruokohelven ominaisuudet

Kyselyssä tiedusteltiin ruokohelpimurskeen palakokoa eli arvioita sekä keskimääräisestä että pisimmistä korsien pituuksista. Tähän vastasi vain muutama laitos. Arviot korsien pituuksista olivat

- Keskimääräinen pituus laitoksittain: 1) 20–30 mm, 2) 50 mm (3 laitosta), 3) 30–100 mm, 4) 100 mm 5) 100–200 mm
- Vastaavasti arviot pisimmistä korsien pituuksista: 1) 70 mm, 2) 100 mm, 3) 200 mm (3 laitosta), 4) 225 mm.

Ruokohelven kosteuspitoisuuksia saatiin myös muutamilta laitoksilta. Laitoskohtaiset helpitoimitusten minimikosteudet vaihtelivat 9–22 % ja vastaavat maksimikosteudet olivat 25–52,9 %. Laitoskohtaiset helven keskikosteudet vuonna 2007 olivat 15–29 %.

Laitoskohtaisia kommentteja ruokohelven ominaisuuksista

- Liian kostea ruokohelpi tarttuu kolakuljettimien koliin.
- Kosteuden kasvaessa juoksevuusominaisuudet huononevat, jolloin holvautumis- ja tukkeentumisongelmat lisääntyvät kuljetin- ja käsittelyjärjestelmissä.
- Useissa vastauksissa ongelmaksi todettiin kuivasta helvestä johtuva runsas pölyäminen, varsinkin murskauksen yhteydessä, mutta myös muuten. Tämä aiheuttaa lisääsiivoustarvetta ja turvallisuusriskejä sisätiloissa.
- Eräs laitos kiinnitti erityistä huomiota turvallisuusviranomaisten antamaan määräykseen kiinteän polttoaineen vähimmäiskosteudeksi asetettuun 38 %:iin, josta on pidetty kiinni jyrksinturvetoimituksissa.
- Pölyn ja mahdollisen homeen aiheuttamat mahdolliset terveysongelmat (tuottajilla on ohjeistus ruokohelven pölyltä suojautumiseen).
- Alhaiseen irtotiheyteen ja energiasisältöön kiinnitettiin huomiota, koska ne laskevat kuljettimien ja syöttölaitteiden kapasiteettia täydellä teholla ajettaessa.
- Polton kannalta muutamissa vastauksissa kiinnitettiin huomiota ruokohelven sisältämiin korkeisiin ravinnepitoisuuksiin ja niiden mahdollisiin vaikutuksiin kattilan lämmönsiirtopintojen kerrostumis- ja korroosio-ongelmiin.

3.1.6 Ruokohelven laituskäsittely

Vain muutama voimalaitos ilmoitti, ettei ruokohelven laituskäsittelyssä ole esiintynyt ongelmia. Osa näistä laitoksista oli käyttänyt ruokohelpeä kokeilumielessä pieniä määriä,

ja ruokohelppi toimitettiin laitokselle usein valmiina polttoaineseoksena. Muilla laitoksilla ongelmia on esiintynyt joko ruokohelven murskauksessa tai muussa laitokäsittelyssä.

Laitoskohtaisia havaintoja ruokohelven murskauksesta

- Useissa tapauksissa pölyäminen murskauksen yhteydessä koettiin ongelmaksi, varsinkin nopeasti pyörivillä mobiilimurskaimilla – laitosten piha-alueilla tuuli levittää helpisilppua laajalle alueelle – ”melkein puolet naapurin tontille”.
- Pölyäminen murskauksessa lisää siivoustarvetta laitosalueella ja tulipaloriskit lisääntyvät.
- Pöly ja paloriskit murskauksessa – vaikea saada urakoitsijoita murskaamaan ruokohelpeä laitokselle.
- Eräälle nopeakierroksiselle murskaimelle syötettäessä pyöröpaali täytyy hajottaa kolmeen osaan.
- Laitosalueella tapahtuva helpipaalien murskaus vaatisi suljetun järjestelmän pölyämisen takia, mm. vieressä olevan selluhakevaraston vuoksi.
- Roottorit eivät aina saa otetta isosta, tiiviistä helpipaalista.
- Ruokohelven ja metsähakkeen seosmurskaus on vähentänyt ja poistanut ongelmia polttoaineen laitokäsittelyssä ainakin kahdella laitoksella.
- Hitaasti pyörivillä käyttöpaikkamurskaimilla kuivat ruokohelpipaalit ovat murskautuneet hyvin, myös helpipaaleja yksin murskattaessa.
- Ongelmia on esiintynyt liian kosteita paaleja (kosteus esim. 30 %) murskattaessa. Murskain vain rikkoo paalit mutta helppi ei murskaudu riittävästi, ja huonolaatuinen murske tekee tukoksia laitoksen käsittelylaitteissa.
- Hitaasti pyörivillä murskaimilla roottorin terien kunnolla on selvä vaikutus murskaimen kapasiteettiin ja murskeen partikkelikokoon.
- Murskaus omalla hitaasti pyörivällä käyttöpaikkamurskaimella onnistuu, kuitenkin se on liian hidasta ja ruokohelven käyttöjaksoilla puupolttoaineiden murskaus ei onnistu – mieluummin helven toimitus valmiina seoksena turpeeseen.
- Eräs laitos on kokeillut ruokohelven murskausta laitoksen jyrshinturpeen käsittelyjärjestelmässä olevalla ns. kantomurskaimella. Jotta ruokohelppi saatiin syötettyä murskaimella, paalit oli ensin avattava ja syötettävä pienempinä osina. Tällainen murskaustapa ei onnistu suuressa mittakaavassa. Lisäksi runsas pölyäminen sisätiloissa aiheutti ongelmia.
- Paalinarujen ja -verkkojen murskaus- ja käsittelyongelmia ei vastauksissa mainittu, tosin eräs laitos totesi tutkimustarvetta siinäkin olevan.

Havaintoja ruokohelven laitoskäsittelystä

Seospolttolaitosten ruokohelven käsittelyssä ja kattilaan syötössä on esiintynyt runsaasti ongelmia, jotka johtuvat osittain ruokohelven käsittelyteknisistä ominaisuuksista. Ongelmana on ollut ruokohelven huono sekoitettavuus muihin polttoaineisiin sekä toimitusvaiheessa että laitosten käsittelyjärjestelmissä. Kyselyn mukaan polttoaineen käsittelyjärjestelmissä ruokohelven käyttö on aiheuttanut laitoskohtaisesti mm. seuraavia ongelmia ja kommentteja:

- Murskattu ruokohelppi ei läpäise laitoksen vastaanottotaskujen päällä olevaa ritilää – sama ongelma esiintyy joillakin laitoksilla myös jyrshinturpeen ja ruokohelven seoksilla.
- Useilla laitoksilla vastaanoton jälkeen oleva, useimmiten jyrshinturpeelle mitoitettu kiekoseula vie ylitteeseen liikaa murskattua ruokohelpeä. Tällöin ongelmia syntyy ylitsemurskaimella, jonka kapasiteetti ei riitä koko ylitsemäärän murskaamiseen ja tukkii murskaimen. Vastaava ongelma esiintyy myös valmiilla jyrshinturpeen ja ruokohelven seoksella ainakin kahdella laitoksella seulan erottaessa ruokohelven turpeesta ja ylitteen mennessä ”vyyhtinä” murskalle.
- Ongelmia on poistettu ottamalla vastaan vain tarpeeksi hyvin murskattua kuivaa helpeä tai pienentämällä seossuhdetta.
- Helven varastointi laitosalueella vaatii runsaasti tilaa.
- Runsas pölyäminen lisää siivoustarvetta ja paloturvallisuusriskiä, palopesäkkeitä pölynpoistosuotimissa.
- Ruokohelpimurskeen alhainen irtotiheys aiheuttaa ongelmia laitoskäsittelyssä. Suuria määriä käytettäessä ongelmaksi saattaa muodostua kuljetin- ja syöttölaitteiden alimitoitus.
- Ilman turvesekoitusta ruokohelppi paakkuuntuu, tukkii kuljettimien taittopäät, kiekoseulan ja syöttimiä – ratkaisu sekoitus turpeeseen.
- Mikäli sekoitus turpeeseen tehdään vasta kuormausvaiheessa, seos ei ole aina tarpeeksi tasaista – sekoitus pitäisi tehdä jo aumausvaiheessa.
- Hyvin turpeeseen sekoitettuna menee jotenkuten kattilaan saakka.
- Holvaantumisia ja tukkeentumisia käsittelyjärjestelmässä, suuren korrenpituuden takia ei sekoitu riittävän hyvin turpeeseen.
- Kokemuksen mukaan laitoskäsittely ja syöttö vaativat ehdottomasti valmiin seoksen turpeeseen muutamilla laitoksilla.
- Eräällä laitoksella kolakuljettimen tukkeentuminen rikkoi kolakuljettimen – tukkeutumisen aiheutti ilmeisesti liian kostean ruokohelven käyttö.

- Ruokohelppi ei nouse kaltevalla kuljettimella – ongelma on poistunut sekoittamalla helppi vastaanotossa esim. metsähakkeeseen.
- Uusi murskaus- ja pneumasyöttölinja on käyttöönottovaiheessa laitoksella – ei vielä riittävästi kokemuksia.
- Tukoksia välivaraston purkuvaiheessa on esiintynyt, mikäli varastoissa on liikaa ruokohelpeä (esim. yli 30 %).
- Syöttölaitteiden tukkeutuminen.
- Ruokohelven laituskäsittelyssä ongelmat vähenivät, kun ruokohelpeä ja puuta murskattiin samanaikaisesti suhteessa kaksi risutukkia ja yksi helpipaali.
- Ruokohelpeä vähänkin käytettäessä laituskäsittelyn todettiin olevan eräällä laitoksella liian työlästä ja häiriöherkkää ja vaarantavan koko polttoaineen syötön kattilalle.

3.1.7 Käyttäytyminen kattilassa

Kyselyn perusteella ja nykyisillä pienillä ruokohelven käyttömäärillä ongelmia ruokohelven poltossa ei ole juurikaan havaittu. Kyselyssä tiedusteltiin mahdollisia muutoksia kattilan käyttäytymisessä (mm. leijukerroksessa, tulipesän lämpötiloissa, lämpöpintojen likaantumisessa) sekä ruokohelven käytön vaikutusta päästöihin. Usein uusien polttoaineiden käyttöönotossa, varsinkin kun käyttösuudet alkuvaiheessa ovat pieniä, laitoksen kannalta ongelmat keskittyvät polttoaineen käsittelyyn ja syöttöön. Eli yleinen kommentti ”Kyllähän sekin polttoaine palaa kattilassa ilman ongelmia, kun sen vaan saa sinne syötettyä” näyttää pitävän edelleen paikkansa myös ruokohelven käytön alkutaipaleella.

Seuraavia polttoon liittyviä kommentteja kyselystä kuitenkin saatiin:

- Jos helven osuus kasvaa liian suureksi, kattilasta ei saada tarpeeksi tehoja.
- Tehon heilahtelut poltossa.
- Ei vaikutusta kattilaan – määrät tosin ovat olleet pieniä.
- Ruokohelven lajittumista tapahtuu – palaa ”väärässä paikassa” – kuonaantumista tulistimissa.
- Käyttöhenkilöstöllä on epäily palamisvyöhykkeen pienestä siirtymisestä ylöspäin helven erilaisesta rakenteesta eli keveydestä johtuen.
- Kevyenä polttoaineena ongelmaksi saattaa tulla huipputehon saavuttaminen, mikäli ruokohelven käyttöä lisätään ja varsinkin jos myös muu polttoaine on huonolaatuista.

- Ruokohelpi lajittuu kattilassa, nousee leijutuksen vaikutuksesta ja palaa muita polttoaineita ylempänä.
- Pedissä on havaittu eräällä laitoksella yksi sintteriongelma, kun ruokohelpeä on käytetty hieman pitempään, mutta täyttä varmuutta ruokohelven osallisuudesta tähän ei ole.
- Kuiva polttoaine (muukin kuin helpi) nostaa kattilassa lämpötiloja ja lisää tulipintojen likaantumiskertymää.
- Muutamat laitokset epäilevät ruokohelven käytön lisäävän kattilan likaantumista ja korroosio-ongelmia.

Luvuissa 7 ja 8 on kuvattu lisää ruokohelven polttoon ja kattilan käyttäytymiseen liittyviä asioita.

3.1.8 Muut kommentit ruokohelven käytössä

Lisäksi laitoksilta tiedusteltiin, mitä muuta huomioitavaa ruokohelven käytön vaikutuksesta on voimalaitoksen toiminnassa esimerkiksi polttoaine- ja päästökauppaan sekä byrokraatiaan liittyen. Seuraavia laitospäätöksiä kommentteja saatiin

- Helven toimitusten aikana byrokraatia lisääntyy huomattavasti.
- Byrokraatia – käytöstä pitää tehdä ilmoitukset maa- ja metsätalousministeriöön sopimustoimittajien osalta.
- EU:n valtava byrokraatia – mikäli kaikilla polttoaineilla olisi sama byrokraatia, laitoksen pitäisi palkata lisää noin 30 henkilöä täyspäivätyöntekijöiksi.
- Ruokohelven käyttö suurissa laitoksissa on toistaiseksi vielä ”näpertelyä”.
- Liikaa sopimusten ja tukiasioiden hoitoon liittyvää byrokraatia ostettua MWh:a kohti.
- Vaikutukset operatiivisia – tullin tarkastus maataloustukien maksatukseen vain kerran vuodessa – ei ongelma.
- Sekoittaminen turpeeseen on ylimääräinen työvaihe ja nostaa kustannuksia.
- Liian kevyitä kuormia kuljetuksissa – vaikuttaa helven hintaan.
- Käytetyn ruokohelven tilastointi.
- Päästökaupan edellyttämät mittaustoimenpiteet on saatava kuntoon – käytön edellytys jatkossa.
- Kosteusanalyysien määrä suuri ostettua MWh:a kohti.

- Valmiit seokset – kuoreen tai muuhun biopolttoaineeseen sekoitettuna kätevämpää päästökaupan raportoinnin kannalta – nyt ei toimittajalla ole tätä mahdollisuutta koska helvet ovat usein turvesuon reunalla.
- Käyttökokemukset vähäisiä heikon saatavuuden vuoksi.
- Käyttöhenkilöstö ei ruokohelvestä perusta, häiriöherkkää, lisää työtä laitoksella kun ottaa huomioon helven pienen osuuden verrattuna kokonaispolttoainemäärään.
- Ruokohelven erillisyöttö kattilaan kiinnostaa – seurataan muiden kokemuksia esim. pneumaattisesta syötöstä.
- Seostoimituksissa ongelmana on ollut myös jyrsinturpeen laatu, jossain määrin saatavuuskin – vaihtelee vuosittain eri alueilla riippuen kesän sääolosuhteista.
- Murskaimien saanti turvesoille on haitannut turve- tai helpiseosten toimituksia.
- Päästökaupamuutoksista johtuen vuonna 2007 maksimoitiin turpeen käyttö ja ruokohelven ja myös biopolttoaineiden käyttöä lisättiin vuoden 2008 alkupuolella – murskatun puun ja helven varastointia lisättiin laitosalueella.
- Toimitusmäärän luotettava toteaminen seoksista, seoksen tasaisuus.
- Lainsäädäntö – mikäli päästöluvassa ei hyväksytä polttoaineen käyttömääräksi toimittajan ilmoittamaa eli samaa jota käytämme laskutuksessa, on liian kallista alkaa itse sekoittaa tai tutkia seoskuorman ominaisuuksia.
- Viranomaiset (EMV) eivät ole hyväksyneet helven määrän todentamista turve-seoksissa, uudella päästökaudella ruokohelvi kuitenkin on kuvioissa mukana.

3.1.9 Laitosten jatkosuunnitelmat

Kyselyssä selvitettiin myös laitosten jatkosuunnitelmia ruokohelven käytön osalta. Laitoskohtaiset kommentit on ryhmitelty sen mukaan, millainen mielenkiinto laitoksilla on jatkossa ruokohelven käytön suhteen.

a) Kommentteja laitoksilta, jotka lisäävät peltobiomassan käyttöä

- Ruokohelven käyttö kasvaa viiden vuoden kuluttua tasolla 30–40 GWh (1–2 % koko polttoainemäärästä).
- Tarkoitus nostaa helven käyttö useisiin GWh:hin – jo vuonna 2007 oli tarkoitus lisätä merkittävästi, mutta huonosta turvevuodesta johtuen seoskuormien teko ei toimittajalta onnistunut. Nyt vuoden 2008 alussa ruokohelven käytön on estänyt voimassa olevan ympäristöluvan puute (käsittelyn ruuhkautuminen ja ohjeistuksen myöhästyminen).

- Jatkossa helpeä käytetään noin 10 GWh.
- Jatkossa käyttö lisääntyy voimakkaasti tasolle 15 GWh/vuosi (5 % kokonaismäärästä).
- Tavoite jatkossa 15 % helpeä polttoaineiden kokonaismäärästä, esim. 1 GWh kuukaudessa.

Vuonna 2007 näillä laitoksilla ruokohelven käyttö oli yhteensä noin 5,5 GWh/vuosi.

b) Kommentit laitoksilta, joissa helven käyttö jatkuu entisellä tasolla

- Ruokohelven käyttö jatkuu samanlaisena, ei enää uusia sopimusviljelijöitä.
- Käytetään jatkossakin pieniä määriä.
- Ruokohelpisopimuksia ei ole tarkoitus lisätä.
- Helven käyttö jatkuu todennäköisesti ennallaan.
- Käytetään edelleen pieniä määriä.
- Jatkokäyttö pysyy ehkä samalla tasolla, vaikka laitoksen kannalta liian työlästä verrattuna muihin polttoaineisiin.

Vuonna 2007 helven käyttö oli yhteensä noin 12,8 GWh/vuosi.

c) Kommentit laitoksilta, joissa ruokohelven jatkokäyttöä harkitaan

- Ruokohelven jatkokäyttö avoinna.
- Laitos etsii vaihtoehtoisia murskaustapoja ja syöttöä kattilaan.
- Ruokohelven käyttö loppuu, jos ei keksitä tehokkaampaa kuljetustapaa ja murskausta.
- Helven käyttöä todennäköisesti jatketaan.
- Laitos on valmis jatkamaan ruokohelven käyttökokeiluja tarjonnan ja hinnoittelun sallimissa puitteissa.
- Helven käyttö on mahdollista myös jatkossa, varsinkin jos sen saisi valmiina seoksena.
- Jatkokäyttö edellyttää ruokohelven toimituksia valmiina seoksina turpeeseen.

Vuonna 2007 helven käyttö oli yhteensä noin 30,5 GWh/vuosi.

d) Kommentit laitoksilta, joissa ei aiota siirtyä ruokohelven käyttöön

- Ei käyttöä – Käyttö jatkossa mahdollista, mikäli ruokohelppi on valmiiksi sekoitettuna turpeeseen ja sen osuuden osoittaminen päästökauppaviranomaisille onnistuu toimittajalta saatavalla tositteella. Tilavuusosuus voi enimmillään olla vain joitakin prosentteja.
- Muutama lähinnä metsäteollisuuden laitos ilmoitti, ettei käytä ruokohelpeä jatkossakaan, koska ”omia” biopolttoaineita on riittävästi saatavissa. On kuitenkin huomattava, että vuonna 2007 neljä uutta metsäteollisuuden laitosta kokeili ruokohelpeä (0,4–1,0 GWh/laitos), vaikka edellisessä kyselyssä eivät uskoneet laitoksien siirtyvän ruokohelven käyttöön omien riittävien biopolttoaineiden takia.

Lopuilta laitoksilta ei jatkosuunnitelmia saatu. Niiden ruokohelven yhteiskäyttö oli noin 6,8 GWh vuonna 2007.

3.1.10 Tutkimustarpeet

Voimalaitokset esittivät vastauksissaan mm. seuraavia tutkimustarpeita ruokohelven laajamittaisen käytön onnistumiselle tulevina vuosina. Osa laitosten esittämistä tutkimustarpeista on pyritty huomioimaan tässä Tekesin Climbus-ohjelman helpiprojektissa. Lisäksi tutkimustarpeita on huomioitu myös uusien ruokohelven tuotantoon ja käyttöön liittyvien tutkimushankkeiden suunnittelussa yhteistyössä yritysten kanssa.

Ruokohelven tuotanto ja toimitukset

- Korjuutekniikoiden kehittäminen, jotta ruokohelpisato saadaan täysimittaisesti talteen, lisäksi sato vaihtelee vuosittain hyvinkin paljon.
- Kuljetus kannattavaksi myös pitemmiltä matkoilta, kuormien massat ja energiasisällöt suuremmiksi.
- Tienvarsivarastot ovat toisinaan niin hankalissa paikoissa, että ajaminen täysperävaunulla on kyseisillä alueilla mahdotonta. Varastot olisi saatava paremmille paikoille.
- Seostaminen jyrshinturpeeseen jo tuotantopaikalla, tekniikat ja seoksien luotettavat polttoainejakaumat tiedettävä kuormittain tai toimituserittäin laitoksella mm. päästökauppaa varten.
- Seostaminen myös metsähakkeen kanssa.
- Näytteenottomenetelmien kehittäminen, esim. ruokohelpipaalista kosteusmäärittystä varten.

- Kevätkorjuu ehdoton edellytys ruokohelvelle, jotta laitoksille toimitettavissa helpierissä olisi mahdollisimman vähän natriumia, kaliumia ja muita syövyttäviä aineita.
- Viljelijöiden pitäisi perustaa hankintarenkaita ja toimittaa helpeä renkaan nimissä. Energiantuotannon ja EU:n maatalousbyrokratian pitäisi olla jatkossa kaksi eri asiaa.
- Odotuksia viranomaisten suuntaan – sähkön tuotannon tuki ruokohelven käytölle kuten metsäenergian käytöllä jo on.
- Valmiit seokset esim. turpeeseen seostettuna olisivat laitoksen kannalta toimiva ratkaisu. Seostus kuitenkin tehtävä kunnolla – ei ”voileipämallia” lastausvaiheessa.

Ruokohelven laituskäsittely ja poltto

- Ruokohelpi pyritään vastaanottamaan paaleina, koska irtohelven vastaanotto ja varastointi on hankalampaa. Laitoksella pitäisi myös tutkia, voidaanko helpi vastaanottaa valmiina seoksena joko turpeen tai metsähakkeen kanssa.
- Ruokohelpipaalien murskaus vaatii kehitystä (tekniikka, kustannukset).
- Turpeelle ja puulle suunniteltujen käsittelylaitteiden ja -järjestelmien soveltuminen ruokohelvelle.
- Ruokohelven pneumaattinen erillissyöttö kattilaan.
- Ruokohelven tuhkan sulamiskäyttäytymisestä lisätietoa.
- Ruokohelven ja REF:n seoskaasutuksen tutkiminen.
- Kloori- ja kaliumpitoisuudet vaikuttavat korkeilta – likaantumis- ja kuuma-korroosio-riskit askarruttavat.

3.2 Johtopäätökset

Ruokohelpi on osoittautumassa Suomessa merkittävimmäksi kiinteää polttoainetta tuotavaksi peltoenergiakasviksi, ja sen viljelyala on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina. Suomessa on arvioitu olevan noin 100 voima- ja lämpölaitosta, jotka voivat käyttää ruokohelpeä seospolttoaineena. Arviolta 30 voimalaitoksella on jo kokemusta ruokohelven soveltuvuudesta energiantuotantoon. Kyselyn mukaan ruokohelven voi todeta olevan suurten laitosten polttoaine. Noin kolmasosa käyttäjistä oli yli 200 MW:n laitoksia. Ruokohelven käyttökokeilut ovat myös siirtyneet pienempiin kokoluokkiin. Kolmen pienimmän käyttäjän laituskoko oli alle 5 MW.

Ruokohelpi toimitetaan laitoksille joko erilaisina helpipaaleina tai valmiiksi seostettuna muihin polttoaineisiin, lähinnä jyrshinturpeeseen. Monet laitokset, jotka ovat kokeilleet ruokohelpeä pienempiä määriä, ovat halunneet sen valmiiksi turpeeseen sekoitettuna. Näin myös siksi, että laitoksilla ei ole omia murskaimia eikä myöskään mahdollisuuksia mobiilimurskaimien käyttöön omilla laitosalueillaan. Kyselyn perusteella entistä useammat muut laitokset haluaisivat helpitoimitukset valmiina seoksena turpeeseen. Vaatimukset helpi- tai turveseoskuormien sekoitusasteesta ovat täysin riippuvaisia laitoksen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmän tasosta. Toisilla laitoksilla ongelmia esiintyy enemmän kuin toisilla.

Ruokohelven käsittelylle ja syötölle kattilaan ollaan etsimässä uusia ratkaisuja. Eräänä mielenkiinnon kohteena on ollut ruokohelven erillinen pneumaattinen syöttölinja, joka käsittää hitaasti pyörivän murskaimen sekä murskeen syötön suoraan kattilaan putkistoa pitkin. Näitä asennuksia ja testauksia ollaan tekemässä ainakin kahdella voimalaitoksella. Ruokohelven poltto- ja käsittelyominaisuudet poikkeavat merkittävästi muiden polttoaineiden vastaavista, minkä vuoksi ruokohelven käytön alkutaival voimalaitospolttoaineena on ollut haasteellista. Polttoaineominaisuuksien ja keveyden takia helpi ei sovellu yksin poltettavaksi nykyisissä laitoksissa, mutta se soveltuu kuitenkin useimmilla laitoksilla turpeen ja hakkeen kanssa käytettäväksi. Se edellyttää hyvää sekoitusta joko kuormausvaiheessa tai laitoksen vastaanotossa ja käsittelyjärjestelmässä. Eräänä ongelmana on ollut jatkuvasti myös ruokohelven osuuden luotettava määrittäminen päästökauppaa varten.

Ruokohelpi on ympäristöystävällinen, puun tavoin ns. hiilidioksidineutraali polttoaine. Jatkossa sen uskotaan olevan kilpailukykyinen energialähde päästökaupan piirissä olevilla laitoksilla. Monien laitosten kannalta ruokohelpi ei ole kuitenkaan ongelmaton polttoaine, varsinkaan laitospolttolaitoksen osalta. Kokemuksen lisääntyessä laitospolttolaitosten ratkaisuja ruokohelven toimivaan käsittelyyn uskotaan kuitenkin löytyvän. Kuten tämän kyselyn tulokset osoittavat, mielenkiintoa ruokohelven kokeiluun ja mahdolliseen käyttöön voimalaitoksilla on. Kilpailukykyyn parantamiseksi ruokohelven koko toimitusketjussa – tuotanto, varastointi, kuljetus, sekoitus, murskaus, laitospolttolaitoksen käsittely, poltto – on vielä kehittämistarpeita.

4. Ruokohelven korjuu

4.1 Korjuututkimuksen tausta ja tavoitteet

Ruokohelven polttoaineominaisuudet paranevat, kun kasvuston annetaan olla pellolla talven yli seuraavaan kevääseen, jolloin ravinteet kerääntyvät juuristoon ja vesi huuhtoo pois polttokattiloille haitallisia aineita (Pahkala ym., 2005). Tärkein kevätkorjuun etu on kuitenkin se, että keväällä kasvuston kosteus on vain 10–15 %, kun se syksyllä saattaa olla esimerkiksi 50 %.

Ruokohelven kevätkorjuussa tapahtuu väistämättä korjuutappioita, koska kasvusto on pahasti laossa ja haurasta. Mittausten mukaan jopa 40–50 % kasvustosta on jäänyt pelolle liian pitkänä sänkenä tai varisemistappioina (Lötjönen & Isolahti, 2007). Ennestään tiedetään, että suuria tappioita voi syntyä, mikäli niittolaitteen niittokorkeutta ei ole säädetty tarpeeksi matalaksi (Pahkala ym., 2005). Lisäksi tiedetään, että niittomurskaimen käyttöä niitossa tulisi välttää tai murskainosan kierrosnopeus pitäisi ainakin säätää mahdollisimman alhaiseksi turhan varisemisen estämiseksi.

Ruokohelpipaalien tiheys ja käsittelyn kestävyys ovat usein olleet liian alhaisia. Löysillä paaleilla lastatun rekka-auton kuorman massa (10 tonnia) on saattanut olla vain puolet tiukoista paaleista tehdyn kuorman massasta (20 tonnia). Löysät paalit muuttavat muotoaan lastattaessa tai voivat jopa hajota ja vievät siten ennalta arvioitua enemmän tilaa. Näistä syistä löysien paalien kuljettaminen on liian kallista suhteessa niiden energiasäilytykseen. Ennestään tiedetään, että muuttuvakammioisella pyöröpaalaimella saadaan kiinteäkammioista paalainta hieman tiiviimpiä paaleja. Paalien tiheyden ja muodon kannalta paras paalintyyppi olisi kuitenkin suurkanttipaalain (Pahkala ym., 2005).

Tämän osatutkimuksen tavoitteena oli 1) löytää niittomenetelmiä, joilla korjuutappiot jäävät mahdollisimman pieniksi, 2) paalausmenetelmiä, joilla saadaan mahdollisimman tiiviitä paaleja ja lisäksi 3) verrata kanttipaalikorjuuta tarkkuussilppurikorjuuseen.

4.2 Korjuututkimuksen menetelmät

Tavoitteiden saavuttamiseksi keväällä 2007 tehtiin kaksi kenttäkoetta Haapavedellä, Vapon ruokohelpiviljelmällä ja kolmas koe samalla alueella keväällä 2008. Niitto- ja karhotuskokeessa tutkittiin lautaskoneen, niittomurskaimen ja ajettavan swather-niittokoneen vaikutuksia korjuusaantoon. Lisäksi verrattiin ns. ”normaalia” säilörehu-karhotinta ja uudentyypistä Elho-karhotinta (taulukko 2). Kaikki käsittelyt korjattiin samalla paalaimella.

Paalauskokeessa verrattiin kiinteä- ja muuttuvakammioisen pyöröpaalaimen ja toisaalta uudenmallisen ja vanhemmanmallisen kanttipaalaimen vaikutusta paalien tiheyteen. Muuttuvakammioista paalainta käytettiin silppurilla (14 terää) sekä ilman. Lisäksi samalla paalaimella tehtiin lisäkoee, jossa osa paaleista tehtiin ilman silppuria halkaisijaltaan 1,25 m:n ja osa 1,6 m:n kokoisiksi. Edelleen mitattiin eri koneketjujen korjuusaanto eli mahdolliset erot varisemistappioissa. Koko paalauskoalue niitettiin ja karhotettiin samoilla koneilla ennen paalausta. Koekäsittelyt on esitetty taulukossa 2. Molempien koekäsitteilyjen valinnassa voitiin hyödyntää aikaisempien tutkimusten kokemuksia (Pahkala ym., 2005, Larsson ym., 2006, Lötjönen & Isolahti, 2007).

Kevään 2008 kokeessa tutkittiin kanttipaalikorjuun ja tarkkuussilppurikorjuun vaikutuksia korjuusaantoon ja työmenekkeihin. Silppurikorjuussa perävaunua vedettiin erillisellä traktorilla hinattavan silppurin vieressä, jolloin puhallus perävaunuun tapahtui sen sivulta. Perävaunu oli päältä ja reunoilta katettu, ja sen tilavuus oli noin 40 m³.

Kokeet järjestettiin kolmella toistolla, ja koekaistojen koko oli niittokokeessa noin 0,25 ha ja paalaus- ja silppurointikokeissa 0,50 ha. Koska koalueet oli sarkaojitettu, yksi sarka muodosti luontevasti yhden koekaistan. Kokeiden aluksi koekaistoilta määritettiin keskimääräinen biologinen sato Haldrup-koeruutupuimurilla. Mittaus tehtiin 4–6 kertaa jokaiselta koekaistalta kaistojen suuntaisesti ajaen, ja yhden mittauksen pinta-ala oli noin 15 m². Näytteiden kosteudet määritettiin uunikuivausmenetelmällä. Koekaistojen pinta-alat mitattiin kokeen lopuksi GPS:n avulla.

Keväällä 2007 toukokuun sateet viivyttivät varsinaisen korjuun touko–kesäkuun vaihteeseen. Koekaistat niitettiin, karhotettiin ja paalattiin aina yksi kerrallaan, eli jokaiseen kaistaan tuli ajoa myötä- sekä vastalakoon. Koneiden säätöjä ei lähdetty erikseen optimoimaan, vaan kuljettajille annettiin ohjeet niittää niin tarkasti kuin mahdollista ja tehdä niin tiukkoja paaleja kuin pystyvät. Koetta ennen annettiin mahdollisuus harjoitella ja tehdä säätöjä. Pyöröpaalaukset voitiin tehdä vasta muutaman viikon kuluttua kanttipaalauksista urakoitsijoiden kiireiden ja uusien koneiden Suomeen tulon hitauden takia, mutta todennäköisesti näillä viivytyksillä ei ollut vaikutuksia tuloksiin. Keväällä 2008 sää oli suotuisampi ja korjuukoe saatiin tehdyksi 22.5.

Taulukko 2. Koekäsittelyt ja kokeissa käytetyt koneet Haapavedellä keväällä 2007 ja 2008.

Niitto- ja karhotuskoe v. 2007	Niitto	Karhotus	Paalaus
Käsittely 1.	Elho NK 280 lautaskone	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	New Holland BB950A suurkanttipaalain
Käsittely 2.	Elho NK 280 lautaskone	Elho VT Twin karhotin	New Holland BB950A suurkanttipaalain
Käsittely 3.	Elho HNM 320 C hinattava niittomurskain	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	New Holland BB950A suurkanttipaalain
Käsittely 4.	Hesston itsekulkeva swather	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	New Holland BB950A suurkanttipaalain
Paalausko v. 2007	Niitto	Karhotus	Paalaus
Käsittely A.	Pöttinger 305 H lautaskone	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	Welger RP 220, kiinteäkammioinen pyöröpaalain, ei silppuria
Käsittely B.	Pöttinger 305 H lautaskone	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	Vicon RV 1601, muuttuvakammioinen pyöröpaalain, ei silppuria
Käsittely C.	Pöttinger 305 H lautaskone	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	Vicon RV 1601, muuttuvakammioinen pyöröpaalain, silppuri
Käsittely D.	Pöttinger 305 H lautaskone	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	New Holland BB950A, kanttipaalain, ei silppuria
Käsittely E.	Pöttinger 305 H lautaskone	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	Claas Quadrant 1200, vm. 1997, kanttipaalain, ei silppuria
Paalaus- ja silppurointikoe v. 2008	Niitto	Karhotus	Korjuu
Käsittely 1.	Pöttinger 305 H etu- ja takalautaskoneet	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	New Holland BB950A suurkanttipaalain
Käsittely 2.	Pöttinger 305 H etu- ja takalautaskoneet	Pöttinger 2-roottorinen karhotin	JF 1350 hinattava tarkkuussilppuri

Saadut paalit punnittiin yksitellen paalivaa'alla. Kuiva-ainenäytteet otettiin sähköpora-koneeseen kiinnitetyllä 50 cm pitkällä terällä ja kuiva-aineet määritettiin uunikuivausmenetelmällä. Talteen saatu helpisato (%) laskettiin seuraavasti: Paalien kuiva-ainemassa / Biologisen sadon kuiva-ainemassa x 100 %. Paalauskoeksessa mitattiin myös paalien

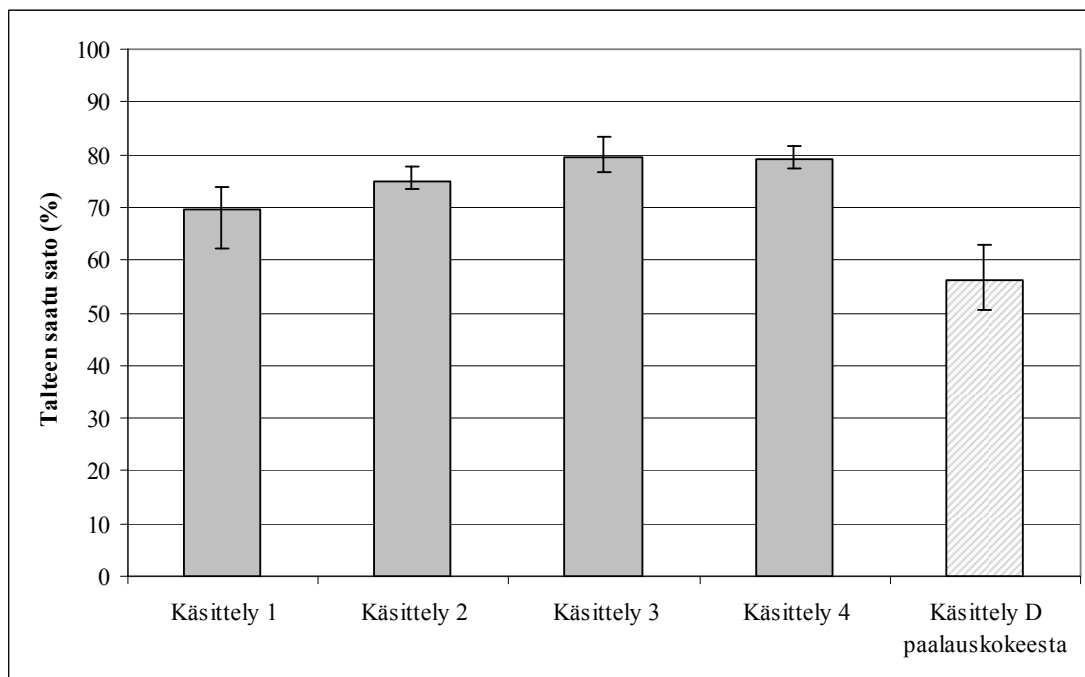
todelliset ulkomitat, jotta paalien tiheys voitiin laskea. Irtozilppukuormien punnitukseen käytettiin perävaunun kippihydrauliikan painetta mittaavaa yksianturista vaakaa. Peräkärriyvaaka kalibroitiin punnussarjalla ennen korjuukoetta. Korjuun työvaiheet videoitiin, jotta myöhemmin eri työvaiheisiin kuluneet ajat voitiin mitata ja työmenekit laskea.

4.3 Korjuututkimuksen tulokset ja tulosten tarkastelu

4.3.1 Niitto- ja karhotuskoe 2007

Ruokohelpi oli kasvanut molemmilla koealueilla hyvin, koeruutupuimurilla mitattu biologinen kuiva-ainesato oli 7 000–9 000 kg/ha. Niitto- ja karhotuskokeessa lautasniittokoneen jäljiltä saatiin talteen 70–75 % ja niittomurskaimen ja swatherin jälkeen noin 80 % biologisesta sadosta (kuva 1). Lautaskoneelle ja swatherille nämä ovat tyypillisiä arvoja, mutta niittomurskain toimi tässä kokeessa paremmin kuin aiemmin. Yleensä talteen saatu sato niittomurskaimen jäljiltä on ollut vain 50–60 % (Lötjönen & Isolahi, 2007).

Kokeessa käytetyssä niittomurskaimessa (käsittely 3) oli kaukosäädettävä leikkuukorkeuden säätö ja putkisormin toteutettu murskainosa, jotka saattavat selittää tulosta. Kun leikkuukorkeus on helposti säädettävissä, säätö tulee myös tehtyä. Putkisormimurskain voi olla hellävaraisempi kuin muut murskaintyytit. Murskainosan kierrosnopeus oli myös säädetty hitaimmaksi mahdolliseksi (kuva 2). Itsekulkevalla swatherilla (käsittely 4) korjuusaanto oli hyvä, koska siinä on samanlainen leikkuupöytä kuin leikkuupuimurissa. Siten lakoista helpikasvustoa voidaan kohottaa ennen kuin teräpalkki katkaisee sen. Swatherilla ajetaan kuten puimurilla, joten sen ajonopeus on hitaampi ja kapasiteetti heikompi kuin samanlevyisillä lautasneilla.



Kuva 1. Niiton ja karhotuksen vaikutus talteen saatuun ruokohelpisatoon. Käsittelyt on esitetty taulukossa 2. Viimeinen käsittely on otettu paalauskoikeesta, joka järjestettiin viereisellä loholla. Janat ilmaisevat mitatut minimi- ja maksimi-arvot.

Karhottimien väliset erot (käsittelyt 1 ja 2) korjuusaannolla mitattuna olivat noin 5 prosenttiyksikköä (kuva 1). Käytännössä Elho VT -karhottimen runkorakenne oli murskaamattomalle ruokohelvelle turhan matala, jolloin karhotin keräsi helvestä kasoja karheeseen ja tukkeutuminen oli lähellä. Runkorakenteen avartamisen jälkeen kone sopinee pitkällekin ruokohelvelle hyvin. Mikäli olisi karhotettu niittomurskaimen läpi mennyttä ruokohelpeä, tukkeutumistaipumusta olisi tuskin esiintynyt.

Paalauskoikeessa lautasniittokoneen leikkuukorkeus oli säädetty hieman turhan korkealle, koska koneen omistaja pelkäsi pellolla mahdollisesti olevia kiviä. Tämä näkyi 15 prosenttiyksikköä suurempina korjuutappioina, jos vertaamme käsittelyjä 1 ja D kuvassa 1. Vaikka nämä käsittelyt ovatkin eri kokeista, ovat ne melko vertailukelpoisia. Kokeet sijaitsivat vierekkäisillä lohkoilla, ja käsittelyt 1 ja D korjattiin samalla tavalla, ainoastaan niittokoneet säätoineen olivat erilaiset.



Kuva 2. Oikein säädetyllä niittomurskaimella päästään pieniin korjuutappioihin (kuva: Timo Lötjönen).

4.3.2 Paalauskoee 2007

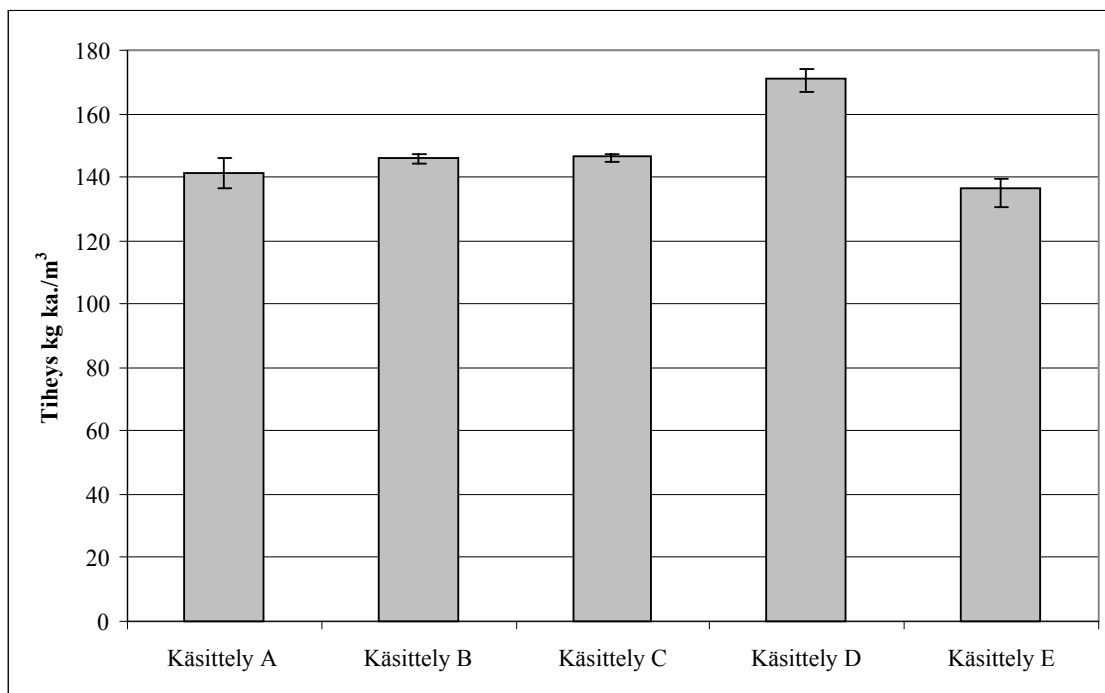
Paalauskoekessa suurin keskimääräinen paalintiheys saatiin New Holland -kanttipaalaimella ($171 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$) (taulukko 5). Jos tämä muutetaan 15 %:n kosteuteen, tiheys on $201 \text{ kg}/\text{m}^3$. Paalit olivat hyvinmuotoisia ja ne kestivät hyvin nostelua ja siirtelyä. Vanhempi Claas-kanttipaalain ei tehnyt yhtä tiukkoja paaleja, paalintiheys oli keskimäärin $136 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$. Materiaalin syötössä paalikammioon on tapahtunut teknistä kehitystä kymmenen vuoden aikana, on tullut ns. esikammiotekniikka, joka voi selittää eroa. Lisäksi vanhemmassa paalaimessa oli omistajan mukaan merkittäviä vikoja, jotka on saatu nyttemmin korjattua.

Pyöröpaalaimilla päästiin $141\text{--}155 \text{ kg ka}/\text{m}^3$:n paalintiheyksiin (kuva 3, taulukko 3). Kiinteä- ja muuttuvakammioisen paalaimen paalintiheyksissä ei ollut juurikaan eroja, kun niillä tehtiin maksimikokoisia paaleja. Tämä on hieman yllättävää, sillä aiemman tutkimustiedon valossa on ajateltu, että muuttuvakammioisella saadaan kiinteäkammioista paalainta tiukemmat paalit (mm. Pahkala ym., 2005). Mikäli muuttuvakammioisella paalaimella tehtiin pieniä paaleja (halkaisija 1,25 m), ne olivat noin 10 % tiiviimpiä kuin kiinteäkammioisella tehdyt paalit (taulukko 3).

Ilmeisesti kiinteäkammioisten paalainten välillä on tiettyjä teknisiä eroja, jotka selittävät saatua tulosta. Kiinteäkammioisessa paalaimessa oleellista on peräportin riittävän jäykkä lukitus, joka estää kammion avautumisen ennaikaisesti. Verrattaessa pyörö- ja kanttipaalainten paalintiheyksiä toisiinsa on huomattava, että esitetyt luvut koskevat vain paalien sisäistä tiheyttä, ts. siinä ei ole huomioitu kanttipaalien parempaa tilankäyttöä esim. rekka-autoon kuormattaessa.

On myös esitetty, että kiinteäkammioinen paalain varistaa merkittävästi helpeä rullien välistä. Näin voi ollakin, jos ruokohelpi on hyvin kuivaa (< 10 %), mutta tässä kokeessa helven kosteus oli kahtapuolta 15 %, eikä varisemiseroja kiinteä- tai muuttuvakammioisen tai toisaalta kanttipaalainten välillä mittausten mukaan ollut.

Muuttuvakammioisessa paalaimessa silppurin käyttö (14 terää) ei lisännyt paalintiheyttä (käsittely B vs. C). Varisemistappiot sen sijaan kasvoivat hieman, noin 4 %. Silppuamisesta voisi olla hyötyä voimalaitoksella paalinpurkuvaiheessa. VTT:n mittausten mukaan silppu ei kuitenkaan ollut tarpeeksi lyhyttä, jotta se kulkisi ongelmitta voimalaitosten kuljettimissa.



Kuva 3. Paalauskokeen keskimääräiset paalien kuiva-ainetiheydet ($\text{kg ka}/\text{m}^3$). Käsittelyt on esitetty taulukossa 1. Janalla on merkitty pienin ja suurin mitattu arvo.

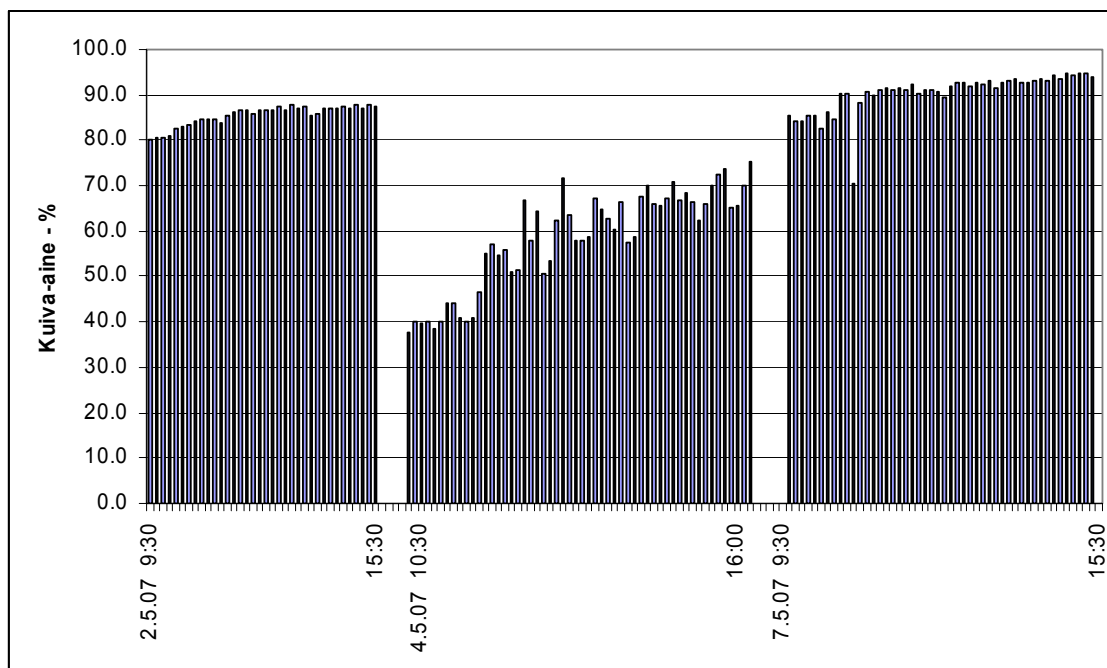
Taulukko 3. Kokeessa olleiden paalainten tekemien paalien ulkomitat, tilavuudet, keskimääräiset tiheydet ja keskimääräiset kuiva-ainepainot.

Paalain	Paalien mitat, m		Tilavuus, m ³	Tiheys, kg _{ka} /m ³	Paaleissa kg _{ka}
Welger	halk. x lev.	1,3 x 1,25	1,66	141	234
Vicon isot	halk. x lev.	1,62 x 1,2	2,47	146	361
Vicon pienet	halk. x lev.	1,25 x 1,2	1,47	155	228
NewHolland	lev. x kork. x pit.	1,2 x 0,7 x 2,4	2,02	171	345
Claas	lev. x kork. x pit.	1,2 x 0,7 x 2,15	1,81	136	246

Kun paaleja lastataan kuljetusautoon, on oleellista, että kuormatilaan saadaan mahtumaan kaksi paalia rinnakkain. Jos kuormatila on vähänkin liian kapea tai paalit epäsuunnollisen muotoisia, tämä ei onnistu ja kuormaan jää paljon tyhjää. Oletetaan, että näin ei käy ja käytössä on lavamitoiltaan lähes suurin mahdollinen kuljetusauto. Tällöin kokeessa mitatuilla paalien tiheyksillä laskennalliset rekan helpikuorman kuivaainemassat olisivat seuraavat: A) kiinteäkammioinen pyöröpaalain (d = 1,3 m) 14,5 tonnia, B) muuttuvakammioinen pyöröpaalain (d = 1,6 m) 16,6 tonnia ja D) kanttipaalain (1,2 x 0,7 x 2,4 m) 23,4 tonnia. Kanttipaalaimella on siis mahdollista saavuttaa noin 60 % suurempi kuormapaino kuin pyöröpaalaimella. Käytännössä ero voi olla suurempikin, sillä Vapon mukaan kevyimmät pyöröpaalikuormat ovat painaneet alle 10 tonnia.

4.3.3 Niittämättömän ruokohelven kosteus 2007

Kun koekaistojen biologinen sato mitattiin Haldrup-koeruutupuimurilla, samalla jouduttiin luonnollisesti määrittämään jokaisen mittauksen kuiva-ainepitoisuus. Tämä tehtiin ottamalla ruokohelvestä edustava näyte muovipussiin välittömästi sen tultua ulos Haldrupista ja määrittämällä kosteus uunikuivausmenetelmällä (24 h + 105 °C). Tulokset kuvastavat siis niittämättömän kasvuston kosteutta. Ensimmäinen näytteenotto-päivä 2.5.2007 oli melko normaali toukokuun alun tuulinen ja aurinkoinen päivä, keskilämpötila oli noin +4 °C ja edellispäivänä oli satanut < 1 mm. Niittämätön ruokohelppi kuivui noin klo 11.00 mennessä 85 %:n kuiva-ainepitoisuuteen (kuva 4). Iltapäivän tunteina helven kuiva-ainepitoisuus oli noin 87 %.



Kuva 4. Satomääritysten yhteydessä mitatut ruokohelven kuiva-ainepitoisuudet aikajärjestyksessä 2.–7.5.2007. Näytteenoton alkamisen ja lopettamisen kellonajat on merkitty kuvaan ($n = 138$).

Toista näytteenottopäivää 4.5 edeltävänä päivänä oli satanut myös < 1 mm, mutta yöllä oli ollut pakkasta maan pinnassa noin -5 °C. Päivän keskilämpötila jäi $+2$ °C:seen, joten kasvuston sulaminen kesti kauan. Koska päivän mittaan tuli pieniä räntäkuuroja, kasvusto ei kuivunut koko päivänä 70 %:n kuiva-ainepitoisuutta kuivemmaksi. Kolmannen päivän 7.5 keskilämpötila oli jo $+10$ °C, eikä sadetta tai pakkasta ollut edeltävän vuorokauden aikana. Ruokohelpi kuivui klo 11.00 mennessä jo 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja iltapäivän kuluessa peräti 94 %:n kuiva-ainepitoisuuteen (kuva 4).

