

*M a a t a l o u d e n
t u t k i m u s k e s k u k s e n
j u l k a i s u j a*

S A R J A A

6

*Leena Paavilainen, Jorma
Tulppala, Antero Varhimo,
Marjatta Ranua ja
Jaakko Pere*

**Agrokuidun tuotanto ja
käyttö Suomessa**

Tutkimuksen loppuraportti, IV osa

**Ruokohelpisulfaattimassa hieno-
paperin raaka-aineena**

*Leena Paavilainen, Jorma Tulppala, Antero Varhimo,
Marjatta Ranua ja Jaakko Pere*

Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa

Tutkimuksen loppuraportti, IV osa

**Ruokohelpisulfaattimassa hieno-
paperin raaka-aineena**

Production and use of agrofibre in Finland

Final report of the study, IV part

Reed canary grass sulphate pulp as raw material for fine paper

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-491-3

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus (MTT) 1996

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus (MTT), 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puh. (03) 41 881, telekopio (03) 418 8339

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy, 1997

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Paavilainen, L.¹⁾, Tulppala, J.¹⁾, Varhimo, A.²⁾, Ranua, M.²⁾ & Pere, J.³⁾ 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, IV osa. Ruokohelpisulfaattimassa hienopaperin raaka-aineena. (Abstract: Reed canary grass sulphate pulp as raw material for fine paper). Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 6. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, 1997. 57 s. + 12 liitettä.

¹⁾ Jaakko Pöyry Oy, PL 4, 01621 Vantaa

²⁾ Oy Keskuslaboratorio, PL 70, 02151 Espoo

³⁾ VTT Bio- ja elintarviketekniikka, PL 1500, 02044 VTT

Tiivistelmä

Avainsanat: agrokuitu, ruokohelpi, sellun valmistus, silikaatinpoisto, hienopaperi, vedenpoisto-ominaisuudet

Suomen oloissa lyhytkuituista ruokohelpeä on mahdollista käyttää hienopaperin raaka-aineena.

Ruokohelven kuitupituus ja pituusmassa ovat hieman alhaisemmat kuin koivumassalla, mistä on seurauksena suuri kuitumäärä massayksikössä. Non-wood-kuitujen tapaan ruokohelvelle on tyypillistä suuri hienoainemäärä, joka huonontaa massan suotautuvuutta. Koivuun verrattuna ruokohelpi sisältää vähemmän ligniiniä ja selluloosaa, mutta huomattavasti enemmän tuhkaa ja silikaattia.

Ruokohelpi keittyy helposti kappalukuun 10 ja saanto on hyvä. Ruokohelpimassaa ei tarvitse happidelignifioida. Valkaisemattoman ruokohelpimassan ja happidelignifioidun koivumassan vaalenevuudessa ei ollut eroja. Fraktioitu, kyyppipesty ja happidelignifioitu ruokohelpi vaaleni myös TCF-sekvenssillä täysvaaluteen kemikaalikulutusten ollessa varsin kohtuullisia.

Ruokohelven korkea silikaattipitoisuus (1–5 %) aiheuttaa ongelmia talteenottolinjalla, jos sitä ei huomioida prosessia suunniteltaessa. Lehtimateriaalin ja pölyn poisto fraktioinnilla ennen keittoa pienentää silikaattipitoisuutta noin 40 %. Mustalipeästä silikaatti voidaan poistaa käyttämällä kaupallisia menetelmiä: saostamalla savukaasuilla tai kaksivaiheisella kaustisoinnilla.

Lyhytkuituinen ruokohelpimassa antaa hienopaperille hyvät painettavuusominaisuudet, kun taas ajettavuuden edellyttämä lujuus saadaan pitkäkuituisella havumassalla. Ruokohelpikuidulla on hyvä sitoutumiskyky, joten sitä ei tarvitse jauhaa. Ruokohelpimassan repäisyjujuus on pienempi, mutta murtotyö suurempi kuin jauhetulla koivumassalla. Myös ilmanläpäisyvastus on jonkin verran suurempi. Erot ovat kuitenkin koivumassan ominaisuusvaihteluiden rajoissa. Ruokohelven suuri kuitumäärä massayksikössä takaa massalle hyvät valonsirontaominaisuudet.

Ruokohelven kasvupaikan maalaji ja korjuuajankohta aiheuttavat suuria vaihteluita raaka-aineen ominaisuuksiin. Kun ruokohelpi tuottaa runsaasti kortta, kasvaa multamaalla ja korjataan keväällä, siitä keitetyn massan saanto ja paperitekninen potentiaali hienopaperissa ovat samaa luokkaa koivumassan kanssa.

Vaikka puhtaan ruokohelpimassan vedenpoisto-ominaisuudet ovat huonommat kuin koivumassan, laboratoriosimulointikokeet osoittivat, ettei näiden massojen välillä ole eroja rainan kosteuspuiteisuudessa ennen puristinosaa eikä sen jälkeen. Kuivatussimulointikokeiden perusteella voi ruokohelpeä sisältävän paperin loppukosteus jäädä korkeammaksi kuin puumassasta valmistetun paperin ainoastaan silloin, kun kuivatusosa muodostaa

"pullonkaulan" paperikoneessa. Pilotpaperikoneella tehdyissä kokeissa ei höyrynkulutuksessa eikä kuivaussyntereiden lämpötiloissa havaittu eroja lisättäessä ruokohelpimassan osuutta pohjapaperissa. Entsyymikäsitteilyllä voidaan tarvittaessa parantaa ruokohelpimassan vedenpoistokykyä.

Laboratoriomitassa saadut tulokset ruokohelpimassan soveltuvuudesta hienopaperin

raaka-aineeksi varmistettiin pilotmittakaavaisissa koeajoissa, joissa valmistettiin päällystettyä ja pintaliimattua hienopaperia. Paperia koe-painettiin arkkioffsetpainokoneella. Pilotkoeajojen perusteella ruokohelpimassalla voidaan joko osittain tai kokonaan korvata koivusellu päällystetyssä ja pintaliimatussa hienopaperissa ajettavuuden tai laadun kärsimättä.

Abstract

Key words: non-wood fibre, agrofibre, reed canary grass, pulping, silica removal, fine paper, dewatering properties

Reed canary grass is a potential producer of short fibre for fine paper in Finland. Its fibre length and coarseness are somewhat lower than those of birch, yielding a large amount of particles per unit weight of pulp. Like other non-wood fibres, reed canary grass has a high fines content, which impairs the dewatering properties of pulp. Reed canary grass pulp contains less lignin and cellulose but much more ash and silica than birch pulp.

Reed canary grass cooks easily to kappa level 10 and the yield is good. No oxygen delignification is needed. There were no differences in bleachability between unbleached reed canary grass pulp and oxygen-delignified birch pulp. When fractionated and pre-washed reed canary grass was used, full brightness was also reached with oxygen-delignified TCF pulp, chemical consumption still being very reasonable.

The high silicon content of reed canary grass, 1-5%, causes problems in the recovery system if not taken into account in the process design. The removal of leaves and dust with air fractionation before cooking decreases the silicon content by about 40%. Silicon can be removed from black liquor with commercial desilication techniques, by precipitation with flue gases or by two-stage causticization.

Short-fibred reed canary grass pulp gives fine paper good printing properties, while the strength required for runnability is adjusted by adding long-fibred softwood pulp. Reed canary grass fibres have a good bonding ability and need not be refined. The tear strength of the pulp is lower than that of refined birch pulp, but the TEA is higher; Air resistance is also somewhat higher. The differences are, however, within the limits of the property variations of mill birch pulp. The large amount

of particles per unit weight of reed canary grass guarantees that the paper has good light scattering properties.