Tulokset tarkoittavat sitä, että ruokohelven korjuu olisi mahdollista riittävän kuivana (ka. > 85 %), vaikka niitto ja korjuu tehtäisiin samalla koneella. Tällaisia koneita voisivat olla esimerkiksi ajettava kanttipaalain tai ajettava tarkkuussilppuri, jossa on niittpää. Normaalipäivänä korjuuta ei tulisi aloittaa aivan aamusta. Toisaalta on niin, että erillinen niitto ja karhotus nopeuttavat maan pinnan kuivumista kantavaksi ja kosteissa kohdin myös kasvuston kuivumista.



Kuva 5. Suurkanttipaalaimen paaleista saadaan suuri kuorma, mutta koneet ovat harvinaisia Suomessa (kuva: Timo Lötjönen).

4.3.4 Paalaus- ja silppurointikoe 2008

Vuonna 2008 koesarkojen biologisten satojen keskiarvot olivat 4 200–6 600 kg_{ka}/ha. Yksittäisten mittaustulosten vaihtelu oli selvästi suurempaa (2 300–8 500 kg_{ka}/ha). Kanttipaalauksen korjuusaannoksi mitattiin keskimäärin noin 80 %, joka on samaa luokkaa kuin kevään 2007 kokeessakin (taulukko 4). Paalien tiheys oli keskimäärin 159 kg_{ka}/m³, kun edelliskeväänä tiheys oli 171 kg ka/m³.

Taulukko 4. Korjuusaannot (%) saroittain kahdella eri korjuumenetelmällä.

Sarka	Kanttipaalain	Tarkkuussilppuri
1	76,6	
2		76,1
3		104,3
4	74,6	
5	86,9	
6		121,6
Keskiarvo	79,4	100,6

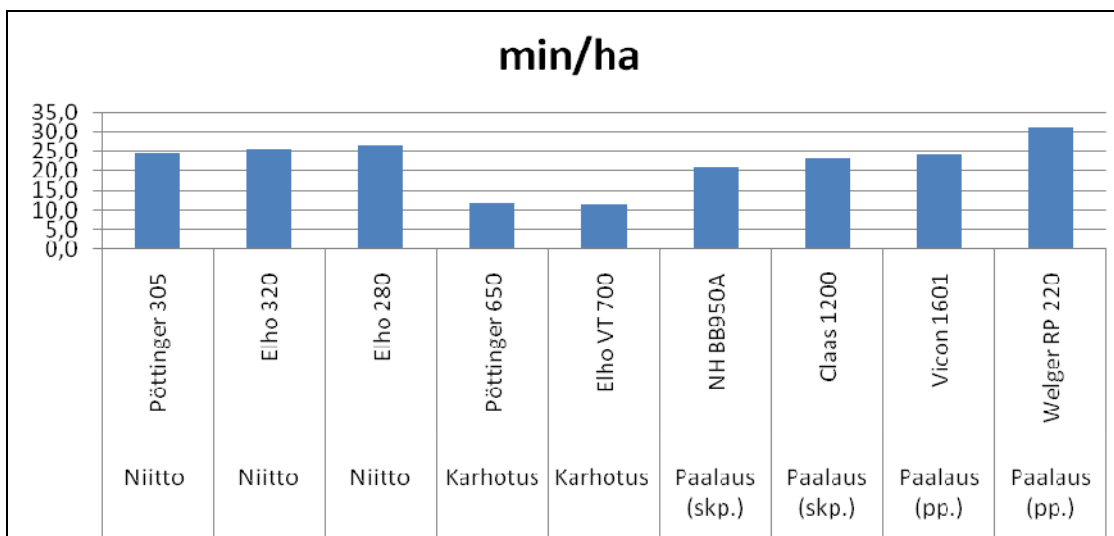
Kokeen mukaan silppurikorjuun korjuusaanto olisi ollut keskimäärin 101 % ja saralla nro 6 jopa 122 % (taulukko 4). Todennäköisesti nämä ”liian” suuret arvot johtuvat siitä, ettei biologisen sadon mittausta Haldrupilla ollut riittävän edustava. Sato vaihteli paljon osalla saroista. Toinen mahdollinen virhelähde on peräkärnyvään epätarkkuus kalibroinnista huolimatta tai käyttövirhe punnituksen aikana. Koska edellisvuosien kokeiden perusteella tiedetään, että suurin osa korjuutappiosta aiheutuu niitossa, voidaan arvioida, että silppukorjuun korjuusaanto on välillä 70–100 %. Todennäköisesti se on oikein suoritettuna vähintään yhtä hyvä kuin kanttipaalaimellakin.

4.3.5 Ruokohelven korjuun työajanmenekit

Työaikaan vaikuttavat eniten työmenetelmä, käytössä olevat koneet ja niiden kapasiteetit, ajettavan lohkon mitat, sato ja ajaja. Tässä kokeessa pyrittiin vertaamaan eri koneita, kun sato sekä lohkon koko ja muoto pysyvät samoina. Tavoitteena oli verrata ruokohelven työmenekkejä muiden heinäkasvien työmenekkeihin ja toisaalta vertailla paalauksen ja irtokorjuun välisiä työmenekkejä. Työmenekkimittauksia tehtiin keväällä 2007 ja 2008.

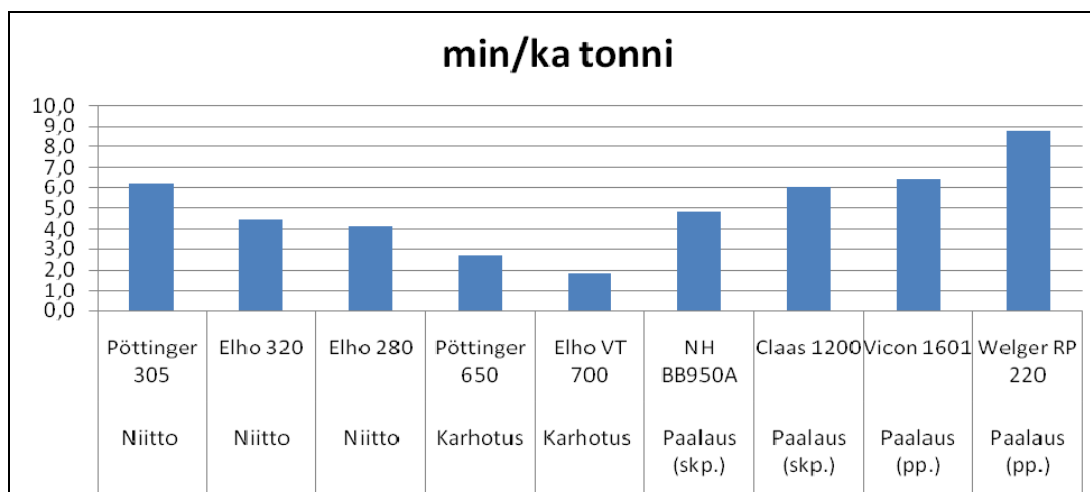
Kevään 2007 niittokokeessa koesarkojen koko oli noin 150 x 18 m (pit. x lev.) ja paalauksokokeessa noin 270 x 18 m. Kevään 2008 korjuukokeessa koesarkojen mitat olivat noin 290 m x 18 m. Korjuutyöt videoitiin, josta työvaiheisiin kulunut aika kelloitettiin jälkikäteen ja jaettiin seuraaviin työvaiheisiin: ajoaika, kääntyminen, aputyöt ja häiriöt. Laskentaan otettiin mukaan vain täysiä työleveyksiä, jolloin tulokset vastaavat paremmin salaajapellolla saavutettavia arvoja. Tulokset ovat 5–9 ajon keskiarvoja. Vaihtelu ajokertojen välillä oli hyvin vähäistä, joten näin pientäkin aineistoa voidaan pitää melko luotettavana. Häiriöitä sattui harvoin, yleisin niistä oli pyöröpaalin jumiutuminen kammioon, minkä takia kammiota oli availtava useita kertoja paalin saamiseksi ulos kammioista.

Kuvassa 6 on työmenekkejä eri työvaiheista ja eri koneista. Eri koneiden välillä ei ole juurikaan eroa työajoissa, sen sijaan eri työvaiheiden välillä eroja on. Kaaviosta nähdään, että pyöröpaalaus vie hehtaaria kohden vähän enemmän aikaa kuin suurkantipaalaus.



Kuva 6. Eri työvaiheiden ja käytettyjen koneiden työaikoja minuutteina hehtaaria kohden (skp = suurkanttipaalaus, pp = pyöröpaalaus).

Talteen saatu sadonmäärä oli niitto- ja karhotuskokeessa noin 6 000 kg ka/ha ja paalauskokeessa hieman epäonnistuneen niiton seurauksena noin 4 000 kg ka/h. Sadonmäärällä on merkitystä työaikoihin, ja se voidaan ottaa huomioon laskettaessa työaikaa kuiva-ainetonna kohden. Kuvassa 7 työnmenekkejä on verrattu käsiteltyyn kuiva-ainesatoon. Pöttinger-niittokoneen työnmenekkimittaukset ovat peräisin alemman sadon alueelta, joten niitä ei voi suoraan verrata muihin niittokoneisiin.



Kuva 7. Työnmenekit käsiteltyä kuiva-ainetonna kohden eri työvaiheissa ja eri koneilla (skp = suurkanttipaalaus, pp = pyöröpaalaus).

Taulukoihin 5 ja 6 on laadittu esimerkkiketjut kanttipaalaukselle ja silppurikorjuulle. Kaikki mittaustulokset ovat vuoden 2007 kokeesta, paitsi silppurikorjuu, joka on mitattu vuonna 2008. Kanttipaalaukselle päädyttiin käyttämään vuoden 2007 arvoa, koska silloin

veturina käytetty traktori on paremmin vertailukelpoinen silppukorjuussa käytetyn traktorin kanssa.

Kanttipaalit on oletettu ajettavan varastopaikalle kahden traktorin voimin, joissa toisessa on etukuormaaja ja toisessa 23 kanttipaalia vetävä perävaunu. Silppurikorjuussa perävaunutraktori ajaa silppurin vieressä, ja traktori-vaunuyhdistelmän vaihto tapahtuu ”lennossa”. Perävaunujen tilavuus on 40 m³. Ajomatka pellolta varastolle on kummassakin ketjussa 800 m yhteen suuntaan.

Taulukko 5. Kanttipaalauskeskittämisen esimerkkiketjun työmenekit ja työsaavutukset. Mittaukset ovat vuodelta 2008 paitsi paalaus, jonka mittaus on vuodelta 2007. Talteen saatu sato oli noin 4 000 kg ka/ha.

	Niitto Pöttinger 305	Karhotus Pöttinger 650	v. 2007 Kanttipaalaus NH BB950A	Kuormaus (23 paalia/ kuorma)	Ajo varastolle ja takaisin (800 m x 2)	Kuorman purku	Summa:
km/h	14,1	11,2	7,1		15,0		
min/ha	24,8	11,8	21,1	27,7	9,1	5,0	99,7
min/ka tonni	6,2	2,7	4,8	4,9	1,3	0,7	20,7
ka tonnia/h	9,7	22,2	12,4	24,7	90,6	164,9	

Taulukko 6. Tarkkuussilppuroinnin esimerkkiketjun työmenekit ja työsaavutukset. Silppuroinnin mittaustulokset ovat vuodelta 2008, muiden työvaiheiden vuodelta 2007. Talteen saatu sato oli noin 4 000 kg ka/ha.

	Niitto Pöttinger 305	Karhotus Pöttinger 650	Silppurointi JF 1350	Ajo 2:lla traktorilla (800 m x 2)	Summa:
km/h	14,1	11,2	7,1	15,0	
min/ha	24,8	11,8	20,0	40,1	96,7
min/ka tonni	6,2	2,7	4,3	4,3	17,5
ka tonnia/h	9,7	22,2	14,0	14,0	

Näillä oletuksilla ja reilulla 4 kuiva-ainetonnin hehtaarisadolla kummallakin menetelmällä hehtaarin helpiviljelmän korjuuseen kuluu noin 100 min työaika yhden miehen työpanokseksi muutettuna. Lukuihin ei sisälly aumojen peittämistä. Silppurikorjuu on kanttipaalausta hieman tehokkaampaa, kun tarkastellaan työsaavutusta tonnia kohti. Taulukon 5 ja 6 laskelmien mukaan kanttipaalauskeskittämällä saadaan ruokohelpeä korjattua noin 12,4 tonnia tunnissa ja tarkkuussilppurikorjuulla noin 14,0 tonnia tunnissa.

Kun verrataan ruokohelven korjuun työnmenekkejä ja työntuotosta vastaaviin säilörehun ja heinän työnmenekkeihin, säännönmukaista eroa ei voida todeta. Ruokohelven silppuroinnin työnmenekki minuuttia hehtaaria kohden on jopa puolet nopeampaa kuin säilörehun standardiajoiksi lasketut työnmenekit ja se on lähes yhtä nopeaa kuin ajettavan tarkkuussilppurin. Mutta kun verrataan silppuroinnin osalta työntuotosta eli kuinka paljon tonneja saadaan tunnin aikana käsiteltyä, säilörehun ja ruokohelven välillä ei ole mainittavaa eroa. Tämä on syytä ottaa huomioon esim. urakoinnin veloitus hinnoissa, jotka useimmiten perustuvat tunti- tai hehtaari pohjaiseen veloitukseen oikeudenmukaisemman tonniveloituksen sijasta.

Kanttipaalauskesän standardiajat heinäkorjuussa ja tämän kokeen työnmenekit ruokohelven paalausajoissa ovat lähes samat. Näin ollen myöskään tämän menetelmän osalta merkittäviä eroja ei ole havaittavissa.

Työntutkimuksen tulokset ovat vastoin odotuksia ja viljelijöiltä saatuja kommentteja, joiden mukaan ruokohelven korjuu on häiriöaltista ja hidasta. Näiden korjuukokeiden tuloksen perusteella näin ei ole, vaan ruokohelven korjuun työnmenekit ovat hyvin verrannollisia muiden heinäkasvien työnmenekkeihin.

4.4 Korjuututkimuksen johtopäätökset

Tämän ja aikaisempien tutkimusten mukaan lautasniittokoneella, niittomurskaimella ja swatherilla on kaikilla mahdollista päästä 80 %:n korjuusaantoon ruokohelven kevätkorjuussa (Lötjönen & Isolahti, 2007). Tämä on monesti jo riittävän hyvä tulos. Lautasiin perustuvassa niitossa oleellista on teräpalkin kulman säätö tarpeeksi jyrkäksi, jotta myötälakoinenkin kasvusto katkeaa tarpeeksi lyhyeen sänkeen. Myötälakon niitto on kaikkein hankalinta. Nostolaitekoneissa säätö on yleensä helpompi tehdä kuin hinattavissa koneissa. Toisaalta teräpalkin kulmaa kasvatettaessa kasvaa myös riski kalliille terävaurioille, mikäli pellolla on kiviä, kantoja tai painaumuksia. Siksi varsinkin urakoitsijat tyytyvät mieluummin vähän pitempään sänkeen kuin ottavat rikkoutumisriskin.

Niittomurskainta käytettäessä toinen oleellinen säätö on murskainosan säätäminen mahdollisimman hellävaraiseksi sen kierrosnopeutta alentamalla ja vastakampaa löysäämällä. Hyvin kuivassa kasvustossa murskainosa voi silti aiheuttaa varisemistappioita, jolloin pelkän lautasniittokoneen käyttö olisi parempi vaihtoehto. Toisaalta murskainta käytettäessä voidaan välttyä karhottamisvaiheelta, sillä murskain tekee karhot, joissa on riittävästi massaa pienempitehoisille korjuukoneille, esimerkiksi pyöröpaalaimille.

Paalauskoikkeessa kävi ilmi, että hyvällä kiinteäkammioisella pyöröpaalaimella on mahdollista päästä yhtä suuriin paalintiheksiin kuin muuttuvakammioisellakin paalaimella.

Myöskään varisemistappioissa ei ollut eroja. Nämä ovat uudenlaisia tuloksia verrattuna aiempaan tietoon (Pahkala ym., 2005). Tässä kokeessa helpi ei ollut äärimmäisen kuivaa, mikä voi selittää tuloksia. Muuttuvakammioisen paalaimen etuna on, että sillä voidaan tehdä kiinteäkammioista suurempia paaleja, joilla voi olla parempi tilankäyttö kuljetusajoneuvoissa, kuten tämän tutkimuksen ajoneuvotarkastelussa kävi. Silpputerien käyttö ei näyttäisi pyöröpaalaimessa kannattavan, koska paalintiheys ei nouse, ja toisaalta variseminen voi lisääntyä hieman.

Kanttipaalaimissa on tapahtunut kehitystä siten, että uudella paalaimella voidaan saada noin 25 % tiiviimmät paalit kuin esimerkiksi kymmenen vuotta vanhalla mallilla. Tosin otos tässä oli hyvin pieni (kaksi paalainta), ja vanhemmassa paalaimessa oli vikoja, jotka voivat vaikuttaa paalien tiheyteen. Tulos kuitenkin osoittaa, että kanttipaalain ei aina automaattisesti ole pyöröpaalainta merkittävästi parempi vaihtoehto.

Kanttipaalainta käytettäessä voidaan saavuttaa noin 60 % suurempi kuljetusauton kuorman massa kuin pyöröpaaleja käytettäessä, koska kanttipaalien muoto ja tiheys ovat parempia. Tämä edellyttää, että paalit ovat täsmälleen oikean kokoisia ja muotoisia ja että niiden lastaus onnistuu suunnitellusti. Maassamme on kuitenkin käytettävissä paljon enemmän pyöröpaalaimia kuin kanttipaalaimia ja pyöröpaalain on kanttipaalainta huomattavasti kevyempi ja edullisempi kone, joten pyöröpaalain tulee hyväksyä ruokohelven korjuussa vielä pitkään. Tosin on niin, että kaukokuljetukseen menevää helpeä ei tulisi korjata löysiä ja huonomuotoisia paaleja tekevillä paalaimilla.

Tarkkuussilppurikorjuussa päästiin vähintään yhtä pieniin korjuutappioihin kuin kanttipaalaimellakin, vaikkakin koekentän epätasaisuus vaikeutti tappioiden arvioimista. Menetelmässä perävaunun laitojen ja katon tulee olla tiiviit, muutoin osa hienosta helpisilpusta lentää takaisin pellolle. Kun perävaunua vedetään silppurin vieressä erillisellä traktorilla, kuljettajien yhteispelin onnistuminen vaikuttaa suuresti ohipuhallukseen ja siten tappioiden määrään.

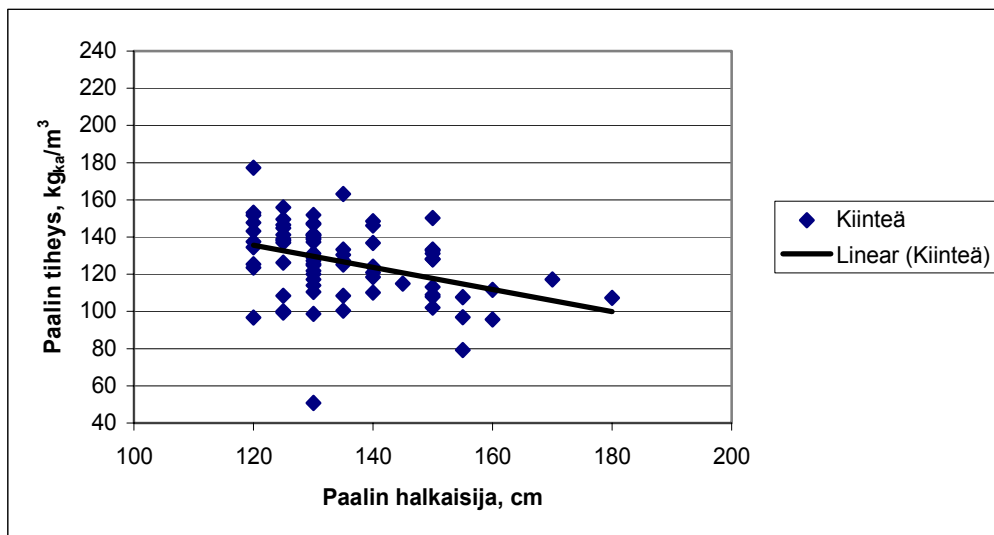
Työntutkimuksen tulokset ovat vastoin odotuksia ja viljelijöiltä saatuja kommentteja, joiden mukaan ruokohelven korjuu on häiriöaltista ja hidasta. Näiden korjuukokeiden tuloksen perusteella näin ei ole, vaan ruokohelven korjuun työnmenekit ovat hyvin verrannollisia muiden heinäkasvien työnmenekkeihin. Toisaalta koelohkot olivat suurehkoja ja hyvinmuotoisia ja pellon pinta oli säilynyt kohtalaisen tasaisena. Koneiden kuljettajat olivat rutinoituneita urakkamiehiä ja kalusto sen mukaista. Pienemmän mittakaavan viljelyssä korjuu voi olla merkittävästi hitaampaa. Maatalousmittakaavan kalustoon verrattaessa (Paappanen ym., 2006) nyt mitatut työsaavutustulokset ovat yli kaksi kertaa parempia.

5. Ruokohelven kaukokuljetus

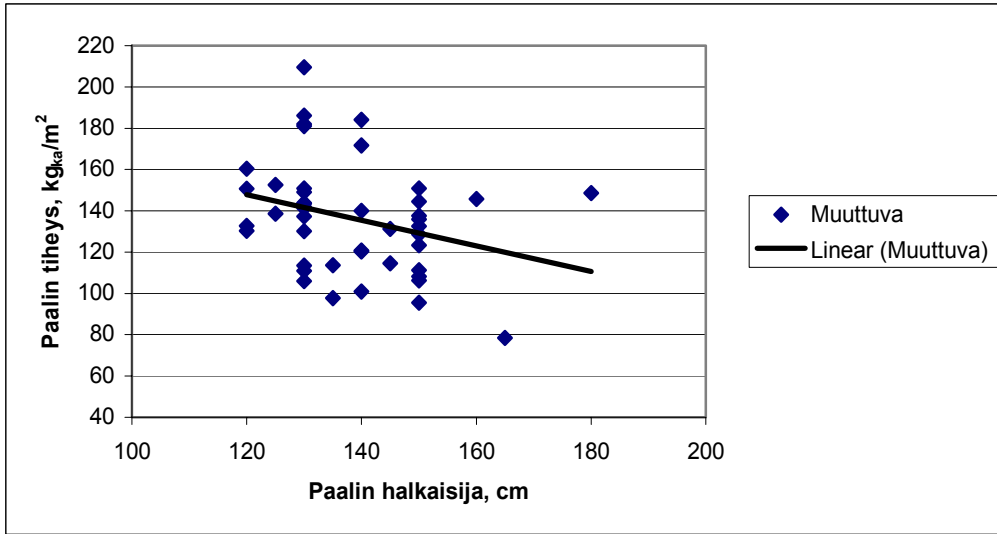
5.1 Paalien tiheys

Ruokohelven kaukokuljetus voi tapahtua silppuna, paaleina tai seoksena turpeen tai hakkeen kanssa. Suurin osa Suomessa käytettävistä paaleista on pyöröpaaleja, joiden halkaisija on yleisimmin 120 cm:n ja 150 cm:n välillä. Yleisin paalien leveys on 120 cm. Suurkanttipaalien korkeus on joko 70 cm tai 90 cm ja leveys 120 cm. Pituutta voidaan säätää. Paalien tiheys vaikuttaa kuormakokoon. Lisäksi tarkasteluun otettiin Orkel-paikallisaalaimella tehdyt paalit. MTT:n kokeiden perusteella tarkkuussilppurilla ajettusta silpusta saatiin Orkel-paalaimella erittäin tiheitä paaleja, $241 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{m}^3$. Koneen tekemän pyöröpaalin halkaisija on 1,05 m ja leveys 1,2 m. Vapo Oy:ltä saadun aineiston perusteella on kuvissa 8–10 esitetty paalien kuiva-ainetiheys kiinteä- ja muuttuvakammioiselle pyöröpaalaimelle sekä suurkanttipaaleilla.

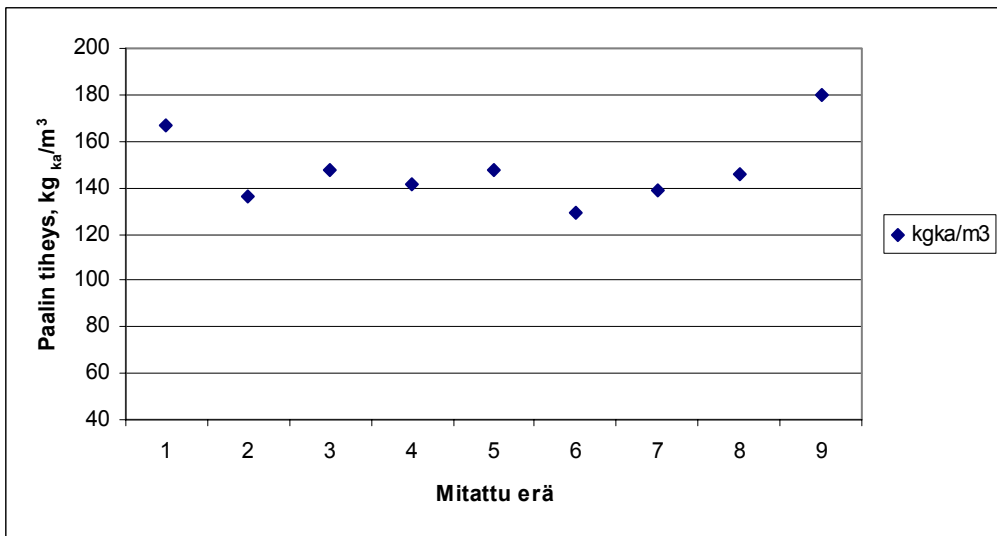
Molemmilla pyöröpaalintyypeillä paalin halkaisijan kasvaminen alentaa kuiva-ainetiheyttä. Toinen merkittävä seikka on, että paalien tiheys vaihtelee erittäin paljon. Myös täsmälleen samalla paalainmallilla tehdyissä paaleissa esiintyy merkittävää hajontaa, mikä ei selity helven kosteuden avulla. Hajonta kertoo siitä, että paalainten säädöt ja ajotapa ovat vaihdelleet merkittävästi. Urakoitsijoita tulisikin ohjeistaa tai taksoitusta tulisi muuttaa siten, että se rohkaisee tuottamaan tiiviitä paaleja.



Kuva 8. Kiinteäkammioisten pyöröpaalainten paalien kuiva-ainetiheys paalin halkaisijan funktiona.



Kuva 9. Muuttuvakammioisten pyöröpaalainten paalien kuiva-ainetiheys paalin halkaisijan funktiona.



Kuva 10. Suurkantipaalainten paalien kuiva-ainetiheys.

Taulukossa 7 on esitetty aineistosta lasketut keskimääräiset tiheydet 1,2 ja 1,5 metrin pyöröpaaleille, suurkantipaaleille ja Orkel-paikallisaalaimella silputusta helvestä tehdyille paaleille. Muuttuvakammioisilla pyöröpaaleilla tiheys on hieman suurempi kuin kiinteäkammioisilla paaleilla. Ero on noin 9 %. Suurkantipaalien tiheys on sama kuin parhaan pyöröpaalin, joten suurkantipaalaimella saadaan hieman tiheämpiä paaleja. Suurkantipaalin tiheys on parhaimmillaan ollut jopa 180 kg_{ka}/m³.

Taulukko 7. Pyörö- ja suurkanttipaalien keskimääräiset tiheydet (kg_{ka}/m^3).

kg_{ka}/m^3	Kiinteäkammioinen pyöröpaalain	Muuttuvakammioinen pyöröpaalain
Pyöröpaali 1,2 m	136	148
Pyöröpaali 1,5 m	118	129
Suurkanttipaali	148	
Orkel-paali	241	

5.2 Helven kuljetus silppuna ja paaleina

Paalien lukumäärää kuljetuksissa tarkasteltiin tekemällä kysely kuljetusyrittäjille ja vertaamalla tuloksia laskennallisiin, kuormatilan mittojen avulla saatuihin tuloksiin. Paalien kuljetuksessa nappiosan kuormatilan pituudeksi oletettiin 6,8 m ja perävaunun 11,2 m ja kuormatilan leveydeksi vähintään 2,4 m. Kuormien massat on laskettu helven kosteudelle 20 %, ja paalien tiheydet on saatu edellä esitetystä aineistosta muuttuvakammioiselle paalaimelle. Kuormakohtaiset tiedot on esitetty taulukossa 8, jossa paalikuormia on verrattu silppukuormiin.

Taulukko 8. Helven määrä silpun, paalien ja seosten kuljetuksessa.

	Paaleja	Paali- m^3	Massa, t	MWh
Silppu		kuorma 120 m^3	9	34
Pyöröpaali 1,2 m	52–56	70,6–76,0	13,1–14,1	49,5–53,3
Pyöröpaali 1,5 m	40–44	84,8–93,3	13,7–15,0	51,8–56,7
Suurkantti 1,2 × 0,7 × 2,4 m	56	112,9	20,9	79,0
Suurkantti 1,2 × 0,9 × 2,4 m	42	108,9	20,1	76,0
Orkel-paalain	92	96,6	28,8	108,9

Kun rekka-auton kuormatilan pohja on tyypillisesti 1,25 metrin korkeudella, jää kuorman teoreettiseksi korkeudeksi 2,95 m, kun kuljetuksen maksimikorkeus on 4,2 m. Eri paalityypit täyttävät tämän korkeuden eri tavalla. 1,2 metrin pyöröpaaleilla kahden paalikerroksen korkeus on 2,24–2,4 m ladonnasta riippuen (lomittain päällekkäin tai täsmälleen päällekkäin). Vastaava korkeus 1,5 metrin pyöröpaaleilla on 2,8–3 m. Kuormakoko 1,5 metrin pyöröpaaleilla on sama tai hieman suurempi kuin 1,2 metrin paaleilla. Vaikka 1,5 metrin paalien tiheys havaintoaineiston perusteella on pienempi kuin 1,2 metrin paalien, kompensoi kuormatilan parempi käyttö tiheyden eron. Täten optimaalisin pyöröpaalikoko on noin 1,5 metriä, joilla teoriassa saadaan noin 5 % painavampia kuormia kuin 1,2 metrin paaleilla. Yli 1,5 metrin paaleja ei tulisi tehdä, koska kuormasta tulee ylikorkea ja yhdellä paalikerroksella kuormakoko alenee merkittävästi. Suurkantti-

paaleista 0,7 metriä korkealla paalilla saadaan hieman suurempi kuorma kuin 0,9 metrin paalilla. Kuorman korkeus 0,7 metrin paalilla on 2,8 m ja 0,9 metrin paalilla 2,7 m.

Yksikäsitteistä vastausta suurkanttipaalien pituudelle ja ladontatavalle (pitkittäin vai poikittain) ei ole, koska käytännössä kuorma-autojen kuormatilojen pituudet vaihtelevat. Edellä esitetyssä esimerkkilaskelmassa on sama, ladotaanko esimerkkipaalit esimerkkirekkaan pitkittäin vai poikittain. Optimaalinen kuormatilan pituus on paalin pituuden tai leveyden (kolme leveyttä riippuen paalityypistä ja asettelusta) monikerta, joten pituusporrastus poikittain ladottaessa on pienempi. Toisaalta pitkittäin ladottaessa lopputila voidaan täyttää poikittain latomalla yksi tai useampi paalikerros joko lyhyempi tai pidempi leveys alaspäin. Poikittain ladottaessa paras paalin pituus on tietysti 2,4 metriä (rekka-auton kuormatilan leveys).

Jos kuljetusauton mitat varmasti tiedetään, voidaan suurkanttipaalit mitoittaa tämän mukaan. Esimerkkinä käytetylle autolle paalin teoreettinen pituus sekä nupille että vetoautolle on 2,24 m. Tällöin kuormaan mahtuu 64 paalia ja sen massa on 22,3 tonnia, jolloin kuormakoko kasvaa vajaa 7 %.

Selvä kehityskohde on vähentää paalien tiheyden hajontaa käytännön toiminnassa (kuvat 8–10). Nostamalla kevyimpien paalierien painoa voidaan kuormakokoja nostaa erittäin merkittävästi tapauskohtaisesti. Myös keskimääräisiä kuormakokoja voidaan nostaa merkittävästi pyrkimällä kohti tiheimpiä havaittuja paalieria. Suurkanttipaaleilla kuormakoot ovat pyöröpaaleja suurempia, koska hukkatilaa jää vähemmän, ja lisäksi paalien tiheys on vähintään pyöröpaalien luokkaa.

5.3 Helven seoskuljetukset

Ruokohelpä voidaan kuljettaa seoksena turpeen tai hakkeen kanssa. Seoskuorman koko energiamäärä on jopa merkittävästi suurempi kuin esimerkiksi paalikuorman, mutta tämä ei pelkästään tarkoita edullisia kuljetuskustannuksia. Ruokohelven voidaan olettaa hieman tiivistyvän pääpolttoaineen painosta, mutta tiivistyminen ei missään olosuhteissa ole niin suurta, että helven energiatiheys (MWh/m^3) nousisi turpeen tasolle. Turveauton kuormatila on tyypillisesti $120 m^3$, ja 38,5 tonnin turvekuorma vie siitä vain $117 m^3$ (turve $330 kg/m^3$). Ylimääräinen tilavuus autossa mahdollistaa sen, että tiheimmän turpeen osuutta kuormassa voidaan vähentää ja korvata se kevyemmällä helvellä, mutta saavuttaa silti parhaassa tapauksessa pelkän turvekuorman energiamäärä.

Turpeen voidaan olettaa hieman tiivistävän helpeä. Rekka-auton kuormatilan puolivälissä, pystysuunnassa on turpeen aiheuttama paine noin $270 kg/m^2$ ja rekka-auton pohjalla noin $540 kg/m^2$. Aikaisemmin tehdyn helven tiivistämiskokeen perusteella olisivat helpi-

silpun tiheydet em. paineissa noin 80 ja 105 kg/m³ (Lindh ym., 1998). Seoskuljetuksiin mahtuvaa helpimäärää tarkasteltiin olettaen helven tiheydeksi 75 ja 100 kg/m³. Rekka-auton kuormatilan kooksi oletettiin 120 ja 140 m³ ja helven osuudeksi kokonaisenergiasta 10, 15 ja 20 %. Tarkastelussa saadut helpimäärät rekkakuljetuksissa on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Turpeen ja helven määrät seoskuljetuksissa (turpeen lämpöarvo 21 MJ/kg_{ka}, kosteus 47 %, helven lämpöarvo 17,6 MJ/kg_{ka}, kosteus 14 %).

	Turve MWh	Helpi MWh	Turve tn	m ³	Turve tn	m ³	Yhteensä MWh	m ³	tn
Turve	106,8		38,50				106,8	116,7	38,5
10 %, kg75	82,6	9,2	29,78	90,2	2,23	29,8	91,7	120,0	32,0
10 %, kg100	88,0	9,8	31,75	96,2	2,38	23,8	97,8	120,0	34,1
15 %, kg75	72,1	12,7	25,99	78,8	3,09	41,2	84,8	120,0	29,1
15 %, kg100	78,8	13,9	28,43	86,2	3,38	33,8	92,8	120,0	31,8
20 %, kg75	63,0	15,8	22,73	68,9	3,83	51,1	78,8	120,0	26,6
20 %, kg100	70,5	17,6	25,44	77,1	4,29	42,9	88,2	120,0	29,7
10 %, kg75	96,3	10,7	34,74	105,3	2,60	34,7	107,0	140,0	37,3
10 %, kg100	99,3	11,0	35,81	108,5	2,69	26,9	110,3	135,4	38,5
15 %, kg75	84,1	14,8	30,32	91,9	3,61	48,1	98,9	140,0	33,9
15 %, kg100	92,0	16,2	33,17	100,5	3,95	39,5	108,2	140,0	37,1
20 %, kg75	73,5	18,4	26,52	80,4	4,47	59,6	91,9	140,0	31,0
20 %, kg100	82,3	20,6	29,68	89,9	5,01	50,1	102,9	140,0	34,7

Seoskuljetusten kokonaisenergiamäärä vähenee mitä enemmän helpeä seostetaan, mitä löysempää se on tai mitä pienemmässä autossa se kuljetetaan. 120 m³:n rekka-autossa puhtaan turvekuorman energiamäärä on noin 107 MWh. Seoskuljetuksissa kokonaisenergiamäärä on 79–98 MWh riippuen seossuhteesta ja helven tiheydestä. Samoin alenevat kuormien painot. Pyöröpaalikuormiin verrattuna seoskuljetusten energiamäärät ovat suuremmat. Parhaimmillaan voidaan suurkanttipaaleilla saavuttaa seoskuljetusten energiamäärät.

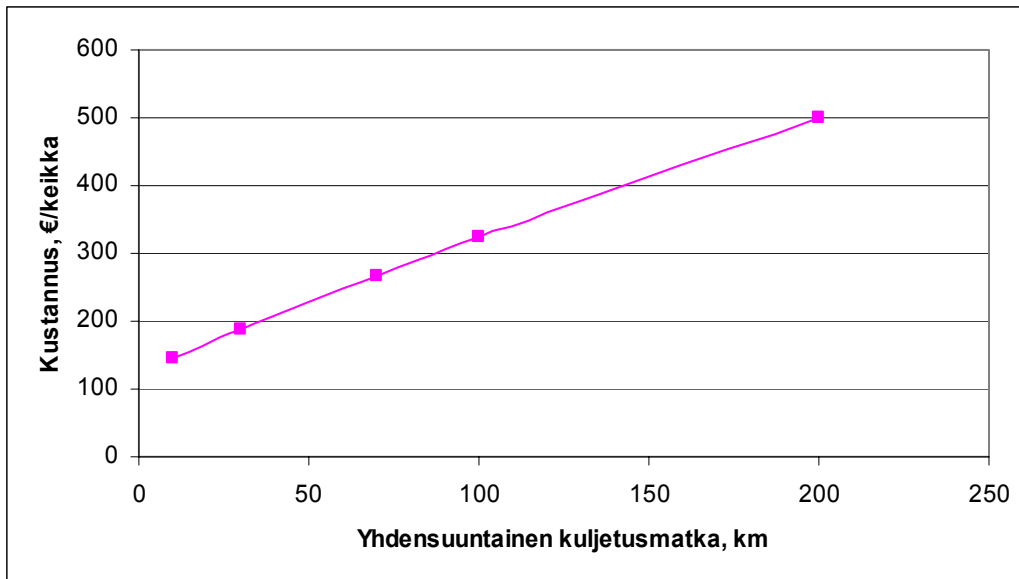
Rekka-auton kuormakoolla 140 m³ voitaisiin sen sijaan saavuttaa yhtä suuria energia-kuormia kuin pelkällä turpeella. Tämä johtuu siitä, että ison rekka-auton kuormatila jää turpeella selvästi vajaaksi (117 m³), jolloin turpeen määrän pieni aleneminen kompensoituu lisäämällä energiatihedeltään heikompa helpeä, koska auton tilavuus riittää. Tällä tavoin voitaisiin helven kuljetustaloutta parantaa jopa suurkanttipaaleihin verrattuna.

5.4 Helven kuljetuskustannukset

5.4.1 Kuljetus silppuna ja paaleina

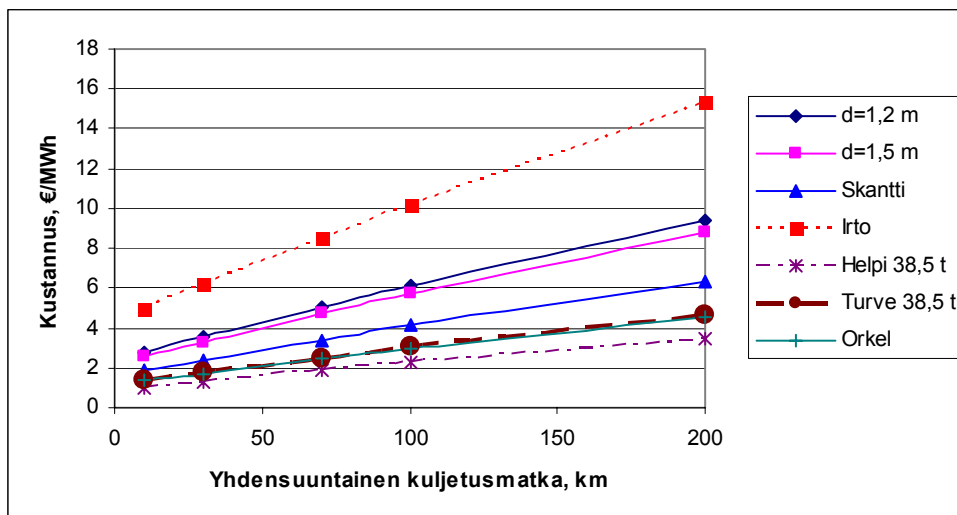
Kuljetuskustannukset

Helven kuljetuskustannuksia arvioitiin laskennallisesti mallin avulla sekä selvittämällä toteutuneita kuljetustaksoja. Tarkastelun perusteella on kuvassa 11 esitetty helven kuljetuskustannukset ajomatkan funktiona yhtä kuormaa kohti. Esitetyt kustannukset pitänevät tarkimmin paikkansa pyöröpaaleille. Samaa keikkahintaa on käytetty myös irtohelvelle. Irtohervellä kuormien massat ja samalla polttoaineen kulutus ovat pienemmät, mutta ero käytännön ajossa ei ole kovin suuri.



Kuva 11. Ruokohelven kuljetuskustannukset paaleina ja silppuna.

Kuljetuskustannukset energiayksikköä kohti arvioitiin kuormien massojen (taulukko 8) ja keikkahinnan perustella (kuva 11). Ruokohelven kosteudeksi oletettiin 20 %, jolloin yhdessä tonnissa on energiaa 3,78 MWh. Kuljetuskustannukset on esitetty kuvassa 12. Silpun kuljetuskustannuksiin on lisätty vielä kuorman lastaus esimerkiksi traktorilla tai pyöräkuormaajalla. Kuvassa on esitetty myös helven kuljetuskustannukset, jos kuormakoko saataisiin lisättyä 38,5 tonniin. Lisäksi on esitetty jyrsinturpeen kuljetuskustannus.



Kuva 12. Helven kuljetuskustannukset silppuna (kuorma 120 m³) ja paaleina (esimerkki-rekka) sekä kuormakoolla 38,5 t. Kuvassa on esitetty myös turpeen kuljetuskustannukset.

Silpun kuljetus on kaikkein kalleinta. Pyöröpaalien kuljetuksen kustannus määräytyy paalin koosta, joka vaikuttaa paalin tiheyteen ja lukumäärään rekka-autossa. Suurkanttipaalien kuljetus on kaikkein edullisinta, koska paalien tiheys on hyvä ja paaleja mahtuu paljon rekka-autoon. Jos helvellä saavutetaan auton täysi kantavuus, on kuljetuskustannus jopa pienempi kuin turpeella, koska kuorman energiamäärä on suurempi. Tämä kuitenkin edellyttää, että helven tiheys saadaan lisättyä arvoon 320 kg/m³ (kuormatila 120 m³).

Kustannusten alentamismahdollisuuksia

Kuljetuskustannuksia voidaan alentaa muun muassa paalien tiheyttä kasvattamalla, rekan kuormatilan kokoa suurentamalla ja suurkanttipaalien tapauksessa paalien piteuden optimoinnilla siten, että kuormatilojen sivuille tai pätyihin ei jää vapaata tilaa. Kustannusten alentamismahdollisuuksia tarkasteltiin vertaamalla tehostamisvaihtoehtoja perustapaukseen, kun kuljetetaan 1,5 metrin pyöröpaaleja ja suurkanttipaaleja (1,2 × 0,7 × 2,4 m). Perustapauksessa rekka-auton kuormatilojen mitat ovat 6,7 m ja 11,2 m (laskennallinen kuormatilan tilavuus 126 m³). Suurennetun kuormatilan mitat olivat 6,5 m ja 12,5 m sekä laskennallinen kehystilavuus noin 137 m³. Perustapauksessa pyöröpaalin tiheys on 129 kg_{ka}/m³ (paalin paino 20 %:n kosteudessa 342 kg) ja kanttipaalin 148 kg_{ka}/m³ (paalin paino 373 kg). Tiheyden vaikutusta arvioitiin olettamalla pyöröpaalien tiheyden kasvavan 151 kg_{ka}/m³ (paalin paino 400 kg) ja suurkanttipaalien 178 kg_{ka}/m³ (paalin paino 450 kg). Taulukossa 10 on esitetty eri tehostamistoimilla saatavat kuormien painot ja kuljetuskustannusten aleneminen perustapaukseen verrattuna (kuljetusmatka 100 km).

Taulukko 10. Helven kuljetuskustannusten alentamismahdollisuuksia.

	Pyöröpaalit d = 1,5 m	Suurkanttipaalit
Perustapaus	Kuorma 15,0 t Kuljetuskustannus 5,72 €/MWh	Kuorma 20,9 t Kuljetuskustannus 4,11 €/MWh
Tiheyden kasvattaminen	Kuorma 17,6 t Säästö 15 %	Kuorma 25,1 t Säästö 17 %
Rekan kuormatilan kasvattaminen	Kuorma 16,4 t Säästö 9 %	Kuorma 22,4 t Säästö 7 %
Suurkanttipaalien pituuden optimointi		Kuorma 22,3 t Säästö 6 %
Kaikki yhteensä	Kuorma 19,2 t Säästö 22 %	Kuorma 28,9 t Säästö 28 %

Laskentaan valituilla arvoilla suurin säästö saadaan paalien tiheyttä lisäämällä. Paalityypistä riippuen säästö on 15–17 %. Käytännön toiminnassa keskimääräisiä kuljetuskustannuksia voidaan alentaa lisäämällä pienimpiä havaittuja tiheyksiä. Tiheydet vaihtelevat samallakin konemallilla eikä kosteus korreloi tiheyttä, joten tiheys oletettavasti määräytyy koneen säätöjen ja ajotavan perusteella. Näihin voidaan vaikuttaa ohjeistuksella ja taksoituksella, joka rohkaisee tekemään tiiviitä paaleja.

Rekan kuormatilan kasvattamisen vaikutus kuljetuskustannusten säästöön valituilla lähtöarvoilla on paalityypistä riippuen 7–9 %. Kuljetuskustannuksia voidaan alentaa ottamalla käyttöön paalien kuljetukseen varta vasten suunniteltuja autoja, joissa kuormatila on suurin mahdollinen ottaen huomioon tieliikennelaki ja tekniset rajoitukset. Tällaisia suurikuormatilaista autoja on jo käytössä esimerkiksi hakkuutähteen kuljetuksissa. Taulukossa 11 on esitetty muutaman urakoitsijan paalien kuljetuksiin käyttämien autojen mittoja. Taulukosta käy ilmi, että autojen kuormatiloissa on eroja.

Taulukko 11. Eräiden kuljetusyrittäjien rekka-autojen kuormatilat ja laskennallinen kehystilavuus.

	Vetoauton kuormatilan pituus, m	Perävaunun kuormatilan pituus, m	Laskennallinen kehys-tilavuus m³
Auto 1	6,7	9,5	114,7
Auto 2	6	10	113,3
Auto 3	6,5	10,5	120,4
Auto 4	7	13,3	143,7
Auto 5	7	9,3	115,4
Auto 6	7	12	134,5
Auto 7	7	13,6	145,8

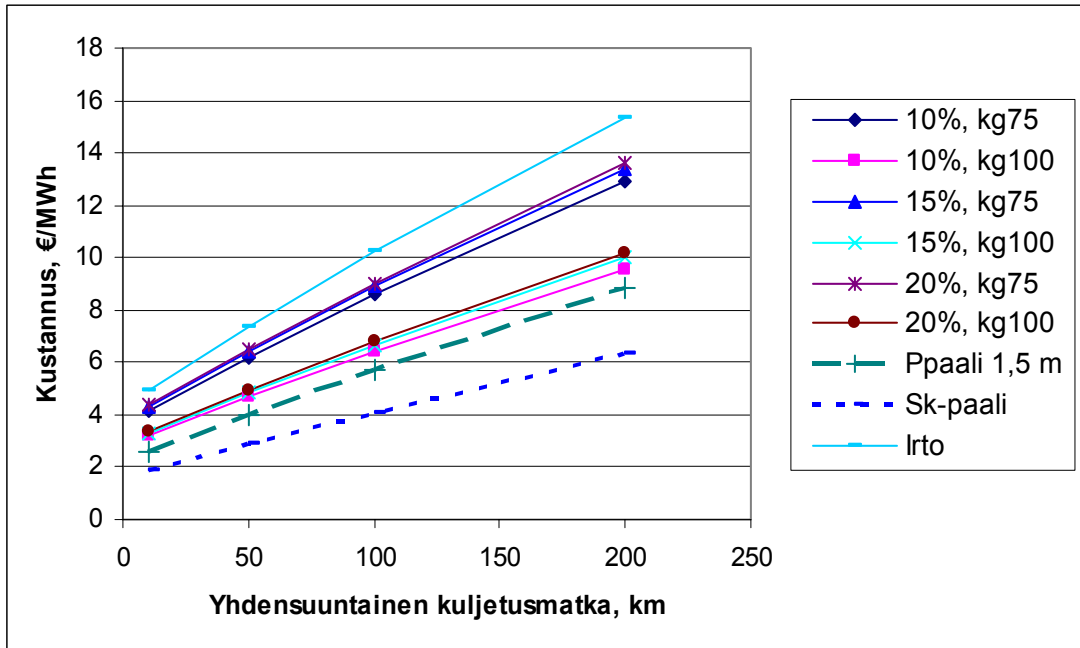
Jos kuljetuskaluston mitat tiedetään korjuuvaiheessa, voidaan suurkantipaalien pituus säätää kuormatilan mukaan. Laskentaesimerkissä tällä on saavutettu 6 %:n säästö perustapaukseen verrattuna. Ongelmana on se, että vetoautoon ja perävaunuun voidaan teoriassa tarvita eripituisia paaleja kuormatilan kokonaan hyödyntämiseksi.

Yhteensä kustannussäästöt pyöröpaalien tiheyden ja kuormatilan kasvattamisesta ovat esimerkkilaskelmassa noin 22 %, mikä on suurkantipaaleilla likimäärin sama. Jos suurkantipaaleilla lisäksi paalien pituudet sovitetaan, ovat kokonaissäästöt 28 % (taulukko 10).

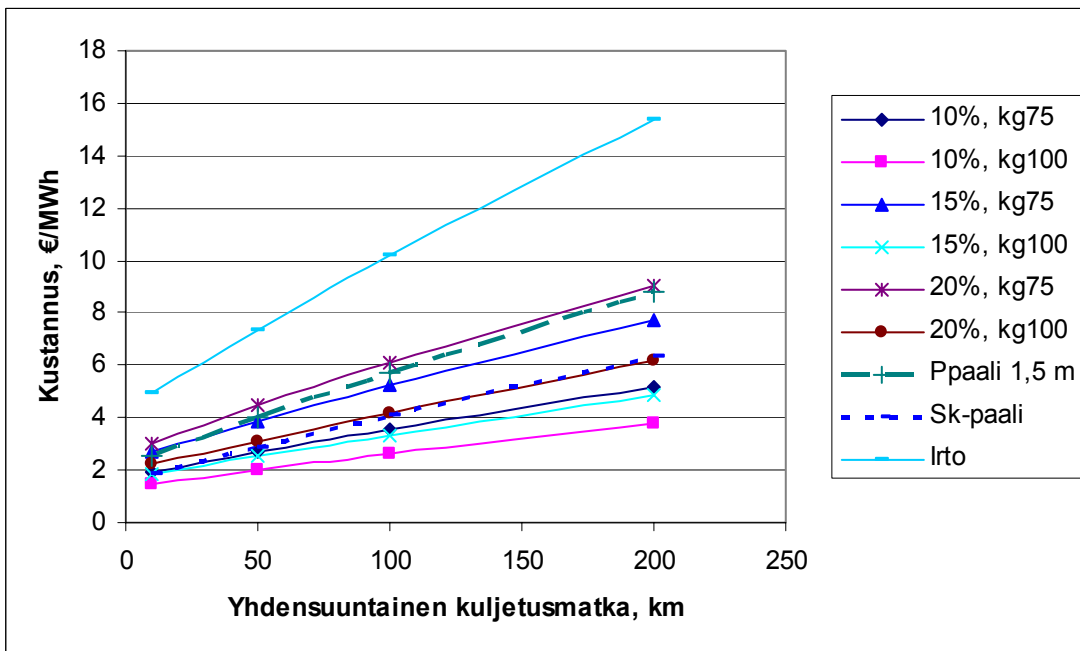
5.4.2 Kuljetus seoksessa

Kuljetuskustannukset

Seoskuljetusten kokonaisenergiamäärä on tyypillisesti jopa merkittävästi suurempi kuin pelkkien helpipaalien kuljetuksessa, joten energiaa voidaan näennäisesti kuljettaa halvalla. Seoskuljetusten energiamäärä turpeen seassa taulukon 9 mukaan on 79–98 MWh tai jopa lähes 110 MWh, kun se paaleilla on 50–80 MWh. Seoskuljetusten energiamäärä ja kuormien massat ovat kuitenkin pienempiä kuin puhtaan turpeen, joten voidaan ajatella, että turve maksaa osaltaan helven kuljetusta seoksessa. Tämän vuoksi tarkasteltiin tilannetta, jossa turpeen kustannus energiayksikköä kohti ei saa lisääntyä seoskuljetuksessa. Tällöin on oletettu, että turpeen osuus keikkahinnasta määräytyy turpeen energiamäärän (taulukko 9) ja puhtaan turpeen kuljetustaksan perusteella (kuva 11). Kuljetuksia tarkasteltiin taulukossa 9 esitetyille seossuhteille energiamäärineen, helven tiivistymisasteille ja kuormakoolle. Tulokset 120 m³:n rekka-autolle on esitetty kuvassa 13 ja 140 m³:n rekka-autolle kuvassa 14. Kustannuksiin on sisällytetty seostamisen kustannus, kun helpi seostetaan turpeeseen turveauman rintauksessa. Tämä kustannus on 0,58 €/MWh, ja se on esitetty myöhemmin tässä julkaisussa.



Kuva 13. Helven kuljetuskustannukset seossuhteilla 10, 15 ja 20 %, kun helven tiiviys kuljetuksessa on 75 tai 100 kg/m³ ja kuormakoko seoskuljetuksessa on 120 m³.



Kuva 14. Helven kuljetuskustannukset seossuhteilla 10, 15 ja 20 %, kun helven tiiviys kuljetuksessa on 75 tai 100 kg/m³ ja kuormakoko seoskuljetuksessa on 140 m³.

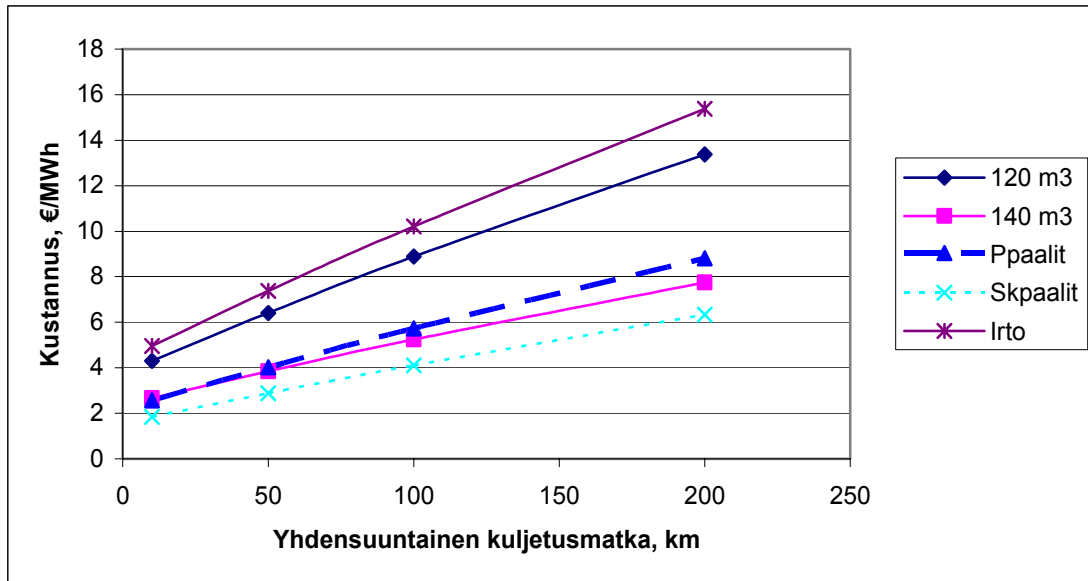
Tulosten mukaan helven kuljettaminen on sitä edullisempaa mitä pienempänä seoksena sitä kuljetetaan, mitä enemmän se tiivistyy tai mitä suurempaa kuormatilaa käytetään. Tyypillisellä 120 m³:n rekka-autolla helven kuljetuskustannukset ovat paalien ja silpun kuljetuskustannusten välissä riippuen seossuhteesta ja helven tiivistymisestä. Kustannus on kaikissa tapauksissa ainakin jonkin verran pienempi kuin puhtaan silpun. Jos seosuhte olisi vain 10 % ja helven tiiviys 100 kg/m³, olisivat kuljetuskustannukset lähes samat kuin pyöröpaaleilla. Seossuhteen nosto lisää seoskuljetuksen kustannuksia paaleihin verrattuna. On huomattava, että laskelma on herkkä helven oletetulle tiivistymiselle turpeen painosta.

Jos kuljetuksiin käytetään isompaa (140 m³), mahdollisesti erikoisvalmisteista rekka-autoa, ovat seoskuljetuksen kustannukset paalien kuljetuksen luokkaa. Parhaassa tapauksessa kustannukset ovat pienillä seossuhteilla jopa alemmat kuin paalien kuljetuksen kustannukset. Kuormatilan koolla on siis merkittävä vaikutus kustannuksiin. Isolla kuormatilalla voidaan osa turpeesta korvata tiheydeltään huonommalla helvellä ja päästä silti hyviin energiamääriin. Jos isolla kuormatilalla varustetulla rekka-autolla olisi riittävä vuosittainen käyttömäärä turpeen tai seosten kuljetuksessa, alentaisi tämä helven kuljetuksen kustannuksia.

Laskelmassa on oletettu, että turve ei saa kompensoida helven kuljetuksen kalleutta. Jos tarkastellaan pelkästään seoskuljetusten kokonaisenergiämääriä, ne ovat vähintään yhtä hyviä kuin paalien kuljetuksessa. Tällä tavalla tarkasteltuna olisivat seoskuljetusten kustannukset myös samat tai alemmat kuin paalien kuljetuksen.

Kustannusten alentamismahdollisuuksia

Yhteenveto seoskuljetusten kustannuksista on esitetty kuvassa 15. Kuvan esittämässä tilanteessa kuljetetaan helpeä 15 %:n energiaosuudella, ja helven tiheys rekka-autossa on 75 kg/m³. Normaalilla 120 m³:n rekka-autolla seosten kuljetus on vain hieman edullisempaa kuin silpun kuljetus. Jos käytetään 140 m³:n rekka-autoa, on kuljetuskustannus edullisempaa kuin pyöröpaalien kuljetus, mutta hieman kalliimpaa kuin suurkanttipaalien kuljetus. Tällaisia turverekkoja on jo käytössä tai niitä voisi rakentaa seosten kuljetuksiin, koska ne todennäköisesti soveltuvat sellaisenaan myös pelkän turpeen kuljetukseen. Seossuhteen alentaminen laskee kuljetuskustannuksia kuormatilan koosta riippumatta.



Kuva 15. Helven seoskuljetusten, paalien ja silpun kuljetuskustannukset.

Tehostuneiden seoskuljetusten kustannuksia voidaan verrata tehostuneiden paalien kuljetukseen, kun paalien tiheyksiä nostetaan käytännössä havaittujen tiheyksien ylärajoille ja käytetään normaalia suurempaa rekka-autoa (luku 7.4.1.2). Tällöin sekä pyöröpaalien että suurkantipaalien kuljetuskustannukset alenevat nykytasosta ollen 4,47 €/MWh ja 3,19 €/MWh (100 km). Vastaava seosten kuljetuskustannus 140 m³:n rekka-autolla on 5,24 €/MWh eli paalien kuljetus on edullisempaa. Rekka-auton kokoa suurentamalla voidaan sekä paalien että seoskuljetusten kustannuksia alentaa, ja säästöt seoskuljetuksissa ovat suhteellisesti suuremmat kuin paaleilla.

6. Murskaus, sekoitus ja syöttö kattilaan

6.1 Murskaustekniikat

Ruokohelven murskaukseen voidaan käyttää erityyppisiä koneita, joiden hinta, kapasiteetti ja murskaustulos vaihtelevat.

6.1.1 Maatalouden paalisilppurit

Maatalouden paalisilppurit on alun perin suunniteltu purkamaan olki- ja tuorehupaaleja. Laitteissa on usein kolakuljetin, joka syöttää paalia terärumpua vasten. Terät ovat erimuotoisia kohoumia tai kolmiomaisia leikkaavia teriä rummun pinnalla. Terärumpujen takana on lietso, joka puhaltaa helven torvea pitkin pois, mistä aiheutuu huomattavaa pölyämistä.

Kaksi silppureiden merkittävää tekijää ovat silpun pituus ja paalinarujen sieto. Silpun pituus riippuu suuresti käytettävästä silppurin merkistä. Joillakin silppureilla on päästy noin 40 mm:n silpun pituuteen, mutta joillakin pituus on kaksinkertainen tai jopa pidempi. Jotkut urakoitsijat ovat lisänneet terien lukumäärää ja kierrosnopeutta silpun pituuden vähentämiseksi. Joillakin merkeillä terärummun ympärille kietoutuvat paalinarut ovat todellinen ongelma, mutta joillakin vähäisempi ongelma, jolloin narujen poistoon kuluva työaika on siedettävä, esimerkiksi kaksi kertaa päivässä (kuva 16).

Eri yhteyksissä mitattujen silppureiden kapasiteetti on ollut 7–8 t/h. Laitteiden hinnat ovat 10 000–30 000 € ja murskauskustannus yli 3 €/MWh. Murskaus tarvitsee aina kaksi työntekijää ja kaksi työkonetta, joista toinen hakee paaleja murskaimeen.



Kuva 16. Maatalouden paalisilppuri, joka tekee hyväksyttävän lyhyttä silppua eivätkä paalinarut ole liian suuri ongelma (kuva: Teuvo Paappanen).

6.1.2 Nopeakäyntiset hakkurit, vasara- ja kaukalomurskaimet

Hakkurit ja vasara- ja kaukalomurskaimet ovat järeitä laitteita, jotka on alun perin suunniteltu puun murskaukseen. Murskainten tuottama silppu on hyvin lyhyttä eivätkä paalinarut ole ongelma. Kaukalomurskaimella voidaan murskata samanaikaisesti puuta ja helpeä, jolloin saadaan valmis seos. Myös puulle tarkoitettua rumpuhakkaria voidaan käyttää helven murskaukseen, mutta paalit on hajotettava, jotta ne mahtuvat syöttöaukosta. Koneiden kapasiteetit ovat suurempia kuin maatalouden paalisilppureilla, mutta myös hankintahinta, 300 000–600 000 €, on suurempi, joten kustannukset ovat samaa luokkaa kuin maatalouden silppureilla.



Kuva 17. Doppstadt-vasaramurskain, jonka tekemä silppu on erittäin lyhyttä. Murskain vaatii kantavat tiet, joten sen liikkuvuus turvetuotantoalueella on rajoitettu (kuva: Samuli Rinne).

6.1.3 Voimalaitosten järeät murskaimet

Muutamilla voimalaitoksilla Suomessa on hidaskäyntinen, kiinteä murskain, jota voidaan käyttää myös helven murskaukseen (kuva 18). Saatu silppu on keskipituista ja siten hyväksyttävää. Murskauksen kustannus, esimerkiksi 2 €/MWh, on pienempi kuin mobiilimurskaimilla. On oletettavaa, että murskan kapasiteetti puulla on suurempi kuin helvellä. Täten murskaa voidaan käyttää helvellä ainakin silloin, kun murskalla on ylimääräistä kapasiteettia.



Kuva 18. Helven syöttöä Rauhalahden murskaimiin (kuva: Samuli Rinne).

6.1.4 Hidaskäyntiset, kevyet silppurit

Tanskassa joillakin olkea polttavilla laitoksilla käytetään erityisesti tähän tarkoitukseen suunniteltuja hidaskäyntisiä silppureita. Valmistajia ovat muun muassa Reka ja LINKA. Paali syötetään vaakakuljettimella rumpua tai rumpuja vasten samaan tapaan kuin maatalouden paalisilppureilla, mutta kiinteissä laitteissa terien pyörimisnopeus on paljon hitaampi. Esimerkiksi Rekan kapasiteetti on 1,5–2 t/h, joten suurilla voimalaitoksilla pystyttäisiin käyttämään enemmänkin helpeä kuin murskain tuottaa (kuva 19). Hinta on vain vajaa 60 000 €. Murskauskustannus voi olla alempi kuin mobiilimurskaimilla. Murskain tarjoaa voimalaitoksille vaihtoehdoisen helven käsittelytavan, kun silppu siirretään kattilaan pneumaattisesti, jolloin vältetään käsittelyongelmat pääpolttoaineen kuljetinjärjestelmissä. Tätä on tarkoitus kokeilla Kokkolan voimalaitoksella.



Kuva 19. Rekan hidaskäyntinen silppuri Tanskassa (kuva: Samuli Rinne).

6.1.5 Kaivinkonemurskain

Kari Vornanen on kehittänyt kaivinkoneeseen asennettavaa murskainta (kuva 20). Murskainkaukalon pohjalla on vapaasti pyörivillä terillä varustettuja akseleita. Murskaimen etureunassa on sankka, joka helpottaa paalin noukkimista murskaimeen. Kaukalon toisessa reunassa on sankka, jolla voidaan painattaa paalia teriä vasten sekä helpottaa paalin noukkimista murskaan. Laitteeseen kerääntyy paalinaruja, mutta kun niitä on riittävästi murskain alkaa syödä niitä pois. Laitteen kapasiteetti on samaa luokkaa kuin maatalouden paalisilppureilla ja silpun pituus noin 50 mm. Koneen etu on se, että murskukseen tarvitaan vain yksi työntekijä ja kone. Kaivinkone pystyy myös helposti liikumaan pehmeillä turvetuotantoalueilla. Murskauskustannus voi olla pienempi kuin maatalouden paalisilppureilla.



Kuva 20. Kaivinkoneeseen asennettava murskain (kuva: Teuvo Paappanen).

6.1.6 Paalileikkurit

Paalileikkureissa paali työnnetään hitaasti terämatriisin lävitse. Maataloudessa laitteita käytetään tuorerehupaalien halkaisuun, markkinoilla on mm. laite, joka halkaisee paalin kahdeksaan osaan. Ajatuksena oli, että tällä tavoin kapasiteettia voidaan lisätä ja toiminta on pölytöntä. VTT:llä kokeiltiin Sakari Monosen ajatukseen perustuvaa leikkuria, jossa on tiheämpi terästö siten, että silpun pituus on muutamia senttimetrejä (kuva 21). Koe-laite on tehty jätepuristimen pohjalle ja siinä on oma sähkökäyttöinen hydraulikkakoneikko. Noin 300 kN:n puristusvoima ei 1,3 metrin pyöröpaalille kuitenkaan riittänyt, vaikka terämäärää harvennettiin kokeissa alle puoleen alun perin käytetystä. Helven leikkauslujuus on tämän perusteella niin suuri, että esim. ko. 300 kN:n voimalla 1,3 m:n paali saataisiin halkaistua arviolta korkeintaan 10–15 osaan, jolloin silppu olisi vielä niin pitkää, että sitä pitäisi jälkimurskaimella pienentää. Tämä on sinänsä yksi mahdollinen murskausketju.



Kuva 21. VTT:llä kokeiltu Monosen paalileikkuri (kuva: Teuvo Paappanen).

6.1.7 Esimurskaimet

Puu- ja sekajätteelle käytetään hidaskäyntisiä esimurskaimia, joissa on yksi tai kaksi karkealla hammastuksella varustettua roottoria. Lopputuotteen palakoko on 10–30 cm. Murskettava materiaali pudotetaan suoraan roottorien päälle samaan tapaan kuin hidaskäyntisissä kiinteissä murskissa. Valmistajia ovat mm. Doppstadt, Haas, Hammel ja Komptech. Hintaluokka laitteilla on 200–400 000 euroa.

Esimurskaimet sopivat periaatteessa myös helvelle. Tosin ratkaisu on helvelle varsin järeä ja murskauksen toimintaperiaate hieman vääränlainen korsimaiselle massalle – repimisen sijaan leikkaus olisi parempi ratkaisu sitkeillä materiaaleilla. Mitään pahempaa estettä helven silppuamiselle esimurskaimilla ei kuitenkaan ole, mutta murske olisi mielellään voitava käyttää sellaisenaan esimerkiksi pneumasiirrolla, koska jälkimurskaus lisää kustannuksia entisestään.

6.1.8 Apevaunut

Toinen maatiloilla käytettävä paalisilppurin tyyppi on apevaunu, joka itse asiassa on eräänlainen ruuvimurskain. Valmistajia ovat mm. Elho, Faresin ja Kuhn. Ruuvimaiset

terät pyörivät 10–25 kuutiometrin kaukalon pohjalla (kuva 22). Silppu poistetaan kaukalosta hihnakuljettimella laitteen sivuille. Terien pyörimisnopeus on hitaampi kuin ensin mainitulla maatalan silppurityypillä eikä lietsoa ole, joten pölyäminen ei ole ongelma. Silpun pituus riippuu siitä, kuinka kauan paaleja pidetään kaukalossa silputtavana ennen poistoluukun avaamista. Muutaman minuutin käsittelyajalla paalia kohden saadaan noin kymmensenttistä silppua. Murskaus apevaunulla on suhteellisen kallista.



Kuva 22. Pystyruuvisen apevaunun terä (kuva: Samuli Rinne).

6.1.9 Hienomurskaimet

Hienomurskauksen ideana on, että hyvin hienoksi jauhetun helven energiatiheys kasvaa ja erilaiset holvaantumisongelmat vähenevät. Vapaasti pudonneen helpisilpun energiatiheys noin 100 mm:n keskipituudessa on vain 0,1–0,15 MWh/m³. Tarkkuussilppurilla tai nopeakäyntisellä murskaimella tehty silppu on luokassa 0,2–0,3 MWh/m³. Noin 5 mm:n silpulle puolestaan mitattiin energiatiheudeksi 0,35 MWh/m³.

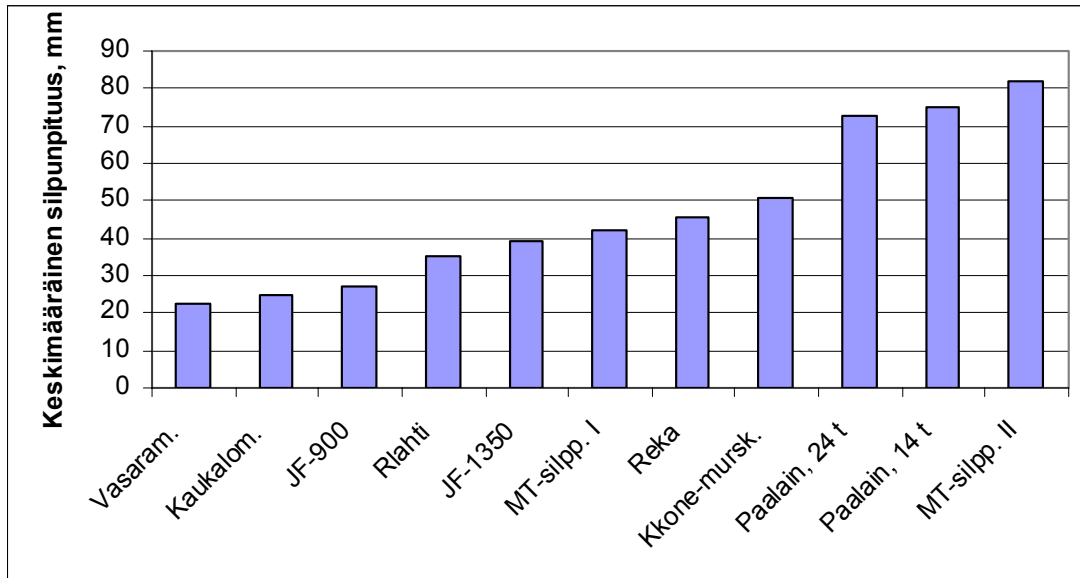
Helven tai oljen mahdollisesti aiheuttamia ongelmia käsittelylaitteissa voidaan siis pienentää jauhamalla helvi mahdollisimman pieneksi. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi vasaramurskaimella. Tässä tapauksessa sopiva ratkaisu on heiluväteräinen rakenne ja melko suuri kehänopeus. Tällaisia laitteita valmistaa mm. Bruks-Klöckner. Myös VTT:llä on koelaitte, jolla korsibiomassoja on silputtakin. Hienomurskain vaatii tavallisimmassa kuilusyöttöisessä muodossaan paalien esimurskauksen 100–200 mm:n silpuksi.

Kun palakokoa pienennetään, murskauksen ominaisenergiankulutus ja teräkustannukset suurenevat ja kapasiteetti pienenee eli kustannukset kasvavat. Vaikutus on puulla eksponentiaalinen ja todennäköisesti helvellä myös, mutta ilmeisesti vähemmän jyrkkä kuin puulla. VTT:llä tehdyssä kokeessa helven hienomurskauksen sähkönkulutukseksi saatiin 7 kWh tuotetun silpun MWh:a kohden, kun silpun pituus oli noin 5 mm. Tanskassa on joitakin suuria hiilivoimalaitoksia varustettu kaksivaiheisella murskauslinjalla.

6.1.10 Murskainten silpunpituudet

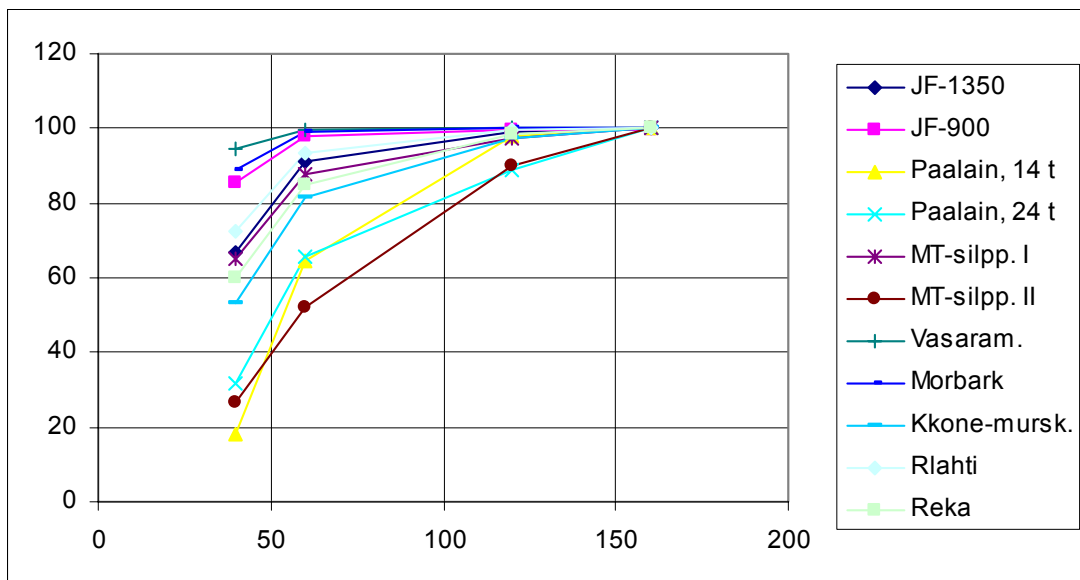
Murskauksen tekemän helpisilpun pituuksista on tässä ja aikaisemmissa projekteissa tehty analyysjä. Analyyseissä silppu on jaoteltu jakeisiin: alle 40 mm, 40–79 mm, 80–160 mm ja yli 160 mm. Kuvassa 23 on esitetty keskimääräiset, laskennalliset silpunpituudet erilaisille mobiilimurskaimille, tarkkuussilppureille, voimalaitoksen kiinteille murskille, maataloussilppureille ja silppuaville pyöröpaalaimille.

Lyhyimmät silpunpituudet on saatu vasaramurskaimella (Doppstadt AK-600) ja kaukalo-murskaimella (Morbark 1200 XL). Näiden silpun pituus on alle 25 mm. Tätä hieman pidempää silppua, 27–39 mm, on saatu tarkkuussilppureilla (JF). Rauhalahden voimalaitoksen murskaimella silppu on myös ollut lyhyttä, noin 35 mm. Maatalouden paali-silppureiden murskaustulos vaihtelee merkittävästi konemallista riippuen (MT-silpp. I ja II). Parhaimmilla silppureilla pituus on ollut hieman yli 40 mm, mutta huonoimmilla yli kaksinkertainen. Hyvän tuloksen saamiseksi on silppureita myös modifioitu: teriä ja kierrosnopeutta on lisätty. Rekan oljelle suunnitellulla kevyellä, kiinteällä murskalla on silpunpituus noin 46 mm. Kaivinkonemurskainta on kehitetty varta vasten helven silppuamiseen ja sillä silpun pituus on ollut kohtalaisen hyvä, noin 50 mm. Silppuavalla pyöröpaalaimella silpun pituudet ovat olleet pisimpiä eikä terien lukumäärällä ole ollut kovin suurta vaikutusta pituuteen (käytettäessä 14 terää 75 mm ja 24 terällä 73 mm).



Kuva 23. Laskennalliset, keskimääräiset silpun pituudet erilaisilla silppureilla ja murskaimilla.

Kuvassa 24 on esitetty silpun pituuden tarkempi kumulatiivinen kertymä eri pituusluokkiin. Parhaimmilla silppureilla ja murskaimilla yli 80 % silpusta on ollut alle 40 mm, huonoimmilla 30 % tai alle.

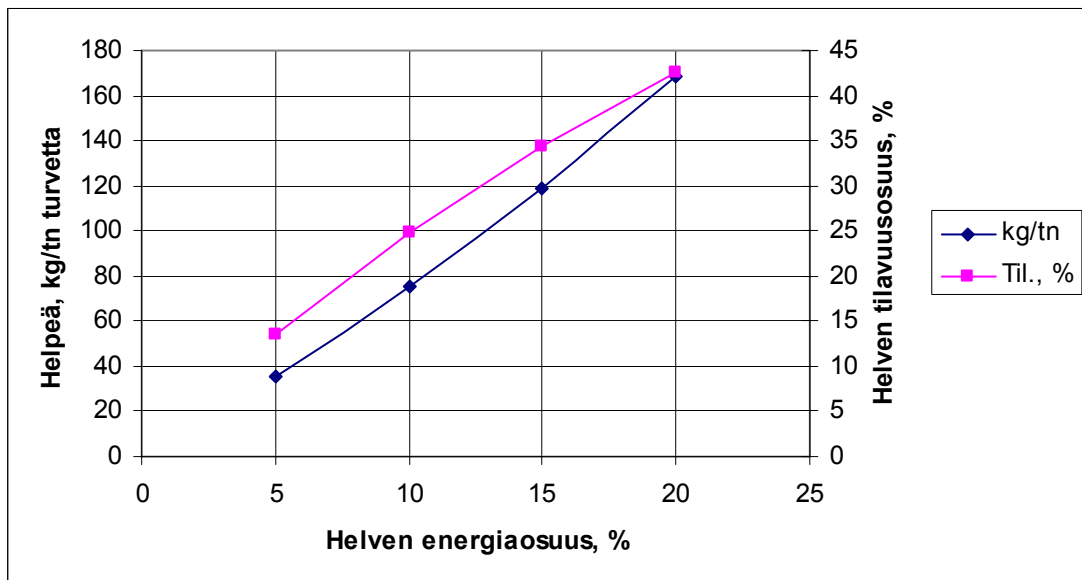


Kuva 24. Silpun pituuden kumulatiivinen kertymä eri luokkiin.

6.2 Sekoitus

Yksi vaihtoehtoinen tapa ruokohelven toimituksiin tai käyttöön on sekoittaa ruokohelpi-silppu turpeen tai hakkeen sekaan turvetuotantoalueella tai muulla terminaalilla rekkaan lastauksen yhteydessä. Seostus aiheuttaa työtä ja kustannuksia, joten sitä tulisi tehdä vain siinä määrin kuin voimalaitoksen tekniikka sitä vaatii. Tämän vuoksi tutkittiin ruokohelven vaihtoehtoisia sekoitustapoja, sekoituksen kustannuksia ja läpimenoa voimalaitoksella.

Seostuksessa pyrittiin helven 10 %:n energiaosuuteen, jolloin helpeä on laskennallisesti noin 25 % seoksen tilavuudesta (puristumatonta helpeä) ja noin 75 kg helpeä jokaista turvetonna kohti. Laskelmissa helven kosteudeksi oletettiin 14 %, lämpöarvoksi saapumistilassa 14,8 MJ/kg (17,6 MJ/kg_{ka}) ja irtotiheydeksi 75 kg/m³. Turpeen vastaavat arvot olivat 47 %, 10 MJ/kg (21 MJ/kg_{ka}) ja 330 kg/m³. Helven massa- ja tilavuusosuudet (kg/t turvetta, helven tilavuusosuus %:na) eri seossuhteilla on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Helven massa- ja tilavuusosuudet turpeen kanssa eri seossuhteilla.

Ruokohelven seostustapoja selvitettiin kyselyn avulla. Kysely tehtiin henkilöille, jotka ovat käytännön tasolla vastuussa ruokohelven toimituksista. Kyselyn ja sen perusteella tehdyn ideoinnin perusteella valittiin tutkittavaksi kolme eri seostustapaa.

6.2.1 Seostus rekka-autoon (Kerros-menetelmä)

Menetelmässä rekka-auton kuormatilan pohjalle lastataan ensin kerros turvetta (kaksi kauhallista nuppiin, kolme perävaunuun). Sen jälkeen kuormatilaan ripotellaan kerros ruokohelpeä ja päälle lastataan vielä turvetta. Jotkut kuljettajista lastaavat helven turpeen päälle, mutta suositeltavampi tapa on laittaa helven päälle turvetta, joka painaa helpeä kasaan ja kuljetustehokkuus paranee.

Käytännön kokeissa kauhallinen helpeä kipattiin kahteen tai jopa kolmeen kohtaan kuormatilassa. Kipattaessa on vaikea annostella kipatun helven määrää, ja yleensä ensimmäisellä kippauskerralla helvestä tippui suuri osuus kauhallisesta. Rekka-autoa kohti helpeä laitettiin kolme kauhallista ($\acute{a} \approx 10 \text{ m}^3$), mikä 120 m^3 :n kuormatilalla vastaa likimäärin 10 %:n energiaosuutta. Käytännön toiminnan rajoitusten vuoksi nuppiosaan laitettiin yksi kauhallinen ja perävaunuun kaksi kauhallista, joten teoriassa nupissa ja perävaunussa oli hieman erilainen seossuhde.

6.2.2 Seostus auman rintaan (Rinta-menetelmä)

Menetelmässä otetaan pyöräkuormaajalla kauhallinen helpeä, joka ripotellaan matoksi turveauman rintaan, jonka jälkeen aumasta otetaan turve-helpiseosta ja lastataan rekka-autoon. Seostus tapahtuu, kun turve-helpiseos tippuu kuormatilaan.

Käytännön kokeissa pyöräkuormaaja ajoi kiinni aumaan, kallisti kauhaa ja peruutti, jolloin helpeä tippui matoksi auman rintaan. Yhdestä kauhallisesta ripoteltiin yleensä kolme vierekkäistä kaistaa auman rintaan. Koska kauha oli liikkeessä kippauksen aikana, tuli yhdestä helpimatosta tasaisempi kuin rekka-autoon kipattaessa, mutta eri kippauskertojen välillä oli eroja (kuva 26).



Kuva 26. Turveauman rintaan levitetty helpikerros (kuva: Teuvo Paappanen).

6.2.3 Seostus erillisessä kasassa (Erä-menetelmä)

Menetelmässä otettiin turveaumasta kolme kauhallista turvetta kasaksi auman viereen ja kasan päälle tuotiin yksi kauhallinen helpeä, jolloin likimääräinen seossuhde on 10 %. Etukuormaajan kauha työnnettiin kasaan, nostettiin ylös ja kipattiin takaisin (kuva 27). Kippauksia tehtiin kolmelta puolelta kasaa. Tämän jälkeen kasa kuormattiin rekka-autoon. Rekka-autoon mahtui kolme näin tehtyä kasaa.

Käytännössä kauhakuormaaja ei ole paras mahdollinen väline tämänkaltaiseen sekoittamiseen, koska kauhan ja koneen liikkeet ovat hitaita eikä sekoitus ole kovin tehokasta. Kaivinkone soveltuisi työhön paremmin, mutta sillä ei taas voi lastata nopeasti rekka-autoa ja molempien käyttäminen taas nostaisi kustannuksia merkittävästi.



Kuva 27. Helven seostusta kasassa (kuva: Teuvo Paappanen).

Lisäksi ruokohelpeä on mahdollista sekoittaa jäljempänä esitetyillä tavoilla. Näitä tapoja ei kuitenkaan tutkittu, koska niiden työmäärä ja kustannukset ovat suuremmat kuin edellä esitettyjen menetelmien.

6.2.4 Sekoitus auman rinnassa

Menetelmässä turveauman rintaan tuotua helpeä (menetelmä 2) sekoitetaan kauhalla ennen lastaamista. Sekoittaminen voisi tapahtua ottamalla aumasta kauhallinen, kippaamalla se takaisin ja ottamalla uudelleen kauhaan. Menetelmä voisi olla käyttökelpoinen, mutta sen kustannukset ovat korkeammat kuin menetelmässä 2.

6.2.5 Samaan kauhalliseen helpeä ja turvetta

Menetelmässä kauhaan otetaan ensin pieni määräosuus helpeä ja sen jälkeen loppuosa turvetta ja seos kippataan rekka-autoon. Tässä sekoitustavassa jokainen kauhallinen kootaan liikkumalla helpikasan, turveauman ja rekka-auton väliä, mikä hidastaa kuormausta merkittävästi.

Koottu seoskauhallinen voidaan vielä kippata maahan ja ottaa uudelleen kauhaan. Kippaus tulisi tehdä aivan turveauman rintaukseen, jotta sen uudelleen noukinta onnistuu. Kippaus hidastaisi kuormausta vielä edelleen.

6.2.6 Sekoitus karjanlannan tarkkuuslevittimellä

Karjanlannan tarkkuuslevittimeen lastataan määräosuudet helpeä ja turvetta ja seos ajetaan koneen lävitse. Seostustulos on oletettavasti erittäin hyvä. Sekoitukseen tarvitaan kuitenkin kaksi traktoria (tai traktori ja pyöräkuormaaja), joten menetelmä on kallis. Alustavan tarkastelun perusteella rekka-autollinen voidaan sekoittaa alle tunnissa, kun esimerkiksi auman rintaan tuotu helpi voidaan lastata noin 17 minuutissa.

6.2.7 Sekoitus seulakauhalla

Seulakauhaan otetaan turvetta ja helpeä ja seos työstetään kauhan lävitse. Seostustulos on oletettavasti erittäin hyvä. Urakoitsijoiden kokemuksen perusteella kapasiteetti on esimerkiksi 140 m³/h, joten menetelmä on suhteellisen hidas.

6.2.8 Sekoituksen kapasiteetti ja kustannukset

Seostuksen kapasiteettien määrittämiseksi järjestettiin seostuskokeita Mikkelin seudun turvetuotantoalueilla. Seostuskokeet videoitiin ja videoiden perusteella tehtiin työaikatutkimus, jossa määritettiin seostuksen työvaiheisiin kuuluva aika. Työvaiheita olivat helven haku (mahdollinen turpeen haku), eri tavoin tehty seostus ja lastaus rekka-autoon. Olosuhteet eri kokeissa vaihtelivat. Tällaisia olivat esimerkiksi helpikasan etäisyys turveaumasta ja turpeen kuormauksen nopeus. Toistokokeita eri sekoitusmenetelmille oli minimaalinen määrä. Tämän vuoksi eri työvaiheiden ajat valittiin mittausten joukosta siten, että eri menetelmien kapasiteetit olisivat vertailukelpoisia. Täten taulukossa 12 esitetyt kapasiteetit ja kustannukset eivät kuvaa helven seostuksen keskimääräisiä kustannuksia eri olosuhteissa, vaan pyrkivät esittämään eri seostustapojen eron.

Suurin kapasiteetti on Kerros-menetelmässä ja toiseksi suurin kapasiteetti Rinta-menetelmässä. Ero näiden menetelmien välillä johtuu siitä, että Kerros-menetelmässä ”seostuksen” tuloksena helpi on valmiina rekka-autossa, kun Rinta-menetelmässä helpi joudutaan vielä lastaamaan rekka-autoon. Sinänsä kummassakin menetelmässä seostuksen ajanmenekki (helven noutaminen ja seostaminen) on käytännössä sama. Pienin kapasiteetti on Erä-menetelmässä.

Halvin seostuskustannus on Kerros-menetelmässä, noin 0,32 €/MWh. Rinta-menetelmän kustannus on edelliseen verrattuna noin kaksinkertainen, 0,58 €/MWh. Kumpikaan kustannus ei ole kovin suuri verrattuna koko tuotanto-toimitusketjun kustannukseen. Kallein kustannus on Erä-menetelmässä, noin 1,29 €/MWh. Jos tässä menetelmässä seostus tehtäisiin kauhaisemalla kasaa vain kaksi kertaa, alenisivat kustannukset ollen noin 1,16 €/MWh.

Kuorman tekoon menevä aika on esitetty kuvassa 28. Kerros- ja Rinta-menetelmissä kuorman tekoaika on likimäärin sama 15–18 minuuttia. Erä-menetelmässä kuorman tekoaika on edellisiä selvästi suurempi. Kuvassa on esitetty myös pelkän turvekuorman lastaukseen menevä aika.

Taulukko 12. Eri tavoin tehtyjen seostusten työajat, kapasiteetit ja seostamisen kustannukset.

Sekuntia	Kerros rekka- autoon Kerros-menetelmä	Seostus auman rintauksessa Rinta-menetelmä	Seostus kasassa Erä-menetelmä
Helven haku ¹⁾ - s/kauhallinen	51		
Turpeen haku ²⁾			107
Ripottelu - s/kauhallinen	30	36	10
Seostus ³⁾ - s/kauhallinen			98
Kuormaus ⁴⁾ - s/kauhallinen		61	61
Yhteensä - s/kauhallinen	81 (0,0225 h)	148 (0,0412 h)	327 (0,0909 h)
Kustannus, ⁵⁾ €/kauhallinen	0,90	1,65	3,64
Kauhallinen helpeä ⁶⁾ - MWh	2,83		
Seostuksen kustannus, €/MWh	0,32	0,58	1,29

1) Helpikasa hyvin lähellä turveaumaa, siirtomatka alle 15 m

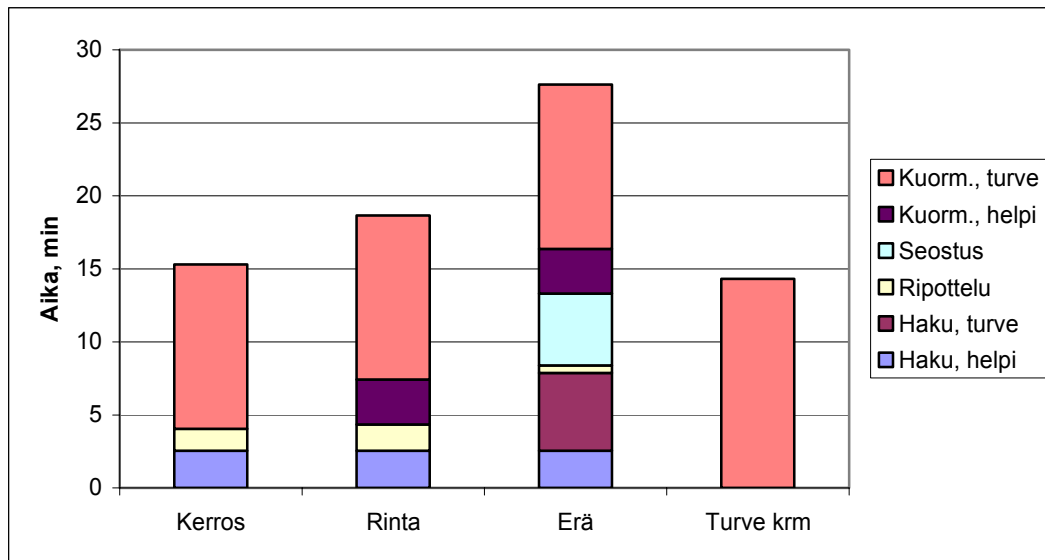
2) Kolme kauhallista turvetta irrotettu aumasta

3) Kolme kauhaisua turve-helpikasaan

4) Todellisuudessa kuormataan seosta

5) Pyöräkuormaajan tuntiveloitus 40 €/h

6) 10 m³, 750 kg



Kuva 28. Rekkakuorman tekoon menevä aika eri helven seostusmenetelmillä.

6.2.9 Seostustuloksen arviointia

Seostustulosta arvioitiin seuraamalla kuormien purkua Etelä-Savon Energia Oy:n Mikkelin voimalaitoksella. Laitoksen kokemuksen mukaan turve-helpiseokset eivät ole kulu-
 luvan vuoden aikana aiheuttaneet ongelmia polttoaineen käsittelyssä ja poltossa. Aikai-
 semmin ongelmia laitospöytäkäsitelyssä aiheutti liian suuri helpisilpun pituus.

Turve toimitetaan laitokselle perästä kolapohjapurkaimilla purettavilla rekoilla. Kuor-
 mat puretaan perinteisesti suljetussa tilassa suoraan poikittain siirtävälle yliajettavalle
 kolapohjapurkaimelle (kuva 29). Rekkaa ei purettaessa katkaista vaan nuppi puretaan
 suoraan vetoaisan yli. Purkain tunkee polttoaineen suoraan suhteellisen matalasta aukosta
 seulalle ja ylitsemurskaimelle vievälle kolakuljettimelle. Mikkelissä puupolttoaineet pu-
 retaan omalla vastaanottoasemalla, josta ne syötetään turpeen sekaan ennen kattilaan
 syöttöä.



*Kuva 29. Yliajettava kolapohjapurkaimella varustettu turpeen vastaanottoasema Pursi-
alan voimalaitoksella (kuva: Risto Impola).*

Kuormien purkua seurattiin vastaanottoasemalla visuaalisesti valvomotilasta. Rekan peräosaa purettaessa kuorman purkua oli myös mahdollisuus valokuvata takaapäin. Vaalea ruokohelpi erottui varsin hyvin tummemmasta jyrshinturpeesta, joten vertailuja eri menetelmillä tehtyjen seoskuormien välillä voitiin tehdä sekä kuorman poikkileikkauksista että seoskasoista heti purkamisen jälkeen. Koko kuorman purku kesti yleensä hieman yli puoli tuntia.

1. Seostus rekka-autoon (Kerros)

Kuvassa 30 on esitetty kaksi tyypillistä kuvaa seoskuorman leikkauksesta. Niissä näkyy helpikerros turvekerrosten välissä. Kerroksen paksuus ja muoto vaihtelivat jonkin verran rekan eri osissa. Paikoitellen helpikerroksen paksuus oli vain 10–20 cm, mutta osassa kuormaa seinämän vieressä kerrospaksuus läheni yhtä metriä. Helven hallittu tiputtaminen kauhasta on vaikeaa, jolloin kerrospaksuus vaihtelee. Helpikerros ei aina myöskään ole symmetrinen, vaan se saattaa painottua toiseen reunaan johtuen pyöräkuormaajan täyttötavasta.



Kuva 30. Kaksi esimerkkiä ruokohelven kerroksista rekassa, kun seostus on tehty suoraan autoon (Kerros-menetelmä) (kuvat: Risto Impola).

Kuormaa purettaessa kolapohjapurkaimen jälkeisellä kuljettimella helpi ja turve sekoituvat vielä lisää, mutta ajoittain saattaa kuljettimelle ja myös seuralle mennä helpeä sekoittumattomana jonkinlaisia eriä. Tällaista seoskuormaa purettaessa sellaisella vastaanottoasemalla, jossa kuorma puretaan suoraan ritilän läpi vastaanottotaskuun, helpi todennäköisesti holvaa ritilän päälle.

2. Seostus auman rintaan (Rinta)

Kuvassa 31 on esitetty kaksi esimerkkiä purettaessa seoskuormaa, joka on kuormattu seostamalla ruokohelvi jyrshinturpeeseen auman rintauksessa. Rinta-menetelmässä helpi oli sekoittunut turpeeseen paljon paremmin kuin Kerros-menetelmässä. Pääosassa kuormaa ruokohelvi näkyi tasaisina ohuina kerroksina kuorman poikkileikkauksissa. Paikoitellen helpeä ei voinut huomata seoksessa, mutta joissakin kohdissa oli selviä helpipesäkkeitä.



Kuva 31. Kaksi esimerkkiä ruokohelven kerroksista rekassa, kun seostus on tehty auman rintauksessa (Rinta-menetelmä) (kuvat: Risto Impola).

Edellä seurattu kuorma oli sekoitettu huolellisesti. Laitoksella seurattiin myös toista samalla Rinta-menetelmällä tehdyn seoskuorman purkua. Siinä osassa kuormaa helpeä oli kuorman pohjalla hyvin runsaasti, ja osassa kuormaa seostus oli onnistunut hyvin. (Kuva 32.)



Kuva 32. Rinta-menetelmällä tehty seoskuorma, jossa osassa kuormaa helpeä esiintyy hyvin runsaasti (kuvat: Risto Impola).

3. Seostus kasassa (Erä)

Kuvassa 33 on esitetty kaksi esimerkkiä purettaessa seoskuormaa, joka on kuormattu seostamalla ruokohelppi jyrshinturpeeseen erillisessä kasassa ennen kuormausta. Erämenetelmässä helppi oli parhaiten sekoittunut turpeeseen. Toisaalta ero Rinta-menetelmään ei ollut kovin suuri, ja muutamia pienehköjä helpipesäkkeitä esiintyi tätäkin kuormaa purettaessa.



Kuva 33. Kaksi esimerkkiä ruokohelven kerroksista rekassa, kun seostus on tehty erillisessä kasassa ennen kuormausta (Erä-menetelmä) (kuvat: Risto Impola).

Mikään helven sekoitustapa ei aiheuttanut ongelmia voimalaitoksen polttoaineen käsittelyjärjestelmässä Mikkelin voimalaitoksella. Sekä henkilökunnan että kuljettajien mukaan aikaisemmin ongelmana on ollut helven liian suuri silpun pituus, mikä aiheutti ongelmia varsinkin seulalla. Näiden kokeiden aikana toimitettu ruokohelpi oli murskattu riittävän hienoksi, jolloin myös seoksien teko onnistuu hyvin eri menetelmillä.

Keskusteluissa kuljettajien kanssa tuli esille mm. seuraavaa

- Toiset kuljettajat tekevät normaalisti kuormansa Kerros-menetelmällä ja toiset Rinta-menetelmällä.
- Auman rintauksessa sekoitus on joidenkin kuljettajien mukaan sopivin ja nopeinkin tapa tehdä turve-helpiseoskuorma.
- Kerros-menetelmässä suoraan autoon tehtynä aikaa kuluu pyöräkuormaajan siirtelyyn rekan vierellä, koska koko kauhaa ei voi tyhjentää samaan kohtaan kuormaa.
- Sopivin menetelmä riippuu myös olosuhteista suolla (mm. kasojen etäisyydet, sää- ja maasto-olosuhteet).
- Seoksia tehtäessä huomioidaan myös voimalaitoksen toiveet ja laitoksen herkkyyshelpiongelmile.
- Osa kuljettajista, varsinkin Kerros-menetelmässä, ei laita mielellään ruokohelpeä vetoautoon, koska helpi ja seos holvaavat helposti vetoaisan ja jarruletkujen päälle kuormaa purettaessa.
- Eräs kuljettaja kuormasi Kerros-menetelmässä helven turpeen päälle. Tällainen seos oli miellyttävämpi purkaa peräpurkupaikalla (mm. vähemmän siivousta tyhjennyksen jälkeen).
- Seoskuormien purku-aika Mikkelin vastaanotossa on sama kuin turvekuormien. Turpeen ominaisuudet vaikuttavat enemmänkin mahdollisiin ongelmiin ja purku-aikaan vastaanotossa (esim. epäpuhtauksien määrä).
- Kuljettajat toivovat saavansa selvät ohjeet seoskuormien tekoon. Seossuhteet olisi aina ilmoitettava tilavuussuhteina.

6.2.10 Seostusmenetelmän valinta

Projektissa ei ollut mahdollista tehdä kattavaa seurantaa turve-helpiseoksen läpimenosta eri voimalaitoksilla. Tämän vuoksi suositus käytettäväksi seostusmenetelmäksi perustuu tehtyihin kapasiteettimittauksiin, kustannuksiin ja silmämääräiseen arvioon seostusloksesta kuormia purettaessa.

Seostusmenetelmän valinta riippuu voimalaitokselta saaduista kokemuksista turvehempiseoksen käytöstä. Laitoksilla, joissa voidaan käyttää Kerros-seostusta, tämä menetelmä on nopein ja halvin. Seostustulos ei ole kovin hyvä, mutta kuorman purkuvaiheessa seostus paranee, kun seos purkautuu kuormasta. Seostus jatkuu vielä polttoaineen käsittelyjärjestelmässä esim. kuljettimien risteysasemilla ja välivarastossa. Mahdolliset ongelmat ovat laitoskohtaisia. Kokemusten mukaan vastaanottotaskun päällä olevat ritilät aiheuttavat holvausongelmia, mutta niitä saattaa esiintyä hyvinkin sekoitutuilla turvehempiseoskuormilla.

Parempi seostustulos saadaan Rinta-menetelmällä. Kuorman tekoaika on vain hieman pidempi kuin Kerros-menetelmässä, mutta seostustulos on merkittävästi parempi. Kustannus on korkeampi, mutta koko tuotantoketjun kustannusta ajatellen vielä pieni.

Erä-menetelmällä saadaan paras seostustulos, mutta se ei ole merkittävästi parempi kuin Rinta-menetelmällä. Kuorman tekoaika ja kustannukset ovat merkittävästi suuremmat kuin kahdella muulla menetelmällä.

6.3 Ruokohelven laitoskäsittely ja syöttö kattilaan

Koska ruokohelven poltto- ja varsinkin käsittelyominaisuudet poikkeavat merkittävästi muiden polttoaineiden vastaavista, helven käytön alkutaival voimalaitospolttoaineena on ollut haasteellista. Polttoaineominaisuuksien sekä pienen irto- ja energiatihedysten takia helpi ei sovellu yksin poltettavaksi, mutta sopivilla menetelmillä se soveltuu kuitenkin useimmilla seospolttolaitoksilla turpeen ja puupolttoaineiden kanssa käytettäväksi.

Vuosien mittaan ruokohelven seospoltolle on muotoutunut kaksi toimitus- ja käyttötapaa. Niillä laitoksilla, joilla ei ole mahdollisuutta vastaanottaa ja murskata helpipaaleja, helpi toimitetaan laitoksille valmiiksi seostettuna jyrshinturpeeseen. Seostaminen tehdään yleisimmin lastauksen yhteydessä turvesuolla. Tällöin turpeelle suunnitellut vastaanotto-, varastointi-, käsittely- ja syöttöjärjestelmät soveltuvat useimmiten myös turvehempiseoksen käsittelyyn. Tosin eriasteisia, kappaleessa 4 kuvattuja, ongelmia on kuitenkin esiintynyt. Niitä on pyritty poistamaan mm. sekoitusastetta ja -tapaa parantamalla sekä laitostekniikkaa kehittämällä.

Polttoaineen käsittely- ja syöttöongelmia on esiintynyt myös laitoksilla, jotka vastaanottavat ruokohelven paaleina ja murskaavat ne itse laitosalueella joko omilla kiinteillä käyttöpaikkamurskaimilla tai urakoitsijoiden erilaisilla mobiilimurskaimilla. Murskatun helpisilpun sekoitus pääpolttoaineisiin tapahtuu eri menetelmillä riippuen laitosten käsittelyjärjestelmistä. Suuren kapasiteetin omaavia mobiilimurskaimia käytettäessä helpipaaleja joudutaan murskaamaan suurehkoja määriä kerrallaan. Tällöin helpisilppua

joudutaan varastoimaan laitosalueella, josta sitä vähitellen syötetään polttoon. Yleisimmin helpisilppu sekoitetaan eri menetelmillä puupolttoaineiden kanssa. Sekoitusta voidaan tehdä kentällä kauhakuormaajaa käyttäen tai silppua syötetään pieniä määriä muun polttoaineen sekaan vastaanottotaskuun. Muutamalla laitoksella helpipaaleja murskataan yhdessä erilaisten puupolttoaineiden kanssa, jolloin saadaan valmista puu-helpiseosta poltettavaksi. Helpi- tai puu-helpiseos sekoitetaan vielä turpeeseen laitoksen käsittelyjärjestelmässä ennen kattilaan syöttöä.

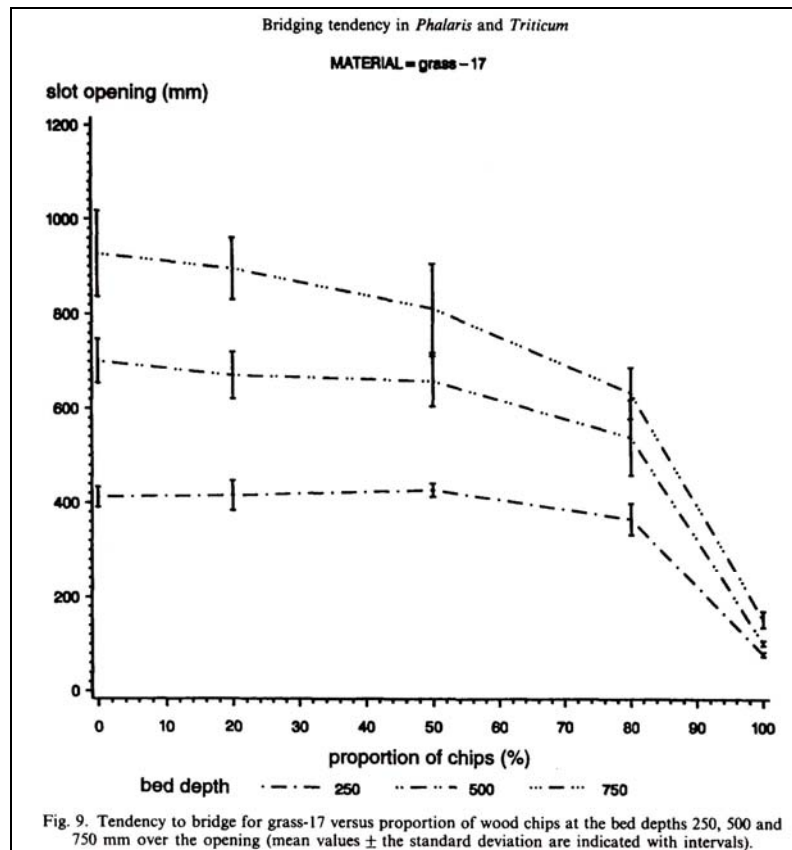
Hitaasti pyöriviä käyttöpaikkamurskaimia käytettäessä helpisilppu johdetaan suoraan laitoksen käsittelyjärjestelmään. Hallittu sekoittaminen pääpolttoaineisiin riippuu laitoksen käsittelyjärjestelmän rakenteesta. Useimmiten sekoittuminen tapahtuu välivarastossa. Varastoa täytettäessä on varmistettava, että eri polttoaineita saadaan varastoon tasaisesti kerroksittain. Liian paksut helpikerrokset varastossa lisäävät holvautumisriskiä sekä ongelmia purkuruuvien toiminnassa. Käyttöpaikkamurskaimella on tietenkin mahdollisuus murskata helpeä samanaikaisesti puupolttoaineiden kanssa, jolloin sekoitus tapahtuu osin jo murskausvaiheessa.