Reed canary grass raw material properties are highly dependent on both the soil type at the growing place and the development stage of the plant at harvest. If reed canary grass is grown in humus-rich soil, produces a large stem fraction and is harvested by the delayed harvesting system, its pulp yield and papermaking potential are comparable to those of birch pulp.

Although the dewatering ability of pure reed canary grass pulp is inferior to that of birch pulp, laboratory simulation tests showed that there are no differences in sheet dryness before or after pressing irrespective of whether birch or reed canary grass is used as the short-fibre pulp. Drying results indicate that only if the paper machine is drying-limited is there a possibility that the end moisture content of paper will be higher if reed canary grass is used in the furnish instead of woodpulp. When the proportion of reed canary grass pulp in the base paper was increased in pilot paper machine trials, no differences could be detected in steam consumption or in drying cylinder temperatures. Dewatering of reed canary grass pulp can be improved with enzymatic treatment if necessary.

The results of the laboratory tests were confirmed in pilot-scale trials by making coated and surface-sized fine paper and by testing the printability of the paper in offset printing. The trials indicated that birch pulp can be replaced in part or entirely by reed canary grass pulp in coated or surface-sized fine paper without adversely affecting the runnability or the quality of the paper.

Alkusanat

Tämä osaraportti, ”Ruokohelpisulfaattimassa hienopaperin raaka-aineena”, on osa maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa kehitysprojektia **Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa**. Tutkimuksesta on julkaistu seuraavat raportit:

Yhteenveto Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa, toteutettavuusselvitys (Jaakko Pöyry Oy, 1996)

Osaraportti I Agrokuitukasvien viljely, Viljelytoimenpiteiden ja lajikevalinnan vaikutus agrokuitukasvien satoon ja kivennäiskoostumukseen (Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A, nro 3, 1996)

Osaraportti II Ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsittely sekä tuotantokustannukset ja saatavuus (Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A, nro 4, 1996)

Osaraportti III Vaihtoehtoiset kuidutusmenetelmät (Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A, nro 5, 1996)

Osaraportti IV Ruokohelpisulfaattimassa hienopaperin raaka-aineena (Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A, nro 6, 1996)

Osaraportti V Agrosellutehtaan esisuunnittelu (Jaakko Pöyry Oy, 1996)

Onko ruokohelpi maatalouden non-food- ja paperiteollisuuden non-wood-vaihtoehto? ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa” -projektin tavoitteena oli selvittää tekniset ja taloudelliset mahdollisuudet korvata osa tuontikoivusta pelloillamme kasvatettavalla ruokohelvellä. Lähtökohtana on ollut ylijäämäpeltojen järkiperaäinen hyödyntäminen.

Tässä osaraportissa on tarkasteltu ruokohelpisulfaattimassan ja ruokohelpimassaa sisältävän hienopaperin valmistusta ja ominaisuuksia sekä agrokuidun käyttöön liittyviä erityispiirteitä, kuten mustalipeän ominaisuuksia, silikaatinpoistoa ja vedenpoisto-ominaisuuksia. Lopuksi on esitetty hienopaperin pilotkoeajot arkkioffsetkoepainatustuloksineen.

Laboratorio- ja pilotkokeiden tulokset osoittivat kiistattomasti, että ruokohelpimassalla voidaan korvata hienopaperin lyhytkuitukomponenttina käytetty koivumassa joko osittain tai kokonaan.

Esitän kiitokseni miellyttävästä yhteistyöstä ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa” -kehitysprojektin jäsenille ja kaikille tutkimukseen osallistuneille.