Laitosten kokemusten mukaan ruokohelpi ei ole toimitustavasta riippumatta ongelmaton polttoaine. Turpeelle ja puupolttoaineille suunniteltujen laitosten käsittelytekniikassa suurimmat ongelmat ovat edelleen ruokohelven murskaus, sekoitus pääpolttoaineeseen sekä seulojen, kuljettimien ja syöttölaitteiden luotettava toiminta. Ruokohelven kosteuden noustessa ongelmat ovat usein lisääntyneet.

Helven läpimenon kannalta kriittisimpiä kohtia voimalaitoksilla ovat esimerkiksi kiekko-seulat ja ylittemurskaimet. Liian paksu kerros helpeä tai liian pitkäsilppuinen helpi voi mennä ylitteeksi kiekko-seulalta, jolloin helpi erottuu polttoainevirrasta. Joillakin laitoksilla kiekko-seulan jälkeen on ylittemurskain. Jos helpeä tulee nopeammin murskalle kuin murska pystyy käsittelemään, se tukkeutuu. Kiekkoseulojen aukkokoot laitoksilla vaihtelevat. Kaukolämpö- ja lämpölaitoksilla tiheimmät seulakoot ovat 40×50 mm, mikä on 20 cm^2 . Suurimmat seulakoot ovat 75 cm^2 ja keskiarvo on noin 40 cm^2 . Puupolttoaineita käytävillä teollisuuden laitoksilla seulakoot ovat hieman suurempia, maksimissaan 110 cm^2 , keskiarvo on $50\text{--}60 \text{ cm}^2$.

Perustutkimusta peltobiomassojen tai seosten käsittelyominaisuuksista ei Suomessa juuri ole tehty. Ruotsalaisten tutkimusten (Mattson, 1997) mukaan ruokohelven ja oljen holvautumisherkkyys on jopa 6–8 kertaa suurempi kuin puhtaalla puuhakkeella. Holvautumiseen vaikuttavat peltoenergian silpun pituus ja muoto sekä pieni irtotiheys. Jo pieni määrä ruokohelpeä puhtaana puuhakkeen seassa heikentää seoksen juoksevuusominaisuuksia. Juoksevuusominaisuudet vaikuttavat suoraan polttoaineen läpimenoaukkojen (esim. vastaanottotaskujen ritilät, kuljettimien risteysasemat) sekä kiekko-seulojen mitoitukseen. Kuvan 34 mukaan jo 20 % ruokohelven lisäys hakkeeseen kasvattaa vaadittavan

aukon mitoitusta 3–5-kertaiseksi puhtaaseen hakkeeseen verrattuna riippuen polttoaineen kerrospaksuudesta. Suuremmilla helven osuuksilla holvautumisherkkyys ei enää lisäännä samassa suhteessa.



Kuva 34. Jo 20 %:n ruokohelpimäärä hakkeen seassa lisää holvautumisherkkyyttä ja kasvattaa polttoaineseosten läpimenoaukkojen halkaisijaa merkittävästi (Mattson, 1997).

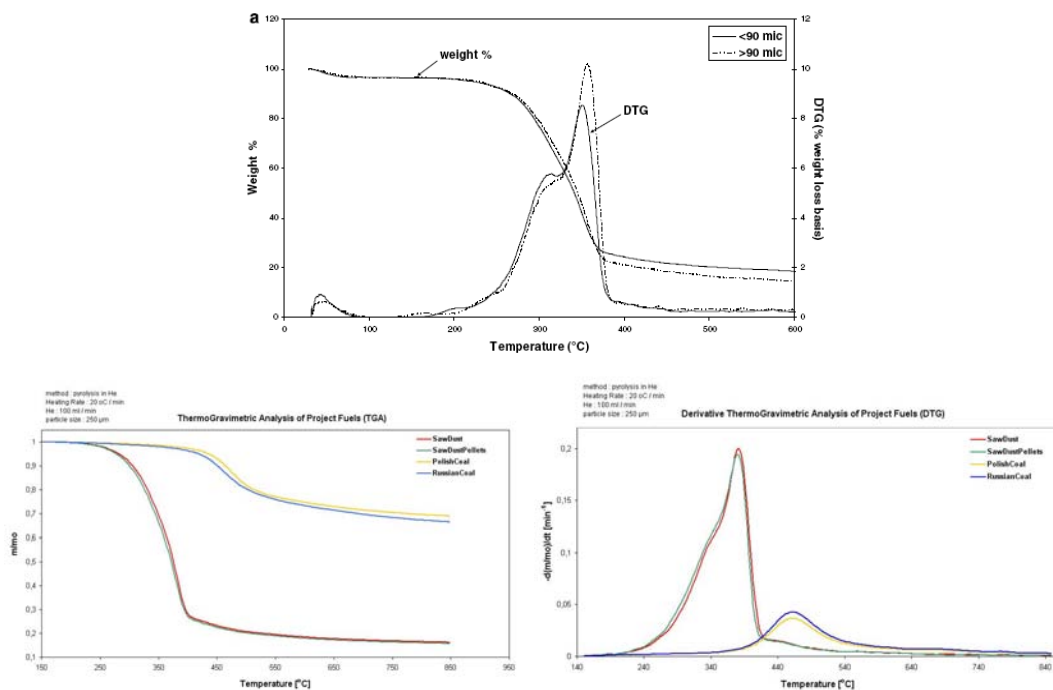
Peltobiomassojen syötössä kattilaan on Suomessa kokeilussa erillisyöttö, missä helpi murskataan ja syötetään pneumaattisesti omaa linjaa pitkin kattilaan saakka (luku 9). Pneumaattiset syöttölinjat ovat yleisiä esim. Tanskassa hiilen ja oljen seospoltossa. Niissä kuitenkin olki jauhetaan hyvin hienoksi ja syötetään kattilaan modifioitujen hiilipolttimien kautta. Suomen ensimmäisissä pneumaattisissa syöttökokeiluissa on pyritty yksinkertaistamaan järjestelmää esim. poistamalla kallis ja paljon energiaa kuluttava jauhatus. Kun ruokohelppi murskataan vain normaaliin silpun pituuteen, se on huomioitava pneumalinjan mitoituksessa.

Suomessa muiden biopolttoaineiden pneumaattisesta kuljetuksesta ja syötöstä on joitakin kokemuksia. Esimerkiksi Anjalankoskella kuivattu liete syötetään pneumaattisesti erillisyöttönä kattilaan. Samoin muutamilla metsäteollisuuden laitoksilla kuori siirretään kuorimolta voimalaitosalueelle joko kentälle tai suoraan välivarastoon pneumaattisesti kuljetusputkia pitkin.

7. Ruokohelven ominaisuuksia polton kannalta

7.1 Palaminen

Helven kaltaiset polttoaineet ovat pääosin reaktiivisia ja helposti palavia. Polttoaineiden reaktiivisuutta voidaan tutkia TGA- ja DTG-kuvaajista (TGA = Thermogravimetric analysis, DTG = derivative thermogravimetry). Analyyseissä polttoainenäytteen lämpötilaa nostetaan hitaasti (esim. 20 °C/min) ja näytteen painoa seurataan samanaikaisesti. Painonmuutoksista voidaan nähdä mm. lämpötila, jossa polttoaineen pyrolysaatio alkaa. Kuvassa 35 on käyrät ruokohelvelle, purulle sekä kahdelle bitumiselle hiilelle. Kuvasta voidaan havaita, että ruokohelven pyrolysaatiokäyttäytyminen on lähellä purua. Näillä polttoaineilla jyrkempi pudotusalue, jossa haihtuvat palavat ja laakeampi, jossa jäänöshiili palaa, on samalla lämpötila-alueella. Molemmissa DTG-käyrissä on havaittavissa kaksi piikkiä eri lämpötiloissa, jotka kirjallisuudessa on selitetty aiheutuvaksi hemiselluloosan ja selluloosan hajoamisesta. Hiilen DTG-käyrä on huomattavasti erilainen, koska polttoaineen kemiallinen koostumus poikkeaa huomattavasti biopolttoaineista.



Kuva 35. Yllä ruokohelvelle tehdyn termogravimetrin analyysin TGA- ja DTG-kuvaajat (Bridgeman ym., 2007) ja alla olevissa kuvissa vastaavat kuvaajat purulle, puupelleteille sekä erälle puolalaiselle ja venäläiselle bitumiselle hiilelle (Leino ym., 2007).

Leijupoltossa polttoaineen maksimidimensioksi on yleensä määritelty 50–100 mm. Kevyt kiinteä polttoaine voi lentää savukaasuvirran mukana palavana tulipesän yläosaan ja jopa pidemmälle kattilaan. Tällaisissa tilanteissa tulipesän seinät ja myös säteilytulistimet kuonaantuvat helposti. Myös kohonneita häkä- ja hiilivetypäästöjä voi esiintyä.

Laitoksille tehtyjen helven käyttökyselyjen perusteella tietyillä laitoksilla on havaintoja helven palamisesta väärässä paikassa kattilaa. Koska helpi on kevyttä polttoainetta, ongelmaksi saattaa tulla huipputehon saavuttaminen, mikäli ruokohelven käyttöä lisätään ja varsinkin, jos myös muu polttoaine on huonolaatuista.

Reaktiivinen polttoaine ja hyvä palamisen hallinta edellyttävät palamisilman syötön optimointia. Tämä tarkoittaa paitsi primääri-sekundaari-ilmojen optimoitua jakoa myös toisioilmojen painottamista syöttökohtien yläpuolelle. Palamisilma on syötettävä sinne, missä palaminen tapahtuu.

7.2 Leijukerrosmateriaalin käyttäytyminen

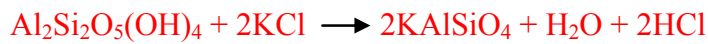
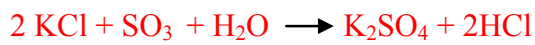
Suurilla tuhkan alkalimetallipitoisuuksilla on selkeästi vaikutusta leijukerroskattiloiden petimateriaalin agglomeroitumiseen, mikä voi pahimmillaan johtaa kalliisiin suunnitelmattomiin kattilan alasajoihin ja käyttökatkoihin. Agglomeroitumisen on havaittu aiheutuvan suurimmaksi osaksi tuhkan kaliumin, kalsiumin ja piin määrän sekä petimateriaalin mukaan. Suuria osuuksia rikkiä tai klooria agglomeraateista ei ole löydetty. Vaikutuskeinoja agglomeroitumisen estoon tai hidastamiseen ovat mm: seospoltto, lisäaineet tai petimateriaalin vaihto vähän kvartssia sisältävään materiaaliin.

Polttoaineiden agglomeraatio-ominaisuuksia on tutkittu mm. termodynaamisilla tasapainolaskelmilla, ASTM-standardin mukaisilla tuhkan sulamispistemäärityksillä, tuhkan kokoonpuristuvuustesteillä ja kontrolloiduilla agglomeroitumiskokeilla laboratoriomittakaavan leijukoelaitteilla. Menetelmiä verrattaessa on havaittu, ettei tavallinen tuhkan sulamisanalyysi anna tarpeeksi tietoa agglomeroitumisen ennustamiseen, koska monet sulamiseen ja sintrautumiseen vaikuttavat prosessit alkavat jo paljon alemmissa lämpötiloissa kuin menetelmä ennustaa. Lisäksi leijukerroskattilan agglomeroitumista ennustaessa pitää ottaa huomioon petimateriaalin vaikutus reaktioihin – pelkkä polttoainetuhkan tarkastelu ei riitä. Tästä syystä laboratoriomittakaavan leijukerroskattilalla saadaan parhaimmat tulokset. (Skrifvars ym., 1999.)

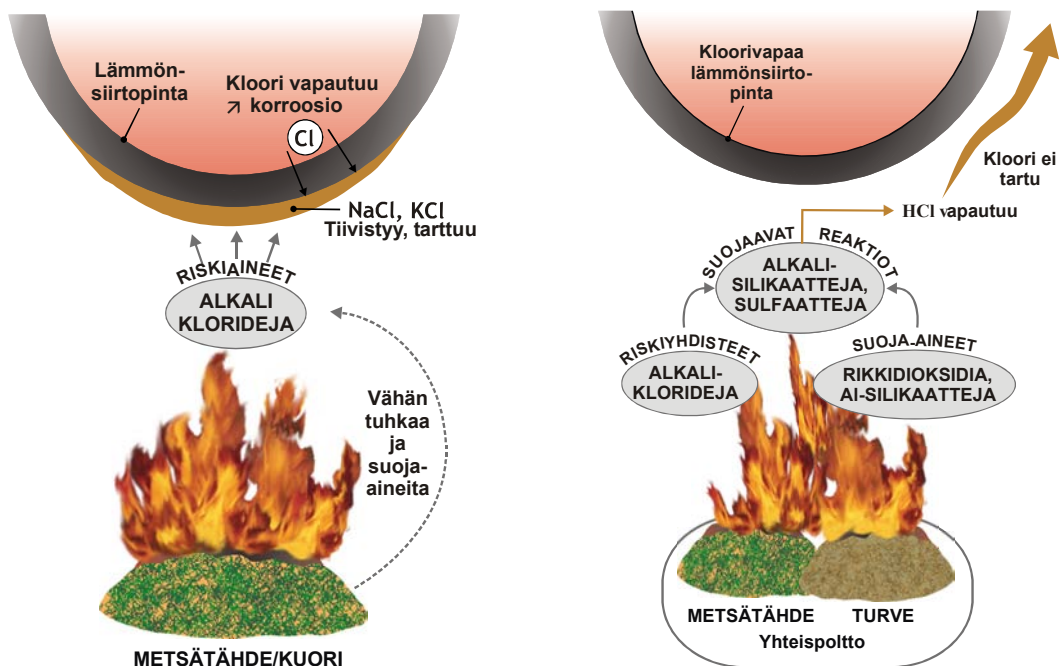
Korjuuajankohdalla on havaittu olevan vaikutusta ruokohelven tuhkan ominaisuuksiin. Syyskorjatussa ruokohelvessä on enemmän kaliumia ja klooria kuin keväällä korjatussa. Kalium alentaa tuhkan sulamispistettä, jolloin petiongelmat lisääntyvät ja lämmönsiirtopinnat likaantuvat. Suurempi kloorin määrä taas lisää mm. kuumakorroosioriskiä. Ruokohelven aiheuttamaa petimateriaalin agglomeraatiota on tutkittu kirjallisuudessa useissa kokeissa sekä kaasutus- että normaalipoltto-olosuhteissa (Öhman ym., 2000, Öhman ym., 2005, Skrifvars ym., 1999, 1998, Brus ym., 2004, Zevenhoven-Onderwater ym., 2001, Paulrud ym., 2001). Bench-scale-kokeissa normaaleissa leijupoltto-olosuhteissa agglomeraatiolämpötila vaihteli 920–1 010 °C:n välillä. Osasyynä suureen lämpötilahajontaan voivat olla ruokohelvinäytteiden ominaisuuserot (K, Ca, Si:n osuudet) kokeiden välillä.

7.3 Kattilan likaantuminen ja kuumakorrosio

Polttoaineen suuren alkalipitoisuuden voidaan olettaa olevan merkki kattilan lämpöpintoja likaavasta taipumuksesta. Jos läsnä on lisäksi klooria, voi syntyä alkaliklorideja, jotka muodostavat pieniä ja helposti lämmönsiirtopinnoille takertuvia hiukkasia. Tulistinpinnoilla tällaiset kerrostumat aiheuttavat kuumakorrosioriskin. Turveseostuksessa poltossa syntyneet alkalikloridit reagoivat turpeen palamisessa syntyneen rikkitrioksidin kanssa muodostaen alkalisulfaatteja, jolloin tapahtuu ns. sulfatoituminen. Alkalikloridit voivat reagoida myös mahdollisesti turpeen sisältämän alumiinisilikaatin kanssa muodostaen alkalisilikaatteja. Molemmissa tapauksissa vapautuu kloori pieninä pitoisuuksina suolahappohöyryinä savukaasuihin. Reaktioyhtälöt ovat seuraavat:



Likaantumis- ja korrosioriskin vähenemisen lisäksi etuna on, että osa turpeen rikistä sitoutuu sulfaatteina hiukkasiin, mikä pienentää rikkidioksidipäästöjä. Yksinkertaistettu kuvaus kattilaa likaavien hiukkasten muodostuksesta on esitetty kuvassa 36 (Aho ym., 2001).



Kuva 36. Yksinkertaistettu kuvaus tapahtumista tulipesässä, jos polttoaineseos ei sisällä tarpeeksi suoja-aineita estämään kloorin kerrostumista (vasen) ja jos toinen polttoaine yhteispoltossa luovuttaa näitä kloorin kerrostumista estäviä lisäaineita (Aho ym., 2001).

Tulistinpinnalla olevan tuhkerakroksen paksuus kasvaa ajan myötä. Kloori kapseloituu kerrostuman ja putkipinnan väliin kloorikorroosion jatkuessa ”kloorisilmukan” ylläpitämänä. Kloorikorroosioon liittyy myös muistiefekti: vaikka klooripitoisen polttoaineen polttaminen kattilassa lopetetaan, jatkuu korroosio kerrostumien suojassa pitkäänkin. Biopolttoaineita polttavissa kattiloissa kloorikorroosioriski on olemassa jo varsin alhaisilla polttoaineen klooripitoisuuksilla (~0,1 % kuiva-aineessa), kun höyryn lämpötila ylittää 500 °C. Kun polttoaineen klooripitoisuus kasvaa, kloorikorroosio voi esiintyä alhaisemmissa lämpötiloissa: 460–480 °C.

Reaktiivisen kalsiumin ja alkalimetallien lisäksi myös eräät muut aineet, kuten fosfori- ja rautayhdisteet, voivat lisätä tuhkan likaavuutta. Reaktiivinen kalsium ja alkalit tarkoittavat polttoaineessa orgaanisena yhdisteenä, karbonaattina tai suolana esiintyvää kalsiumia ja alkaleja. Polttoaineen palaessa nämä reagoivat oksideiksi, sulfaateiksi ja klorideiksi. Erityisesti kloridisuolojen sulamispisteet ovat verraten alhaisia. Kivihiilessä ja turpeessa Ca ja alkalit, Na ja K, ovat yleensä mineraalisina silikaatteina ja alumiinisilikaatteina, joiden sulamispisteet ovat korkeat. Leijupoltossa nämä ovat varsin epäreaktiivisia. Puhdas kvartsi (SiO₂) reagoi tunnetusti kuitenkin tuhkan alkalien kanssa jo leijupolton 800–900 °C:n lämpötiloissa.

Tuhkerakrosumien muodostumiseen kattilan lämpöpinnoille vaikuttavat käytettävät polttoaineet, polttotekniikka, lämmönsiirtimien pintalämpötila, lämmönsiirtimien geometria, puhdistustapa ja -väli sekä prosessiolosuhteet, kuten kattilan teho, savukaasun virtausnopeus ja savukaasun lämpötila. Korkea polttolämpötila aiheuttaa tuhkan osittaista sulamista ja lisää tuhkan tarttuvuutta lämpöpinnoihin. Sama vaikutus voi olla huonosti hallitulla, epätasaisella palamisella. Korkeat tulistinlämpötilat ja palamisen lämpösäteilylle alttiit tulistimet lisäävät myös tuhkan tarttuvuutta ja kovettumista. Tehokas kattilan nuohous on välttämätöntä likaavia polttoaineita poltettaessa.

Leijukattiloissa poltetaan usein sekapolttona erilaisia polttoaineita, jolloin polttoaineiden ja niiden tuhkien vuorovaikutusta on vaikea täsmällisesti ennakkoon arvioida. Kivihiili ja turve rikki- ja klooripitoisina ja inerttituhkaisina seospolttoaineina yleensä helpottavat kattilan likaantumisongelmia biopolttoaineita poltettaessa. Olki ei helposti sovellu poltettavaksi leijukattiloissa, tai sitä voidaan polttaa vain pienissä määrin muiden polttoaineiden seassa. Koska ruokohelpeä poltetaan lähes poikkeuksetta melko vähäisiä määriä turpeen kanssa seospolttona, sen likaantumis- ja kloorikorroosioriskit pysyvät oletettavasti alhaisina. Mikäli hetkellisesti helven osuus nousee korkeaksi, riskit voivat kasvaa ongelmaksi.

7.4 Projektin yhteistyölaitoksilta otettujen ruokohelpinäytteiden analyysitulokset

7.4.1 Polttoaineominaisuudet

Keväällä 2007 Rauhalahdessa tehdyn koejakson aikana otetusta ruokohelpinäytteestä määritettiin peruspolttoaineominaisuudet sekä lisäksi eri alkuaineiden liukoisuusominaisuudet. Lisäksi tehtiin Kokkolan Voiman voimalaitokselta saadusta ruokohelpinäytteestä vastaavat analyysit. Kyseisten ruokohelpinäytteiden polttoaineanalyysitulokset on esitetty taulukossa 13. Vertailun vuoksi on ko. taulukkoon laitettu myös yksittäisen kuusen kuorinäytteen ja palaturvenäytteen analyysitulokset, jotka myös vastaavat ko. polttoaineille kirjallisuudessa esitettyjä keskimääräisiä pitoisuusarvoja. Vertailtaessa eri polttoainelajeja keskenään tulee huomioida, että myös saman polttoainelajin sisällä saattaa pitoisuuksissa olla suuriakin vaihteluita.

Taulukko 13. Projektissa analysoitujen helpinäytteiden polttoaineominaisuudet ja vertailtavuuden vuoksi myös yksittäisen kuusen kuorinäytteen ja palaturvenäytteen vastaavat ominaisuudet.

Ominaisuus	Ruokohelpi 1 Rauhalahdi	Ruokohelpi 2 Kokkola	Kuusen kuori	Palaturve
Tehollinen lämpöarvo kuiva- aineessa, MJ/kg	18,2	17,9	19,0	22,6
Tuhkapitoisuus (550 °C), %	1,0	3,4	3,2	5,0
Tuhkapitoisuus (815 °C), %	1,1	3,3	2,7	4,9
Hiili, %	49	48	51	57
Vety, %	6,1	5,9	5,9	6,0
Typpi, %	0,44	0,71	0,29	2,1
Kloori, %	0,02	0,04	0,01	0,02
Rikki, %	0,06	0,08	0,04	0,33
Tuhkan sulamislämpötilat (pelkistävä olosuhde):				
Muod.muut.lämpötila, DT/A, °C	1 110	> 1 450	> 1 450	1 220
Pallolämpötila, ST/B, °C	1 170	> 1 450	> 1 450	1 240
Puolipallolämpötila, HT/C, °C	1 200	> 1 450	> 1 450	1 270
Juoksevuuslämpötila, FT/D, °C	1 260	> 1 450	> 1 450	1 330
Kalium, %	0,08	0,20	0,19	0,04
Natrium, %	0,002	0,003	0,02	0,008
Kalsium, %	0,10	0,12	0,94	0,17
Pii, %	0,23	1,16	0,12	1,2
Fosfori, %	0,04	0,09	0,05	0,09
Mangaani, %	0,02	0,01	0,05	0,003
Magnesium, %	0,05	0,06	0,08	0,02
Alumiini, %	0,002	0,006	0,03	0,6
Rauta, %	0,006	0,01	0,02	0,33

Rauhalahdesta otetun ruokohelpinäytteen tuhkapitoisuus on erittäin matala verrattaessa sitä kirjallisuudessa yleisesti esitettyihin ruokohelven keskimääräisiin tuhkapitoisuuksiin (5–7 %). Kokkolan Voiman näytteen tuhkapitoisuuskaan ei ole kuin noin puolet yleisesti kirjallisuudessa esitetyistä pitoisuuksista. Burvall (1997) toteaa, että maaperän laatu vaikuttaa tuhkakomponenttien muodostumiseen ruokohelpikasvustossa. Viljelykoko-keiden perusteella on saatu tuloksia, joiden mukaan kasvustoissa, jotka ovat kasvaneet savipitoisilla mailla, on suuri tuhkapitoisuus (esim. jopa 10,1 %), kun taas runsaasti humusta sisältävällä maaperällä kasvaneissa helpikasvustoissa tuhkapitoisuus on selkeästi alhaisempi (esimerkiksi 2,2 %). Humuspitoisilla mailla eli runsaasti orgaanista ainesta sisältävillä kasvualustoilla kasvaneiden ruokohelpien polttoaineominaisuudet muistuttavat lisäksi paljolti puuperäisiä polttoaineita (Burvall, 1997). Korkea tuhkapitoisuus voi johtua paitsi kasvupaikasta myös esim. siitä, että korjuu- ja käsittelyvaiheissa polttoaine on ollut kosketuksissa epäpuhtauksien, kuten maa-aineksen, kanssa. Alumiini- ja piipitoisuus kohoavat mm. savimineraalien ja silikaattien myötä. Ruokohelpinäytteen 2 tuhkapitoisuus on kolme kertaa suurempi kuin ruokohelpinäytteessä 1 ja siten myös sen pii- ja alumiinipitoisuudet ovat suuremmat. Kirjallisuudessa ruokohelvelle ilmoitetut keskimääräiset tuhkapitoisuudet ovat siis yleensä suuremmat kuin puupolttoaineille ja ovat samaa suuruusluokkaa kuin turpeella.

Palavien aineiden (C, H, N, S) koostumuksen osalta ruokohelpi on lähellä kuorta, mutta poikkeaa huomattavammin palaturpeesta hiili-, typpi- ja rikki-pitoisuuden osalta, jotka ovat palaturpeella korkeammat.

Kirjallisuudessa ruokohelpinäytteen piipitoisuus on yleensä jopa noin kymmenkertainen puupolttoaineisiin verrattuna. Näin onkin ruokohelpinäytteen 2 osalta, mutta ruokohelpinäytteen 1 osalta se on vain noin kaksinkertainen kuusen kuoreen verrattuna. Muutoin ruokohelpinäytteiden muut alkuainepitoisuudet vastaavat likimäärin kirjallisuusarvoja, joissa mm. kaliumpitoisuudet ruokohelvelle ja puupolttoaineille ovat samaa suuruusluokkaa, ja kalsiumpitoisuus on puupolttoaineilla suurempi kuin ruokohelvellä.

Polttoaineiden tuhkan sulamiskäyttäytymisanalyysit on määritetty DIN-standardin mukaisesti pelkistävässä atmosfäärissä, koska esim. leijukerros-poltossa palamisolosuhteet hiekkapedissä ovat lähempänä pelkistävää kuin hapettavaa atmosfääriä. On tosin todettava, että standardin mukainen atmosfääri (55–65 til-% CO:ta ja 35–45 til-% CO₂:ta) ei vastaa käytännön pelkistäviä olosuhteita. Kirjallisuudessa eri polttoaineiden sulamiskäyttäytymislämpötiloissa on suuriakin eroja johtuen osittain itse polttoaineesta ja osittain määrittämenetelmästä.

Ruokohelvelle on kirjallisuudessa (Burvall, 1997) esitetty korrelaatio suhteen $Si/(Ca+K+Mg)$ ja sulamiskäyttäytymisen muodonmuutospisteen välillä. Suhteen arvon ollessa noin 1 on muodonmuutoslämpötila 1 000–1 100 °C ja suhteen kasvaessa muodonmuu-

toslämpötila kasvaa lähes lineaarisesti. Analysoidun ruokohelpinäytteen 1 suhteelle saadaan arvoksi 1, ja siten määritetty muodonmuutospisteen arvo 1 110 °C on täysin Burvallin tutkimusten mukainen. Samoin ruokohelpinäytteelle 2 saatu arvo 3 kertoo Burvallin mukaan yli 1 400 °C:n muodonmuutospisteestä, joka sekin vastaa hyvin näytteelle 2 analysoitua arvoa. Burvallin julkaisussa esitetyt sulamismääritykset on tosin tehty hapettavassa atmosfäärissä (liite F).

Yleisesti tiedetään, että alkalikloridit ja esim. eräät fosforiyhdisteet saattavat sulaa hyvinkin alhaisessa lämpötilassa. Pii voi taas aiheuttaa silikaattisulaa esim. kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kanssa, josta syystä näiden alkuaineiden pieni pitoisuus suhteessa piipitoisuuteen vähentää pedin sintraustaipumusta. Silloin ko. yhdisteiden muodostaman sulan osuus on pieni kokonaistuhkapitoisuuteen verrattuna ja siten sintraantumisriski myös vähäisempi. Tuhkan sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat paitsi eri alkuaineiden pitoisuudet myös niiden liukoisuusominaisuudet, joita käsitellään myöhemmin luvussa 7.4.2.

Kuten turpeen ja biomassan seospoltosta luvussa 7.3 todettiin, niin reagoivat biomassan poltossa syntyneet alkalikloridit turpeen palamisessa syntyneen rikkiatrioksidin kanssa muodostaen alkalisulfaatteja tai mahdollisesti alumiinisilikaatin kanssa muodostaen alkalisilikaatteja, jolloin kloori vapautuu pieninä suolahappohöyrypitoisuuksina savukaasuihin. Polttoaineen kalsium sitoo myös rikkiä, jolloin jos polttoaineessa on runsaasti kalsiumia, sitoo se rikkiä niin, että sitä ei jää riittävästi reagoimaan alkalikloridien kanssa. Laskemalla polttoaineen tai polttoaineseoksen S/Cl- ja Ca/S-suhde voidaan osittain arvioida polttoaineen tai sen seoksen korroosio- ja likaantumisriskiä. Taulukossa 14 on esitetty taulukon 13 polttoaineille niiden S/Cl- ja Ca/S-suhteet.

Taulukko 14. Ruokohelvelle, kuusen kuorelle ja palaturpeelle lasketut S/Cl- ja Ca/S-suhteet.

	S/Cl-suhde	Ca/S-suhde
Ruokohelpi 1, Rauhalampi	4,1	1,3
Ruokohelpi 2, Kokkola	2,1	1,2
Kuusen kuori	4,4	19
Palaturve	17	0,41

Kuten taulukosta nähdään, ovat ruokohelpi ja kuusen kuori S/Cl-suhteen kannalta keskenään samaa suuruusluokkaa, mutta Ca/S-suhde kuusen kuorella on yli kymmenkertainen ruokohelven Ca/S-suhteeseen. Tältä osin katsottuna ruokohelpinäytteet näyttäisivät olevan kuumakorroosio- ja likaantumisvaikutuksen suhteen huomattavasti riskittömämpiä kuin kuusen kuori.

7.4.2 Alkuaineiden liukoisuusominaisuudet

Polttoaineiden kemiallisen fraktioinnin avulla voidaan selvittää tuhkaa muodostavien alkuaineiden sitoutumista ja siten mm. niiden höyrystymisherkkyyttä ja reaktiivisuutta (Zevenhoven-Onderwater, 2001). Menetelmä (SFS-EN ISO 11885-1:1998, mod) perustuu veden, ammoniumasetaatin ja suolahapon selektiiviseen liuotuskykyyn. Esimerkiksi turvetta ja hiiltä analysoidessa suuri osa tuhkaa muodostavista alkuaineista löytyy happolla liuotetusta fraktiosta tai liukenemattomasta jäännösfraktiosta. Tällöin tuhkaa muodostavat partikkelit ovat yhdistyneenä mm. maa-alkalikarbonaatteihin ja -sulfaatteihin, silikaatteihin tai savimineraaleihin, jotka eivät höyrysty poltossa. Sen sijaan biopolttoaineilla tuhkaa muodostava aines on pääasiassa sitoutuneena joko vesiliukoisiin yhdisteisiin tai orgaaniseen ainekseen, jolloin yhdisteet ovat helposti liukenevassa ja höyrystyvässä muodossa ja aiheuttavat kerrostumia tiivistyessään lämmönsiirtopinnoille. Tästä syystä arvioitaessa polttoaineen käyttäytymistä kattilassa on tärkeää tietää, kuinka tuhkaa muodostava aines on sitoutunut polttoaineeseen. On huomioitava, että myös eräillä veteen ja asetaattiin liukenemattomilla yhdisteillä on merkittävä vaikutus tuhkan reaktiomekanismeissa.

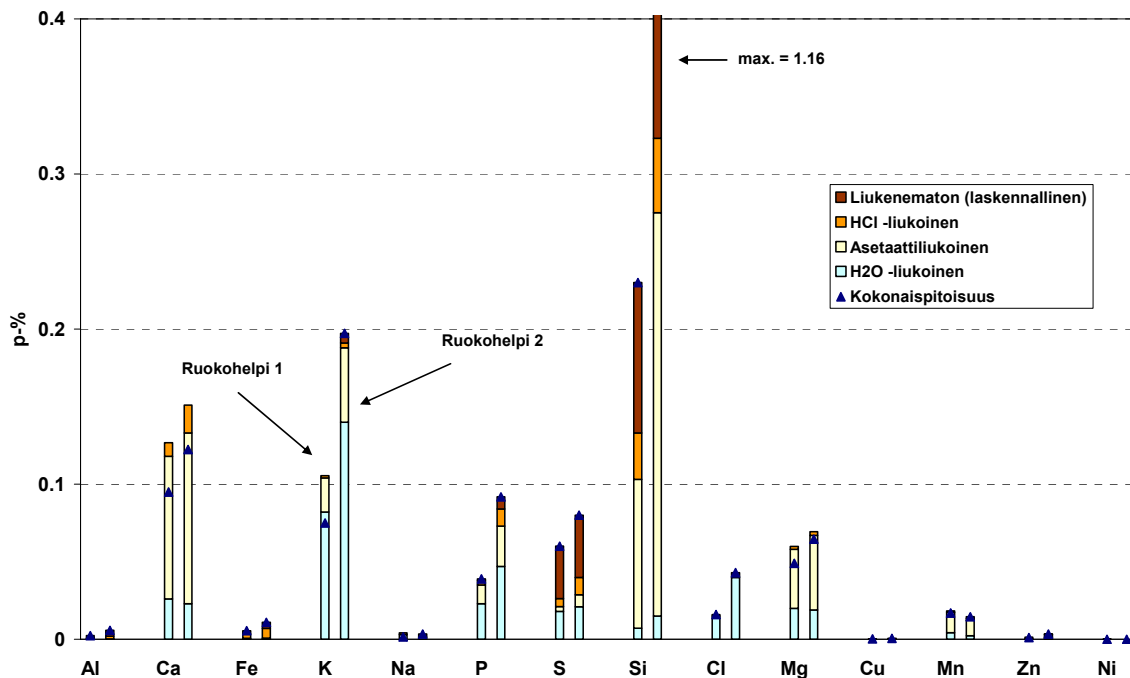
Liukoisuustulokset esitetään pylväsdiagrammeina, joissa on kuvattu erikseen vesi-, asetaatti- ja happoliukoisten alkuaineiden pitoisuudet (kuvat 37 ja 38a ja b). Liukenematon osuus on määritetty laskennallisesti erotuksena (kokonaispitoisuus – liukoisten kokonaispitoisuus). Alkuaineiden kokonaispitoisuudet, jotka klooria ja rikkiä lukuun ottamatta on määritetty röntgenfluoresenssimenetelmällä, on merkitty kuvissa kolmiolla. Joissakin tapauksissa osafraktioiden kokonaispitoisuus on pienempi kuin liukoisten kokonaismäärä. Kyseinen ero johtuu joko analysoidujen näyte-erien erilaisuudesta (epähomogeenisuus) tai eri analyysimenetelmien poikkeavuuksista tai tarkkuuksista.

Kuvassa 37 on esitetty ruokohelpinäytteiden sisältämien alkuaineiden liukoisuudet. Eri alkuaineiden liukoisuusominaisuuksiltaan analysoidut ruokohelpinäytteet ovat keskenään hyvin samanlaiset piitä lukuun ottamatta. Ruokohelpinäytteen 2 piipitoisuus on noin neljä kertaa suurempi kuin ruokohelpinäytteellä 1, mutta helppoliukoista (vesi- ja asetaattiliukoista) piitä siinä on noin neljäsosa kokonaispitoisuudesta, kun ruokohelpinäytteessä 1 helppoliukoista piitä kokonaispitoisuudesta on noin puolet. Ruokohelpinäytteiden sisältämästä rikistä noin puolet on vaikealiukoista ja liukenematonta. Molemmissa näytteissä muut pääalkuaineet (kalsium, kalium, fosfori, kloori, magnesium, mangaani) ovat lähes kokonaisuudessaan helppoliukoisessa muodossa.

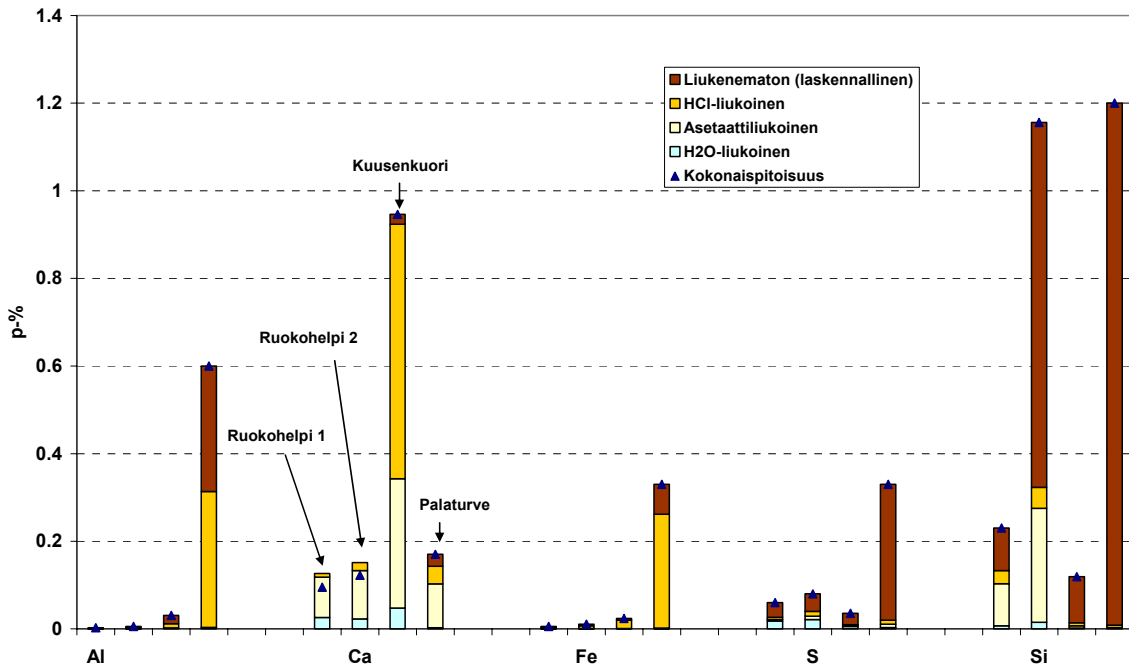
Kuvissa 38a ja 38b esitetään liukoisuusvertailu taulukon 13 polttoainenäytteille. Ruokohelpi ja kuusen kuori ovat pääosin eri alkuaineiden liukoisuusominaisuuksien osalta hyvin samanlaisia. Ruokohelpinäytteessä 2, jossa on suunnilleen saman verran helppoliukoista kaliumia kuin kuoressa, on kuitenkin helppoliukoista klooria nelinkertainen

määrä kuoreen verrattuna, mistä syystä ko. helvestä itsestään syntyy höyrystymisen kautta haitallista kaliumkloridia enemmän kuin kuoresta. Ruokohelppi ja kuori poikkeavat alkuaineiden liukoisuusominaisuuksien suhteen huomattavasti palaturpeesta, jossa useimmat alkuaineet ovat vaikealiukoisessa tai liukenemattomassa muodossa, kuten likaantumisen ja kuumakorroosion kannalta haitalliset alkuaineet kalium, natrium ja kloori.

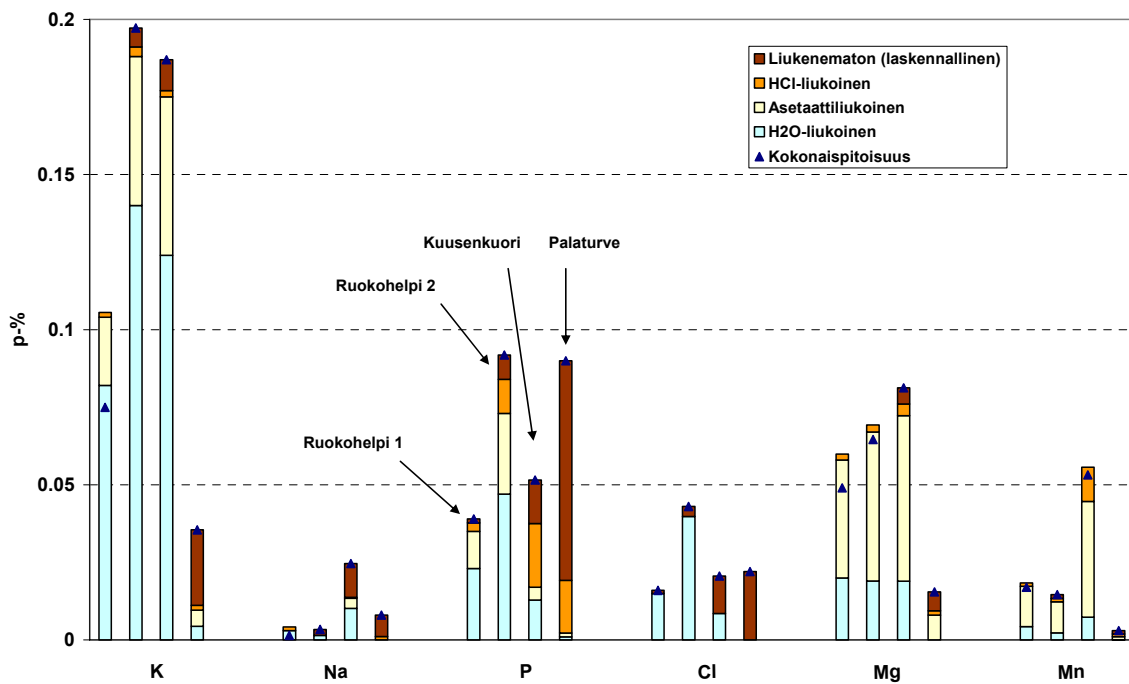
On hyvin vaikea ja suorastaan mahdotonta ennustaa polttoaineseosten sisältämien alkuaineiden liukoisuuksia seoksen yksittäisten polttoainekomponenttien liukoisuusanalyysien perusteella. Seoksien sisältämien alkuaineiden liukoisuuksia ei voi laskea suoraan osakomponenttien pitoisuuksien ja niiden alkuaineiden liukoisuuksien perusteella, koska seoksissa liukoiset alkuaineet voivat keskenään muodostaa vaikealiukoisia yhdisteitä.



Kuva 37. Ruokohelppinäytteiden 1 ja 2 alkuaineiden liukoisuudet.



Kuva 38a. Ruokohelpinäytteiden 1 ja 2, kuusen kuoren ja palaturpeen sisältämien alkuaineiden (alumiini, kalsium, rauta, rikki ja pii) liukoisuusvertailu.



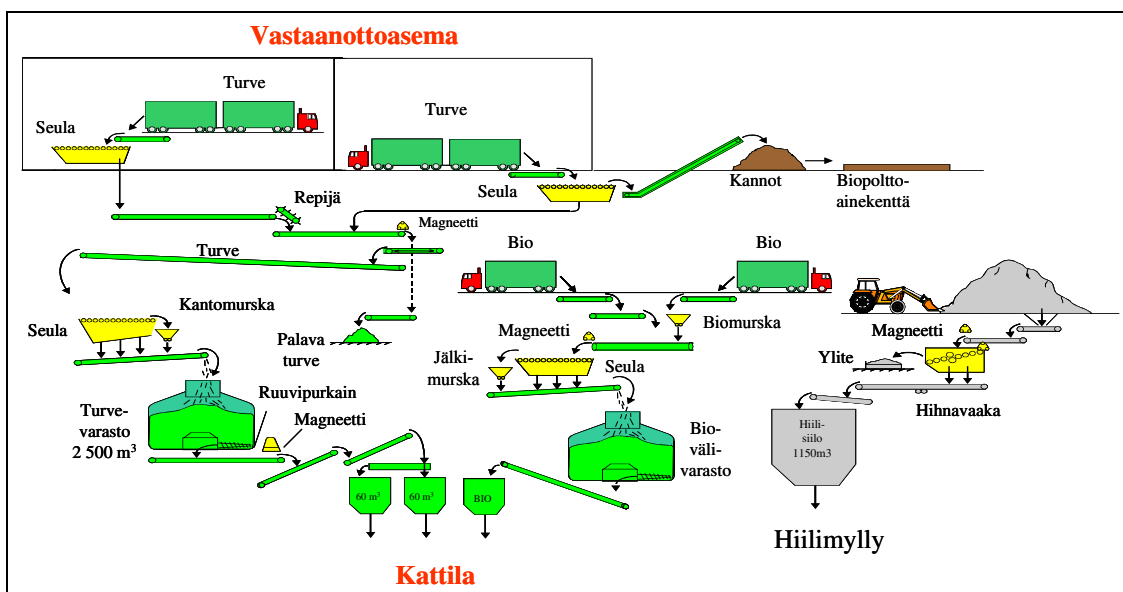
Kuva 38b. Ruokohelpinäytteiden 1 ja 2, kuusen kuoren ja palaturpeen sisältämien alkuaineiden (kalium, natrium, fosfori, kloori, magnesium, mangaani) liukoisuusvertailu.

8. Ruokohelven käyttö Rauhalahden voimalaitoksella

Rauhalahden voimalaitos tuottaa kaukolämpöä Jyväskylään ja lähiympäristöön, sähköä valtakunnan verkkoon ja prosessihöyryä M-Real Oyj:n Kankaan paperitehtaalte. Kattila suunniteltiin alun perin turpeelle ja hiille sopivaksi pölypolttokattilaksi vuonna 1986, mutta muutettiin kerrosleijukattilaksi vuonna 1993. Sen jälkeen voimalaitoksella on pystytty käyttämään yhä enemmän erilaisia biopolttoaineita. Kattilan polttoainetehto on 295 MW ja höyryteho 267 MW. Eri energiaosuuksien maksimitehot ovat: 87 MW sähköä, 140 MW kaukolämpöä ja 65 MW prosessihöyryä. Tuorehöyryn arvot ovat 110 kg/s, 533 °C ja 136 bar.

8.1 Polttoaineiden käsittely laitoksella

Rauhalahden voimalaitoksen kattilamuutos vuonna 1993 ja vuonna 2002 käyttöönotettu uusi biopolttoaineiden käyttöpaikkamurskaimella varustettu vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmä ovat mahdollistaneet erilaisten biopolttoaineiden lisääntyvän käytön jyrksinturpeen rinnalla. Puupolttoaineet ja turve tulevat kattilalaitokselle saakka omia käsittelylinjojaan pitkin ja yhtyvät halutuksi seokseksi vasta ennen kattilan syöttöruuveja. Erillisten käsittelyjärjestelmien ansiosta turpeen ja puupolttoaineiden toimitukset laitokselle toimivat logistisesti täysin erillään. Rauhalahden nykyinen polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmä on esitetty kuvassa 39.



Kuva 39. Rauhalahden polttoaineiden vastaanotto-, käsittely- ja syöttöjärjestelmä.

Rauhalahden voimalaitokselle voidaan ruokohelpeä toimittaa paaleina, jolloin helpi murskataan laitoksen kiinteällä käyttöpaikkamurskaimella. Toinen vaihtoehto on toimittaa helpi valmiiksi sekoitettuna turpeeseen. Laskelmien avulla selvitettiin, mitä kumpikin helven toimitustapa vaikuttaa laitoksen polttoaineen käyttöön ja kustannuksiin. Ruokohelven käyttölaskelmissa on käytetty seuraavia käsittelyjärjestelmään ja polttoaineominaisuuksiin liittyviä rajoituksia ja oletuksia:

Käsittelyjärjestelmä

- turvelinjan kuljetin- ja syöttöjärjestelmän maksimi tilavuusvirta turpeen väli-varastosta kattilaan 325 m³/h
- biopolttoainelinjan kuljetin- ja syöttöjärjestelmän maksimi tilavuusvirta biopolttoaineen väli-varastosta kattilaan 180 m³/h
- käyttöpaikkamurskaimen kapasiteetti ruokohelpipaaleja murskattaessa 30 MWh/h eli 2 min/helpipaali.

Polttoaineiden irtotiheydet

- ruokohelpi 75 kg/m³ (kosteus 10–15 %)
- jyrsinturve 334, 340 ja 316 kg/m³ (kk-keskiarvot taulukosta 15)
- puupolttoaineet 261, 263 ja 248 kg/m³ (kk-keskiarvot taulukosta 15).

Polttoaineiden energiatheydet

- ruokohelpi 0,26 MWh/m³
- jyrsinturve 0,99, 0,93 ja 0,83 MWh/m³ (kk-keskiarvot taulukosta 15)
- puupolttoaineet 0,63, 0,78 ja 0,81 MWh/m³ (kk-keskiarvot taulukosta 15).

8.2 Ruokohelpi seospolttoaineena

Helven käyttöä arvioitiin kolmen eri kuukauden mukaisilla käyttötiedoilla. Tarkastellut kuukaudet olivat tammi-, touko ja heinäkuu. Näiden kuukausien toteutunut polttoainekäyttö vuonna 2006 on taulukon 15 mukainen.

Taulukko 15. Polttoaineiden käyttömäärät ja tuntikapasiteetti Rauhalahden voimalaitoksella kuukausittain vuonna 2006.

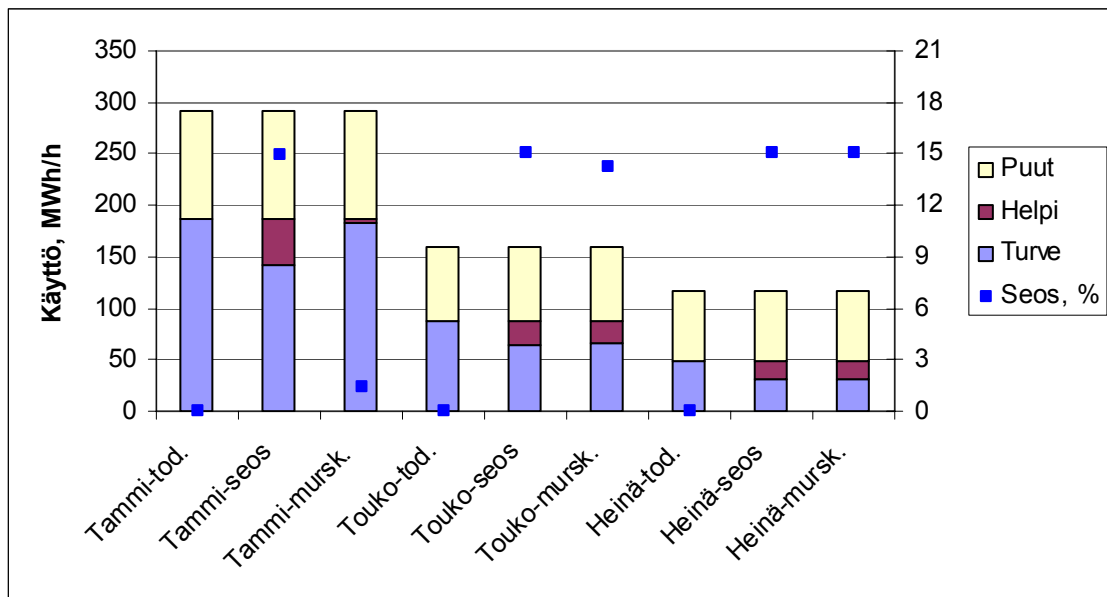
	Käyttömäärät kuukaudessa			Tuntikapasiteetit MWh/h, t/h, m ³ /h		
	Tammikuu	Toukokuu	Heinäkuu	Tammi	Touko	Heinä
Yhteensä, MWh	226 417	123 934	87 432	304	167	118
Turve, MWh	138 324	65 599	35 669	186	88	48
Turve, t	46 633	23 886	13 509	63	32	18
Turve, m ³	139 828	70 180	42 720	188	94	58
Hiili, MWh	6 320	3 518	0	8	5	0
Hiili, t	892	497	0	1	1	0
Öljy, MWh	3 840	1 432	711	5	2	1
Öljy, t	336	125	62	0	0	0
Puuperäiset, MWh	77 934	53 385	51 052	105	72	69
Puuperäiset, t	31 841	18 016	15 633	43	24	21
Puuperäiset, m ³	121 971	68 479	63 040	164	92	85
Kattilan käyttöaika, h	744	744	741			

8.2.1 Ruokohelven vastaanotto ja käyttö

8.2.1.1 Kokonaistarkastelu

Ruokohelpi oletettiin vastaanotettavan vaihtoehtoisesti joko paaleina tai turpeeseen sekoitettuna. Ruokohelven käyttöosuudeksi seoksissa kaikesta kotimaisen kiinteän polttoaineen määrästä (turve, helpi ja puuperäiset polttoaineet) oletettiin 15 % energiamääriin perustuen. Ruokohelpi vähentää turpeen osuutta, mutta puupolttoaineiden määrä pysyy ennallaan. Laskelmien perusteella arvioitiin, voidaanko laitoksen polttoaineen käsittelyjärjestelmillä päästä oletettuun helven osuuteen. Paalien murskauksen tapauksessa helpimurskeen ja muun biopolttoaineen yhteiseksi enimmäistilavuusvirraksi välivarastosta kattilaan oletettiin 180 m³/h, mikä on kattilaan syötön enimmäisteho. Turve-helpiseoksen tapauksessa turpeen ja helven vastaavaksi enimmäistilavuusvirraksi oletettiin 325 m³/h. Laskelmissa otettiin huomioon polttoaineiden erilainen tiheys ja siten tilantarve käsittelyjärjestelmässä.