Helsingissä, marraskuussa 1996

Leena Paavilainen

Osaraportin tutkimusryhmä:

Jaakko Pöyry Oy: TkT Leena Paavilainen, osaraportin vastaava ja TkL Jorma Tulppala

Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos: MMK Mika Hemming

Oy Keskuslaboratorio: DI Antero Varhimo, DI Marjatta Ranua ja FM Jouko Laamanen

VTT Bio- ja elintarviketekniikka: FK Jaakko Pere

Teknillinen korkeakoulu, Paperiteknikan laboratorio: Prof. Zhisheng Cheng, TkL Jouni Paltakari ja DI Tuija Tuhkanen

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	7
Käytetyt lyhenteet ja vierasperäiset ilmaisut	12
Johdanto	13
1 Paperituotteiden markkinanäkymät	13
1.1 Paperin tuotanto	13
1.2 Massan tuotanto	15
1.3 Non-wood-massojen tuotanto ja käyttö	16
2 Ruokohelpiraaka-aine	16
2.1 Kemialliset ominaisuudet	16
2.2 Morfologiset ominaisuudet	19
2.3 Lehti/korsi-suhteen vaikutus prosessoitavuuteen ja massan laatuun	19
3 Ruokohelven esikäsittely	22
3.1 Lehtiaineksen fraktiointi ilmaerotellulla	22
3.2 Ruokohelpiraaka-aineen pesu	22
4 Keittokokeet	23
4.1 Korjuuajankohdan ja kasvupaikan vaikutus keitettävyyteen	23
4.2 Sulfaattikeiton optimointi	23
4.2.1 Keitto-olot	23
4.2.2 Keittotulokset	23
5 Happidelignifiointi	25
5.1 Happidelignifiointiolot	25
5.2 Tulokset	25
6 ECF- ja TCF-valkaisu ja yhteisvalkaisu koivun kanssa	25
6.1 Valkaisuolot	25
6.2 Valkaisutulokset	25
6.2.1 ECF-valkaisu	25
6.2.2 TCF-valkaisu	28
7 Mustalipeän ominaisuudet	33
7.1 Tutkitut lipeät	33
7.2 Kemiallinen koostumus ja lämpöarvo	33

7.3	Viskositeetti	33
7.4	Poltto-ominaisuudet	34
8	Silikaatinpoisto	35
8.1	Yleistä	35
8.2	Silikaatin poistomenetelmät	35
8.2.1	Agroraaka-aineen esikäsittely	35
8.2.2	Saostus savukaasuilla	36
8.2.3	Kaksivaiheinen kaustisointi	36
8.2.4	Kaksivaiheinen silikaatinpoisto	36
8.2.5	Mustalipeän lämpökäsittely	36
8.2.6	Muut menetelmät	37
8.2.7	Valittu silikaatinpoistomenetelmä	37
9	Ruokohelpimassan paperitekkinen potentiaali	37
9.1	Ruokohelpimassan ominaisuudet	37
9.2	Raaka-aineen ominaisuusvaihteluiden vaikutus massan paperitekkinen potentiaaliin	38
9.3	Jauhatus	39
9.3.1	Jauhautuvuus	39
9.3.2	Yhteisjauhatus koivumassan kanssa	39
9.4	Massan optimaalinen seossuhde	41
10	Vedenpoisto-, märkäpuristus- ja kuivatusominaisuudet	42
10.1	Vedenpoisto viiraosalla	42
10.2	Märkäpuristus	42
10.3	Kuivatus	43
11	Entsyymien käyttömahdollisuudet agromassan vedensidonnan säätelyssä	46
11.1	Käytetyt entsyymit	46
11.2	Vaikutus suotautuvuuteen	46
11.3	Hypoteesi vedenpoistomekanismista	47
11.4	Toteuttamismahdollisuudet	48
12	Pilotkoeajot	48
12.1	Agrokuidun esikäsittely	49
12.2	Keitto	50
12.3	Lajittelu	50
12.4	Valkaisu ja jälkilajittelu	50
12.5	Massojen jauhatus	50
12.6	Paperikoneajot	50
12.7	Päällystys ja pintaliimaus	51
12.7.1	Päällystyskoeajo	51
12.7.2	Pintaliimauskoeajo	52
12.8	Arkkioffsetkoepainatus	52
	Yhteenvedo	56
	Kirjallisuus	57