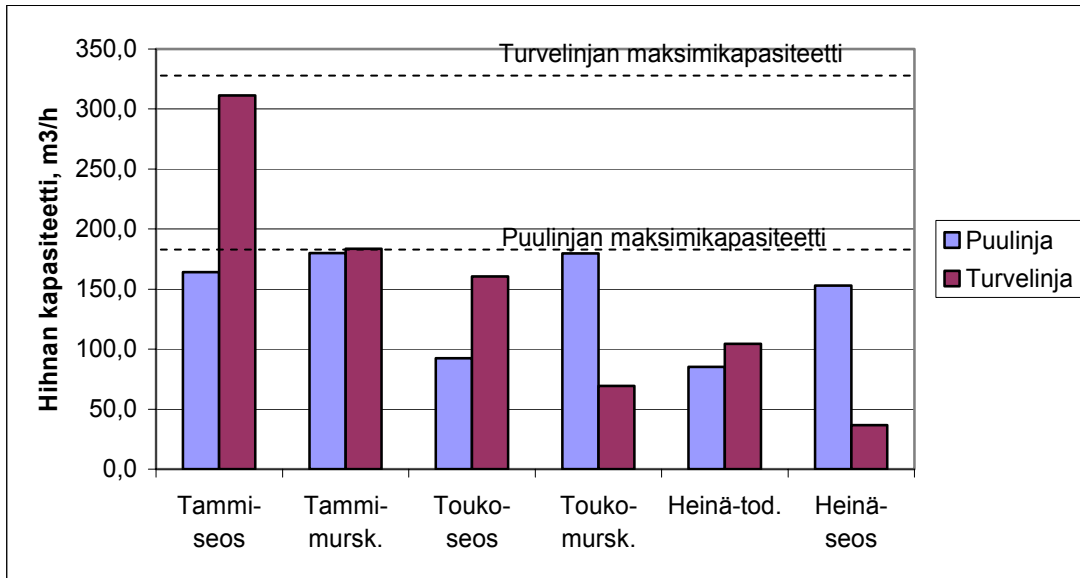
Tarkastelun perusteella kolmen eri kuukauden tilanteessa saadut polttoaineiden käyttökapasiteetit helven vaihtoehtoisilla vastaanottotavoilla on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40. Polttoaineiden käyttökapasiteetti kolmena testikuukautena vaihtoehtoisilla helven vastaanottotavoilla ja helven osuus kotimaisen kiinteän polttoaineen käytöstä. Kokonaiskäyttö perustuu vuoden 2006 toteutuneeseen käyttöön.

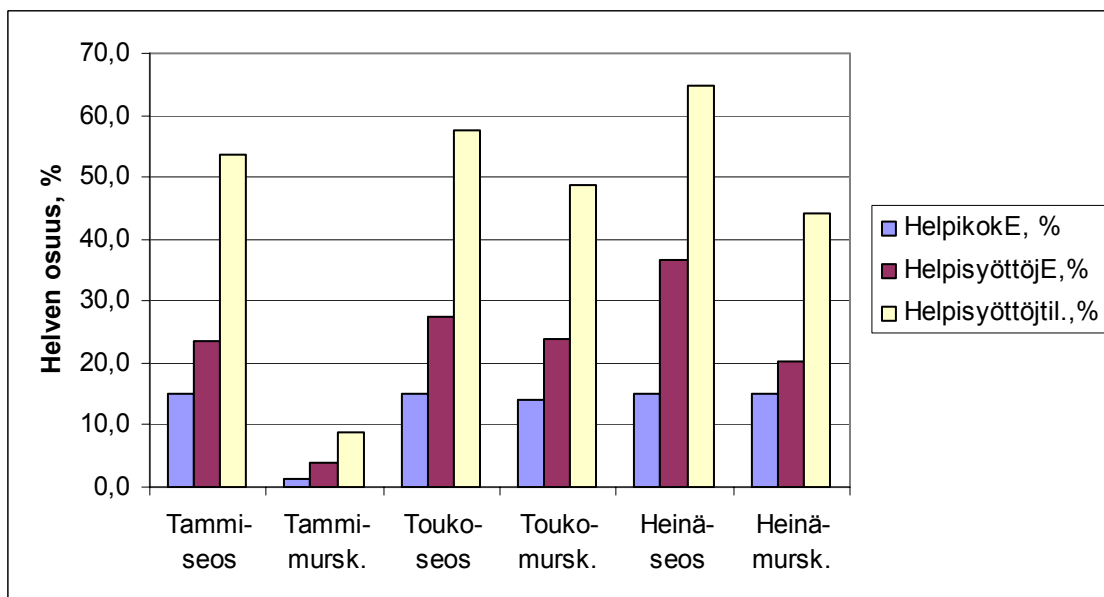
Tammikuun tapauksessa helven 15 %:n energiaosuus voidaan teoriassa juuri ja juuri saavuttaa, jos helpi tulee turpeen seassa, koska turvelinjan suuri kapasiteetti mahdollistaa tämän. Jos helpi murskataan kiinteällä murskalla, on helven osuus vain 1,4 %, koska valtaosan käsittelyjärjestelmän kapasiteetista vie valmiina saapuva sekä laitoksella murskattu puupolttainne. Toukokuun tilanteessa helven 15 %:n osuus voidaan saavuttaa valmiilla turve-helpiseoksella ja lähes saavuttaa myös murskainta käyttämällä, osuus 14,2 %. Tässä tilanteessa pieni turvelisäys kompensoi helven vajauksen. Heinäkuun käyttötilanteessa vaadittu helven osuus voidaan saavuttaa sekä turve-helpiseoksella että murskainta käyttämällä. Laskelmissa oletetaan, että käyttöpaikkamurskaimella on kapasiteettiä myös ruokohelpipaalien käsittelyyn. Suuremmilla helven käyttömäärillä kapasiteetista saattaa kuitenkin tulla rajoittava tekijä, jolloin laitokselle on tuotava puun sijasta valmista haketta, jonka hintakilpailukyky voi olla huonompi.

Kuvassa 41 on esitetty puulinjan ja turvelinjan käyttökapasiteetit eri vaihtoehdoissa. Tammikuun tilanteessa turve-helpiseoksen käyttö vie lähes kaiken turvelinjan kapasiteetin. Helven murskausvaihtoehdossa tammikuun ja toukokuun tilanteessa puulinjan kapasiteetti rajoittaa helven käyttöä. Muissa vaihtoehdoissa linjojen kapasiteettia jää teoriassa käyttämättä.



Kuva 41. Puulinjan ja turvelinjan käyttökapasiteetit välivarastoista kattilaan. Puulinjan maksimikapasiteetiksi kattilaan syötössä on oletettu 180 m³/h ja turvelinjan 325 m³/h.

Kuvassa 42 on esitetty ruokohelven osuudet eri yksiköissä ilmaistuna.

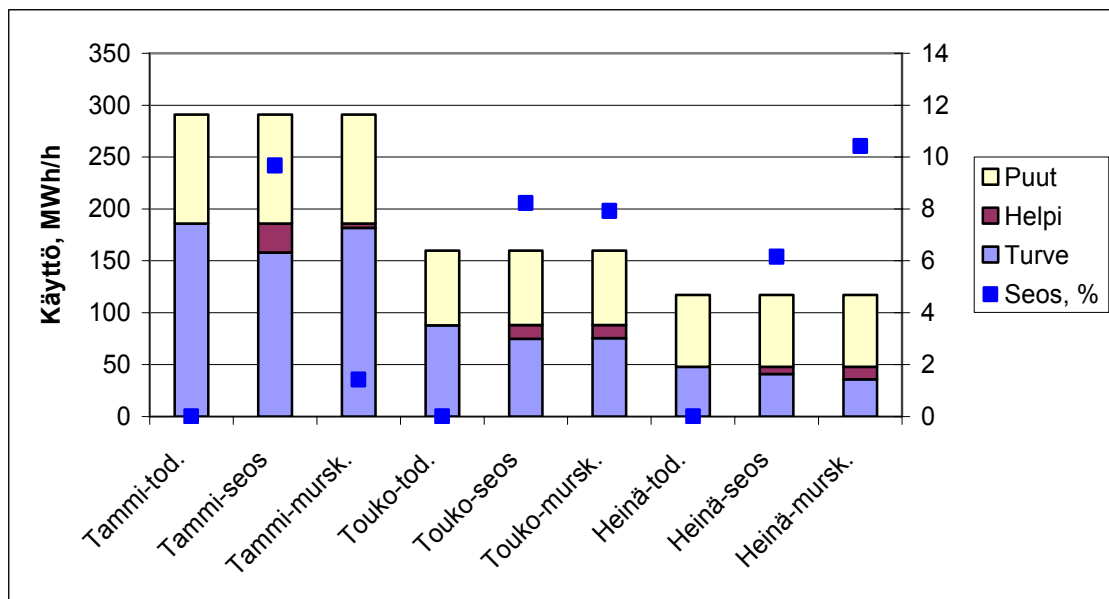


Kuva 42. Helven energiaosuus kaikesta kiinteästä polttoaineesta, energiaosuus syöttävissä järjestelmässä ja tilavuusosuus syöttävissä järjestelmässä (HelpikokE, % = helven energiaosuus kaikesta kiinteästä, kotimaisesta polttoaineesta, HelpisyöttöjE, % = helven energiaosuus syöttöjärjestelmässä (puulinja tai turvelinja) ja Helpisyöttöjtil., % = helven tilavuusosuus syöttöjärjestelmässä).

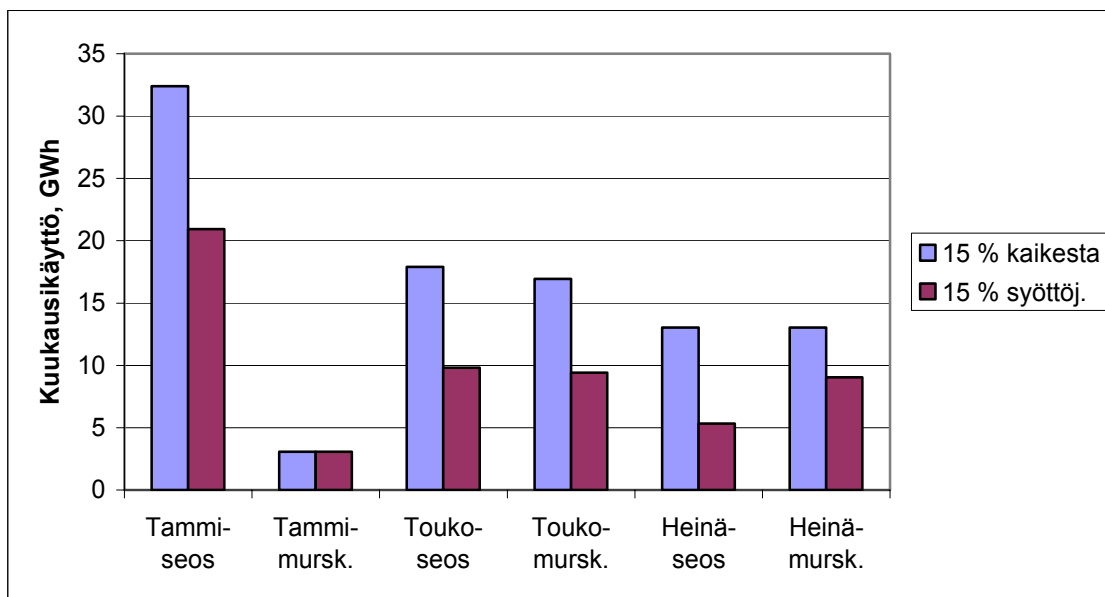
Kun helvelle vaaditaan tietty energiaosuus kaikesta kiinteästä polttoaineesta ja kiinteä polttoaine tulee kahta linjaa pitkin mutta helpi vain toista, tarkoittaa tämä helven osuuden nousua sitä syöttävässä järjestelmässä. Suurin helven osuus on heinäkuun mukaisessa turve-helpiseoksen käytössä: helven 15 %:n osuus kiinteistä polttoaineista tarkoittaa syöttöjärjestelmässä energiaosuutta 37 % ja tilavuusosuutta 65 %. **Nyt ei ole varmaa, voidaanko tällaisiin osuuksiin päästä käytännössä, vaikka pelkkä syöttöjärjestelmän laskennallisen kapasiteetin tarkastelu näin antaakin.** Ruokohelven käytön ongelma-kohtat sekä maksimi käyttöosuudet tulisi selvittää turve-helpiseosten käyttökokeissa vastaanotosta kattilan syöttöön.

8.2.1.2 Linjakohtainen tarkastelu

Lisäksi tarkasteltiin tilannetta, jossa helven energiaosuudeksi sitä syöttävässä järjestelmässä asetettiin 15 %. Tämän perusteella lasketut polttoaineiden käyttömäärät on esitetty kuvassa 43. Turve-helpiseosta ajettaessa on tammikuun tilanteessa turpeen käyttömäärä noin 11 % suurempi kuin aikaisemmassa tarkastelussa, jossa helven osuus on 15 % kaikesta kiinteästä polttoaineesta. Vastaavat lisäykset toukokuun ja heinäkuun tilanteessa ovat 17 % ja 34 %. Puun osuudet eri vaihtoehdoissa ovat kahden tarkastelun välillä samat. Helven käyttömäärät kahdessa eri tarkastelussa on esitetty kuvassa 44.

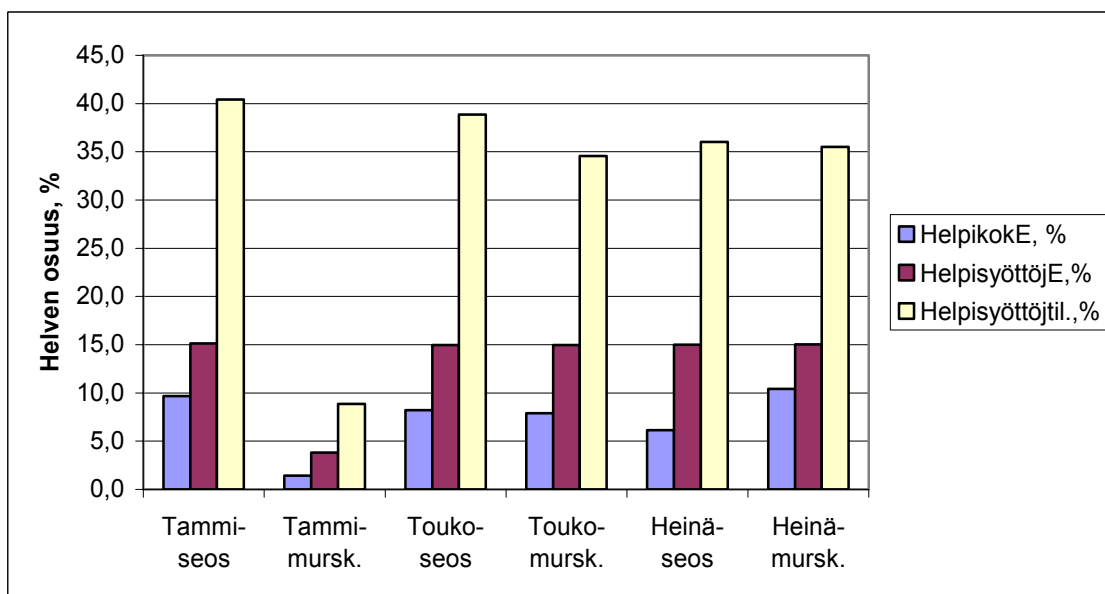


Kuva 43. Polttoaineiden käyttö ja ruokohelven seossuhde kaikesta kotimaisesta kiinteästä polttoaineesta.



Kuva 44. Helven kuukausikäyttö, kun helven osuus on 15 % kaikesta kotimaisesta kiinteästä polttoaineesta tai 15 % syöttöjärjestelmässä.

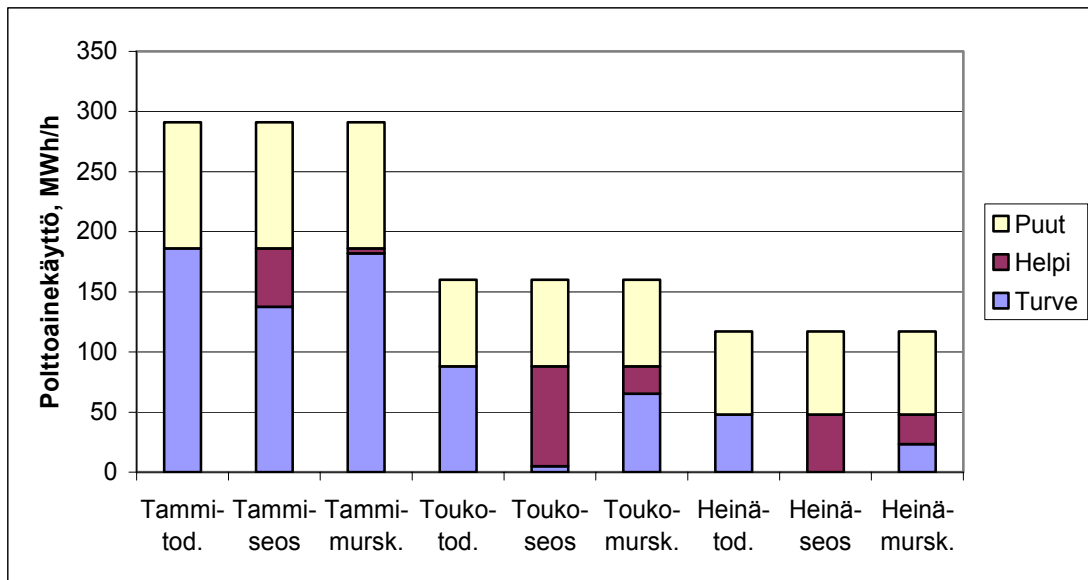
Helven eri tavoin laskettu seossuhde on esitetty kuvassa 45. Kun helven seossuhde syöttöjärjestelmässä on 15 %, on seossuhde kaikesta kiinteästä polttoaineesta 6–10 %. Vastaavasti helven tilavuussuhde syöttöjärjestelmässä on 35–40 %.



Kuva 45. Helven seossuhde kaikesta kiinteästä polttoaineesta (HelpikokE, %), seossuhde syöttöjärjestelmässä (HelpisyöttöjE, %) ja helven tilavuussuhde syöttöjärjestelmässä (Helpisyöttöjtil., %).

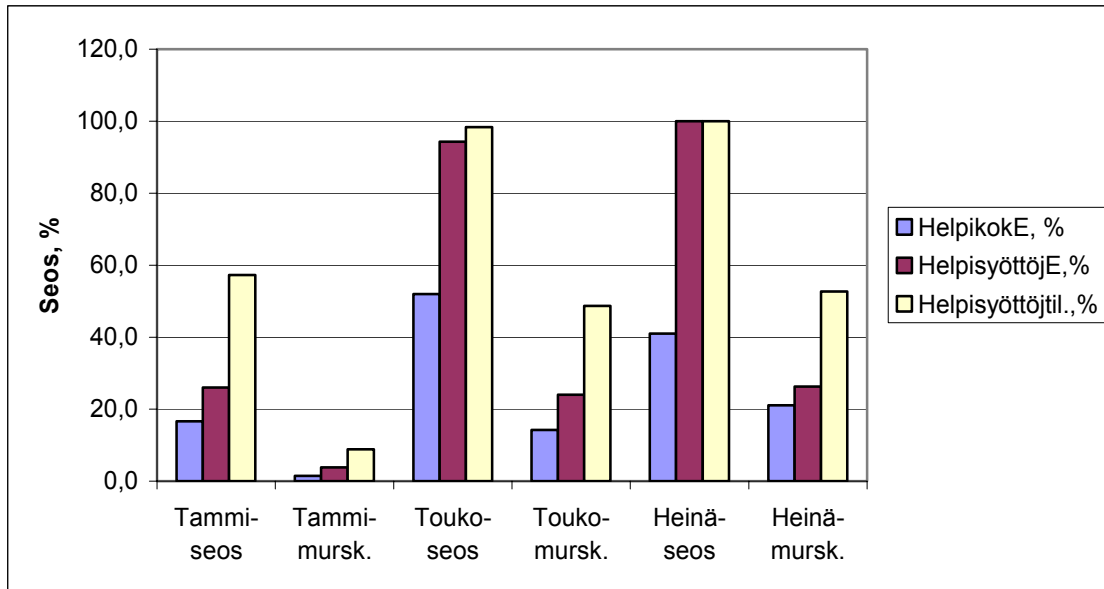
8.2.1.3 Lisätarkastelu

Lisäksi arvioitiin, kuinka paljon helpeä pystyttäisiin syöttämään kattilaan, jos ainoa rajoittava tekijä olisi kattilaan syötön laskennallinen kapasiteetti ilman muita rajoituksia. Puuta käytetään vuoden 2006 tilastojen mukaan, ja helpi pienentää turpeen osuutta. Tällä tavoin laskettu polttoainekäyttö on esitetty kuvassa 46. Kaikkina ”testikuukausina” turpeen ja helven seoksella saavutetaan suurempia helven käyttömääriä kuin murskauksella. Turpeen ja helven seoksella tarvitaan toukokuussa laskennallisesti vain murto-osa turvetta. Heinäkuun tilanteessa turvetta ei tarvittaisi lainkaan, vaan puupolttoaineet ja helpi riittäisivät polttoaineiksi. Tähän liittyy kuitenkin käytännön ongelmia. Turve mm. vähentää puupolttoaineiden aiheuttamaa kattilan likaantumista, joten turvetta ei tulisi kokonaan jättää pois. Lisäksi irtotavarana tuotava helpi olisi saatava menemään turvevastaston ja koko käsittelyjärjestelmän läpi syöttöön saakka. Jyrsinturpeelle suunniteltu käsittelyjärjestelmä ei todennäköisesti toimi pelkällä murskatulla ruokohelvellä.



Kuva 46. Syöttöjärjestelmän laskennallisen kapasiteetin mukainen maksimaalinen helven käyttö ja muiden polttoaineiden käyttö.

Kuvassa 47 on esitetty eri tavoin laskettu helven osuus polttoaineesta. Turve-helipseosta ajettaessa tammikuun tilanteessa olisi helven osuus kaikesta kiinteän kotimaisten polttoaineiden energiasta noin 17 %, mikä syöttöjärjestelmässä olisi 26 % energiasta ja vajaa 60 % syöttöjärjestelmän tilavuudesta. Kuten mainittu, touko- ja heinäkuun tilanteessa helpi riittäisi yhdessä puun kanssa polttoaineiksi ilman turvetta, ja sen osuus kokonaisenergiasta olisi 40–52 %.



Kuva 47. Helven seossuhde kaikesta kiinteästä polttoaineesta (HelpikokE, %), seossuhde syöttöjärjestelmässä (HelpisyöttöjE, %) ja helven tilavuussuhde syöttöjärjestelmässä (Helpisyöttöjtil., %).

8.2.2 Turve-helpiseosten käytön rajoituksista Rauhalahdessa

Edellä olevissa laskelmissa valmiina laitokselle toimitetun turve-helpiseoksen käytölle ainoa rajoite on ollut välivarastosta kattilaan olevan kuljetin- ja syöttölinjan maksimikapasiteetti tilavuusvirtana 325 m³/h. Ruokohelven käytölle ja sen osuuden lisäämiselle turveseoksissa on oleellista myös koko vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmän luotettava toiminta. Useilla ruokohelpeä käyttävillä laitoksilla on löytynyt ongelmakohtia sekä helven että turve-helpiseosten käsittelyssä (Impola ym., 2007, Impola & Kärki, 2008). Tyypillisiä ongelmia ovat olleet mm. vastaanottotaskun ritilän tukkeutuminen, ruokohelven erottuminen seoksesta kiekko-seulan ylitteeseen ja jälkimurskaimen tukkeutuminen, ongelmat kolakuljettimilla ja suurilla seoksilla välivarastojen purkuongelmia. Liian suuri ruokohelven kosteus sekä huonosti murskattu (paljon ylipitkiä korsia) helpi ovat lisänneet ongelmia laitoksella merkittävästi.

Turve-helpiseoksen mahdolliset käsittelyongelmat riippuvat ruokohelven osuudesta jyrshinturpeessa sekä se, miten hyvin seos on tehty suolla lastausvaiheessa. Seostusasteen nostaminen lastausvaiheessa lisää kuitenkin kustannuksia. Koska voimalaitosten käsittelyjärjestelmissä on eroja helven käytön suhteen, jokaisella laitoksella pitäisi olla esittää minimisekoitusvaatimus polttoainetoimittajalle. Tässä hankkeessa oli osatehtävä, jossa eri sekoitusmenetelmiä turpeen lastausvaiheessa selvitettiin (luku 6.2).

Selvitettäessä Rauhalahden turvelinjan soveltuvuutta turve-helpiseoksille tulisi kiinnittää huomiota mm. seuraaviin kohtiin:

- Turpeen vastaanottoasema. Seoksen läpimeno peräpurkuasemalla. Mahdolliset tukokset heti pohjakuljettimen jälkeen seulalla ja pohjasuppilossa.
- Kuljettimien risteysasemat.
- Seoksen läpimeno seula-murskainasemalla. Läpäiseekö ruokohelpi kiekoseulan vai meneekö helpi ”mattona” jälkimurskaimelle ja tukkii sen?
- Tämä käsittelyjärjestelmän alkupään seuranta voidaan tehdä jo muutamalla turve-helpiseoskuormalla sekä muuttamalla seostusmenetelmiä ja seossuhteita kuorman lastausvaiheessa.
- Voisi olettaa, että Rauhalahdessa kuljetinjärjestelmän risteysasemat sekoittavat turpeen ja ruokohelven seosta jo ennen seula-murskainasemaa eikä seos näin ollen olisi kovin herkkä kuormausvaiheen seostusasteelle.
- Välivaraston toiminnan seuraaminen vaatii pitkäaikaisempia turve-helpiseos-toimituksia. Välivaraston purkuruovin toiminnassa voi esiintyä häiriöitä, mikäli kevyttä, huonosti juoksevaa ruokohelpeä on liikaa. Rauhalahden ympyräpohjainen välivarasto tasaa huonosti peräkkäisten kuormien laatuvaihteluita. Tosin laitoksella on jo kokemusta ruokohelven käyttäytymisestä vastaavasta puupolttoaineiden välivarastosta.
- Vaikka kuljetin- ja varastointijärjestelmä sekoittaa ainakin seoskuormien sisäistä jakaumaa, myös kattilan syöttöjärjestelmän herkkyyttä helven käytössä on syytä seurata. Varsinkin helven osuuden kasvaessa seoksissa tilavuusvirrat kasvavat merkittävästi ja saattavat aiheuttaa ongelmia kattilaan syötössä. Tästäkin on laitoksella kokemuksia biolinjalla ruokohelven käytössä.

8.3 Kokemukset käyttöpaikkamurskaimesta

Käyttöpaikkamurskaimen käyttömäärä puupolttoaineiden murskauksessa on noin 170 GWh/a (kolmen kuukauden käytön avulla koko vuodelle yleistetty tulos). Tämä vastaa myös murskaimen käyttöä, kun helpi tulee turpeen seassa voimalaitokselle. Murskainta käytettäessä ruokohelven murskaukseen on vastaavasti laskettu murskaimen käyttömäärän olevan noin 130 GWh/a (helven osuus 15 %). Murskaimen kapasiteetti puuperäisten polttoaineiden murskauksessa on 60–90 MWh/h ja helven murskauksessa noin 30 MWh/h. Tarvittava puumäärä voidaan murskata yhden työvuoron aikana. Helven murskauksessa joudutaan jopa 2- tai 3-vuorotyöhön, jos halutaan helven osuudeksi 15 %.

Rauhalahti on käyttänyt ruokohelpeä vuonna 2006 noin 1,7 GWh ja vuonna 2007 noin 5,6 GWh eli määrät ovat pieniä verrattuna polttoaineen kokonaismäärään. Helven käyttöjaksot ovat olleet suhteellisen lyhyitä, yleensä muutamia päiviä 2–3 kuukauden aikana vuodessa. Pisin käyttöjakso oli vuoden 2007 elokuussa, jolloin helpeä käytettiin yli kahden viikon jakson aikana yhteensä 56 rekkakuormaa.

Vuonna 2006 heinäkuussa toimitetun ruokohelven keskikosteus oli 16,0 % (vaihtelut toimituserittäin 9,6–18,4 %). Syyskuun toimituksissa keskikosteus oli jo korkeampi 24,1 % (16,3–32,5 %). Saapumistilassa olevan ruokohelven teholliset lämpöarvot olivat vastaavilla jaksoilla 4,03 MWh/t (14,5 MJ/kg) ja 3,57 MWh/t (12,85 MJ/kg).

Vuonna 2007 Rauhalahti käytti huhti- ja toukokuussa pienehköjä määriä (0,7–0,8 GWh) ruokohelpeä. Helven keskikosteus oli huhtikuussa 21,6 % (vaihtelut toimituserittäin 20,5–23,4 %) ja toukokuussa 29,7 % (27,9–35,4 %). Ruokohelven pääkäyttöjaksolla elokuun loppupuolella keskikosteus oli suhteellisen korkea eli 31,4 %. Toimituserittäin vaihtelut olivat suuria eli 14,7–50,2 % ja lisäksi peräkkäisten päivien toimituskosteudet vaihtelivat merkittävästi. Helven kosteuden kasvaessa tehollinen lämpöarvo saapumistilassa laskee eli elokuun toimituksissa lämpöarvo oli 3,22 MWh/t (11,6 MJ/kg).

Ruokohelven paalauksella ja varastoinnilla voidaan vaikuttaa laitokselle toimitetun ruokohelven ominaisuuksiin. Paalien tiiviys, koko ja muoto (pyörö- ja kanttpaalit) vaikuttavat kuljetuskustannuksiin. Liian löyhät paalit rikkoutuvat myös helposti paaleja käsiteltäessä ennen murskaimelle syöttöä. Kuvassa 48 on esitetty helpipaalien käsittelyä Rauhalahdessa. Vaikka askelsyöttimellä varustettu käyttöpaikkamurskain ei ole herkkä paalien tiivydelle ja muodolle, hajoamistilassa olevat paalit vaikeuttavat kuormien lastaamista ja purkamista sekä mahdollista varastointia laitosalueella.



Kuva 48. Erilaatuisten helpipaalien käsittelyä Rauhalahden voimalaitoksella (kuva: Samuli Rinne).

Huhtikuussa 2007 Rauhalahden murskaimen jälkeen otetusta silppunäytteestä on tehty seula-analyysi. Tämä suhteellisen kuiva (noin 20 %) helpeä murskaantui hyvin hitaasti

pyörivällä käyttöpaikkamurskaimella. Vajaa 95 % silpusta läpäisi 80 mm:n seulan ja noin 77 % 40 mm:n seulan. Keskimääräiseksi silpun pituudeksi on laskettu noin 35 mm. Verrattaessa muihin murskaimiin Rauhalahden murskaustulosta voi pitää hyvänä. Ainoastaan nopeasti pyörivillä mobiilimurskaimilla (vasara- ja kaukalomurskaimet) sekä tarkkuus-silppureilla saatiin keskimäärin jonkin verran lyhempää silppua.

Murskaimen terien kunto sekä ruokohelven kosteus vaikuttavat Rauhalahden murskaimen toimintaan: sekä silpun pituuteen että kapasiteettiin. Esimerkiksi vuoden 2007 elokuun lopun pitkäköllä jaksolla helpeä murskattiin uusituilla terillä. Kuten edellä todettiin, kosteusvaihtelut kyseisellä jaksolla olivat suuria. Lopputulos koko jakson aikana oli kuitenkin ilmeisen hyvä silpun pituuden suhteen, koska murskaimen jälkeisellä poltto-aineen käsittelylinjalla ei ongelmia esiintynyt.

Esimerkki liian kosteiden helpipaalien murskaamisesta saatiin marraskuussa 2006. Helpipaalit murskaantuivat, mutta kosteudesta ja pidemmästä silpunpituudesta johtuen silpun juoksevuusominaisuudet alenivat merkittävästi. Tämän takia käsittelylinjan tukkeutumisista esiintyi murskaimen jälkeisessä käsittelylinjassa (kolakuljettimet, kuljettimien risteykset, kiekoseula ja sen jälkeinen ylitemurskain). Huonosti juokseva kostea helpisilppu tukki kolakuljettimen, jolloin mm. kolakuljettimen kolarautoja irtosi ja ne rikkoivat kuljettimen suojarakenteita (kuva 49). Kuvasta nähdään myös, että murskeessa on runsaasti pitkiä helven korsia, jotka alentavat juoksevuusominaisuuksia.

Hitaasti pyörivän käyttöpaikkamurskaimen etuna voidaan pitää pölyämättömyyttä kuivilla helpipaaleilla. Rauhalahden varastoalueella on kokeiltu myös urakoitsijoiden vasaramurskaimia, mutta runsaan pölyämisen takia niiden käyttö kaupunkialueella ei ole mahdollista.



Kuva 49. Liian kosteiden helpipaalien murskaus aiheuttaa suuria ongelmia polttoaineen käsittelylinjassa. Pahimmillaan tukkeentumiset saattavat rikkoa kuljettimia (kuvat: Janne Kärki).

8.4 Kokemuksia helpisilppukuorman toimituksista

Toukokuussa 2008 Rauhalahden voimalaitokselle toimitettiin koeluontoisesti puhdas helpisilppukuorma. Silppu oli tehty kaivinkonemurskalla, ja silpun keskimääräinen pituus oli noin 50 mm ja kosteus vajaa 21 %. Silppu purettiin autosta turpeen peräpurkuvastaanottoon.

Nuppiosaa purettaessa helpimatto ei tippunut vähitellen ulos vaan holvautui perävaunun etuseinän ja vetoaisan väliseen osaan. Perävaunun irrotuksen jälkeen purku onnistui, mutta helpi tippui ulos isoina lohkaraina. Poikittainen kolapurkain vei helpeä paikoitellen niin isoina kasoina erittäin harvalle kiekkoseulalle, että seula ei ehtinyt läpäistä helpeä vaan meni seulan ylitse (kuva 50). Tasaisemmin purettaessa seula läpäisi helven.



Kuva 50. Helpimatto vastaanoton erittäin harvalla kiekkoseulalla (kuva: Teuvo Paappanen).

Vastaanottomontusta helpi siirtyi turvelinjan tiheämmälle kiekkoseulalle, jonka koko oli $40 \times 50 \text{ mm}$, 20 cm^2 . Helpeä tuli niin nopeasti, että seula ei läpäissyt kaikkea helpeä vaan osa siitä meni ylitemurskalle, joka täyttyi ja tukki myös kiekkoseulan (kuva 51).



Kuva 51. Turvevastaanoton tiheä kiekkoseula (kuva: Teuvo Paappanen).

Kokeen perusteella voidaan sanoa ainakin se, että jos helpeä on liian paksuina mattoina, niin lyhyt ja kuivakaan silppu ei pelasta tilannetta. Paksuissa matoissa lyhyetkin korret takertuvat toisiinsa siten, että kiekko-seula ei niitä hajota. Voimalaitoksen purkulaitteisto toimii niin nopeasti, että puhdasta helpeä menee liian suurena virtana turvelinjan seula-murskainasemalle. Tämä voi tarkoittaa myös sitä, että voimalaitoksen pihalla murskattua helpeä ei suoraan voi laittaa vastaanottoon esimerkiksi pyöräkuormaajalla ilman sekoittamista. Kuorman purun aikana laitokselle ei tullut turvetta, jonka paino olisi voinut edistää helven läpimenoa seulalla, mutta käytetyllä purkunopeudella ongelmia olisi luultavasti esiintynyt tällöinkin.

8.5 Kustannustarkastelu Rauhalahden voimalaitokselle

8.5.1 Lähtötiedot

Ruokohelven tuotannon laskennalliset kustannukset vaihtoehtoisilla toimitusketjuilla on esitetty taulukossa 16. Tuotantoketjuja ovat helven korjuu paaleina, siirto rekka-autolla viljelmiltä turvetuotantoalueelle (10 km), murskaus mobiilimurskaimella ja kuljetus turpeen seassa voimalaitokselle (70 km). Toisessa ketjussa helpi korjataan tarkkuus-silppurilla, siirretään rekka-autolla turvetuotantoalueelle (10 km) ja kuljetetaan turpeen seassa voimalaitokselle. Kolmannessa ketjussa helpi paalataan ja kuljetetaan paaleina voimalaitokselle, jossa se murskataan laitoksen kiinteällä käyttöpaikkamurskaimella.

Taulukko 16. Ruokohelven tuotantokustannus vaihtoehtoisilla toimitusketjuilla.

€/MWh	Paalit suon kautta laitokselle	Irtotavara suon kautta laitokselle	Paalit laitokselle
Korjuu	23,6	24,15	23,6
Kuljetus suolle, 10 km	2,57	4,95	
Murskaus	3,30		2,00
Seostus	0,58	0,58	
Kuljetus voimalaitokselle, 70 km	6,84	6,84	4,72
Yhteensä	36,89	36,52	30,32
- Maataloustuet	20,18	20,18	20,18
= Hinta voimalaitoksella	16,71	16,34	10,14

Edullisin toimitusketju on helven toimittaminen paaleina voimalaitokselle. Kallein ketju on tuottaa paaleja, jotka murskataan mobiilimurskaimella turvetuotantoalueella. Jos helpi tuotettaisiin turvetuotantoalueella, jolloin ei tarvittaisi helven välisiirtoa viljelmiltä turvetuotantoalueelle, olisi helven toimittaminen turpeen seassa suhteellisen edullinen vaihtoehto, varsinkin jos helpi tuotetaan irtotavarana.

8.5.2 Käyttötaloustarkastelut

Erilaisten helven toimitustapojen vertailemiseksi tarkasteltiin eri polttoaineseosten käytön kustannuksia kuukausitasolla. Laskennassa otettiin huomioon polttoaineiden ostohinta, sähköntuotannon tuki biopolttoaineille, lämpöerot fossiilille polttoaineille sekä kustannukset tai tulot CO₂-päästöistä. Myös polttoainekohtaiset kattilan ns. ylimääräiset käyttökustannustekijät olisi laskennassa periaatteessa mahdollista ottaa huomioon, mutta koska helven käytöstä ei vielä ole monipolttoainekattiloissa Suomessa pitkäaikaisia kokemuksia, jätettiin tämä osuus arvioimatta.

Erilaisilla toimitustavoilla helpeä voidaan tapauskohtaisesti käyttää erilaisia määriä, mikä vaikuttaa turpeen käyttömääriin ja sitä kautta päästökaupan aiheuttamiin CO₂-maksuihin tai -tuloihin. Lisäksi metsähakkeella on erilainen hinta sen mukaan, tehdäänkö hake irtorisusta voimalaitoksella vai tuleeko se valmiina. Voimalaitoksen polttoaineiden käyttö vaihtoehtoisilla helven toimitustavoilla kolmena eri kuukautena on esitetty taulukossa 17. Siinä on oletettu, että helven osuus on 15 % kaikesta kotimaisesta kiinteästä polttoaineesta.

Taulukko 17. Eri polttoaineiden käyttömäärät kolmena eri kuukautena.

GWh/kk	Tammikuu		Toukokuu		Heinäkuu		Vuodessa	
	Seos	Murskaus	Seos	Murskaus	Seos	Murskaus	Seos	Murskaus
Turve	106,0	135,3	47,6	48,6	22,5	22,5	704,6	825,7
Helpi	32,4	3,1	17,9	16,9	13,0	13,0	253,4	132,3
Metsähake	13,9	13,9	15,3	15,3	7,7	7,7	147,4	147,4
Muu puu	64,2	64,2	38,3	38,3	43,4	43,4	583,8	583,8
Hiili	6,0	6,0	3,7	3,7	0,0	0,0	38,7	38,7
Öljy	3,7	3,7	1,5	1,5	0,7	0,7	23,8	23,8
Yhteensä	226,2	226,2	124,3	124,3	87,5	87,5	1751,8	1751,8

Polttoainekustannuksien sekä päästökustannusten avulla tehtiin skenaarioita kattilan kokonaiskustannuksista. Laskennan lähtöarvoina käytettiin taulukon 18 mukaisia alkuarvoja. Vertailukohtana on vuoden 2006 tilanne, jolloin ei ruokohelpeä käytetty. Päästöoikeudelle on käytetty perustarkasteluissa hintaa 25 €/tn.

Taulukko 18. Polttoaineiden käytön hinnat voimalaitoksella sekä sähköntuotannon tuet, lämmöntuotannon verot ja päästökertoimet.

	Helpi seoksena turpeessa €/MWh	Helpi paaleina €/MWh	Sähkö-tuki €/MWh _{sähkö}	Lämpö-vero €/MWh _{lämpö}	Päästö-kerroin (g/MJ)	Hapettumiskerroin
Helpi ¹⁾	16,34	10,14				
Turve	8,90	8,90			106	0.99
Metsähake ²⁾	12,43	12,43	6.9			
Puuperäiset muut	14	14				
Hiili	9,23	9,23		6.38	94.6	0.99
Öljy	22,28	22,28		5.22	77.4	0.995

1) Seoksen tapauksessa irtokorjuu

2) Seoksen tapauksessa irtorisua, paaleina välivarastolla hakettua, 100 km

Taulukossa 19 on esitetty kokonaiskustannustarkastelu tammikuun tapauksissa. Tammikuussa seoksena tuotu helpi (osuus 14,3 % kaikesta polttoaineesta) tuo säästöjä lähes 65 k€ toteutuneeseen turvekäyttöön verrattuna. Murskauksen kautta tullut helpi (osuus 1,4 % kaikesta polttoaineesta) tuo n. 25 k€:n säästön.

Taulukko 19. Kokonaiskustannustarkastelu tammikuun käyttömäärillä.

	tammi, todellinen	tammi, murskaus	tammi, seos
Polttoaine, €	2 441 165	2 445 020	2 682 238
Lämpövero, €	27 964	27 964	27 964
Sähkötuki, €	-23 151	-23 151	-23 151
CO ₂ , €	0	-29 278	-306 005
Kustannukset yhteensä, €	2 445 979	2 420 555	2 381 046
Erotus	0	-25 424	-64 933

Taulukossa 20 on esitetty tarkastelu toukokuun tapauksissa. Seoksena tuotu helpi (osuus 17,9 % kaikesta polttoaineesta) tuo säästöjä 36 k€ toteutuneeseen turvekäyttöön verrattuna. Murskauksen kautta tullut helpi (osuus 16,9 % kaikesta polttoaineesta) tuo n. 139 k€:n säästön.

Taulukko 20. Kokonaiskustannustarkastelu toukokuun käyttömäärillä.

	touko, todellinen	touko, murskaus	touko, seos
Polttoaine, €	1 376 912	1 397 879	1 510 105
Lämpövero, €	16 608	16 608	16 608
Sähkötuki, €	-22 762	-22 762	-22 762
CO ₂ , €	0	-159 614	-169 058
Kustannukset yhteensä, €	1 370 759	1 232 111	1 334 893
Erotus	0	-138 648	-35 866

Taulukossa 21 on esitetty tarkastelu heinäkuun tapauksissa. Seoksena tuotu helpi (osuus 14,9 % kaikesta polttoaineesta) tuo säästöjä 26 k€ toteutuneeseen turvekäyttöön verrattuna. Murskauksen kautta tullut helpi (osuus sama 14,9 % kaikesta polttoaineesta) tuo n. 107 k€:n säästön.

Taulukko 21. Kokonaiskustannustarkastelu heinäkuun käyttömäärillä.

	heinä, todellinen	heinä, murskaus	heinä, seos
Polttoaine, €	1 036 649	1 052 780	1 133 386
Lämpövero, €	1 804	1 804	1 804
Sähkötuki, €	-8 136	-8 136	-8 136
CO ₂ , €	-318 181	-440 961	-440 961
Kustannukset yhteensä, €	712 136	605 487	686 093
Erotus	0	-106 650	-26 043

Yhteenvedon voidaan todeta, että helven otto mukaan polttoainevalikoimaan toisi säästöjä voimalaitokselle riippumatta helven toimitustavasta. Talvikuukausina seosten toimitus toisi suuremmat säästöt. Seostoimituksissa helven hinta voimalaitokselle olisi suurempi kuin paaliketjun toimituksissa, mutta seoksena helpeä voitaisiin käyttää enemmän, mikä päästökauppa huomioiden toisi suuremmat säästöt. Kesäkuukausina paaleina toimitus ja murskaus laitoksen kiinteällä murskalla toisi suuremmat säästöt. Jos tällöin paalien murskaus laitoksella tapahtuisi mobiilimurskaimella, jonka kustannus on suurempi kuin kiinteän murskaimen, tasoittuisivat ero murskausketjun ja seosketjun, välillä, mutta menetelmien keskinäinen edullisuus eri kuukausina olisi edelleen sama kuin edellä on kuvattu.

Sekä paalien että seoskuljetusten edullisuutta voitaisiin parantaa paalien tiheyden hajontaa pienentämällä ja käyttämällä kuljetuksiin kuormatiloiltaan isompia autoja, joita on osittain

jo olemassa. Seoskuljetuksissa tämä alentaisi kuljetuskustannuksia suhteellisesti enemmän kuin paalien kuljetuksissa. Tällöin talvikuukausina seoskuljetusten edullisuus korostuisi, mutta kesäkuukausina paalien murskaus laitoksella olisi edelleen kannattavinta.

Seosketjun kustannuksia lisää välisiirto viljelmiltä turvetuotantoalueelle. Lyhyelläkin matkalla tämä kustannus on marginaalista suurempi. Seoskuljetukset olisivat edullisia, jos helpi viljellä turvetuotantoalueella, jolloin vältetään helven välisiirroilta. Tällöin helven seoskuljetuksiin perustuva ketju olisi edullinen paalien kuljetukseen verrattuna. Valtaosa viljelmistä sijaitsee kuitenkin pelloilla, joten suuri osa seoskuljetuksista tapahtuisi korkeammalla hinnalla.

Kasvanut helven osuus nostaa erittäin todennäköisesti kattilan käyttökustannuksia (mm. leijuhiekan vaihtotarve, likaantumishaitat, mahdolliset ylimääräiset huoltoseisokit jne.), **jolloin helven käytön tuomat kustannussäästöt voivat helposti kadota.** Esim. talvi-aikaan täydellä kuormalla kahden vuorokauden ylimääräinen alasajo maksaa Rauhalahdessa noin 300 k€. **Lisäksi laskelma on herkkä ruokohelven laskennalliselle tuotantokustannukselle ja sitä kautta voimalaitoksen maksamalle hinnalle, joten tarkasteluun sisältyy epävarmuuksia.**

8.6 Helven polton seuranta Rauhalahden voimalaitoksella

8.6.1 Lähtötiedot

Rauhalahden BFB-kattilassa tutkittiin ruokohelven vaikutusta tulistinalueen likaantumiseen ja kuumakorroosioon kahdella varsinaisella mittausjaksolla keväällä 2007 (20.4.–4.5. ja 7.5.–21.5.). Lisäksi tehtiin vertaileva mittausjakso myöhemmin syksyllä (24.8.–7.9.). Koejaksojen kestot olivat kukin 14 vrk (333, 332 ja 332 h). Jaksojen polttoaineosuudet ja kattilan kuormatasot on esitetty taulukossa 22. Helven määrä helpijaksoilla oli n. 2–3 GWh, jolloin helven keskimääräinen osuus kattilassa oli noin 1–2 %. Tämän isompaa helven osuutta ei ollut mahdollista kattilassa tutkia. Tavoitteena oli verrata helpijaksoja referenssijakson ns. normaalin polttoaineseoksen käyttöön. Pienistä mahdollisista helven osuuksista johtuen suurimmat vaihtelut polttoaineeseen aiheutuivat turpeen ja puuperäisten polttoaineiden muutoksissa kattilan tehotason mukaisesti.

Taulukko 22. Polttoaineseos ja kuormataso sondimittausjaksoilla.

Jakso	Aika	Keskimääräinen polttoaineseos (Turve / hiili+öljy / biomassa / helpi)	Keskimääräinen kattilan kuorma	Tuorehöyryn virtaus
Helpi, kevät	20.4.–4.5.	70 % / 0 % / 28 % / 2 %	77 %	50–100 kg/s
Referenssi	7.5.–21.5.	56 % / 0 % / 44 % / 0 %	59 %	50–90 kg/s
Helpi, syksy	24.8.–7.9.	42 % / 4 % / 52 % / 2 %	49 %	40–80 kg/s

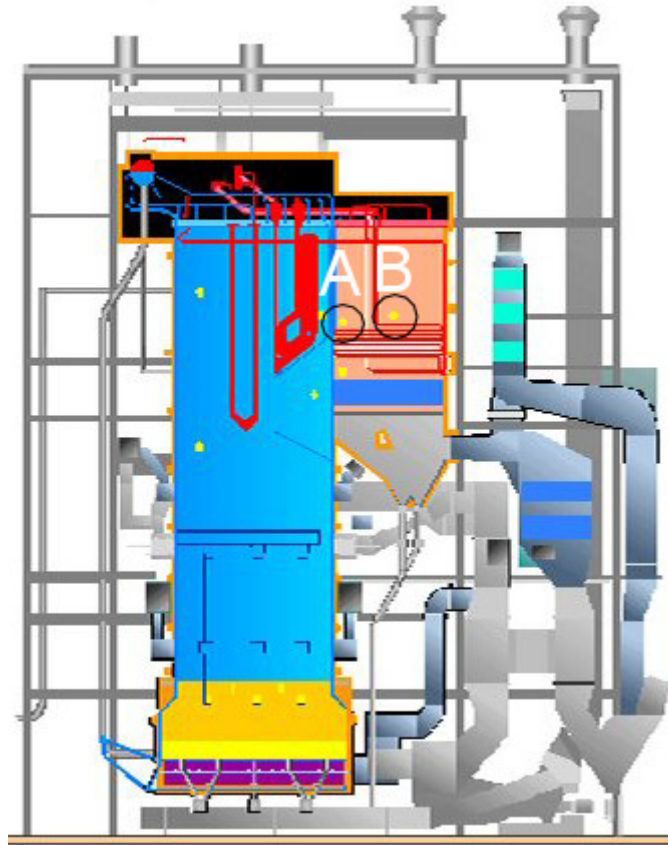
Likaantumis- ja kuumakorroosiotutkimuksissa käytettiin VTT:n kehittämää ilma- ja vesijäähdytteistä sondia (kuva 52). Sondin kärkiosa sijoitetaan kuumakorroosiotutkimuksessa käytettävään näyteholkiin. Sondin pintalämpötilat ja lämpövuot mitataan kiinteästä holkista tulo-, jätto- ja molemmilta sivupinnoilta. Likaantumissondilla simuloidaan tulistinpinnan likaantumista pitämällä sen pintalämpötila vakiona kuten tulistinputkissa.



Kuva 52. VTT:n kehittämä ilma- ja vesijäähdytteinen kerrostumasondi (kuva: VTT).

VTT mittasi likaantumisnopeutta sondilla hilaputkiston jälkeisistä miesluukuista (ennen I-tulistinta). Kuvassa 53 on esitetty mittauspaikka kattilassa (miesluukku A). Kevään ja syksyn helven likaantumismittausten aikana otettiin lentotuhkanäytteitä sähkösuodattimen ensimmäiseltä lohkolta. Lisäksi analysoitiin kevään jaksoilla sondeilla kerätyt kerrostumanäytteet ja altistetut materiaaliholkit sekä tehtiin analyysit ruokohelven polttoaineminaisuuksista. Vertailua tehtiin myös turpeen ja puun seospoltossa sondin tulopinnan kerrostuman osalta vuoden 2006 mittauksiin sekä lentotuhka-analyysissä syksyn 2007 lisäanalyysiin.

Sondimittausten tulokset kuvaavat kattilan likaantumista mittauspaikan ympäristössä. Jotta likaantumistuloksia voidaan verrata kattilan lämmönsiirtimien likaantumiseen, laskettiin lisäksi laitokselta saadusta prosessimittaustiedoista lämmönsiirtoa kuvaavia tunnuslukuja eri lämmönsiirtimille. Näitä vertailuja ei kuitenkaan esitetä tämän julkaisun yhteydessä.



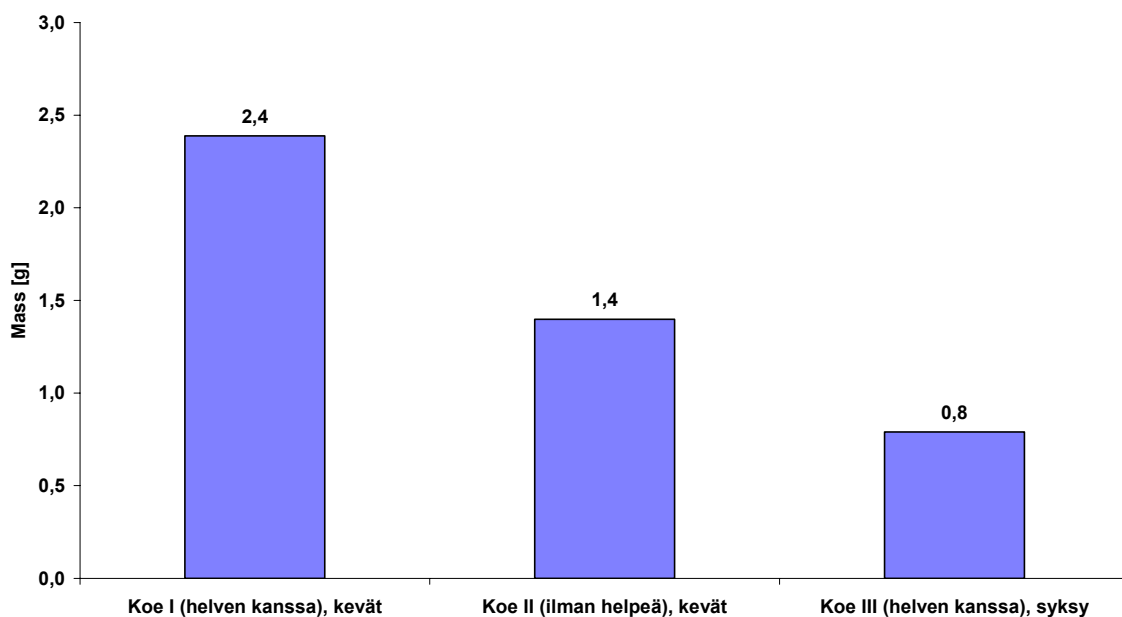
Kuva 53. Rauhalahden BFB-kattila. Sondimittaus tehtiin I-tulistimen alueelta (miesluukun kohta A kuvassa).

8.6.2 Likaantumistarkasteluiden tuloksia

8.6.2.1 Sondimittauksen perustiedot

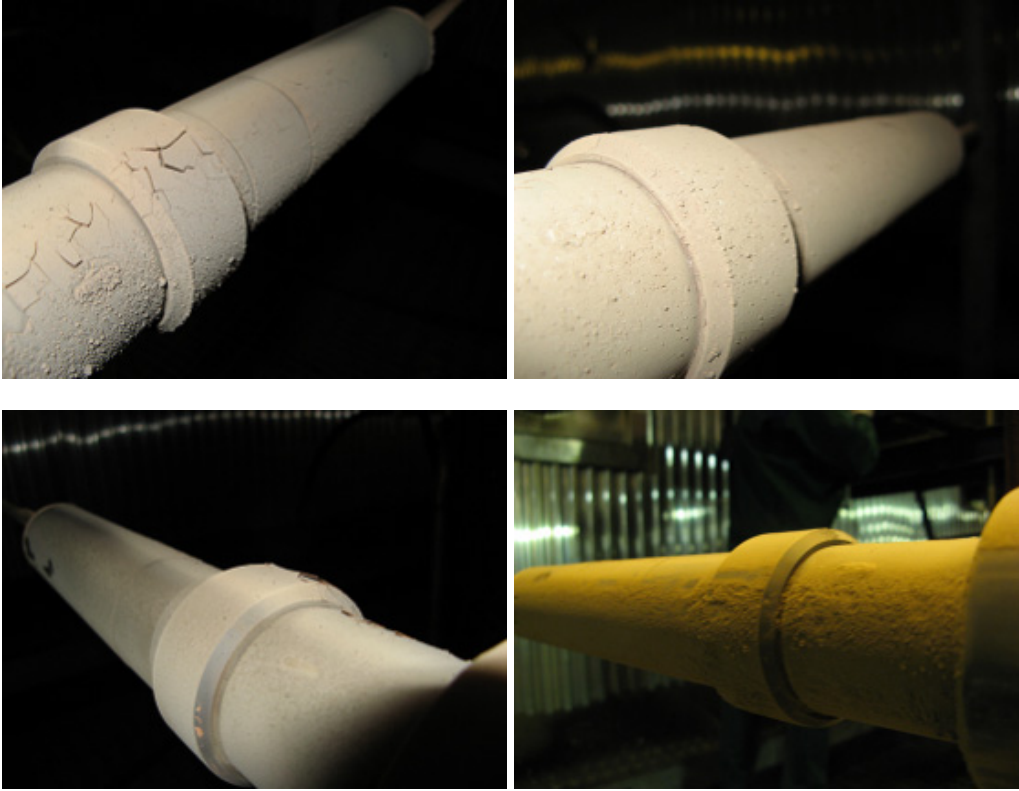
Kuvassa 54 on esitetty sondin holkeille eri koejaksoilla kertyneen kerrostuman massa. Eniten kerrostumaa syntyi kevään helpijaksolla ja vähiten syksyn helpijaksolla. Kerrostuman määrään vaikuttivat tässä tapauksessa eniten kattilan kuormataso sekä turpeen ja puuperäisten polttoaineiden vaihtelut.

Likaantumissondin 10CrMo-holkille kertyneen kerrostuman massa

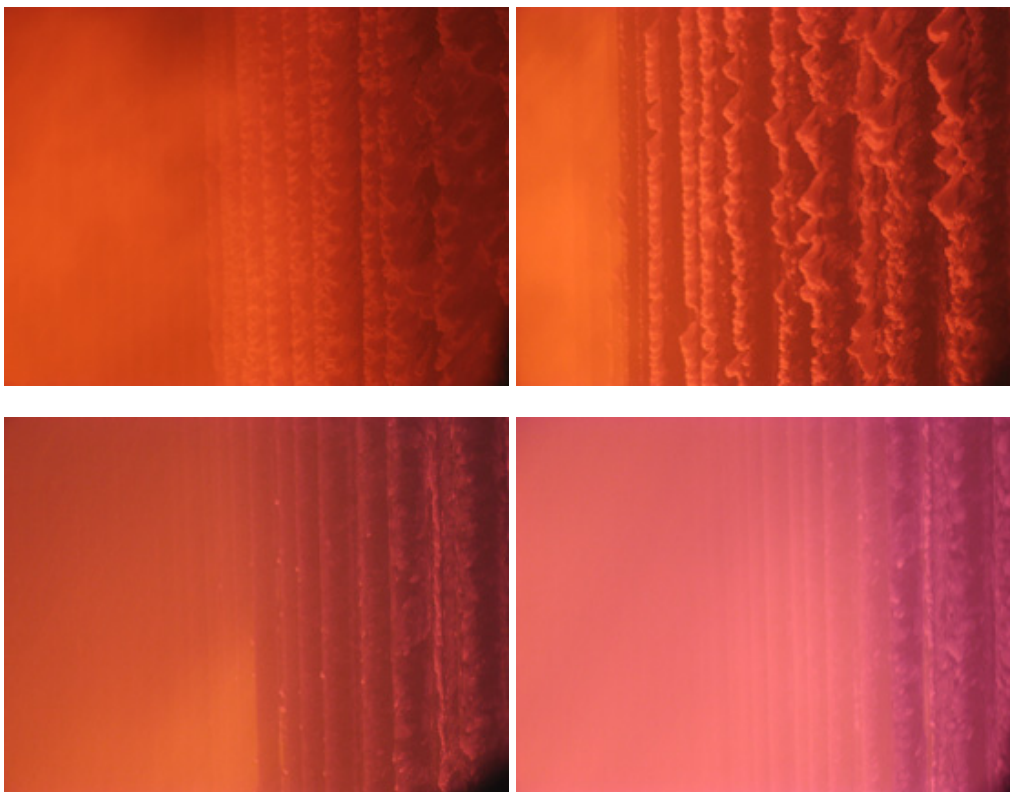


Kuva 54. Likaantumissondin 10CrMo-holkille kertyneen kerrostuman massa eri jaksoilla.

Kuvassa 55 on esitetty sondin holkit tulo- ja jättöpuolilta kevään helpi- ja referenssijaksojen jälkeen. Kerrostumien ulkonäössä ei ollut muutoksia jaksojen jälkeen. Kuvassa 56 on esitetty vastaavasti kuvat III-tulistimelta kevään helpi- ja referenssijaksojen jälkeen (kuvattuna kattilan näköluukun läpi). Näistä kuvista nähdään kerrostumien muutoksia kattilan ajon aikana, mutta suoria johtopäätöksiä koejaksojen polttoaineiden vaikutuksista kerrostumien määrään on vaikea vetää.



Kuva 55. Kerrostumaa sondin tulopinnalla (ylärivi) ja jättöpinnalla (alarivi). Kevään helpijakso vasemmalla ja referenssijakso oikealla (kuvat: Janne Kärki).



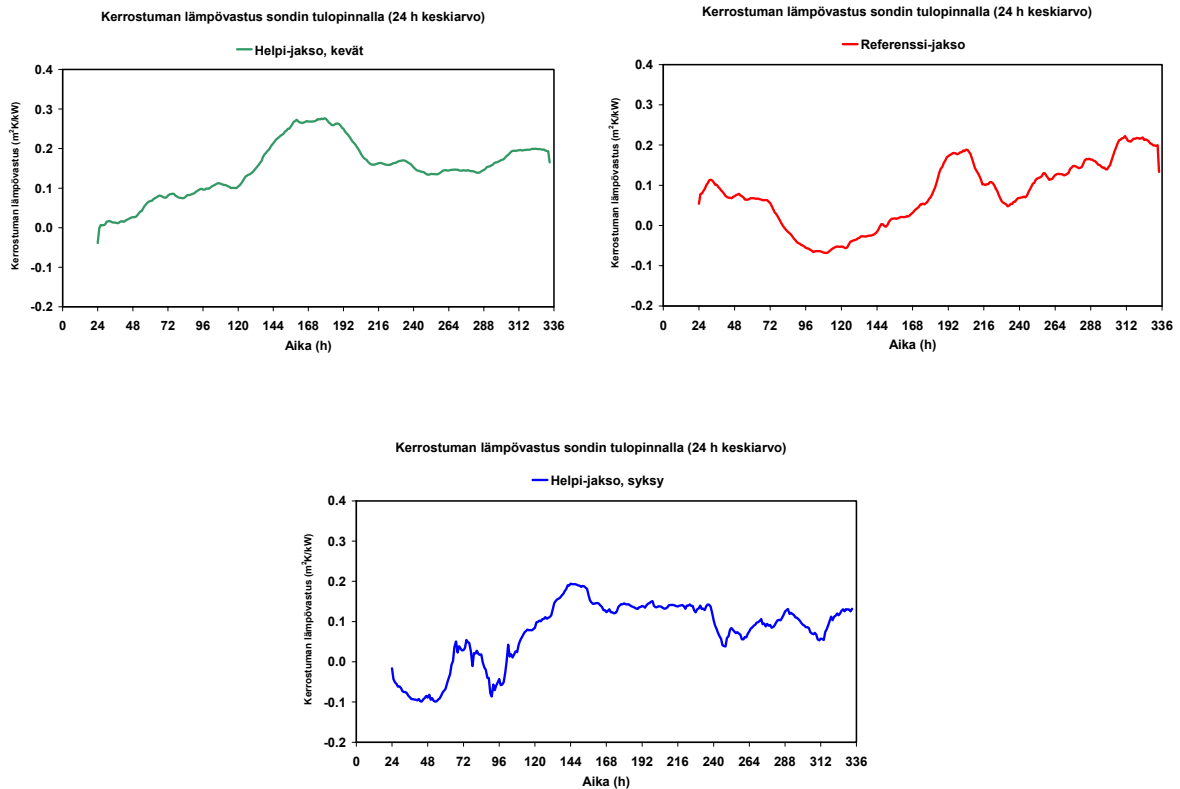
Kuva 56. III-tulistimen kerrostumaa ennen helpijaksoa (vasen yläkulma) ja sen jälkeen (oikea yläkulma) sekä ennen referenssijaksoa (vasen alakulma) ja sen jälkeen (oikea alakulma) (kuvat: Janne Kärki).

8.6.2.2 Sondimittauksen data-analyysi

Tulistimien likaantuminen voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: lyhyen ja pitkän aikavälin likaantumiseen. Lyhyen aikavälin likaantumisen tarkoitetaan kerrostumaa, joka irtoaa nuohouksessa. Vaikka lyhytaikainen kerrostuma saadaan nuohouksella poistettua, on sillä sen suuren lämpövastuksen vuoksi hetkellisesti merkittävä vaikutus lämmönsiirron heikentymiseen. Pitkän aikavälin likaantuminen aiheuttaa pysyviä kerrostumia, jotka eivät irtoa nuohottaessa. Pahimmillaan pysyvän likaantumisen vuoksi kattila joudutaan ajamaan alas puhdistustoimenpiteitä varten paikkojen tukkeutumisen ja/tai lämmönsiirron heikkenemisen vuoksi.

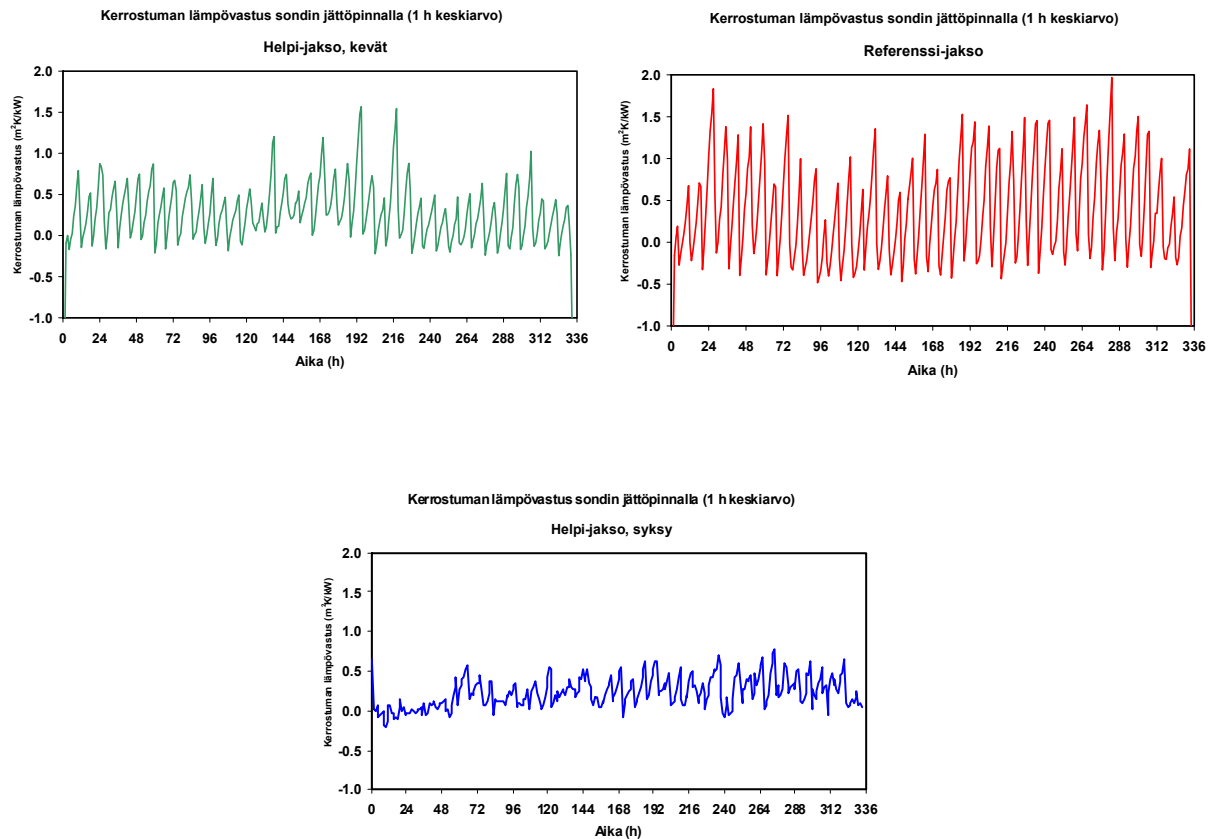
Rauhalahden sondimittausten analysointi jaettiin pysyvän kerrostuman muodostukseen ja nuohousvälin likaantumiseen. Sondi- ja prosessidatan avulla lasketut kerrostuman lämpövastukset sondin tulopinnalla eri jaksoilla on esitetty kuvassa 57. Lämpövastus kuvaa kerrostuman lämmönsiirtoa estävää eristävää vaikutusta. Pysyvän kerrostuman muodostuminen tulopinnalle voidaan havaita lämpövastuksen arvon kasvuna, mikä kertoo, ettei nuohous pysty irrottamaan kaikkea kerrostumaa pinnasta. Tuloksista nähdään, että

jokaisella jaksolla pysyvää kerrostumaa kertyy hieman, mutta jaksojen välillä ei ole merkittävien suuria eroja. **Käytetyillä ruokohelven osuuksilla ei ole vaikutusta pysyvien likakerrostumien muodostumiseen.**



Kuva 57. Kerrostuman lämpövastus sondin tulopinnalla eri mittausjaksoilla. Lämpövastus kasvaa kerrostumien muodostumisen myötä.

Lyhyen aikavälin likaantumista voidaan havaita etenkin sondin jättöpinnalla kerrostuman lämpövastuksen nousuna nuohousvälillä. Jos lämpövastus putoaa edellisen nuohouksen jälkeiseen arvoon, kaikki nuohousvälillä kertynyt kerrostuma saadaan poistettua nuohouksessa. Jättöpinnalle kerrostuu yleensä lentotuhkasta tietyn kokoluokan partikkeleita (riippuu virtausnopeudesta), jotka jäävät putken jättöpuolen pyörteeseen. Yleensä nämä hiukkaset irtoavat helposti nuohouksessa. Kuvassa 58 esitetyistä tuloksista nähdään, että referenssi-jaksolla nuohousväleillä kerrostumaa kertyy eniten ja syksyn helpijaksolla vähiten. Tämä nähdään jättöpinnan kerrostuman lämpövastuksen ”amplitudista” nuohousvälillä. Nuohousväli oli jokaisella jaksolla keskimäärin sama 6 h. Selvää yhteyttä nuohottavien likakerrostumien muodostumiseen käytetyillä ruokohelven osuuksilla ei voida kuitenkaan olettaa olevan, vaan vaihtelut johtuvat lähinnä muiden biopolttoaineiden ja turpeen suhteesta sekä kattilan kuormatasosta.



Kuva 58. Sondin jättöpinnan kerrostuman lämpövastukset mittausjaksoilla. Lämpövastus kasvaa kerrostumien muodostumisen myötä, mutta jokainen nuohous laskee vastuksen arvot nopeasti alas.

Polttoaineseoksen lisäksi kattilan kuormassa tapahtuvat muutokset vaikuttavat lämmönsiirtimien likaantumismekanismeihin. Mitä suuremmat ovat polttoaineen massavirrat, sen suurempi määrä tuhkaa kulkee lämmönsiirtimien läpi. Toisaalta myös savukaasun massavirta kasvaa kuorman noustessa ja siten myös virtausnopeudet kattilan eri vedoissa kasvavat, mikä vaikuttaa lentotuhkan määrään ja sen partikkelikokoon. Muun muassa näistä asioista johtuen erikokoiset partikkelit jäävät eri kohtiin kattilaa ja likaantuminen muuttuu eri kuormatasoilla.

Savukaasun lämpötilasta riippuvat likaantumismekanismit muuttuvat kattilassa savukaasun virtaussuunnassa eteenpäin mentäessä. Savukaasun lämpötila eri kohdissa kattilaa vaikuttaa tuhkan tarttumismuodostuksiin, jotka riippuvat seospoltossa mm. polttoaineseoksen eri tuhkakomponenttien reaktioista keskenään. Mitä suurempi savukaasun lämpötila on, sen suurempi osa tuhkapartikkeleista on sulassa muodossa, jolloin partikkelit tarttuvat helpommin kiinni lämmönsiirtimien pinnoille. Kuormatason ja sen myötä lämpötilojen muuttuessa lämmönsiirtimien pinnoille voi muodostua erilaisia kerrostumia, joissa vuorottelevat erilaiset tiivistymisen tai kemiallisten reaktioiden kautta saapuneet aineet riippuen siitä, miten savukaasun lämpötila on kyseisen lämmönsiirtimen

kohdalla vaihdellut. Kuormatason vaihtelun aiheuttaman lämpölaajenemisen seurauksena tuhkakerrostumat voivat myös pudota pois lämmönsiirtimien pinnoilta tai niiden rakenne voi muuttua niin, että ne ovat helpommin nuohouksella poistettavissa. Kerrostuman putoamiseen ja siten sen lämpövastuksen pienenemiseen voi olla syynä lämmönsiirto-putkien ja tuhkakerrostumien erilainen lämpölaajenemiskerroin.

Rauhalahdessa I-tulistin likaantuu eniten sen vuoksi, että sen lämpökuormitus on korkealla sen mitoitusarvoihin nähden. I-tulistimen putkijako on tiheämpi kuin pitäisi nykyisellä lämpökuormituksella olla ja samalla lämpötilaero metallin pinnasta savukaasuun on suuri. Tällöin tuhkapartikkelit takertuvat helpommin kiinni putkien pinnoille ja putkien väleihin ja saattavat tukkia sen kokonaan. I-tulistimelle tulevan savukaasun lämpötila muuttui mittausjaksojen aikana kuorman mukaan välillä 600–900 °C. Faasidiagrammien perusteella kaliumin ja kalsiumin sulfaattiseoksessa (K_2SO_4 - $CaSO_4$), josta syksyn 2004 seisokissa otetut kerrostumat pääosin koostuivat, sulaminen alkaa 850 °C:ssa, jolloin muodostuu nestettä koostumuksella 60 % K_2SO_4 :a ja loput $CaSO_4$:a. Alkalit seoksessa tulevat pääosin puupolttoaineista ja rikki turpeesta. Lämpötilan perusteella voimakas likaantuminen I-tulistimella alkaa kuormatason ylittäessä 85 kg/s. Osa-kuormalla tulistimien pinnalle sulanutta pysyvää kerrostumaa ei muodostu ollenkaan.

8.6.3 Sondien holkkien kuumakorroosiotarkastelut

Kaksi kappaletta kevään koejaksoilla altistuksessa ollutta metalliholkkia tarkasteltiin kuumakorroosioaurioiden arvioimiseksi. Näytteiden materiaalina oli 10CrMo 9 10 III (myöhemmin 10CrMo). Holkki 1 oli helpijaksolla (333 h) ja holkki 2 oli referenssijaksolla (332 h). Holkit oli valettu hartsiin kattilasta ulos ottamisen jälkeen. Näytteiden poikkeilikkauksia tarkasteltiin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla ja siihen liitetyllä röntgenanalyysaattorilla (SEM/EDS) neljästä eri kohdasta: tulo (180° viivasta), tulo +45°, tulo -45° ja jätö (merkitty viivalla).

Näytteiden oksidikerrosten ja sakkakerrosten paksuudet on esitetty liitteessä D. Tulopuolella oksidin maksimipaksuus tarkastelluilla kohdilla vaihteli 2–30 µm:iin ja kerrostuman 1–4 µm:iin. Jätöpuolella kerrostumaa oli runsaammin noin 70–110 µm, ja referenssijossa olleesta näytteestä löydettiin ohut oksidikerros metallin pinnalta. Kerrostumien koostumus oli molemmilla näytteillä melko samankaltainen. Vertailutaulukko EDS-analyyseistä on esitetty liitteessä D.

Klooria löytyi molemmista näytteistä tulopuolen oksidista sekä muutamista kerrostumista. Vaikka kloorin määrät ovat pienet, niihin tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä kloori haihtuu kerrostumista herkästi huoneenlämpötilassa. Tästä johtuen kloorin aiheuttamaa kuumakorroosiota voi olla hankala tunnistaa, ja on syytä epäillä klooria olleen

enemmän, jos edes vähän klooria pystytään havaitsemaan analyysissä. Rikin määrä oksidissa oli molemmissa näytteissä samaa suuruusluokkaa, kerrostumat sisälsivät paikoitellen erittäin runsaasti rikkiä. Kaliumia löytyi molemmista näytteistä erityisen runsaasti +45°:n tulokulmasta sekä referenssiajon jättöpuolen kerrostumasta. Kalsiumia löytyi myös kerrostumista runsaasti, erityisesti helpiajon jättöpuolen ja referenssiajon +45°:n tulopuolen kerrostumista.

Helpiajossa ollut holkki 1 oli syöpynyt altistuksessa jonkin verran. Oksidi sisälsi raudan, hapen ja kromin lisäksi rikkiä ja tulopinnalla klooria. Referenssiajossa ollut holkki 2 oli syöpynyt altistuksessa runsaammin. Oksidi sisälsi raudan, hapen, kromin ja piin lisäksi rikkiä ja jättöpuolelta klooria.

Analyysien perusteella **voidaan yhteenvetona todeta, että käytetyillä helven osuukilla ei kuumakorrosioriskejä ole lainkaan**. Suuremmat syöpymisnopeudet saatiin itse asiassa referenssijaksolla ilman helpeä, vaikka olosuhteet (lämpökuorma) kattilassa olivat tuolloin jopa alhaisemmat kuin helpijaksolla. Myöskään metallin pinnalta analysoiduissa kloorin määrissä ei ollut merkittäviä eroja.

8.6.4 Kerrostuma- ja tuhkanäytteiden analyysit

Kerrostuma- ja tuhkanäytteiden alkuainekoostumukset määritettiin XRF-menetelmällä. Näytteistä määritettiin fluori (F) ja sitä raskaammat alkuaineet lukuun ottamatta jalo-kaasuja, yhteensä 79 alkuainetta. Menetelmän määritysraja on luokkaa 0,01 %. Kevään mittausjaksojen analyysitulokset on esitetty liitteen E taulukoissa 1 ja 2. Vertailutietona taulukossa 1 on esitetty vuoden 2006 sondin tulopinnan kerrostuman koostumus turpeen ja biomassan seospoltosta. Lisäksi liitteen taulukossa 3 on esitetty syksyn mittausjakson lentotuhkan analyysitulokset sekä vertailutietoa turpeen ja biomassan seospoltosta ilman helpeä syyskuussa 2007. Alkuaineet, joita ei ole lueteltu tulostaulukossa, ovat pitoisuudeltaan alle määritysrajan.

Analyysien perusteella voidaan todeta, että kevään **helven polton aikana ei lentotuhkan ominaisuuksissa tapahtunut merkittäviä muutoksia eivätkä arvot poikkea merkittävästi verrattuna puun ja turpeen seospolttoon** (vuonna 2006). Myöskään sondien kerrostumien analyyseissä ei eroja ole käytännössä nähtävissä. Esim. Cl-pitoisuudet ovat kaikissa analysoiduissa näytteissä hyvin maltillisilla tasoilla.

8.6.5 Johtopäätökset polton seurannasta

Koejaksojen tulosten perusteella ei havaittu merkittäviä eroja kattilan likaantumisenopeuksissa eri koejaksoilla. Käytetyillä ruokohelven osuuksilla ei ole vaikutusta pysyvien likakerrostumien muodostumiseen. Vaihtelut nuohottavien likakerrostumien muodostumisessa johtuvat lähinnä muiden biopolttoaineiden ja turpeen suhteesta sekä kattilan kuormatasosta. Analyysien perusteella voidaan todeta, että käytetyillä helven osuuksilla ei kuumakorrosioriskejä ole lainkaan. Suuremmat syöpymisnopeudet saatiin referenssijaksolla ilman helpeä, vaikka olosuhteet (lämpökuorma) kattilassa olivat tuolloin alhaisemmat. Myöskään lentotuhkan ominaisuuksissa kevään helven polton aikana ei tapahtunut merkittäviä muutoksia eivätkä tuhkan pitoisuusarvot poikkeaa merkittävästi verrattuna puun ja turpeen seospolttoon. Vastaavasti sondien kerrostumien koostumuksissa ei ole eroja nähtävissä. Esim. Cl-pitoisuudet olivat kaikissa analysoiduissa näytteissä hyvin maltillisilla tasoilla.

9. Ruokohelven käyttö Kokkolan voimalaitoksella

Kokkolan Voima Oy:n kaukolämpövoimalaitos aloitti toiminnan vuoden 2001 lopulla. Laitoksen sähköteho on 20 MW, lämpöteho 50 MW ja polttoaineteho 78 MW. Laitoksen kerrosleijukattilan höyryarvot ovat: paine 80 bar, lämpötila 482 °C ja määrä 27 kg/s. Yhtiö tuottaa Kokkolan Energian myymästä kaukolämmöstä noin 95 % ja sähköstä vajaaat 20 %.

Kokkolan voimalaitoksen polttoaineet ovat jyrshinturve sekä erilaiset puupolttoaineet (metsähake ja metsäteollisuuden sivutuotteet) ja uutena ruokohelvi. Alkuvuosina turpeen osuus oli noin 75 %, mutta biopolttoaineiden osuus on noussut suunnitellusti vuositasona jo noin 50 %:iin. Vuoden 2008 tavoitteena on käyttää turvetta noin 160 GWh, metsäteollisuuden sivutuotteita 50 GWh, metsähaketta 95 GWh ja ruokohelpeä 15 GWh.

9.1 Polttoaineiden käsittely laitoksella

Kokkolan Voima Oy on etsinyt ennakkoluulottomasti uusia ratkaisuja biopolttoaineiden osuuden lisäämiseksi ja käytön turvaamiseksi ympäri vuoden. Tästä on esimerkkinä mahdollisuus varastoida valmiita puupolttoaineita suuria määriä laitoksen asfaltoidulla polttoainekentällä (kuva 59). Kentältä biopolttoaineet siirretään kauhakuormajalla laitoksen vastaanottoon, jossa ne sekoittuvat turpeeseen ennen kattilaan syöttöä. Suurinta biopolttoaineiden varastoamaa (75 000 m³) on lisäksi mahdollisuus kuivata läpipuhalluskuivauksella ja siten parantaa polttoaineen laatua talven lämmityskautta varten.



Kuva 59. Kokkolan voimalaitoksen polttoainekentälle varastoituja biopolttoaineaumoja (kuva: Risto Impola).

Kokkolan voimalaitos on aikaisemmin kokeillut pieniä määriä ruokohelpeä. Helpi on toimitettu laitokselle paaleina, jotka on murskattu metsäenergian kanssa samanaikaisesti laitosalueella mobiilimurskaimilla. Murskaaminen on ollut työlästä ja aiheuttanut pölyongelmia. Murskattu metsähakkeen ja ruokohelpisilpun seos on varastoitu polttoainekentällä varastokasoissa. Laitoksella oli kokemusta myös helpipaalien varastoinnista kesän yli laitoksen pihalla. Peittämättöminä paalit kastuivat jonkin verran.

Vaikka murskattu ruokohelppi sekoitettiin jo murskausvaiheessa metsähakkeeseen, se aiheutti polttoaineen käsittely- ja syöttölinjassa joitakin ongelmia. Kiekkoseula erotti ylitteeseen osan helpisilpusta kuten monella muullakin laitoksella. Kattilasiiloissa ruokohelppi kerrostui, mikä vaikeutti purkuruuvien toimintaa ja polttoaineiden luotettavaa seostamista ennen polttoa. Ruokohelven osuutta seospoltossa rajoittaa syöttöruuvien kapasiteetti helpisilpun alhaisen energiatiheyden takia.

9.2 Ruokohelven erillissyöttö Kokkolan voimalaitoksella

Kokkolan voimalaitos on lähtenyt kehittämään uutta peltobiomassojen käsittely- ja syöttöjärjestelmää, jotta ruokohelven osuutta voidaan lisätä hallitusti sekä välttää helven aiheuttamat ongelmat perinteisessä seospoltossa. Vuoden 2007 aikana laitokselle on rakennettu järjestelmä, jolla ruokohelppi saadaan kattilaan erillissyöttönä. Järjestelmä sisältää helpipaalien varastoinnin katetussa tilassa, paalien murskauksen ja helpimurskeen syötön kattilaan erillisen pneumaattisen syöttölinjan avulla.

Asvaltoidulle kentälle on rakennettu reilun puolen hehtaarin kokoinen varastointikatos (80 x 60 x 10 m), johon viljelijät toimittavat osan helpipaaleista suoraan keväällä korjuun jälkeen. Osa sadosta varastoidaan peitettynä tuotantoalueiden läheisyydessä. Varastohalliin on sijoitettu myös paalien murskauslinja (kuva 61).



Kuva 60. Kokkolan voimalaitokselle rakennettu katettu helpipaalien varastohalli, jossa myös paalit murskataan (kuvat: Samuli Rinne).



Kuva 61. Ruokohelpipaalien tanskalainen Reka-murskain ja noin 50 m pitkä paalien syöttölinja (kuvat: Samuli Rinne).

Laitos valitsi murskaimeksi tanskalaisen Reka-murskaimen. Murskaus tapahtuu hitaasti pyörivään isoon rumpuun kiinnitettyjen terien ja kiinteiden vastahampaiden välissä. Kyseistä murskainta käytetään mm. Tanskassa olkipaalien murskaamiseen pienessä kokoluokassa arinakattiloiden yhteydessä. Hitaasti pyöriessään murskaus ei aiheuta pölyämistä kuivillakaan helpipaaleilla, millä on vaikutusta sekä paloturvallisuuteen että ympäristön puhtaanapitoon. Murskaimen maksimikapasiteetti on noin 1 500kg/h. Murskaimen rumpua pyörittää kaksi 7,5 kW:n moottoria.

Kokkolan murskain on varustettu erikoispitkällä lähes 50 m:n pituisella paalilinjalla, kun normaalisti käytetään vain 7 m:n paalirataa. Kun paalien murskaus on suunniteltu miehittämättömäksi, pitkän syöttölinjan ansiosta paalien nostelua linjalle tarvitsee tehdä vain muutaman kerran vuorokaudessa. Syöttölinja ja murskain on suunniteltu siten, että sillä voidaan murskata erikokoisia kanti- ja pyöröpaaleja.

Murskaimen rummun alla oleva ruuvi siirtää helpisilpun murskaimen vieressä olevan sulkusyöttimen kautta pneumaattiseen kuljetusputkeen. Putken halkaisija on 100 mm ja pituus murskaimelta kattilaan yli 100 m. Ruokohelven syöttö pneumalinjalla tapahtuu samalla tasolla ja samalta puolelta kattilaa kuin muunkin polttoaineen syöttö. Syöttöpiste on kahden seospolttoaineen syöttötorven välissä (kuva 62).



Kuva 62. Pneumaattinen syöttölinja varastohallilta kattilarakennukseen ja syöttö suoraan kattilaan seospolttoaineiden syöttökohtien välissä (kuvat: Risto Impola).

Talvella 2008 ruokohelven murskaus- ja syöttölaitteisto on ollut koekäytössä, jolloin sekä murskauslinjaan että pneumaattiseen syöttölinjaan on tehty muutoksia ja täydennyksiä.

Murskauksen osalta ongelmat keskittyivät pitkän paaliradan toiminnan kehittämiseen. Tällaista pitkää, useasta eri lohkokosta koottua syöttöpöytää ei aikaisemmin ole rakennettu, joten varsinkin ohjauksen osalta kehitystarvetta on ilmennyt. Erimuotoiset ja kokoiset helpipaalit tuottavat todennäköisesti myös jatkossa ongelmia sekä syöttölinjalla että murskaimelle syötössä, samoin liian löysät ja rikkoutuneet paalit. Myös liian kosteiden paalien murskauksessa on ollut ongelmia. Paalinarut ovat menneet murskaimesta läpi, kun taas paaliverkoista on ollut ongelmaa murskaimessa.

Pneumaattiseen syöttölinjaan on koeajojen aikana tehty muutamia muutoksia, esimerkiksi sulkusyötin on vaihdettu suuremmaksi ja toimintaperiaatteeltaan erilaiseksi.

Koska uuden linjan koeajojen aikana ei päästy riittävän pitkiin ajojaksoihin, eri osapuolten (laitos, kattilavalmistaja, VTT) yhteisesti suunniteltuja käsittelyyn, polttoon ja kattilankäyttäytymiseen liittyviä eri tehotasoilla ja helven seossuhteilla tehtyjä koejaksoja ei pystytty tekemään.

Murskaus- ja syöttölinja on mitoitettu siten, että Kokkolan Voima Oy:n noin 15 GWh:n peltoenergiatavoite voidaan saavuttaa. Tuo määrä vastaa 5 % laitoksen käyttämästä koko polttoainemäärästä ja noin 10 % kaikesta biopolttoaineesta. Ruokohelpi hankitaan pääosin omilta sopimusviljelijöiltä. Heitä on tällä hetkellä noin 50 kpl, ja viljelypinta-ala on noin 600 ha. Viljelijät kuljettavat helven osin itse laitokselle lähialueelta traktorikuljetuksena. Matkan kasvaessa paalit kuljetaan risutukkiautoilla, joihin on saatu parhaimmillaan mahtumaan noin 70 pyöröpaalia eli 15 tonnin kuorma. Suurkantipaaleilla kuormakokoa on voitu kasvattaa hieman suuremmaksi. Sopimusviljelijöiden suora käyttö

lisää laitoksella peltoenergian käyttöön liittyvää byrokratiaa liittyen mm. maatalouden viljelytukiin.

Kokkolan voimalaitoksella käyttöönotetun uuden murskaus- ja syöttölinjan suurimpia etuja ovat

- helppi voidaan toimittaa paaleina laitokselle
- laitos voi vastaanottaa osan tarvitsemastaan peltoenergiasta heti keväällä tuotantokauden jälkeen katettuun varastoon
- katetussa varastossa helpipaalit säilyvät kuivina
- lämmityskauden aikana varastoon voi ottaa tarvittaessa uusia paaleja riippumatta murskauslinjan toiminnasta
- paaleja on aina saatavissa murskaimelle eikä helven käyttö ole sidoksissa kuljetuslogistiikkaan
- pitkän paaliradan ansiosta murskauslinja voi käydä miehittämättömänä pitkiä aikoja
- murskauslinja on suunniteltu siten, että laitos voi vastaanottaa erikokoisia ja muotoisia paaleja – linjan käyttövarmuus kuitenkin lisääntyy käytettäessä riittävän ehjiä ja tiiviitä kanttipaaleja
- peltoenergian erillissyöttö kattilaan saakka ei häiritse muiden polttoaineiden vastaanottoa, laituskäsittelyä ja kattilaan syöttöä – ruokohelven käytössä on yleensä eniten ongelmia juuri laitoksen käsittelyjärjestelmässä
- laitoksen ja polttoainetoimittajan ei tarvitse huolehtia helven sekoittamisesta muuhun polttoaineeseen ennen kattilaan syöttöä
- hitaasti pyörivä murskain aiheuttaa vähemmän ympäristöön leviävää pölyä.

10. Oljen energiakäyttö Tanskassa

10.1 Oljen korjuu

Tanskassa laajamittaista oljen korjuuta energiantuotantoon on harjoitettu vuosikymmeniä. Vuosittain korjataan oljet polttoon noin 400 000 ha:n alalta. Korjuuteknologiat, kuljetuslogistiikka ja polttoteknologiat ovat tuona aikana ehtineet hioutua hyvin tehokkaiksi. Käsittelyketjuista valtaosa on sovellettavissa kotoiselle ruokohelvelle, oikeastaan vain niitto tehdään eri tavalla.

Tanskassa olkisadot ovat tyypillisesti 3–4 tonnia/ ha ja leikkuupuimureiden työleveudet suuria (esimerkiksi 6–9 m), joten olkea ei välttämättä tarvitse karhottaa suurellekaan korjuukoneelle. Jos sato on heikko tai sade on kastellut karheet, niitä voidaan pöyhiä ja yhdistellä. Pöyhintää pyritään kuitenkin välttämään, koska tällöin osa olkisadosta (mm. ruumenet) varisee maahan helposti. Aiemmin olkea pyrittiin ”harmaannuttamaan” pellolla eli annettiin syyssateiden huuhtoa poltolle haitallisia aineita (klooria ja alkaleita) pois ja korjuu tehtiin vasta myöhemmin syksyllä. Tästä strategiasta on kuitenkin luovuttu sääriskin takia ja koska viljelijöillä on syksyllä kiire päästä kylvämään uusia kasvustoja. Polton kannalta tärkeintä on, että olki on tuleentunut kunnolla (keltaista) ja riittävän kuivaa (< 16 %). (Nikolaisen ym., 1998.)

Käytännössä kaikki kaupallista energiantuotantoa harjoittavat lämpölaitokset hyväksyvät vain yhdenkokoisia kanttipaaleja, joiden mitat ovat 1,2 x 1,3 x 2,4 m (leveys x korkeus x pituus). Yksi paalikoko helpottaa paalien käsittelyä kuormauksessa ja voimalaitosten automaattilinjooilla. Yksittäiset viljelijät saattavat käyttää omissa lämpökeskuksissaan myös pyöröpaaleja tai pienempiä kanttipaaleja. Irtosilppukorjuu on hyvin harvinaista.

Uusien suurkanttipaalainten paalien painot ovat olleet noin 650 kg (15 %:n kosteudessa), josta voidaan laskea kuutiopainoksi 177 kg/m³. Vanhemman mallisilla paalaimilla paalit painoivat samassa kosteudessa noin 500 kg, jolloin kuutiopaino oli 136 kg/m³. Paalainten tekniikassa on siis tapahtunut kehitystä. Suomessa kanttipaalaimilla on saatu ruokohelvellä parhaimmillaan 200 kg:n kuutiopainoja (15 %), mutta tiedämme, että ruokohelvi on aavistuksen verran helpommin tiivistyvää materiaalia kuin vastapuitu olki. Toisaalta matala paali täyttyy korkeaa paalia tasaisemmin, joten tiheys voikin olla suurempi. (Danish Technological Institute, 2007, Lötjönen & Isolahti, 2007)

Paalainten perässä on usein kokoojavaunu, jolla paalit voidaan siirtää pellon päisteisiin lastauksen nopeuttamiseksi. Vaunuun mahtuu 2–3 paalia (kuva 63). Automaattihydrauliikka hoitaa paalien siirron vaunun reunoille ja kippaa kuorman tyhjäksi päisteessä (kuva 63).



Kuva 63. Perävaunu, jolla paalit siirretään valmiiksi lohkon päihin.

Energiaolkipaalit varastoidaan pressujen alla ulkona tai kiinteissä, usein seinättömissä varastokatoksissa. Useimmiten sama urakoitsija hoitaa Tanskassa oljen korjuun, välivarastoinnin ja myynnin sekä kuljetukset lämpölaitoksille. Yhdellä urakoitsijalla voi olla 10 kanttipaalainta ja 10 000 ha olkea korjattavanaan vuodessa.

Vaikka Tanskassa polttolaitokset hyväksyvät vain 1,3 m korkeat, ns. Hesston-kanttipaalit, Suomessa ruokohelvellä voi olla järkevämpi käyttää matalampia 0,7–0,8 m korkeita kanttipaaleja. Tällaisella paalaimella voidaan helven lisäksi korjata myös säilörehua, koska paalit eivät tule vielä liian painaviksi. Monikäyttömahdollisuus tietysti alentaa kustannuksia. Matalammat paalit todennäköisesti hyödyntävät paremmin suomalaisrekkojen kuormatilan kuin 1,3 m korkeat Hesston-paalit. Toisaalta isojen paalien keruu pellolta ja kuormaus kaukokuljetukseen sujuu nopeammin kuin pienempien paalien.

10.2 Kaukokuljetus

Paalien lukumäärä kuljetuksessa Tanskassa on 24 kpl, joten massa on 12–15,6 t ja energiamäärä 49–63 MWh (kuva 64). Tässä suhteessa Suomessa kuormakoot ovat hieman isompia. Tanskassa sekä vetoautoon että perävaunuun ladotaan yhteen kerrokseen kolme paalia peräkkäin pitkittäin aseteltuna. Kuormatilan yhteispituus on 14,4 m, mikä on lyhyempi kuin Suomessa käytettävissä rekoissa.

Tanskassa viljanviljely tapahtuu suurilla ja yhtenäisillä peltoalueilla. Oljen kuljetusmatkat ja -kustannukset ovat oletettavasti pienempiä kuin Suomessa Tanskan pienen koon takia.



Kuva 64. Olkipaalien kuljetusta laidattomilla rekka-autoilla (kuva: Danish Technological Institute).

10.3 Oljen käyttö laitoksissa

10.3.1 Oljen poltto arinakattilassa Avedoressa

Avedore 1 -yksikössä on hiilipölykattila, joka tuottaa 250 MW sähköä tai 215 MW sähköä ja 330 MW lämpöä. Avedore 2 -yksikössä on kaksi kattilaa ja kaasuturbiinilaitos. Pääkattila on 800 MW_{th} USC -läpivirtauskattila (300 bar, 580/600 °C), jonka polttoaineena ovat raskas polttoöljy, maakaasu sekä puupelletit. Pääkattilan kanssa samaan höyrypiiriin on yhdistetty arinakattila, jolla tuotetaan oljella 40 MW sähköä ja 50 MW lämpöä. Biomassakattilassa on vesijäähdytteinen täryarina, ja kattilan suunnittelussa on otettu huomioon oljen lämpöpintoja likaavat ja korrodoivat tekijät, jolloin sitä voidaan ajaa ilman suurempia käytettävyysoongelmia. Kattilan lämpöpinnat puhdistetaan normaalisti kerran vuodessa. Olkea käytetään vuodessa 150 000 t, joka vastaa n. 10 %:n energiaosuutta Avedore 2:n polttoainekäytöstä.

Avedoressa paalit syötetään varastosta neljälle rinnakkaiselle linjalle. Purkaja irrottaa oljen paalista ja löysä olki putoaa suoraan kuljetusruuveille, joita on kaksi rinnakkain kussakin neljässä linjassa. Suurkantipaaleista purettua silppuamatonta olkea syötetään kattilaan 25 tonnia tunnissa ruuvisyöttimillä. Paalinarut irrotetaan automaattisesti, mutta niitä ei poisteta. Silppu siis syötetään kattilaan sen pituisena kuin se paalissa on. Ennen ruuveja on sulkulevy, jolla syöttölinja voidaan häiriötilanteessa sulkea. Oljen kosteuden yläraja on 24 %. Kosteampi olki aiheuttaa tukkeumia syöttöruuveissa. Oljen hinta on noin 16 euroa/MWh, ja sitä kuljetetaan pisimmillään 150 km:n etäisyydeltä.

10.3.2 Oljen yhteispoltto hiilen kanssa Studstrupissa

Hiilikattiloita on nykyisin kaksi, joiden sähköteho kattilaa kohden on 350 MW. Kattilat ovat läpivirtauskattiloita, joiden höyryn arvot ovat 540 °C ja 250 bar. Kattiloissa on 24 low-NO_x-poltinta, joista toisessa kattilassa neljä kappaletta on varustettu oljen polttovalmiudella. Oljen polttoa varten hiilipolttimia on modifioitu siten, että olki syötetään polttimien keskeltä ja hiili reunoilta, jolloin olki ja hiili eivät sekoitu. Murskattu olki syötetään toiseen kattilaan neljää linjaa myöten, jolloin oljen syöttönopeus on yhteensä 20 tonnia tunnissa. Olkea poltetaan kaikkiaan 120 000 tonnia vuodessa, ja tavoite käytölle on 143 000 t/a. Oljen energiaosuus on maksimissaan 10 %, jolloin kloori- ja kaliumpitoisen oljen polton aikaiset kattilan lämpöpintojen likaantumis- ja kuumakorroosio-ongelmat pystytään pitämään hallinnassa.

Studstrupin laitoksella vastaanoton jälkeen paalit murskataan ja kattilaan syöttö tapahtuu pneumaattisesti. Oljen kosteus on 11–12 % ja maksimissaan se saa olla 20 %. Automaattisen narunpoiston jälkeen paalit puretaan aluksi kiinteäteräistä murskainta muistuttavalla laitteella, joka kuitenkin pyörii hitaammin ja jonka terät ovat tylsät. Tämän jälkeen olki esimurskataan. Syötön tasaamiseksi tätä seuraavat pöyhimpiikit, joiden jälkeen on kivenpoisto. Lopulliseen palakokoon olki murskataan vasaramurskaimella, jonka moottoriteho on peräti 315 kW. Olki imetään murskaimille siten, että poistopuolella on alipaine, joka vaikuttaa myös murskainten syöttöpuolelle. Murskaimelta olki putoaa ruuvikuljettimelle, joka siirtää sen sulkusyöttimen ja ejektorin kautta pneumasiirtolinjaan. Tukoksia pneumalinjoissa on keskimäärin pari kertaa kuussa, mutta ne voidaan paikantaa pitkin linjaa asennettujen painemittarien avulla. Alkuperäiset putkimutkat pneumalinjoissa eivät kestäneet, jonka vuoksi mutkat on vahvistettu Hardox-kulutusteräksellä.



Kuva 65. Olkipaaleja Dong Energyyn Studstrupin voimalaitoksen paaliradalla menossa murskaukseen. Oikealla näkyvät paalinosturit. Rekkoja purettaessa nosturien pihdeissä olevat anturit mittaavat paalien kosteuden mikroaaltotekniikkaan perustuen (kuva: Samuli Rinne).

10.3.3 Olkipellettien poltto pölypolttokattilassa Amagerissa

Amagerin voimalaitoksessa kolmesta yksiköstä yksi on puhtaasti hiilipölykattila, jonka kattilateho on 350 MW. Kakkosyksikkö on muutettu hiilikattilasta pölypolttokattilaksi olkipelletiteille, mutta kattilan tulistimia ja muita kattilan sisäosia ei ole muutettu. Olkiyksikön kattilateho on 263 MW, kaukolämpöteho 130 MW, sähköteho 50 MW ja sen höyrynarvot ovat 93 bar ja 450 °C. Olkipellettejä käytetään 110 000 tonnia vuodessa ja niiden hinta on noin 23 euroa/MWh.

Ennen kattilaan syöttöä olkipelletit jauhetaan hiilijauhimilla, jotka on modifioitu oljelle. Olkikattila pysäytetään ja sen lämpöpinnat puhdistetaan jopa kolmen viikon välein. Puhdistamisessa käytetään ns. räjäytystekniikkaa, joka pudottaa kuonaa pois lämpöpinoilta. Kolmannen yksikön uudistus on valmisteilla monipolttoainekattilaksi, jossa voidaan polttaa sekä olkipellettejä että puupellettejä, mutta myös hiiltä ja öljyä – kaikkia tarvittaessa 100 %:n osuudella. Vattenfallille on valmistumassa Fynsverketin voimalaitoksella vuonna 2009 uusi olkikattila, jonka teho on 108 MW. Olkea tullaan käyttämään 170 000 t vuodessa. Laitos- ja polttotekniikka on sama kuin Avedoressa eli kyseessä on liikkuva vesijäähdytteinen Bioenerin viistoarina.

10.4 Tanskan mallin soveltaminen Suomeen

Tanskalainen malli on helpoimmin sovellettavissa Suomessa suurissa kivihilikattiloissa erityisesti oljelle. Esimerkiksi Vaskiluodon Voima Oy:n Vaasan voimalaitos on selvittänyt peltoenergian käyttöönottoa. Tavoitteena on korvata 10 % kivihielestä peltoenergialla, joka vastaisi jo 400 GWh olkea ja ruokohelpeä.

Suomessa yhdyskuntien ja teollisuuden suurten voimalaitosten vastaanottojärjestelmät on suunniteltu turpeelle ja puulle, ja kattilat ovat yleensä leijukerroskattiloita. Ruokohelpeä onkin tähän mennessä poltettu näissä laitoksissa seoksena turpeen ja puun kanssa siten, että seos siirretään kattilaan syöttölinjaa pitkin.

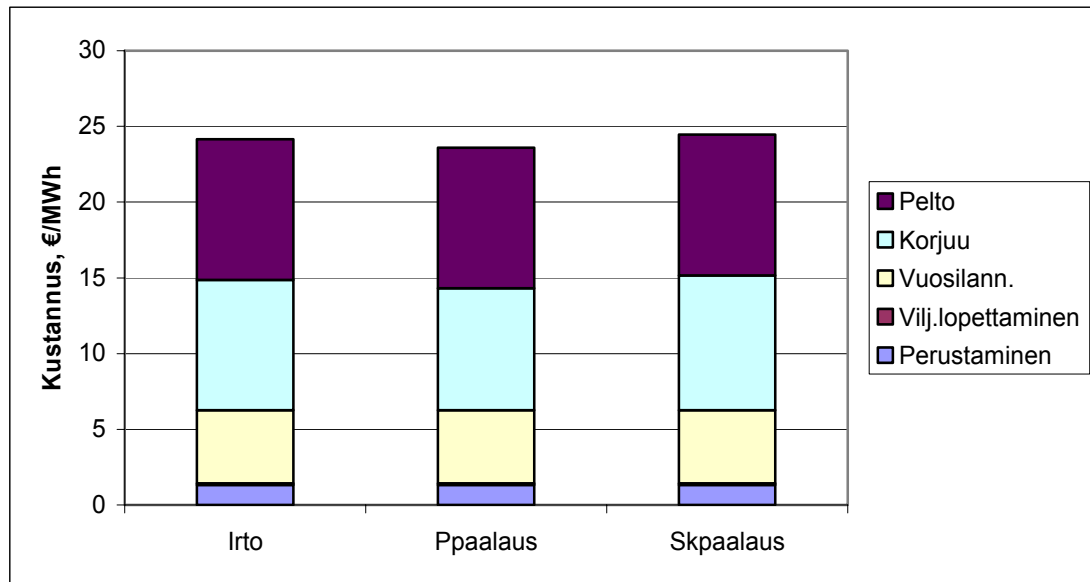
Kokkolan Voima on ensimmäisenä Suomessa lähtenyt soveltamaan tanskalaista mallia ja investoinut suuren katetun varaston helvelle voimalaitosalueelle. Halliin on hankittu myös paalien syöttölinja ja hidaskäyntinen Rekan murskain Tanskasta. Helpi siirretään pneumalinjaa myöten suoraan leijukerroskattilaan. Myös Vapo on hankkimassa ruokohelvelle omaa linjaa Ilomantsin laitoksella. Tulokset molemmissa laitoksissa ovat tärkeitä peltobiomassojen käsittely- ja polttojärjestelmien kehityssuunnan kannalta.

Suomessakin mielenkiintoinen ratkaisu uusissa laitoksissa voisi olla aivan erillinen peltobiomassakattila. Silloin järjestelmät voitaisiin suunnitella juuri peltobiomassoille sopiviksi. Tanskassa kokemukset oljella, joka on hyvin vaativa polttoaine korkeiden alkali- ja klooripitoisuuksien takia verrattuna ruokohelpeen, olivat haasteista huolimatta hyviä erillisestä poltosta.

11. Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset

11.1 Toimitusketjujen kustannustarkastelu

Ruokohelven tuotannon kustannuksia tarkasteltiin eri tuotantoketjuilla. Korjuu oletettiin tehtävän paaleina tai silppuna. Korjuun kustannuksia arvioitiin työvaiheittain maataloudessa toteutuneiden urakointihintojen perusteella (Palva & Laaksonen, 2007). Toinen mahdollisuus on laskea teoreettiset hinnat työvaiheittain, mutta tällöin kustannuksiin vaikuttavat oleellisesti oletukset koneiden vuosittaisista käyttömääristä. Korjuun kustannukset on esitetty kuvassa 66 ja tarkemmin liitteessä A. Laskelma on tehty olettaen satotasoksi 6 t_{ka}/ha, joka 20 %:n korjuukosteudessa on 7,5 t/ha ja 3,78 MWh/t. Viljelmän kiertoaika on 10 vuotta.



Kuva 66. Ruokohelven korjuun kustannukset.

Toimituslogistiikassa tarkasteltiin kolmea vaihtoehtoa: kuljetus viljelmiltä suoraan voimalaitokselle, viljely turvetuotantoalueella ja kuljetus voimalaitokselle turpeen seassa ja viljely pelloilla, siirto turvetuotantoalueilla ja kuljetus voimalaitokselle turpeen seassa. Lisäksi paalien murskaukseen oletettiin käytettävän mobiilimurskainta tai voimalaitoksen kiinteää murskainta, siten kun se ketjun logistiikkaan soveltui. Tarkasteltavat tuotanto- ja toimitusmenetelmät olivat:

- M1 – Irtokorjuu turvetuotantoalueella, toimitus turpeen seassa silppuna voimalaitokselle
- M2 – Irtokorjuu pellolla, siirto suolle ja toimitus turpeen seassa
- M3 – Irtokorjuu, kuljetus puhtaana helpenä voimalaitokselle

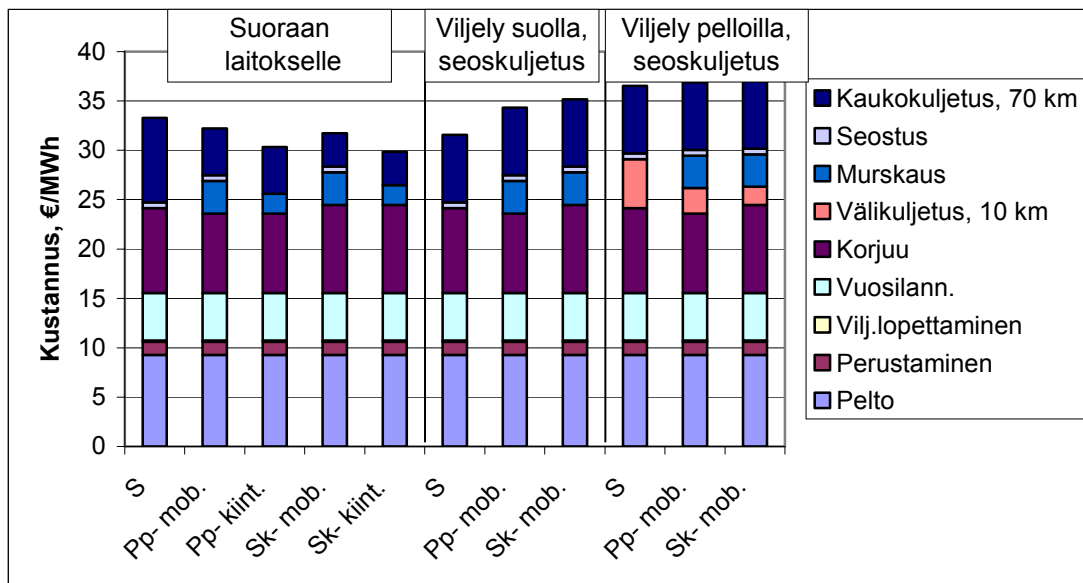
- M4 – Korjuu pyöröpaaleina turvetuotantoalueella, murskaus mobiilimurskaimella ja toimitus turpeen seassa voimalaitokselle
- M5 – Korjuu pyöröpaaleina pellolla, paalien siirto suolle, murskaus mobiilimurskaimella ja toimitus turpeen seassa voimalaitokselle
- M6 – Korjuu pyöröpaaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle ja murskaus mobiilimurskaimella
- M7 – Korjuu pyöröpaaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle ja murskaus voimalaitoksen kiinteällä murskalla
- M8 – Korjuu suurkanttipaaleina turvetuotantoalueella, murskaus mobiilimurskaimella ja toimitus turpeen seassa voimalaitokselle
- M9 – Korjuu suurkanttipaaleina pellolla, siirto turvetuotantoalueelle, murskaus mobiilimurskaimella ja toimitus turpeen seassa voimalaitokselle
- M10 – Korjuu suurkanttipaaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle ja murskaus mobiilimurskaimella
- M11 – Korjuu suurkanttipaaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle ja murskaus voimalaitoksen kiinteällä murskalla
- M12 – Irtokorjuu pellolla, silpun paalaus Orkel-paalaimella, kuljetus voimalaitokselle, paalien hajotus ja seostus turpeeseen.

Menetelmille laskettiin kokonaiskustannukset, joihin sisältyy helven viljely ja korjuu, kuljetukset ja paalien murskaus. Kaukokuljetusmatkaksi puhtaalle helvelle ja turvehelpiseokselle on oletettu 70 km ja välisiirron matkaksi viljelmiltä turvetuotantoalueelle 10 km. Turve-helpiseoksen kuljetuksessa rekka-autoon mahtuva energiamäärä voi olla hieman pienempi kuin puhtaan turpeen kuljetuksessa (luku 6.3). Tällöin on oletettu, että turpeen kuljetuksen yksikkökustannus (€/MWh) ei saa nousta seoskuljetuksessa puhtaan turpeen kuljetukseen verrattuna eli turve ei saa kompensoida helpiosuuden kalliimpaa kuljetuskustannusta. Näennäisesti helpi on edullista kuljettaa seoksessa, jos otetaan huomioon vain seoksen kokonaisenergiamäärä ja kuljetuksen keikkahinta.

Murskauksen kustannukseksi mobiilimurskaimella on oletettu 3,3 €/MWh ja voimalaitoksen kiinteällä murskalla 2 €/MWh. Menetelmissä, joissa paalien murskaus tehdään voimalaitoksen pihalla mobiilimurskaimella, oletettiin, että helpi täytyy vielä seostaa pääpolttoaineeseen ennen vastaanottomonttuun laittamista. Täksi kustannukseksi oletettiin sama kuin seostettaessa helpi turpeen sekaan aumalla rekka-autoon lastattaessa.

Menetelmien kokonaiskustannukset on esitetty kuvassa 67 ja numeroina liitteessä C. Kuvassa menetelmät on jaoteltu kolmeen ryhmään: helven vienti paaleina tai silppuna viljelmiltä voimalaitokselle, helven viljely turvetuotantoalueella ja vienti seoksena turpeen kanssa sekä helven viljely pelloilla / siirto turvetuotantoalueelle ja vienti seoksena turpeen kanssa. Menetelmien kustannukset ovat herkkiä alkuarvojen muutoksille. Siten

myöhemmin tässä raportissa esitettyjä johtopäätöksiä ja kommentteja menetelmien keskinäisestä edullisuudesta ei pidä tulkita liian kirjaimellisesti, ne ovat vain suuntaa antavia.



Kuva 67. Helven tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset (S = silppukorjuu, Pp = korjuu pyöröpaaleina, Sk = korjuu suurkanttipaaleina, mob. = mobiilimurskain ja kiint. = laitoksen kiinteä murskain).

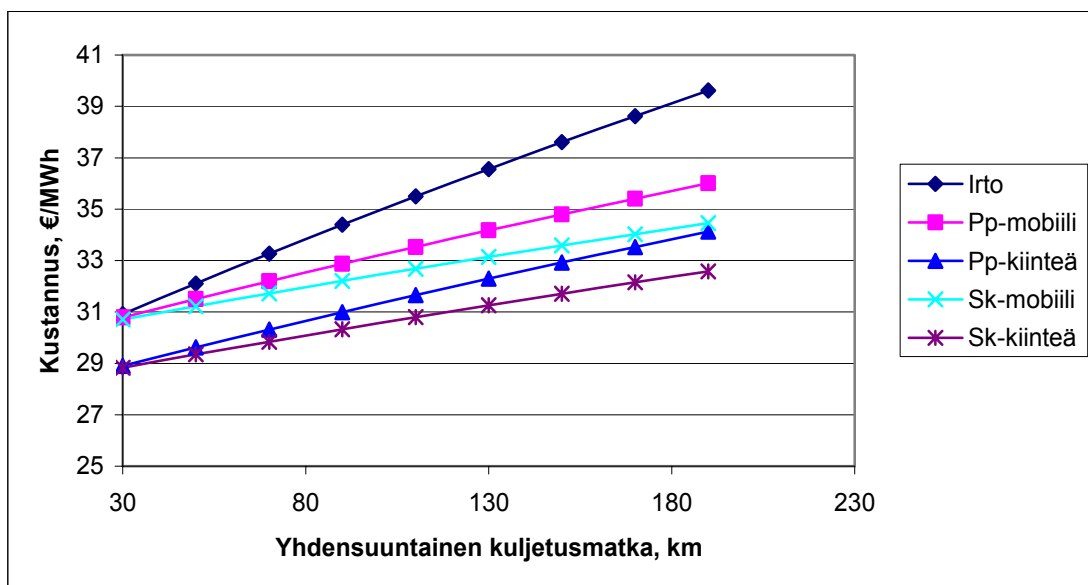
11.1.1 Helven kuljetus viljelmiltä suoraan voimalaitokselle

Suoraan voimalaitokselle kuljetetulla helvellä paalausmenetelmät ovat edullisempia kuin irtokorjuumenetelmä. Tämä johtuu siitä, että irtohelven kuljetus on kalliimpaa kuin paalien kuljetuksen ja murskauksen yhteiskustannus valitulla kaukokuljetusmatkalla (70 km). Paalausmenetelmässä helven murskauskustannus mobiilimurskaimella on hieman kalliimpaa kuin voimalaitoksen kiinteällä murskalla. Paalausmenetelmistä suurkanttipaalaus on hieman edullisempi kuin pyöröpaalaus edullisempien kaukokuljetuskustannusten takia. Pelkän paalauksen kustannus suurkanttipaalaimella voi olla jopa enemmän kuin pyöröpaalaimella.

Kaukokuljetusmatkan vaikutus menetelmien kustannuksiin on esitetty kuvassa 68. Edullisin menetelmä tarkastelluilla kuljetusmatkoilla on suurkanttipaalaus. Paalausmenetelmissä mobiilimurskaimen käyttö nostaa kustannuksia voimalaitoksen kiinteän murskaimen käyttöön verrattuna. Pyöröpaalaus on hieman kalliimpaa kuin suurkanttipaalaus korkeimpien kaukokuljetuskustannusten takia. Toisaalta hyvin lyhyillä kuljetusmatkoilla pyöröpaalaus voi olla edullisempaa, koska pelkän paalausvaiheen kustannus on pienempi kuin suurkanttipaaleilla. Lyhyillä matkoilla suurkanttipaalien edullisempi kuljetuskustannus ei tee siitä edullisempaa.

Kuvassa 67 menetelmä M12 esittää silppukorjuun ja silpun paalauksen (Orkel-paalain) yhdistelmää (paalauksen kustannus on esitetty pylväässä Murskaus). Suoraan laitokselle helpeä toimittavista menetelmistä tämän menetelmän kustannus ei ole halvin, vaikka menetelmän kaukokuljetuskustannukset ovat kaikkein pienimmät. Paalauksen kustannusta voidaan alentaa lisäämällä oletettua paalaimen vuosittaista käyttöaikaa (300 h). Toisaalta ketjun kustannuksiin ei ole laskettu mukaan paalien hajottamista voimalaitoksella. Jotta menetelmä olisi kilpailukykyinen perinteisten paalausmenetelmien kanssa, tulisi tämä paalien hajottaminen pystyä tekemään merkittävästi halvemmalla kuin normaalien paalien murskaus.

Irtokorjuu on laskennallisesti kallein menetelmä yli 30 km:n matkoilla. Tätä pienemmillä matkoilla silppu voisi olla paalausta edullisempi.



Kuva 68. Ruokohelven tuotanto- ja toimituskustannus paaleina ja silppuna suoraan voimalaitokselle toimitettaessa (Pp = pyöröpaali, Sk = suurkanttipaali, mobiili = mobiilimurskain ja kiinteä = voimalaitoksen kiinteä murskain).

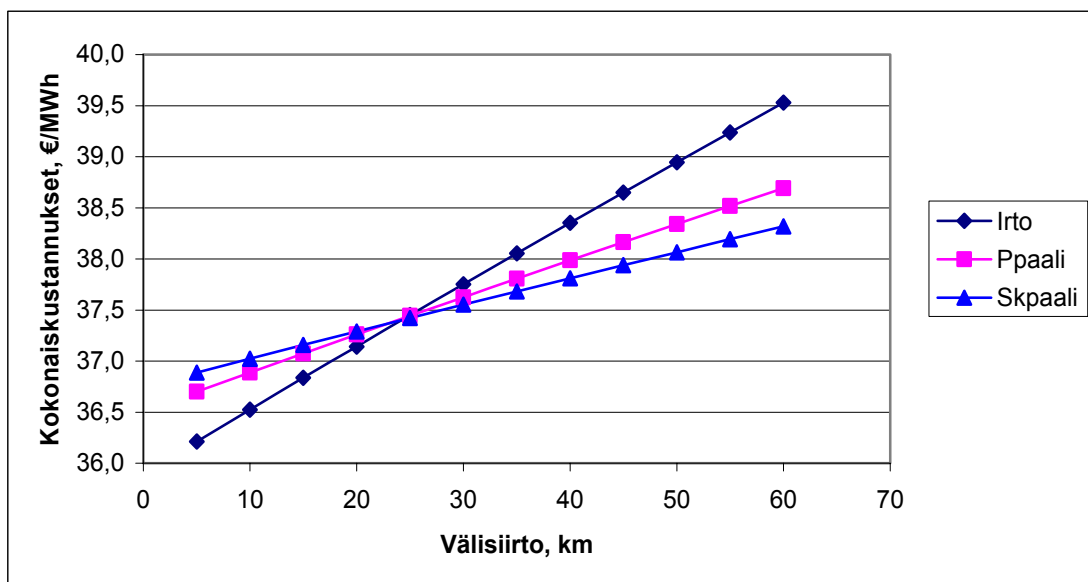
11.1.2 Helven viljely turvetuotantoalueella ja toimitus turpeen seassa

Edullisin menetelmä on irtokorjuu. Tämä johtuu siitä, että ero menetelmien korjuukustannuksissa on pienempi paalien murskauksen kustannus. Laskelmissa on oletettu, että paalit tai silppu voidaan varastoida turveaman välittömään läheisyyteen siten, että toimitusvaiheessa helpeä ei tarvitse erikseen siirtää.

11.1.3 Helven viljely pelloilla, siirto turvetuotantoalueelle ja toimitus turpeen seassa

Irtokorjuun kustannukset ovat samaa luokkaa tai hieman edullisempia kuin paalausmenetelmät, kun siirtomatka pellolta suolle on 10 km. Tämä johtuu siitä, että irtokorjuun korjuu- ja välikuljetuksen summa on hieman pienempi kuin paalausmenetelmien korjuun, välikuljetuksen ja paalien murskauksen summa.

Kuvassa 69 on tarkasteltu välikuljetusmatkan vaikutusta menetelmien keskinäisiin kustannuksiin. Laskennallisesti irtokorjuu on edullisin menetelmä, jos välisiirron pituus on alle 25 km. Tämän jälkeen paalausmenetelmät ovat edullisempia. Laskelmat ovat erittäin herkkiä alkuarvojen muutoksille, joten annettuja rajoja ei pidä tulkita liian kirjaimellisesti. Yleisesti voidaan kuitenkin olettaa, että lyhyillä siirtomatoilla irtokorjuu voisi olla hyvä vaihtoehto. Matkan kasvaessa pyöröpaalaus tulee edullisemmaksi. Matkan edelleen kasvaessa suurkantipaalaus tulee edullisimmaksi, koska sen kuljetuskustannukset ovat alhaisimmat.



Kuva 69. Irtokorjuun ja paalausmenetelmien kustannukset välisiirtomatkan (pellolta suolle) funktiona. Seoskuljetusten kuljetusmatka on 70 km.

11.1.4 Helven käytön kustannus voimalaitoksella

Yksi tapa on toimittaa ruokohelpi paaleina voimalaitokselle, jossa se murskataan laitoksen kiinteällä murskalla suoraan syöttölinjaan tai mobiilimurskaimella laitoksen kentälle, josta se seostetaan pääpolttoaineeseen. Aikaisemmissa laskelmissa kiinteälle murskaimelle on oletettu hieman pienempi kustannus kuin mobiilimurskaimelle. Toinen tapa on toimittaa helpi esimerkiksi turpeen kanssa valmiina seoksena.

Helven käytön kustannusta voimalaitokselle tarkasteltiin laskennallisesti. Tarkastelu tehtiin *kolmelle edellä mainitulle toimitusvaihtoehdolle: helpi kuljetetaan suoraan voimalaitokselle*, helpi viljellään suolla ja toimitetaan turpeen seassa sekä helpi viljellään pellolla, siirretään suolle ja toimitetaan turpeen seassa. Tällöin laskettiin helven viljelijän menot ja tulot, joiden perusteella saatiin hinta, jonka viljelijä haluaa voimalaitokselta. Voimalaitokselle aiheutuu helven hinnan lisäksi kustannuksia helven murskauksesta voimalaitoksella ja seostamisesta pääpolttoaineeseen. Helven viljelijän kustannuksia ovat viljelyn, korjuun ja varastoinnin kustannus, helven murskaus suolla, välisiirto pellolta suolle, helven seostus turpeeseen ja helven kaukokuljetus. Viljelijän tuloina ovat maataloustuet sekä lisäksi tarkastelussa laskettu voimalaitokselta saatava hinta. Tarkastelussa käytetyt tulokset ja alkuarvot ovat samoja kuin kuvassa 66 ja liitteessä 1 on esitetty.

Taulukko 23. Viljelijän kustannukset ja voimalaitoksen kustannukset (S = silppukorjuu, Pp = pyöröpaali, Sk = suurkanttipaali, Mob. = mobiilimurskain ja Kiint. = voimalaitoksen kiinteä murskain).

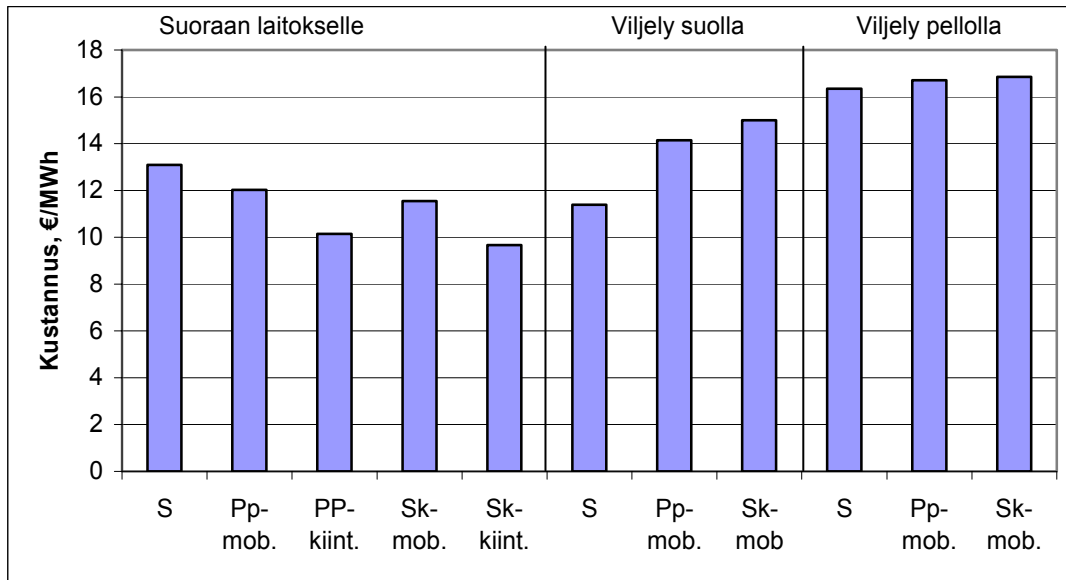
Viljelijän kustannukset, tuet ja voimalaitokselta saatava hinta

€/MWh	Suoraan voimalaitokselle					Viljely suolla			Viljely pellolla		
	S	Pp Mob.	Pp Kiint.	Sk Mob.	Sk Kiint.	S	Pp Mob.	Sk Mob.	S	Pp Mob.	Sk Mob.
Silppu/paali Murskain											
Vilj.&korjuu	24,15	23,6	23,6	24,46	24,46	24,15	23,6	24,46	24,15	23,6	24,46
Välikuljetus									4,95	2,57	1,84
Murskaus							3,3	3,3		3,3	3,3
Seostus						0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Kaukokuljetus	8,54	4,72	4,72	3,38	3,38	6,84	6,84	6,84	6,84	6,84	6,84
Yhteensä	32,69	28,32	28,32	27,84	27,84	31,57	34,32	35,18	36,52	36,89	37,02
- Tuet	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18
= Hinta, A	12,51	8,14	8,14	7,66	7,66	11,39	14,14	15,00	16,34	16,71	16,84

Voimalaitoksen kustannukset

€/MWh	S	Pp Mob.	Pp Kiint.	Sk Mob.	Sk Kiint.	S	Pp Mob.	Sk Mob.	S	Pp Mob.	Sk Mob.
= Hinta, A	12,51	8,14	8,14	7,66	7,66	11,39	14,14	15,00	16,34	16,71	16,84
Murskaus		3,3	2	3,3	2						
Seostus	0,58	0,58		0,58							
Yhteensä	13,09	12,02	10,14	11,54	9,66	11,39	14,14	15,00	16,34	16,71	16,84

Taulukossa 23 esitetyt voimalaitoksen kustannukset on esitetty graafisesti kuvassa 70.



Kuva 70. Ruokohelven käytön kustannukset voimalaitokselle.

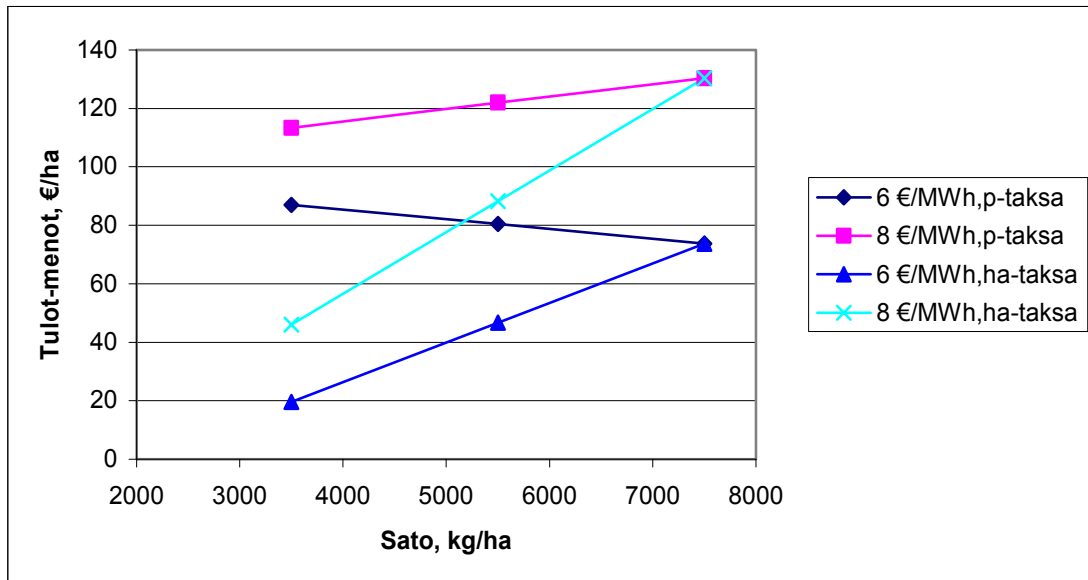
11.1.5 Satotason vaikutus helven tuotannon kustannuksiin ja kannattavuuteen

Sadon määrä vaikuttaa helven tuotannon kustannuksiin. Vaikutusta tarkasteltiin laskennallisesti olettamalla sadon määräytyvän erisuuruista korjuutappioista niitossa ja paalauksessa. Satotasosta riippumatta viljelyn ja vuosittaisen lannoituksen hehtaarikustannus pysyy vakiona. Korjuun (paalaus tai silppukorjuu), välivarastoon siirron ja varastoinnin kustannus määräytyy sadon perusteella. Taulukossa 24 on tarkasteltu helven tuotannon kannattavuutta viljelijän kannalta, kun viljelijän tuloja ovat helven myynti voimalaitokselle ja maataloustuet ja menoja viljely- ja korjuukustannus pellon reunaan asti huomioituna. Tarkastelu on tehty kahdella tavalla olettaen paalaukselle paalikohtainen taksa (5,76 €/paali, 16,84 €/t) tai hehtaarikohtainen taksa (126 €/ha). Kummassakin vaihtoehdossa sadon lisäys lisää hehtaarikohtaista tuotantokustannusta ja pienentää MWh-kustannusta. Pienillä satotasoilla MWh-kustannus on nimellisesti hyvin suuri, mutta tämä ei yksistään kerro viljelyn kannattavuudesta, koska tuet ovat hehtaarikohtaisia, jolloin tuki MWh:a kohti on myös suurempi. Käytettäessä paalaukselle hehtaarikohtaista taksoitusta lisääntyy viljelijän tulos paljon nopeammin sadon määrän kasvaessa kuin paalikohtaisella taksoituksella.

Taulukko 24. Viljelijän tulot ja menot sekä niiden erotus eri helven satomäärillä.

PAALAUKSELLA PAALIKOHTAINEN TAKSA						
		TULOT, €/ha			MENOT, €/ha	
Sato, t/ha	Sato, MWh/ha	Helpi myynti	Tuet	Yhteensä	Tuot.kust.	TULOT- MENOT
3500	13,2	105,7	571	676,7	563,3	113,4
5500	20,8	166,2	571	737,2	615,2	122,0
7500	28,3	226,4	571	797,4	667,1	130,3
8 €/MWh						
PAALAUKSELLA HA-KOHTAINEN TAKSA						
		TULOT			MENOT	
kg/ha	Sato, MWh/ha	Helpi myynti	Tuet	Yhteensä	Tuot.kust.	TULOT- MENOT
3500	13,2	105,7	571	676,7	630,7	46,0
5500	20,8	166,2	571	737,2	648,9	88,3
7500	28,3	226,4	571	797,4	667,1	130,3
8 €/MWh						

Helven tuotannon kannattavuuteen vaikuttaa myös voimalaitokselta saatava helven hinta. Mitä enemmän voimalaitos maksaa helvestä, sitä enemmän se houkuttaa tuottamaan suuria satoja. Kuvassa 71 on esitetty viljelijän tulojen ja menojen erotus, kun helven hinta on 6 tai 8 €/MWh ja paalauksella on paali(tonnikohtainen) taksa tai hehtaarikoh- tainen taksa. Kummallakin helven voimalaitoshinnalla viljelyn kannattavuus lisääntyy sadon määrän lisääntyessä käytettäessä hehtaarikohtaista taksaa paalaukselle. Sen sijaan paali- tai tonnitaksalla viljelyn kannattavuus jopa heikkenee satotason lisääntyessä, jos helven hinta on alhainen. Tämä on ristiriidassa tavoitteen kanssa tuottaa mahdollisim- man paljon uusiutuvaa ympäristöystävällistä polttoainetta. Voi olla, että satotason lisäys ei juuri lisää viljelijän tulosta tai lisäys on paljon pienempi kuin satotason suhteellinen lisäys. Ratkaisuna tähän on lisätä voimalaitoshintaa tai sitoa ainakin osa maataloustuista tuotettuun määrään, jolloin suureen satoon pyrkiminen palkitsee myös viljelijää.



Kuva 71. Viljelijän tulos helven tuotannosta eri satotasoilla kun voimalaitokselta saatava hinta on 6 tai 8 €/MWh.

Paalauksen hehtaarikohtainen taksa kannustaa viljelijää tuottamaan suuria satoja. Paalausurakoitsijan kannalta tämä ei ole paras mahdollinen maksutapa, koska sadon lisäksi lisää suoraviivaisesti ainakin sidontamateriaalin menekkiä ja myös jonkin verran työaika. Oikeudenmukaisin tapa olisi sitoa paalauksen hinta tuotettuun tonnimäärään. Tämä kuitenkin edellyttää, että massamäärät tiedetään heti kohta korjuun jälkeen. Optimitilanteessa paalitaksa ja tonnitaksa tuovat paalausyrittäjälle saman tulon. Erona on, että paalikohtainen taksa houkuttaa lisäämään ansioita kappalemäärää lisäämällä ja tiheyttä vähentämällä. Tässä tilanteessa maksutukseen voisi liittää raja-arvon paalien tiheydelle, koska tiheydellä on merkittävä vaikutus kaukokuljetuksen kustannuksiin.

11.1.6 Yhteenveto helven tuotanto- ja toimituskustannuksista

Keskimäärin edullisin helven tuotanto- ja toimitusketju on kuljettaa helpi paaleina voimalaitokselle, jossa se murskataan. Edullisin vaihtoehto murskaukselle laitoksella on kiinteä murskain, koska sen kustannus on edullisin eikä helpeä myöskään tarvitse erikseen seostaa pääpolttoaineeseen. Kiinteällä murskalla olisi hyvä olla ylimääräistä kapasiteettia helven murskaukseen, koska murskain toimii oletettavasti tehokkaammin puulla kuin helvellä.

Jos helpeä viljellään turvetuotantoalueella ja kuljetetaan seoksena turpeen kanssa, on edullisin menetelmä irtokorjuu, koska paalien murskaus lisää kustannuksia, kun seoksen kuljetuskustannus on sama kaikilla menetelmillä. Seosketjun kustannus on hieman korkeampi kuin toimitettaessa helpi puhtaana tavarana voimalaitokselle parhailla paalaus-

menetelmillä. Tämä johtuu siitä, että seoksen kuljetus tyypillisellä turveautolla on hie-
man kalliimpaa kuin paalien kuljetus. Toisaalta laskennallisesti irtokorjuu suolla ja
seoskuljetus voisivat olla kilpailukykyinen paalien kuljetukseen verrattuna, jos paalien
murskaus voimalaitoksella joudutaan tekemään mobiilimurskaimella. Seoksen kuljetta-
minen on kuitenkin edullisempaa kuin puhtaan silpun kuljetus.

Kallein helven tuotanto- ja toimitusketju on, jos helpi joudutaan siirtämään pelloilta
turvetuotantoalueelle ja toimittamaan turpeen seassa. Välisiirron kustannus 10 km:n
matkalla on 1,84–4,95 €/MWh. Tässä tapauksessa on likimäärin sama, tuotetaanko helpi
paaleina vai silppuna.

Sadon määrä vaikuttaa helven tuotannon kustannuksiin ja viljelijän tulokseen. Tässä
yhteydessä sadon määrän oletetaan määräytyvän korjuutappioista niitossa ja paalauksessa.
Sadon määrän lisääntyessä hehtaarikohtainen kustannus lisääntyy ja MWh-kustannus
alenee. Pienillä satotasoilla MWh-kustannus nousee jyrkästi, mutta tämä ei yksin kerro
viljelyn kannattavuudesta, koska maataloustuet ovat hehtaarikohtaisia, jolloin nekin
lisääntyvät laskettaessa tukia MWh:ta kohti. Viljelijän tulokseen eri sadon määrällä vai-
kuttavat paalauksen taksoitus ja helvestä saatava hinta. Hehtaarikohtainen paalaustaksa
kannustaa parhaiten tuottamaan suuria satoja, jolloin tulos lisääntyy sadon määrän li-
säntyessä. Paali- tai tonnikohtainen taksoitus paalauksessa lisää viljelijän tulosta vä-
hemmän satotason lisääntyessä. Voi myös olla, että tällöin viljelijän tulos ei juurikaan
muutu tai se jopa laskee sadon määrän lisääntyessä, jos helven hinta voimalaitoksella on
alhainen. Tämä on ristiriidassa tavoitteen kanssa tuottaa mahdollisimman paljon uusiu-
tuvaa ympäristöystävällistä polttoainetta. Ratkaisuna tähän on lisätä voimalaitoshintaa
tai sitoa ainakin osa maataloustuista tuotettuun määrään, jolloin suureen satoon pyrki-
minen palkitsee myös viljelijää.

11.2 Tuotantosuunnan valinta erityyppisillä tiloilla

Missä tilanteessa tilan kannattaisi valita viljelykasviksi ruokohelpi? Valinnan apuna voi-
daan käyttää katetuotto- ja tuotantokustannuslaskelmia (esimerkiksi netissä toimiva
ProAgrian Tuottopehtoori-palvelu). Katetuottolaskelma sopii parhaiten tilanteeseen,
jossa tilalla on olemassa viljelykalusto sekä -rakennukset ja kannattavuusvertailuja halu-
taan tehdä eri kasvien välillä. Laajempi tuotantokustannuslaskelma sopii tilanteeseen,
jossa tilan tuotantosuuntaa ollaan vaihtamassa ja halutaan vertailla eri tuotantosuuntien
kannattavuutta (esimerkiksi maito vs. vilja). Jos valmiita laskelmapohjia käytetään, ne
tulee aina päivittää oman tilan olosuhteita vastaaviksi.

Tällä hetkellä (kevät 2008) tuotantokustannuslaskelmien mukainen nettotulos on ruoko-
helvellä noin 25–100 e/ha parempi kuin esimerkiksi rehuohralla (taulukko 25). Laskel-

massa on oletettu, että ruokohelven korjaa urakoitsija pyöröpaalaimella, ja vilja puidaan ja kuivataan joko omalla tai vieraalla kalustolla. Urakointipalveluiden käyttö viljan puinnissa ja kuivauksessa antaa tässä laskelmassa hieman paremman tuloksen kuin oman kaluston käyttö. Laskelman tulos riippuu tietysti lähtöarvoista, esimerkiksi viljan satotaso vaikuttaa näillä hinnoilla merkittävästi lopputulokseen. Laskelmassa on pyritty kuitenkin käyttämään mahdollisimman realistisia lähtöarvoja. Todennäköisesti ohran satojen vaihtelut ovat suuremmat kuin ruokohelvellä.

Taulukko 25. Ruokohelven ja rehuohran viljelyn kannattavuus alkuvuoden 2008 hintatasossa (alv. 0 %). Lähteet: Enroth (2007), Maaseudun Tulevaisuuden hintatilastot (2008), Pahkala ym. (2005).

Ruokohelvi C2-tukialueella,
9 satoa 10 v:n aikana, urakoitsija korjaa
(sato 5 tn/ha, kosteus 15 %, N 70 kg/ha)

Rehuohra C2-tukialueella, (sato 4 tn/ha, N 70 kg/ha)
Puinti- ja kuivaus: 1) omalla kalustolla, 2) rahtina

Kulut	e/ha
– muuttuvat kustannukset	299
– työkustannus	24
– kone- ja rakennuskustannukset	29
– viljelymaan pääomakustannus	263
Yhteensä	615
Tuotot	
– sadon myyntihinta 24 e/tonni	120
– tuet (sis. 30 e/ha energiakasvitukea)	571
Yhteensä	691
Taloudellinen tulos	76

Kulut	1) e/ha	2) e/ha
– muuttuvat kustannukset	409	585
– työkustannus	157	118
– kone- ja rakennuskustannukset	498	290
– viljelymaan pääomakustannus	237	237
Yhteensä	1 301	1 230
Tuotot		
– sadon myyntihinta 185 e/tonni	740	740
– tuet	541	541
Yhteensä	1 281	1 281
Taloudellinen tulos	-20	51

Tulos tarkoittaa sitä, että mikäli tuotantosuuntaa vaihtavalla tilalla ei ole ajanmukaisia viljanviljelyn koneita, kuivuria ja viljavarastoja, kannattaisi sen suuntautua ennemmin ruokohelven tuotantoon kuin rehuviljan viljelyyn, vaikka viljan hinta on nyt korkealla. Tämä pätee varsinkin, jos työvoimalla on vaihtoehtoiskäyttöä, tila ei ole keskimääräistä suurempi eikä koneysteistyöhön tai viljan tuoreena myyntiin ole lähialueella mahdollisuuksia.

Toisaalta viljan katetuotto (A) on nyt kohonneen viljan hinnan takia selvästi parempi kuin ruokohelven katetuotto (Enroth, 2007). Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli tilalla on toimiva viljan viljelykalusto, kuivuri ja varastot tai nämä voidaan koneysteistyön avulla saada, viljan viljelyn jatkaminen on kannattavampaa kuin siirtyminen ruokohelven viljelyyn. Jos tila siirtyisi ruokohelpeen, sen pitäisi myydä koko viljaketju rakennuksineen pois, että säästöjä näiden osalta kertyisi. Tunnetusti vanhoista koneista tai rakennuksista ei yleensä saada markkinoilta niiden käyttöarvoa vastaavaa hintaa.

Tilanteita, joissa siirtyminen ruokohelven viljelyyn voi olla järkevää ja perusteltua:

Eläintenpidon lopettava lypsykarja- tai lihanautatila

- Ei monestikaan myyntiviljaketjua
- Voi olla käyttökelpoisia nurmikoneita, joita voi hyödyntää ruokohelvellä
- Pellot saattavat sopia paremmin helvelle kuin viljalle
- Voi olla pölyallergioita
- Ruokohelpeä käyttävä lämpölaitos on lähellä

Osa-aikainen viljatila, jolla koneet huonot, ei kuivuria eikä varastoja

- Pulaa työajasta
- Ei koneysteistyötä
- Ei mahdollisuutta viljan pysty- tai tuoremyyntiin
- Tilan pienuuden takia ei investointihaluja viljaketjuun
- Pellotkaan eivät huippukunnossa
- Voi olla pölyallergioita
- Ruokohelpeä käyttävä lämpölaitos on lähellä

Tilanteita, joissa viljanviljely on todennäköisesti järkevämpi vaihtoehto:

Viljatila, jolla koneet, kuivuri ja varastot ovat olemassa joko itsellä tai koneysteistyön kautta

- Viljaa viljellen todennäköisesti parempi taloudellinen tulos
- Pellot yleensä hyvässä kunnossa => mahdollisuudet korkeisiin satoihin
- Mahdollisuudet erikoiskasveihin
- Mahdollisuus hyödyntää omaa työtä paremmin, jos vaihtoehtoisia ansaitsemismahdollisuuksia ei ole
- Helven käyttäjiä ei lähellä

Eläintenpidon lopettava sika- tai kanatila

- Toimiva myyntiviljaketju ja osaaminen yleensä olemassa
- Pellot yleensä hyvässä kunnossa
- Helven käyttäjiä ei lähellä.

Ratkaisu ei monestikaan ole aina näin yksinkertainen, vaan se on mietittävä tilakohtaisesti. Tulevaisuuden ennakointi ei ole helppoa. Esimerkiksi on vaikea arvata, mikä on ruokohelven ja viljan hintasuhde vaikka vain kahden vuoden kuluttua. Ruokohelven viljelysopimukset ovat usein monivuotisia, eikä vastaperustetun helpikasvuston ennenaikaisessa lopettamisessakaan ole taloudellista järkeä. Toisaalta siirtyminen ruokohelven viljelystä takaisin muille kasveille onnistuu teknisesti tarvittaessa nopeastikin.

12. Yhteenveto

Ruokohelven käytön nykytilanne voimalaitoksilla

Ruokohelven voidaan todeta olevan suurten laitosten polttoaine. Vaikka ruokohelven viljelypinta-alat ovat kasvaneet viime aikoina vuosittain hyvinkin paljon, ruokohelven käyttö jäi vuonna 2007 vielä noin 60 GWh:iin, mikä on kuitenkin kaksinkertainen määrä vuoteen 2006 verrattuna. Vuositasolla peltobiomassan osuus kaikesta käytetystä polttoainemäärästä jää voimalaitoksilla yleensä alle 1 %:n energiasisällöstä laskettuna.

Ruokohelpi toimitetaan laitoksille joko erilaisina helpipaaleina tai valmiiksi seostettuna muihin polttoaineisiin, lähinnä jyrshinturpeeseen. Monet laitokset, jotka ovat kokeilleet ruokohelpeä pienempiä määriä, ovat halunneet sen valmiiksi turpeeseen sekoitettuna. Näin myös siksi, että laitoksilla ei ole omia murskaimia eikä myöskään mahdollisuuksia mobiilimurskaimien käyttöön omilla laitosalueillaan. Entistä useammat laitokset haluaisivat helpitoimitukset valmiina seoksena turpeeseen. Vaatimukset helpi-turve-seoskuormien sekoitusasteesta riippuvat täysin laitoksen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmän tasosta. Toisilla laitoksilla ongelmia esiintyy enemmän kuin toisilla.

Ruokohelven käsittelylle ja syötölle kattilaan ollaan etsimässä uusia ratkaisuja. Eräänä mielenkiinnon kohteena on ollut ruokohelven erillinen pneumaattinen syöttölinja, joka käsittää hitaasti pyörivän murskaimen sekä murskeen syötön suoraan kattilaan putkistoa pitkin. Näitä asennuksia ja testauksia ollaan tekemässä ainakin kahdella voimalaitoksella Suomessa. Ruokohelven poltto- ja käsittelyominaisuudet poikkeavat merkittävästi muiden polttoaineiden vastaavista, minkä vuoksi ruokohelven käytön alkutaival voimalaitospolttoaineena on ollut haasteellista. Polttoaineominaisuuksien ja keveyden takia helpi ei sovellu yksin poltettavaksi, mutta se soveltuu kuitenkin useimmilla laitoksilla turpeen ja hakkeen kanssa käytettäväksi. Se edellyttää hyvää sekoitusta joko kuormausvaiheessa tai laitoksen vastaanotossa ja käsittelyjärjestelmässä. Eräänä ongelmana on ollut jatkuvasti myös ruokohelven osuuden luotettava määrittäminen päästökauppaa varten.

Jatkossa helven uskotaan olevan kilpailukykyinen energialähde päästökaupan piirissä olevilla laitoksilla. Monien laitosten kannalta ruokohelpi ei ole kuitenkaan ongelmaton polttoaine, varsinkaan laitospäästöjen osalta. Kokemuksen lisääntyessä laitospäästöjä ratkaisuja ruokohelven toimivaan käsittelyyn uskotaan kuitenkin löytyvän.

Ruokohelven korjuu

Korjuututkimusten päätavoitteena oli korjuutappioiden minimointi. Ilman asiaan paneutumista tappiot voivat olla jopa 50–60 % biologisen sadon määrästä. Korjuutappioiden päälähte on niitto, mutta tappioita voi aiheutua myös tarkkuussilppurin ohipuhalluksesta

tai paalauksesta, varsinkin jos käytetään paalaimen silppuria. Korjuussa tulisi pyrkiä ja voidaan myös päästä alle 30 %:n tappioihin.

Suosittelava kone niittoon on lautasniittokone, joka käsittelee helpeä hellävaraisesti. Myös niittomurskaimella päästään hyvään tulokseen, mutta koneen murskainosa tulisi säätää mahdollisimman väljäksi ja murskaimen kierrosnopeutta alentaa. Myös ns. swather-koneella (karheelleniittokone) päästään vähäisiin tappioihin, mutta näitä koneita on vain muutama Suomessa.

Niitossa oleellinen tekijä on leikkuukorkeuden säätäminen mahdollisimman pieneksi ja teräkulman säätäminen mahdollisimman jyrkäksi, minkä vaikutus korostuu myötälakoon niitettäessä. Sänki olisi saatava lyhyeksi laon suunnasta riippumatta. Niittämättömän helven kosteusvertailujen perusteella voidaan sanoa, että helven korjuu olisi mahdollista riittävän kuivana, vaikka niitto ja korjuu tehtäisiin samalla koneella. Kasvusto kuivuu aamupäivän aikana, joten normaalipäivänä korjuu voitaisiin aloittaa klo 11 tuntu-massa. Toisaalta erillinen niitto ja karhotus nopeuttavat maan pinnan kuivumista kantavaksi ja kosteissa kohdissa myös kasvuston kuivumista.

Hyvällä kiinteäkammioisella pyöröpaalaimella on mahdollista päästä yhtä suuriin paalintiheyksiin kuin muuttuvakammioisellakin paalaimella. Myöskään varisemistappioissa ei ollut eroja. Kokeessa helpi ei ollut äärimmäisen kuivaa, mikä voi selittää tuloksia. Muuttuvakammioisen paalaimen etuna on, että sillä voidaan tehdä kiinteäkammioista suurempia paaleja, joilla voi olla parempi tilankäyttö kuljetusajoneuvoissa. Silpputerien käyttö ei näyttäisi pyöröpaalaimessa kannattavan, koska paalintiheys ei nouse ja toisaalta variseminen voi lisääntyä hieman. Suurkanttipaalaimella saatiin tiheimpiä paaleja, mutta ero ei välttämättä ole kovin suuri, jos kanttipaalain on vanha ja huonokuntoinen.

Ruokohelven kaukokuljetus

Ruokohelven kaukokuljetuksessa paaleina tai silppuna ei nykyisin voida saavuttaa rekka-auton täyttä kantavuutta, maksimissaan 38,5 tonnia. Silpulla kuorma on tyypillisellä 120 m³:n autolla 9 tonnia. Pyöröpaalikuormien massat ovat 13–15 tonnia ja tämäkin edellyttää, että paalien ladonta onnistuu optimaalisesti. Suurkanttipaalikuormien massat ovat 20–21 tonnia. Täyden kantavuuden saavuttaminen tyypillisellä rekka-autolla vaatii ruokohelven tiheydeksi kuormassa 320 kg/m³. Tällöin helpikuorman energiamäärä olisi suurempi kuin turpeella.

Selvä kehityskohde kuljetusten tehostamiseksi on paalien tiheyden hajonnan pienentäminen. Tehdyn selvityksen perusteella paalien tiheyksissä on kymmenien prosenttien eroja, maksimissaan paalien tiheysero voi olla kaksinkertainen. Ero ei näytä selittyvän pelkästään paalainmerkin ja -mallin eroilla, vaan samalla konemallilla on eri tilanteissa saatu hyvin

erilaisia paaleja. Tällöin erilaisilla paalausurakoitsijoille suunnatuilla ohjeilla ja kannustimilla tulisi hajontaa vähentää, mikä samalla voisi lisätä myös tiheyksiä nykyisistä keskiarvoista. Tällä olisi suuri merkitys kuljetustalouteen.

Pyöröpaalin halkaisijan kasvattaminen näyttäisi vähentävän paalin tiheyttä. Halkaisijalla 1,2 m tiheys on ollut 136–148 kg_{ka}/m³ ja halkaisijalla 1,5 m 118–129 kg_{ka}/m³. Halkaisijaltaan 1,5 metrin paalit täyttävät kuormatilan korkeuden paremmin, joten niillä saadaan hieman suurempi kokonaisuus rekka-autoon kuin pienemmillä paaleilla. Muuttuvakammioisella paalaimella saadaan hieman tiheämpiä paaleja kuin kiinteäkammioisella, ero on noin 10 %. Suurkantipaalin tiheys on suurin, mutta ero ei hyvään pyöröpaalin verrattuna ole kovin merkittävä. Toisaalta maksimissaan on suurkantipaalien tiheys ollut jopa 220 kg/m³, mikä merkitsisi jo lähes 25 tonnin kuormia. Nykyisessäkin tilanteessa suurkantipaaleista saadaan suurin kuorma. Suurkantipaalaimen käyttöä puoltaa myös se, että eräiden havaintojen mukaan suurkantipaalit murskaantuvat helpommin kuin pyöröpaalit. Suurkantipaalaimet ovat kuitenkin harvinaisia Suomessa. Yksi vaihtoehto olisi rohkaista paalainten hankintaa, jos paalaimille saadaan urakointimaisessa toiminnassa riittävä vuosittainen käyttömäärä.

Paalien kuljetuksia voidaan tehostaa tekemällä tiheämpiä paaleja, käyttämällä isompia rekka-autoja ja optimoimalla suurkantipaalien pituuksia. Jos paalien tiheyksiä voidaan nostaa käytännössä havaitulle ylärajalle ja kuljetukseen käytetään isompaa rekkaa, alenevat kuljetuskustannukset nykytasosta noin 22 %. Jos lisäksi suurkantipaalien pituuksia sovittamalla saadaan tilavuudeltaan täysi kuorma, alenevat kustannukset lähes 30 %. Käytännössä ongelmana voi olla moninainen kuljetuskalusto, joissa kuormatilojen mitat vaihtelevat. Samasta syystä ei ole yksikäsitteistä vastausta suurkantipaalien ladontatavalle (pitkittäin vai poikittain). Poikittain ladottaessa rekka-auton pituusporrastus on pienempi, mutta pitkittäin ladottaessa lopputilaa voidaan ainakin osittain täyttää latomalla poikittain.

Silppua voidaan kuljettaa seoksena esimerkiksi turpeen kanssa. Seoskuorman kokonaisenergiamäärä on vähintään yhtä suuri tai suurempi kuin paalien kuljetuksessa, joten näennäisesti helpeä voitaisiin kuljettaa edullisesti seoksena. Tyypillisellä 120 m³:n rekka-autolla kuitenkin seoskuorman massa ja energiamäärä ovat hieman pienempiä kuin turpeella. Jos tällöin oletetaan, että turve tulee kuljettaa samalla taksalla kuin pelkissä turvekuljetuksissa, niin seoskuljetuksessa helven kuljetuskustannus on paalien ja silpun välissä. Kustannuksen alenevat lähemmäksi paalien kuljetusta mitä pienempi seossuhde on tai mitä enemmän helven oletetaan puristuvan turpeen painosta. Kuljetuksen edullisuus silppuun verrattuna perustuu siihen, että helpi ainakin jonkin verran puristuu kokoon turpeen painosta, ja tyypillisesti turverekan kuormatilasta jää turpeella hieman käyttämättä, jolloin lopputilan käyttäminen ja lisäksi pienen turvemäärän korvaaminen helvellä ei kovin paljon vähennä kuorman kokonaisenergiaa.

Yksi kehityskohde olisi käyttää seoskuljetuksiin kuormatilaltaan 140–150 m³:n autoa. Tällöin kuorman kokonaisenergia olisi parhaimmillaan jopa turvekuorman luokkaa ja kuljetuskustannukset jopa alemmat kuin paaleilla. Tällaisia autoja jo käytetään nykyisin hakkeen ja turpeen kuljetuksiin

Helven seostus turpeeseen

Voimalaitoksilta tulleiden tietojen perusteella helven käsittelyssä on ollut ongelmia seuloilla ja kuljettimilla. Tämän vuoksi projektissa tutkittiin seostustapoja, joilla seostuksen tasaisuutta voitaisiin lisätä rekka-auton lastauksen yhteydessä. Tarkasteluun otettiin kolme nopeinta menetelmää. Näitä olivat helpikerroksen lastaaminen rekka-autoon, helpikerroksen levittäminen turveaman rintaukseen ja siitä lastaaminen sekä erillisen kasan tekeminen, jossa helpeä sekoitetaan pyörökuormaajan kauhalla.

Heikoin sekoitustulos saatiin lastattaessa kerroksia rekka-autoon. Helpikerroksen paksaus purkuvaiheessa vaihteli 20 cm:stä lähes metriin. Sekoitustulos tosin hieman paranee seoksen tippuessa voimalaitoksen purkumonttuun. Menetelmä on nopein ja halvin. Merkittävästi parempi sekoitustulos saatiin lastattaessa turveaman rintaukseen levitettyä helpimattoa. Menetelmän käyttöä puoltaa se, että kuorman tekoaika ja samalla seostamisen kustannus on vain hieman suurempi kuin edellisessä menetelmässä. Kuorman tekoaika ei myöskään ollut merkittävästi suurempi kuin pelkkää turvetta lastattaessa. Paras sekoitustulos saavutetaan, jos helpeä sekoitetaan erillisessä kasassa pyörökuormaajalla. Ero auman rintausta -menetelmään ei ole kuitenkaan kovin suuri, mutta seostamisen aika ja kustannukset ovat jo selvästi suuremmat.

Lisäksi seostamiseen on mahdollista käyttää vielä tehokkaampia menetelmiä, jotka perustuvat lisäsekoittamiseen pyörökuormaajalla tai seulakauhan tai karjan kuivalannan levittimen käyttöön. Näillä oletettavasti saadaan parempi sekoitustulos, mutta myös kustannukset ovat korkeammat.

Seostusmenetelmän valinta tulisi tehdä voimalaitoskohtaisesti siten, että käytetään edullisinta voimalaitokselle soveltuvaa menetelmää. Voimalaitosten käsittelyjärjestelmien rakenne vaihtelee. Esimerkiksi näissä kokeissa mikään tehty seos ei aiheuttanut voimalaitoksella ongelmia, mikä ei tarkoita samaa kaikilla voimalaitoksilla.

Helpipaalien murskaus

Paalien murskaukseen on etsitty ratkaisuja. Ongelmia ovat suuri silpun pituus, paalinarut, pölyäminen ja murskauksen hinta. Hyvää silpun pituutta tuottavia murskaimia ovat kaukalo- ja vasaramurskaimet, joilla silpun pituus on jopa alle 30 mm. Narut eivät ole ongelma. Sidontamateriaalina verkko on ongelmattomampi, joten sen käyttöä tulisi

suosia. Kaukalomurskaimella voidaan murskata samanaikaisesti myös puuta, jolloin saadaan tasalaatuinen seos. Ongelmina ovat pölyäminen ja murskauksen kustannus, joka on 3–4 €/MWh.

Maatalouden paalisilppureiden soveltuvuus riippuu merkittävästi koneen tekniikasta. Joillakin silppureilla paalinarut ovat todellinen ongelma ja silpun pituuskin on jopa kaksinkertainen (yli 80 mm) parhaimpiin koneisiin verrattuna. Yksi hyvin helven murskaukseen soveltuva kone on Castor+ R60Twin. Koneessa on leikkaavat terät eivätkä paalinarut ole ongelma, niitä tosin joudutaan poistamaan kerran pari päivässä. Laitteen terien lukumäärää ja roottorin kierrosnopeutta on nostettu vakiokoneeseen verrattuna.

Lupaava kehitteillä oleva murskain on kaivinkoneeseen asennettava murskain. Paalinarut eivät ole ongelma ja silpun pituus on siedettävällä tasolla, noin 50 mm. Laitteen yksi merkittävä etu on se, että se on yhden työntekijän kone, kun esimerkiksi maatalouden paalisilppurit tarvitsevat myös murskainta syöttävän traktorin. Laite soveltuu joustavasti myös pehmeille suopohjille, kun esimerkiksi kuorma-autoalustaisella vasaramurskaimella ei voi mennä kantavien teiden ulkopuolelle.

Silppuavaa paalainta voidaan käyttää helven silppuamiseen. Silppu on kuitenkin pidempää, 70–75 mm, kuin parempien murskainten silppu. Murskaimen käyttö lisää myös jonkin verran varisemistappioita korjuussa.

Voimalaitosten kiinteitä, puulle tarkoitettuja murskaimia voidaan käyttää helven murskaukseen. Murskaimen silpun pituus hyvillä terillä on yllättävänkin lyhyttä, jopa alle 40 mm. Etuna ovat myös edulliset murskauskustannukset. Kiinteän murskaimen vaihtoehtoina ovat valmiin seoksen kuljetukset ja mobiilimurskaimen käyttö voimalaitoksella. Seoskuljetusketjun hintaa nostaa helven välisiirto pelloilta turvetuotantoalueelle. Mobiilimurskaimen kustannus nykytilanteessa on suurempi kuin kiinteän murskan. Näin ollen kiinteän murskan käyttöön perustuvan tuotanto-toimitusketjun kokonaiskustannukset ovat suhteellisen edulliset.

Kiinteän murskan haittana on, että helven murskaus voi syrjäyttää puupolttoaineita, joiden murskauksessa murska toimii tehokkaammin kuin helvellä. Jos murska ei ole täyskäytössä, voidaan ongelma poistaa jatkamalla murskaimen päivittäistä käyttöaika. Yksi vaihtoehto on rakentaa voimalaitokselle kiinteä, hidaskäyntinen helvelle suunniteltu murskain. Tämän rakenne voi olla yksinkertaisempi ja kevyempi kuin puumurskan, jolloin sen kustannukset voivat olla alle mobiilimurskainten, jos laitteella on riittävä vuotuinen käyttöaika.

Ruokohelven käyttö Rauhalahden voimalaitoksella

Projektissa tarkasteltiin vaihtoehtoisia ruokohelven toimitustapoja Rauhalahden voimalaitokselle. Toimitus voi tapahtua valmiina seoksena turpeen kanssa tai paaleina, jotka murskataan voimalaitoksen kiinteällä murskaimella. Ruokohelven käyttökapasiteettia tarkasteltiin kuljetinlinjojen siirtokapasiteetin perusteella (välivarasto – kattilaan syöttö). Laitoksen käyttöhenkilökunnan mukaan turvelinjan kapasiteetista (maksimi 325 m³/h) jää enemmän käyttämättä kuin puulinjan (maksimi 180 m³/h), mikä puoltaa helven toimitamista valmiina seoksena, kun lisäksi henkilökunta on hyvin työllistetty puun murskauksessa.

Rauhalahdessa tammikuun tilanteessa helven 15 %:n osuus voidaan juuri ja juuri saavuttaa, jos helpi tulee turpeen seassa. Jos helpipaalit murskataan laitoksella, on käyttöosuus vain 1,4 %, koska puupolttoaineet vievät lähes kaiken puulinjan siirtokapasiteetin. Huhtikuun tilanteessa 15 %:n osuus voidaan saavuttaa, jos helpi tulee turpeen seassa ja lähes myös, jos helpi tulee paaleina. Heinäkuun tilanteessa kummallakin toimitustavalla voidaan saavuttaa helven 15 %:n osuus. Ei ole varmaa, päästäänkö edellä mainittuihin helven osuuksiin, koska tarkastelu perustuu vain syöttölinjojen laskennallisten kapasiteettien tarkasteluun ilman, että on otettu huomioon linjoilla olevien komponenttien helven läpäisykykyä.

Kustannustarkastelun perusteella seoksena tulevan helven hinta voimalaitokselle on korkeampi kuin paaleina tulevan helven siksi, että seostusta varten helpi on siirrettävä viljelmiltä turvetuotantoalueelle. Myös seoskuljetukset tyypillisellä turveautolla ovat hieman kalliimpia kuin paalien kuljetus. Ottaen huomioon helven käytön kokonaistalous (päästökauppa) voidaan arvioida, että talvikuukausina seoksena tuleva helpi toisi voimalaitokselle enemmän säästöä kuin paaleina tuleva helpi, koska seoksena helpeä voidaan käyttää enemmän, mikä tuo etua päästökaupassa. Kesäkuukausina paaleina tuleva helpi olisi edullisempaa, myös siinä tapauksessa, että murskaukseen joudutaan käyttämään kalliimpaa mobiilimurskainta. Jos helpeä viljellään turvetuotantoalueella, olisivat seoskuljetukset edullisia paaleihin verrattuna. Tällaisia viljelmiä on kuitenkin vähemmän kuin pelloilla olevia.

Murskattaessa helpipaalit Rauhalahden omalla käyttöpaikkamurskaimella ongelmana on murskaimen pieni kapasiteetti puupolttoaineiden murskaukseen verrattuna. Tällöin helven murskaaminen estää puupolttoaineiden samanaikaisen murskaamisen, jolloin murskan käyttöä tulisi jatkaa useampaan työvuoroon.

Rauhalahdessa toteutettujen helven koepolttojaksojen tulosten perusteella ei havaittu merkittäviä eroja kattilan likaantumisenopeuksissa eri koejaksoilla. Käytetyillä ruokohelven osuuksilla ei ole vaikutusta likakerrostumien muodostumiseen eikä kuumakorrosioriskien lisääntymiseen.

Tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset

Helven periaatteellisia toimitusketjuja on ainakin kolme: helpi kuljetetaan puhtaana tavaran suoraan voimalaitokselle, helpeä viljellään turvetuotantoalueella ja kuljetetaan seoksena turpeen kanssa sekä helpeä viljellään pelloilla, joista helpi siirretään turvetuotantoalueelle ja kuljetetaan seoksena turpeen kanssa.

Toimitusvaihtoehdoista keskimäärin edullisimmat kustannukset ovat, jos paalattu helpi kuljetetaan suoraan voimalaitokselle, jossa se murskataan mobiilimurskaimella tai laitoksen kiinteällä murskalla. Suurkanttipaalausketju on edullisempi menetelmä kuin pyöröpaalausketju kaukokuljetuksen pienempien kustannusten takia. Sinänsä suurkanttipaalaus ja paalien siirto pellon reunaan voi olla kustannukseltaan jopa suurempi kuin pyöröpaalien vastaavat työvaiheet. Suurkanttipaalaus on sitä edullisempi menetelmä mitä pidempi on kuljetusmatka. Aivan lyhyillä kuljetusmatkoilla (alle 30 km) voi silppu-ketju olla kilpailukykyinen paalausketjuun verrattuna, jos paalien murskaus laitoksella joudutaan tekemään kalliilla mobiilimurskaimella.

Helven viljely turvetuotantoalueella ja toimitus seoksena turpeen kanssa on kustannuksiltaan hieman suorita toimituksia kalliimpaa. Ero johtuu siitä, että helven kuljetus tyyppillisillä turveautoilla seoksessa on hieman kalliimpaa kuin paalien. Edullisin menetelmä on silppukorjuu, koska pelkän korjuuvaiheen kustannukset ovat likimäärin samat kuin paaleilla, mutta tällöin vältetään paalien kallis murskaus.

Kallein toimitusketju on helven siirtäminen viljelmiltä turvetuotantoalueelle ja kuljettaminen seoksena turpeen kanssa. Välisiirron kustannus 10 km:n matkalla on 2–5 €/MWh. Edullisin menetelmä on irtokorjuu, mutta ero paalausmenetelmiin ei ole kovin suuri.

Sadon määrä vaikuttaa helven tuotannon kustannuksiin ja viljelijän tulokseen. Tässä yhteydessä sadon määrän oletetaan määräytyvän korjuutappioista niitossa ja paalauksessa. Sadon määrän lisääntyessä hehtaarikohtainen kustannus lisääntyy ja MWh-kustannus alenee. Pienillä satotasooilla MWh-kustannus nousee jyrkästi, mutta tämä ei yksin kerro viljelyn kannattavuudesta, koska maataloustuet ovat hehtaarikohtaisia, jolloin nekin lisääntyvät MWh:ia kohti laskettaessa. Viljelijän tulokseen eri sadon määrillä vaikuttavat paalauksen taksoitus ja helvestä saatava hinta. Hehtaarikohtainen paalaustaksa kannustaa parhaiten tuottamaan suuria satoja, jolloin tulos lisääntyy sadon määrän lisääntyessä. Paali- tai tonnikohtainen taksoitus paalauksessa lisää viljelijän tulosta vähemmän satoon lisääntyessä. Voi myös olla, että tällöin viljelijän tulos ei juurikaan muutu tai se jopa laskee sadon määrän lisääntyessä, jos helven hinta voimalaitoksella on alhainen. Tämä on ristiriidassa tavoitteen kanssa tuottaa mahdollisimman paljon uusiutuvaa ympäristöystävällistä polttoainetta. Ratkaisuna tähän on lisätä voimalaitoshintaa tai sitoa ainakin osa maataloustuista tuotettuun määrään, jolloin suureen satoon pyrkiminen palkitsee myös viljelijää.

Paalauksen hehtaarikohtainen urakointitaksa kannustaa viljelijää tuottamaan suuria satoja. Paalausurakoitsijan kannalta tämä ei ole paras mahdollinen maksutapa, koska sadon lisäys lisää suoraviivaisesti ainakin sidontamateriaalin menekkiä ja myös jonkin verran työaika. Oikeudenmukaisin tapa olisi sitoa paalauksen hinta tuotettuun tonnimäärään. Tämä kuitenkin edellyttää, että tuotetut tonnit mitataan pian korjuun jälkeen. Optimitilanteessa paalitaksa ja tonnitaksa tuovat paalausyrittäjälle saman tulon. Erona on, että paalikohtainen taksa houkuttaa lisäämään ansioita kappalemäärää lisäämällä ja tiheyttä vähentämällä. Tässä tilanteessa maksatukseen voisi liittää raja-arvon paalien tiheydelle, koska tiheydellä on merkittävä vaikutus kaukokuljetuksen kustannuksiin.

Missä tilanteessa tilan kannattaisi valita viljelykasviksi ruokohelvi? Tällä hetkellä (kevät 2008) tuotantokustannuslaskelmien mukainen nettotulos on ruokohelvellä hieman parempi kuin esimerkiksi rehuohralla. Toisaalta viljan katetuotto on nyt kohonnut viljan hinnan takia selvästi parempi kuin ruokohelven katetuotto. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli tilalla on toimiva viljan viljelykalusto, pellot hyvässä kunnossa, kuivuri ja varastot tai nämä voidaan koneysteistyön avulla saada, viljan viljelyn jatkaminen on kannattavampaa kuin siirtyminen ruokohelven viljelyyn.

Eläintenpidon lopettavalla lypsykarja- tai lihanautatilalla helven viljelyyn siirtyminen voi olla perusteltua, jos ei ole toimivaa myyntiviljaketjua, pellot saattavat sopia paremmin helvelle kuin viljalle, voi olla pölyallergioita, ruokohelpeä käyttävä lämpölaite on lähellä ja voi olla käyttökelpoisia nurmikoneita, joita voi hyödyntää ruokohelvellä.

Edellisten syiden lisäksi osa-aikaisella viljatilalla, jolla on huonot koneet, ei kuivuria ja varastoja, voi helven viljelyyn siirtyminen olla perusteltua, jos on pulaa työajasta, ei ole koneysteistyötä, ei ole mahdollisuutta viljan pysty- tai tuoremyyntiin ja tilan pienuuden takia ei ole investointihaluja viljaketjuun.

Lähdeluettelo

Aho, M., Taipale, R., Lybeck, E., Veijonen, K., Paakkinen, K. Skrifvars, B.-J., Lauren, T., Zevenhoven, M., Hupa, M., Silvennoinen, J., Eteläaho, R., Janka, K., Häyrynen, V., Hernberg, R., Kouki, J. & Saari, K. 2001. Uuden ennustusmenetelmän kehittäminen kerrostumanmuodostukselle. VTT Energian raportteja 28/2001. Jyväskylä 2001. 20 s.

Bridgeman, T.G. (Energy and Resources Research Institute, School of Process, Environmental and Materials Engineering, University of Leeds), Darvell, L.I., Jones, J.M., Williams, P.T., Fahmi, R., Bridgwater, A.V., Barraclough, T., Shield, I., Yates, N., Thain, S.C. & Donnison, I.S. 2007. Influence of particle size on the analytical and chemical properties of two energy crops. *Fuel*, Vol. 86, No. 1–2, January, 2007, s. 60–72.

Brus, E. (Energy Technol/Thermal Process Chem, Umea University), Öhman, M., Nordin, A., Bostrom, D., Hedman, H. & Eklund, A. 2004. Bed agglomeration characteristics of biomass fuels using blast-furnace slag as bed material. *A. Energy and Fuels*, Vol. 18, No. 4, July/August, 2004, s. 1187–1193.

Burvall, J. 1997. Influence of harvesting time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris Arundinacea* L.). *Biomass and bioenergy*, Vol. 12, No. 3, pp. 149–154.

Danish Technological Institute. 2007. Production of big straw bales, transport and storing. End user: District heating plants up to 14 MW. EuBioNet2, Fact sheet 11. 5 s. <http://www.eubionet.net/ACFiles/Download.asp?recID=4862>

Enroth, A. 2007. Mallilaskelmia maataloudesta 2007. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja nro 1046. Kurikka: ProAgria. 46 s.

Impola, R. & Kärki, J. 2008. Ruokohelven käyttöselvitys – Voimalaitosten kokemuksia vuodelta 2007. Tutkimusraportti VTT-R-03450-08. Jyväskylä: VTT. 19 s. + liitt. 3 s.

Impola, R., Kärki, J. & Leino, T. 2007. Ruokohelven käyttöselvitys voimalaitoksilla. Tutkimusraportti VTT-R-03717-08. Jyväskylä: VTT. 17 s. + liitt. 4 s.

Larsson, S., Örberg, H., Kalén, G. & Thyrel, M. 2006. Rörflen som energigröda. BTK-rapport 2006:11. Sveriges Lantbruksuniversitet, Enheten för Biomassateknologi och Kemi. Umeå: SLU. 43 s.

Leino, T., Kärki, J., Vainikka, P., Orjala, M., Díez, L., Cortés, L., van Putten, H., Bosma, D., Tortosa-Masia, A., Otter, A., Klemm, F., Mabbutt, S., Simms, N., Oakey, J., Kakaras, E., Koukouzas, N., Grammelis, P., Chua, D., Rampidis, I. & Anttila, A. 2007. Development of advanced monitoring methods to improve boiler availability and performance, Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel. ADMONI-project Final Report.

Lindh, T., Kallio, E., Paappanen, T., Leinonen, A. & Kaipainen, H. 1998. Irtokorjuunetelmän kehittäminen korsibiomassan korjuuseen ja toimitukseen seospolttoaineeksi 1995–1997. Tutkimuslöstus ENE32/T0119/98. Jyväskylä: VTT.

Lötjönen, T. & Isolahti, M. 2007. Ruokohelven korjuutappiot pienemmiksi. Koetointi ja käytäntö, 64, 1(19.3.2007): 14.

Mattson, 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.

Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M.G., Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J.K. & Holm-Christensen, B. 1998. Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. Second Edition. The Centre for Biomass Technology. 53 s.

Paappanen, T., Kallio, E., Kirjalainen, T. & Lindh, T. 2006. Jahtavisnevan tuottajarenkkaan toiminnan kehittäminen ruokohelven tuotannossa, väliraportti II. VTT:n projekti-raportti PRO2/P2057/06. Jyväskylä: VTT. 33 s.

Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalous, nro 1. 2. korjattu painos. Jokioinen: MTT. 30 s.

Palva, R. & Laaksonen, K. 2007. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. TTS tutkimuksen tiedote 3/2007.

Parviainen, T. 2007. Ruokohelpiviljelyn optimointi suopohjilla. Väitöskirja. Acta Univ. Oul. A485. Oulu: Oulun yliopisto. 201 s. + liitt. 8 s.

Paulrud, S. (Dept. of Agric. Res. for N. Sweden, Laboratory for Chemistry and Biomass, Swedish University of Agric. Sci.), Nilsson, C. & Öhman, M. 2001. Reed canary-grass ash composition and its melting behaviour during combustion. Fuel, Vol. 80, No. 10, August, 2001, s. 1391–1398.

Skrifvars, B.-J. (Åbo Akademi University), Backman, R. & Hupa, M. 1998. Characterization of the sintering tendency of ten biomass ashes in FBC conditions by a laboratory test and by phase equilibrium calculations. *Fuel Processing Technology*, Vol. 56, No. 1–2, 1998, s. 55–67.

Skrifvars, B.-J. (Åbo Akademi University), Ohman, M., Nordin, A. & Hupa, M. 1999. Predicting bed agglomeration tendencies for biomass fuels fired in FBC boilers: A comparison of three different prediction methods. *Energy and Fuels*, Vol. 13, No. 2, 1999, s. 359–363.

Shurpali, N.J., Huttunen, J.T., Hyvönen, N.P. & Martikainen, P.J. 2008. Wise use of drained peatlands – carbon balance of bioenergy crops on cutover peatlands.

Zevehoven-Onderwater, M. 2001. Ash-forming matter in biomass fuels. Väitöskirja, report 01-03, Åbo Akademi, Department of Chemical Engineering, Turku.

Zevehoven-Onderwater, M. (Åbo Akademi University, Process Chemistry Group), Backman, R., Skrifvars, B.-J., Hupa, M., Liliendahl, T., Rosen, C., Sjöstrom, K., Engvall, K. & Hallgren, A. 2001. The ash chemistry in fluidised bed gasification of biomass fuels. Part II: Ash behaviour prediction versus bench scale agglomeration tests. *Fuel*, Vol. 80, No. 10, August, 2001, s. 1503–1512.

Öhman, M. (Umeå University), Nordin, A., Skrifvars, B.-J., Backman, R. & Hupa, M. 2000. Bed agglomeration characteristics during fluidized bed combustion of biomass fuels. *Energy and Fuels*, Vol. 14, No. 1, Jan, 2000, s. 169–178.

Öhman, M. (Energy Technology and Thermal Process Chemistry, Umeå University), Pommer, L. & Nordin, A. 2005. Bed agglomeration characteristics and mechanisms during gasification and combustion of biomass fuels. Source: *Energy and Fuels*, Vol. 19, No. 4, July/August, 2005, s. 1742–1748.

Raportit ja julkaisut

Impola, R. & Kärki, J. 2008. Ruokohelven käyttöselvitys – Voimalaitosten kokemuksia vuodelta 2007. Tutkimusraportti VTT-R-03450-08. Jyväskylä: VTT. 19 s. + liitt. 3 s.

Impola, R., Kärki, J. & Leino, T. 2007. Ruokohelven käyttöselvitys voimalaitoksilla. Tutkimusraportti VTT-R-03717-08. Jyväskylä: VTT. 17 s. + liitt. 4 s.

Leinonen, A., Isolahti, M., Lindh, T., Lötjönen, T., Kärki, J. & Kirkkari, A.-M. 2007. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Teoksessa: Jussila, J., Technopolis Oy (toim.) Ilmastonmuutoksen hillinnän liiketoimintamahdollisuudet: ClimBus-teknologiaohjelman katsaus 2007. Teknologia katsaus 211/2007, s. 24–29.

Lindh, T. & Kärki, J. 2008. Oljen käsittely tanskalaisissa voimalaitoksissa. BioEnergia, 3/2008, s. 17–18.

Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Paappanen, T., Leino, T., Kallio, E., Rinne, S., Lötjönen, T. & Kirkkari, A.-M. 2007. The development of reed canary grass fuel chain. Teoksessa: Savolainen, M. (toim.) Bioenergy 2007. 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition. 3–6 September 2007, Jyväskylä. Book of proceedings. FINBIO publication 36. S. 329–336.

Lindh, T., Kärki, J., Paappanen, T., Impola, R., Lötjönen, T., Kirkkari A.-M. & Rinne, S. 2008. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Tekesin ClimBus-ohjelman vuosiseminaari. 10.–11.2008, Aulanko. Poster.

Lötjönen, T. 2007. Olkienergiaa Tanskan malliin. BioEnergia, 4/2007, s. 16–18.

Lötjönen, T. 2007. Harvest losses in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) production. Teoksessa: NJF Seminar 405: Production and Utilization of Crops for Energy. 25–26 September 2007, Vilnius, Lithuania. NJF Report, Vol. 3, No. 4, s. 66–67.

Lötjönen, T. 2008. Korjuutappiot ja paalintiheys ruokohelven kevätkorjuussa. Teoksessa: Hopponen, A. (toim.) Maataloustieteen Päivät 2008. 10.–11.1.2008, Viikki. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23. 6 s.

Lötjönen, T. 2008. Korjuutappiot ja paalintiheys ruokohelven korjuussa. Koneviesti, Vol. 56, No. 5, s. 44–47.

Lötjönen, T. 2008. Ohjeita ruokohelven korjuuseen. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Ruokohelvest%E4%20energiaa/Viljelyoppaat%20ja%20raportit/korjuuohjeet_2_2008.pdf 7.2.2008. 8 s.

Lötjönen, T. 2008. Olki lämmittää, kun tekniikka on oikea. BioEnergia, 3/2008, s. 19–21.

Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R. & Rinne, S. 2008. Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketju ja käyttö polttoaineena voimalaitoksissa. Maataloustieteen Päivät 2008. 10.–11.1.2008, Viikki. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote. 7 s.

Paappanen, T., Impola, R., Kärki, J., Taipale, R. & Rinne, S. 2008. Ruokohelven käyttömahdollisuudet Rauhalahden voimalaitoksella. Tutkimusraportti VTT-R-05244-08. Jyväskylä: VTT. 34 s. + liitt. 19 s.

Rinne, S., Lindh, T., Kärki, J., Paappanen, T. & Impola, R. 2007. Korsibiomassan tehokas käyttö laitoksella. Bioenergiapäivät 2007. 21.–22.11.2007, Helsinki. FINBIO-julkaisu 38. S. 79–80.

Liite A: Ruokohelven viljelyn ja korjuun kustannukset

Taulukko A1. Sadon määrä 6tka/ha, korjuukosteus 20 % ja satovuosia 10.

	Irtokorjuu		Pyöröpaalaus		Suurkanttipaalaus	
	€/ha	€/MWh	€/ha	€/MWh	€/ha	€/MWh
Perustaminen						
Juolavehjän torjunta			1,36	0,05		
Kyntö			5,47	0,19		
Äestys			2,34	0,08		
Kylvölannoitus			4,27	0,15		
Lannoitteen käsittely			0,36	0,01		
Jyräys			1,87	0,07		
Rikkakasvien torjunta			1,36	0,05		
Siemen	12 kg/ha	5,5 €/kg	6,60	0,23		
Lannoite	300 kg/ha	378 €/t	11,33	0,40		
Glyfosaatti	4 l/ha	4,51 €/l	1,80	0,06		
Herbisidi	1,5 l/ha	6 €/l	0,90	0,03		
Yhteensä	37,66	1,33	37,66	1,33	37,66	1,33
Viljelmän lopettaminen						
Ruiskutus			1,36	0,05		
Glyfosaatti			1,80	0,06		
Yhteensä	3,16	0,11	3,16	0,11	3,16	0,11
Vuosilannoitus						
Lannoitus			13,60	0,48		
Lannoite	325 kg/ha	378 €/t	122,69	4,33		
Yhteensä	136,29	4,81	136,29	4,81	136,29	4,81
Korjuu						
Niitto	32,40	1,14	32,40	1,14	32,40	1,14
Karheaminen					17,30	0,61
Silppuaminen/paalaus ¹⁾	120	4,24	126,37	4,46	141,00	4,98
Siirto pellon reunaan ²⁾	31,46	1,11	27,92	0,99	24,47	0,86
Pohj.&peitto, työ ³⁾	14,59	0,52	12,28	0,43	12,34	0,44
Pohj.&peitto, tarvikkeet ³⁾	45,38	1,60	29,32	1,04	25,11	0,89
Yhteensä	243,82	8,61	228,29	8,06	252,62	8,92
Pelto						
Pellon arvo			138,54	4,89		
Salaojat			124,44	4,39		
Yhteensä	262,98	9,29	262,98	9,29	262,98	9,29
YHTEENSÄ	683,92	24,15	668,38	23,60	692,72	24,46

1) Pyöröpaalauksen veroton taksa 5,76 €/paali, suurkanttipaalauksen 7,04 €/paali

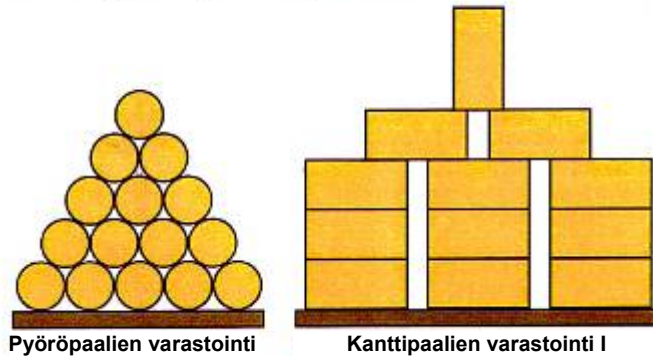
2) Kahta perävaunua käyttäen siirtokapasiteetti 13,7 tka/h, paalien keräily etukuormaajalla + paalipiikillä, haku aika 4,22 min/2 paalia

3) Liitteessä 2

Liite B: Ruokohelpivarastojen pohjustamisen ja peittämisen kustannus

Peitetään 4 hehtaarilta tuleva ruokohelpi, saanto 6 000 kg_{ka}/ha, 7 500 kg 20 %:n kosteudessa

Mallit pyörö- ja kanttipaalien varastoauoista



Taulukko B1. Ruokohelpivarastojen pohjustaminen ja peittäminen.

	Pyöröpaalit		Suurkantti		
	d = 1,2	d = 1,5	paalit	Irto	
Helven varastointi	d = 1,2	d = 1,5	paalit	Irto	
Paaleja, kpl/4 ha	120	88	80		Saanto 6 000 kgka/ha, 7 500 kg/ha 20 %:ssa
KASOJEN POHJUSTAMINEN					
Pohjan lev, m	6	7,5	4	6	
Pohjan ala, m ²	57,2	54	67,2	100	
Kuitua, m ³	2,25	2,12	2,64	7,85	Paalien alle kuitua 20 cm välein, irtohelvelle vieriviereen, d = 10 cm
Ihmistyö, h/pohjustus	2	2	2	4	
Konetyö, h/pohjustus	0,44	0,43	0,46	0,86	Kuidun haku metsävarastolta
Ihmistyö, €	33	33	33	66	Lisineen 16,5 €/h
Konetyö, €	13,23	12,94	14,12	26,01	Traktori+hlö 30,4 €/h
Kuitu, €	81,40	76,85	95,64	284,63	Kuidun hinta hankintakaupassa 36,24 €/m ³
Yhteensä, €	127,63	122,79	142,76	376,64	
Yhteensä, €/a	25,53	24,56	28,55	75,33	Pohjustus kestää 5 vuotta
Yhteensä, €/MWh	0,23	0,22	0,25	0,66	113,4 MWh/kasa, 20 %, 3,78 MWh/t 20 %:ssa

Taulukko B1. Ruokohelpivarastojen pohjustaminen ja peittäminen, jatkuu.

KASOJEN PEITTÄMINEN					
	d = 1,2	d = 1,5	paalit	lrto	
Ihmistyö, h	1,5	1,5	1,5	1,5	2 miestä, á 45 min
Konetyö, h	0,5	0,5	0,5	0,5	Muovin painotus
Muovin pituus, m	20	20,2	24,8	24,7	Päädyt peitetty
Muovin teor. lev., m	12	15	9,7	14	Ilman painotusvaraa
Muovin tod. lev., m	14	16	12	16	Myytävänä olevat muovit, Raniplast
Muovia, m ²	280	323,2	297,6	395,2	
Muovin hinta, €/m ²	0,268	0,315	0,273	0,315	

Ihmistyö, €	24,75	24,75	24,75	24,75	Lisineen 16,5 €/h
Konetyö, €	15,2	15,2	15,2	15,2	Traktori+hlö 30,4 €/h
Muovi, €	74,94	101,89	81,31	124,59	
Yhteensä, €	114,89	141,84	121,26	164,54	
Yhteensä, €/MWh	1,01	1,25	1,07	1,45	

POHJUSTUS JA PEITTÄMINEN YHTEENSÄ					
Yhteensä, €/ha					
Tarvikkeet, pohjustus	4,07	3,84	4,78	14,23	
Tarvikkeet, peitto	18,74	25,47	20,33	31,15	
Työ, pohjustus	2,31	2,30	2,36	4,60	
Työ, peitto	9,99	9,99	9,99	9,99	
YHTEENSÄ	35,10	41,60	37,45	59,97	

Yhteensä, €/MWh					
Tarvikkeet, pohjustus	0,14	0,14	0,17	0,50	
Tarvikkeet, peitto	0,66	0,90	0,72	1,10	
Työ, pohjustus	0,08	0,08	0,08	0,16	
Työ, peitto	0,35	0,35	0,35	0,35	
YHTEENSÄ	1,24	1,47	1,32	2,12	

Liite C: Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketjun kustannukset

M1	Irtokorjuu suolla, toimitus turpeen seassa
M2	Irtokorjuu pellolla, kuljetus suolle, toimitus turpeen seassa
M3	Irtokorjuu, kuljetus irtotavarana laitokselle
M4	Korjuu paaleina suolla, murskaus mob.murskalla, toimitus turpeen seassa
M5	Korjuu paaleina pellolla, kuljetus suolle, murskaus mob.murskalla, toimitus turpeen seassa
M6	Korjuu paaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle, murskaus mobiilimurskaimella
M7	Korjuu paaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle, murskaus kiinteällä murskalla
M8	Korjuu sk-paaleina suolla, murskaus mob.murskalla, toimitus turpeen seassa
M9	Korjuu sk-paaleina pellolla, kuljetus suolle, murskaus mob.murskalla, toimitus turpeen seassa
M10	Korjuu sk-paaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle, murskaus mobiilimurskaimella
M11	Korjuu sk-paaleina, paalien kuljetus voimalaitokselle, murskaus kiinteällä murskalla

€/MWh	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Vilj.&korjuu	24,15	24,15	24,15	23,6	23,6	23,6	23,6	24,46	24,46	24,46	24,46
Välikuljetus, 10 km		4,95			2,57				1,84		
Murskaus				3,3	3,3	3,3	2	3,3	3,3	3,3	2
Seostus	0,58	0,58		0,58	0,58	0,58		0,58	0,58	0,58	
Kauko- kuljetus, 70 km	6,84	6,84	8,54	6,84	6,84	4,72	4,72	6,84	6,84	3,38	3,38
Yhteensä	31,57	36,52	32,69	34,32	36,89	32,2	30,32	35,18	37,02	31,72	29,84

Liite D: Holkkien 1 ja 2 kerrostumien maksimipaksuudet ja niiden pääkomponentit

Tarkastelualue	Materiaali	Holkki 1 (Helpi-koejakso, 333 h)		Holkki 2 (Referenssi-koejakso, 332 h)	
		Oksidi	Kerrostuma	Oksidi	Kerrostuma
Tulo	<i>Paksuus</i> [μm]	2,16	1,62	29,6	3,76
	<i>Syöpymisnopeus</i> [mm/y]	0,52		7,14	
	<i>Koostumus</i>	Fe, O, Cr, S, Cl	Fe, O, Ca, S, Si, Na, Mg, P, K, Cr, Cl	Fe, O, Cr, Si, S	Fe, O, Si, Ca, S, Cr, P, Cl, K, Na
Tulo +45°	<i>Paksuus</i> [μm]	7,24	11,5	23,8	67,03
	<i>Syöpymisnopeus</i> [mm/y]	1,74		5,73	
	<i>Koostumus</i>	Fe, O, Cr, S, Si	O, S, K, Ca, Fe, Na, Al, Si, Mg, Zn	Fe, O, Cr, S, Si	O, K, S, Ca, Na, Fe, Si, Al, Mn, Mg, Zn
Tulo -45°	<i>Paksuus</i> [μm]	5,41	8,94	7,70	1,84
	<i>Syöpymisnopeus</i> [mm/y]	1,30		1,85	
	<i>Koostumus</i>	Fe, O, S	O, Fe, Ca, Si, S, Na, K, Al, Mg	Fe, O, Cr, S, Si	Fe, O, Cr, S, Ca, Al
Jättö (viiva)	<i>Paksuus</i> [μm]	0	109,19	29,2	71,2
	<i>Syöpymisnopeus</i> [mm/y]	0		7,03	
	<i>Koostumus</i>		O, Si, Ca, Fe, Na, P, Mg, S, Cl, K, Al,	Fe, O, S, Cr, Si, Mn, Cl	Fe, O, S, K, Ca, Na, Si, P, Mg, Al

- ❖ Oksidin koostumus eroaa metallin pinnalla olleesta syöpymän koostumuksesta. Muun muassa klooria esiintyi paikoin syöpymissä.
- ❖ Syöpymisnopeus on laskettu oksidin paksuudesta olettaen, että syöpyminen olisi lineaarista ajan suhteen. Metallin pinnalla ollutta syöpymää ei ole otettu laskennassa huomioon.

Liite E: Puolikvantitatiivisen röntgenfluoresenssi-analyysin tulokset (%)

Taulukko E1. Sondien pinnalle kertyneiden kerrostumien näytteet eri jaksoilta. Vertailutietona taulukossa 1 on esitetty vuoden 2006 sondin tulopinnan kerrostuman koostumus turpeen ja biomassan seospoltosta.

Alkuaine	Tulo 4.5.2007 (Helpi-jakso)	Tulo 21.5.2007 (Referenssi-jakso)	Jättöpinta 21.5.2007	Tulo 2006
Natrium, Na	3,2	3,2	1,4	2,4
Magnesium, Mg	1,3	1,4	1,6	1,1
Alumiini, Al	3,6	2,5	6,1	3,2
Pii, Si	3,3	3,6	21	5,8
Fosfori, P	1,7	1,7	1,4	1,4
Rikki, S	11	13	1,5	12
Kloori, Cl	0,05	0,06	0,05	0,01
Kalium, K	14	15	3,0	9,8
Kalsium, Ca	11	13	12	14
Titaani, Ti	0,17	0,13	0,32	0,16
Vanadiini, V	0,01	-	0,02	-
Kromi, Cr	0,05	0,07	0,01	0,02
Mangaani, Mn	0,54	0,71	0,53	0,56
Rauta, Fe	8,3	4,5	7,2	6,3
Nikkeli, Ni	0,05	0,02	0,02	0,01
Kupari, Cu	0,20	0,05	0,02	0,06
Sinkki, Zn	0,86	0,43	0,06	0,42
Arseni, As	0,08	0,06	0,01	0,08
Bromi, Br	-	0,006	-	-
Rubidium, Rb	0,11	0,11	0,01	0,06
Strontium, Sr	0,09	0,08	0,06	0,10
Zirkonium, Zr	0,007	0,01	-	0,007
Molybdeeni, Mo	0,03	0,28	-	0,01
Hopea, Ag	0,09	-	-	-
Kadmium, Cd	0,009	-	-	-
Barium, Ba	0,21	0,30	0,16	0,19
Lyijy, Pb	0,09	0,11	0,02	0,02

Alle määrittäysrajan (0,01 %) olevat pitoisuudet on ilmoitettu informatiivisessa mielessä.

”-” Ei havaittu, pitoisuus alle määrittäysrajan.

Taulukko E2. Lentotuhkan kokoomanäytteet kevään helven polton jaksolta.

Alkuaine	27.4.2007	28.4.2007	29.4.2007	30.4.2007
Natrium, Na	1,3	1,5	1,5	1,4
Magnesium, Mg	1,5	1,3	1,3	1,3
Alumiini, Al	6,7	6,4	6,5	6,7
Pii, Si	20	22	21	20
Fosfori, P	1,6	1,5	1,5	1,5
Rikki, S	1,0	0,79	0,78	0,81
Kloori, Cl	0,12	0,09	0,13	0,10
Kalium, K	2,8	2,7	2,7	2,5
Kalsium, Ca	12	11	11	12
Titaani, Ti	0,27	0,27	0,28	0,28
Vanadiini, V	0,01	-	0,02	0,02
Kromi, Cr	0,01	0,01	-	-
Mangaani, Mn	0,48	0,42	0,39	0,42
Rauta, Fe	8,3	8,7	9,2	9,4
Nikkeli, Ni	0,01	0,01	0,009	0,01
Kupari, Cu	0,02	0,02	0,01	0,01
Sinkki, Zn	0,07	0,05	0,05	0,05
Arseeni, As	-	-	-	-
Bromi, Br	0,01	0,008	0,02	0,02
Rubidium, Rb	0,01	0,01	0,01	0,01
Strontium, Sr	0,10	0,09	0,09	0,10
Zirkonium, Zr	0,02	0,02	0,03*	0,03*
Molybdeeni, Mo	-	-	-	-
Hopea, Ag	-	-	-	-
Kadmium, Cd	-	-	-	-
Barium, Ba	0,17	0,18	0,16	0,16
Lyijy, Pb	0,01	0,01	0,01	0,01

Alle määritysrajan (0,01 %) olevat pitoisuudet on ilmoitettu informatiivisessa mielessä.

”-” Ei havaittu, pitoisuus alle määritysrajan.

”**” Jauhatusastian zirkoniumoksidipinnoite saattaa lisätä zirkoniuimpitoisuutta näytteissä.

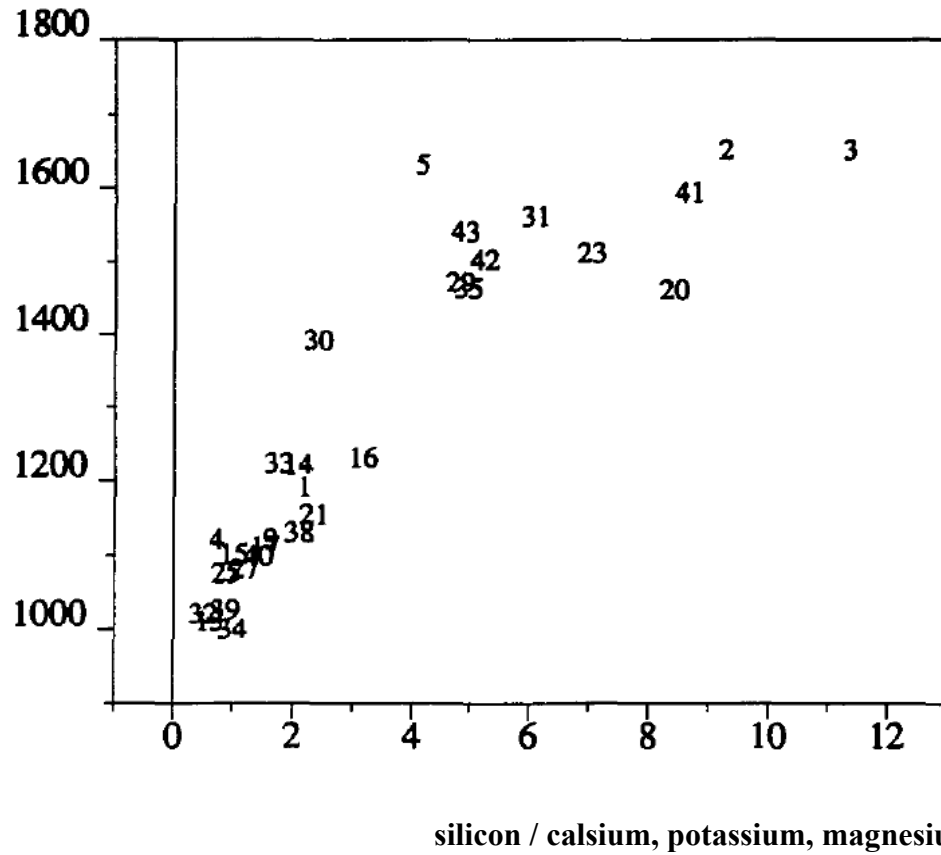
Taulukko E3. Syksyn helven polton mittausjakson lentotuhkan analyysitulokset sekä vertailutietoa turpeen ja biomassan seospoltosta ilman helpeä syyskuussa 2007.

Alkuaine	14.-17.9.2007 (turve+bio)	31.8.-1.9.2007 (turve+bio+helpi)
Natrium, Na	1,2	1,5
Magnesium, Mg	1,5	1,4
Alumiini, Al	6,2	6,3
Pii, Si	16	22
Fosfori, P	1,5	1,4
Rikki, S	0,93	0,77
Kloori, Cl	0,10	0,08
Kalium, K	2,3	2,4
Kalsium, Ca	12	12
Titaani, Ti	0,25	0,28
Vanadiini, V	0,02	0,02
Kromi, Cr	0,01	0,01
Mangaani, Mn	0,54	0,47
Rauta, Fe	7,1	8,0
Nikkeli, Ni	0,01	0,01
Kupari, Cu	0,02	0,03
Sinkki, Zn	0,08	0,08
Bromi, Br	0,02	0,02
Rubidium, Rb	0,01	0,01
Strontium, Sr	0,09	0,09
Yttrium, Y	0,007	0,01
Zirkonium, Zr	0,01	0,02
Barium, Ba	0,17	0,16
Lyijy, Pb	0,006	0,009

Alle määritysrajan (0,01 %) olevat pitoisuudet on ilmoitettu informatiivisessa mielessä

Liite F: Tuhkan sulamispisteen riippuvuus alkuaineiden pitoisuuksista

Initial melting temperature (IT)
°C



Kuva F1. Tuhkan sulamispisteen (IT) riippuvuus piin pitoisuuden suhteesta alkuaineiden kalsium, kalium ja magnesium yhteispitoisuuteen.

Tekijä(t) Paappanen, Teuvo, Lindh, Tuulikki, Kärki, Janne, Impola, Risto, Rinne, Samuli, Lötjönen, Timo, Kirkkari, Anna-Maija, Taipale, Raili & Leino, Timo		
Nimeke Ruokohelven polttoaineketjujen kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi		
Tiivistelmä Ruokohelven viljelyala on viime vuosina lisääntynyt nopeasti. Vuonna 2008 sen arvioidaan olevan lähes 21 000 ha. Lyhyestä kokemuksesta johtuen korjuu-, toimitus- ja käyttöketjussa on vielä puutteita. Korjuu- ja toimitusketjussa puutteet rajoittavat helven käyttöä sekä teknisessä että taloudellisessa mielessä. Projektin tavoitteena on ollut tehostaa ruokohelven polttoaineketjujen kilpailukykyä voimalaitospolttoaineena. Tutkimus- ja kehittämiskohteina ovat mm. ruokohelven korjuu, kaukokuljetustekniikat, murskaus ja sekoitus, voimalaitosten kokemukset helven käytöstä, helven poltto ja käytön tehostaminen mm. pneumaattisella syötöllä sekä ruokohelven korjuu- ja toimitusketjujen kustannukset ja liiketoimintakonseptien kehittäminen. Helven korjuutappioita voidaan pienentää käyttämällä niittoon parhaiten soveltuvia koneita. Kaukokuljetuksen kustannuksia voidaan pienentää lisäämällä paalien tiheyttä paalaimen oikeilla säädöillä ja ajotavalla, tekemällä suurkanttipaaleja sekä käyttämällä kuljetuksiin isompia olemassa olevia autoja. Laitoksille, jotka käyttävät riittävän suuria määriä helpeä, voi oman syöttölinjan rakentaminen paaleina toimitettavalle helvelle olla järkevää, jolloin helven käsittelyn ongelmat poistuvat. Yksi tulevaisuuden tavoite on kehittää voimalaitosten tekniikkaa siten, että se mahdollistaa paalien suorat toimitukset laitokselle. Polttokoetulosten perusteella helven seospolttu pienellä 1–2 %:n osuudella ei lisännyt kattilan pysyviä likakerrostumia tai kuumakorroosiota. Myöskään tuhkan ominaisuudet eivät merkittävästi muuttuneet helpeä poltettaessa.		
ISBN 978-951-38-7242-7 (nid.) 978-951-38-7243-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 6999
Julkaisuaika Marraskuu 2008	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 158 s. + liitt. 9 s.
Projektin nimi Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi		Toimeksiantaja(t) Tekes, yritykset
Avainsanat energy crop, reed canary grass, business opportunities, harvesting losses, transport cost, production cost, combined heat and power, mixed fuel, fouling, high-temperature corrosion, greenhouse gases, emission reduction		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374

<p>Author(s) Paappanen, Teuvo, Lindh, Tuulikki, Kärki, Janne, Impola, Risto, Rinne, Samuli, Lötjönen, Timo, Kirkkari, Anna-Maija, Taipale, Raili & Leino, Timo</p>		
<p>Title Development of reed canary grass fuel chain</p>		
<p>Abstract The cultivation area of reed canary grass (RCG) has rapidly increased over the last years, in 2008 it is estimated to be nearly 21 000 ha. Due to short experience from RCG there are deficiencies on the harvesting, delivery and use chain, which limit the use of RCG in technical and economical sense. The aim of the project was to improve the competitiveness of RCG as a solid fuel.</p> <p>The targets of development have been harvesting, long-distance transport, crushing and mixing, experiences from use on power plants, combustion, improve the use by pneumatic conveying and cost calculations of production supply chains as well as development of business concepts.</p> <p>Harvesting losses can be reduced by using right and correctly adjusted machines for mowing. The costs of long-distance transport can be lowered by increasing bale densities, if baler adjustments and driving style is correct, using square bales and making transports with largest available trucks. For power plants using sufficient large quantities of RCG, it may be reasonable to build a separate feeding line, which also removes the present fuel handling problems. One aim of the future is to develop the power plant technology, which enables the bale transports directly to the plant. According to combustion tests the use of RCG does not increase fouling and corrosion of a boiler, if share is low, 1–2%.</p>		
<p>ISBN 978-951-38-7242-7 (soft back ed.) 978-951-38-7243-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		
<p>Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		<p>Project number 6999</p>
<p>Date November 2008</p>	<p>Language Finnish, English abstr.</p>	<p>Pages 158 p. + app. 9 p.</p>
<p>Name of project Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi</p>		<p>Commissioned by Tekes, companies</p>
<p>Keywords energy crop, reed canary grass, greenhouse gases, emission reduction, business opportunities, harvesting losses, transport cost, production cost, combined heat and power, mixed fuel, fouling, high-temperature corrosion</p>		<p>Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374</p>

VTT Tiedotteita - Research Notes

- 2435 Salmela, Hannu, Toivonen, Sirra & Pekkala, Petri. Tapaustutkimus kuljetus-rasituksista Trans-Siperian radalla. 2008. 59 s.
- 2436 Lindqvist, Ulf, Eiroma, Kim, Hakola, Liisa, Jussila, Salme, Kaljunen, Timo, Moilanen, Pertti, Rusko, Elina, Siivonen, Timo & Väikkynen, Pasi. Technical innovations and business from printed functionality. 2008. 73 p. + app. 6 p.
- 2437 Tiisanen, Risto, Hietikko, Marita, Alanen, Jarmo, Pátkai, Nina & Venho, Outi. System Safety Concept for Machinery Systems. 2008. 53 p.
- 2438 Koponen, Pekka, Pykälä, Marja-Leena & Sipilä, Kari. Mittaustietojen tarpeet ja saatavuus rakennuskannan automaattisten energia-analyysien näkökulmasta. 2008. 62 s. + liitt. 3 s.
- 2439 Mobile TV should be more than a television. The final report of Podracing project. Ed. by Ville Ollikainen. 2008. 71 p. + app. 4 p.
- 2441 Bioenergy in Europe. Implementation of EU Directives and Policies relating to Bioenergy in Europe and RD&D Priorities for the Future. Ed. by Crystal Luxmore. 2008. 59 p.
- 2442 Operational decision making in the process industry. Multidisciplinary approach. Ed. by Teemu Mätäsniemi. 2008. 133 p. + app. 5 p.
- 2443 Hänninen, Markku & Ylijoki, Jukka. The one-dimensional separate two-phase flow model of APROS. 2008. 61 s.
- 2444 Paiho, Satu, Ahlqvist, Toni, Piira, Kalevi, Porkka, Janne, Siltanen, Pekka, Tuomaala, Pekka & Kiviniemi, Arto. Roadmap for ICT-based Opportunities in the Development of the Built Environment. 2008. 58 s. + app. 33 p.
- 2445 Lahdenperä, Pertti. Financial analysis of project delivery systems. Road projects' operational performance data revisited. 2008. 58 p.
- 2447 Mahlberg, Riitta, Hellstedt, Maarit, Jauhiainen, Pekka, Kuisma, Risto, Kymäläinen, Hanna-Riitta, Määttä, Jenni, Salparanta, Liisa, Sjöberg, Anna-Maija & Ritschkoff, Anne-Christine. Helposti puhdistettavat lattiamateriaalit lypsykarjailoissa. 2008. 66 s. + liitt. 2 s.
- 2248 Koljonen, Tiina, Lehtilä, Antti, Savolainen, Ilkka, Flyktman, Martti, Peltola, Esa, Pohjola, Johanna, Haavio, Markus, Liski, Matti, Haaparanta, Pertti, Ahonen, Hanna-Mari, Laine, Anna & Estlander, Alec. Suomalaisen energiateknologian globaali kysyntä ilmastopolitiikan muuttuessa. 2008. 63 s. + liitt. 8 s.
- 2249 Bäck, Asta, Melin, Magnus, Näkki, Pirjo, Vainikainen, Sari, Sarvas, Risto, Seppälä, Lassi & Vihavainen, Sami. Tags and tagging: Creating meanings, organizing, and socializing with metadata. Report on the Täky project. 2008. 86 p. + app. 4 p.
- 2250 Viljakainen, Anna, Bäck, Asta & Lindqvist, Ulf. Media ja mainonta vuoteen 2013. 2008. 95 s. + liitt. 46 s.
- 2251 Ruotsalainen, Laura. Data Mining Tools for Technology and Competitive Intelligence. 2008. 63 p.
- 2252 Paappanen, Teuvo, Lindh, Tuulikki, Kärki, Janne, Impola, Risto, Rinne, Samuli, Lötjönen, Timo, Kirkkari, Anna-Maija, Taipale, Raili & Leino, Timo. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. 2008. 158 s. + liitt. 9 s.
- 2253 Ekholm, Tommi, Soimakallio, Sampo, Höhne, Niklas, Moltmann, Sara & Syri, Sanna. Assessing the effort sharing for greenhouse gas emission reductions in ambitious global climate scenarios. 2008. 75 p. + app. 3 p.

Julkaisu on saatavana

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

Publikationen distribueras av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

This publication is available from

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 20 722 4520
<http://www.vtt.fi>