LIITTEET

1. Pesun epäpuhtauksia vähentävä vaikutus: mikroskooppimenetelmä ja tulokset
2. Korjuuajankohdan ja tyypitason vaikutus ruokohelven sellu- ja paperitekniisiin ominaisuuksiin
3. Kasvupaikan ja lajikkeen vaikutus ruokohelven sellu- ja paperitekniisiin ominaisuuksiin
4. Valkaisuolot ja tulokset
5. Kalanteroimattoman pohjapaperin ominaisuudet
6. Koepainatus IGT AIC2-5 -laitteella, pintaliimattu
7. Koepainatus IGT AIC2-5 -laitteella, päällystetty
8. Arkkioffsetkoepainatus, painojäljen densiteetti
9. Arkkioffsetkoepainatus, painojäljen kiilto
10. Arkkioffsetkoepainatus, läpipainatus
11. Arkkioffsetkoepainatus, painojäljen epätasaisuus
12. Arkkioffsetkoepainatus, pick-jälkien lukumäärä

Käytetyt lyhenteet ja vierasperäiset ilmaukset

non-wood	ei-puuperäinen
tree-free paper	paperi, jonka valmistuksessa ei ole käytetty lainkaan puuta
AD	(air dry) ilmakuiva
ADt	1 000 kg ilmakuivaa materiaalia
BD	(bone dry) absoluuttisen kuiva, täyskuiva
BDt	1 000 kg absoluuttisen kuivaa materiaalia
ka	kuiva-aine
akt. Cl	klooriyhdisteiden määrä ilmoitettuna aktiivikloorina
ECF	Elemental Chlorine Free, ilman alkuaineklooria valkaistu massa
TCF	Totally Chlorine Free, ilman kloorikemikaaleja valkaistu massa
D	klooridioksidivaihe massan valkaisussa
E	alkalinen uuttovaihe valkaisussa
O	happivaihe massan valkaisussa
P	peroksidivaihe massan valkaisussa
Q	kelatointivaihe massan valkaisussa
Z	otsonivaihe massan valkaisussa
A	hapotusvaihe massan valkaisussa
% ISO	massan ISO-standardin mukainen vaaleus prosentteina
SCAN	SCAN-standardi
SR	Schopper-Riegler, massasulpun suotautumiskyvyn ja jauhatusteen mitta
CSF	Canadian Standard Freeness, massasulpun suotautumiskyvyn ja jauhatusteen mitta
EG I	endoglukanaasi I:ksi kutsuttu sellulaasientsyymi
VE 1	tehdasvaihtocho 1
VE 2	tehdasvaihtocho 2
VE 1/S	vaihtocho 1 + erillinen silikaatinpoisto
REF.	referenssi
IRR-%	(internal rate of return) sisäinen korkoprosentti
ap	alapuoli
yp	yläpuoli
vp	viirapuoli
ks	konesuunta
ps	poikkisuunta

Johdanto

Lähtökohhta

Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa kolmivuotisessa kehitysohjelmassa ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa” selvitettiin mahdollisuudet valmistaa ruokohelvestä korkealaatuista lyhytkuituista massaa, joka on sekä laadullisesti että valmistuskustannuksiltaan kilpailukykyistä koivumassan kanssa.

Projektin lähtökohdaksi oli ylijäämäpeltojen järkipäivä hyödyntäminen. Toisaalta hienopaperin kulutuksen on ennustettu kasvavan, jolloin myös lyhytkuituisen massan tarve kasvaa. Koivua lyhytkuituisen massan raaka-aineeksi ei saada kotimaasta riittävästi. Projektissa onkin selvitetty mahdollisuutta korvata koivumassa hienopaperissa osittain tai kokonaan ruokohelpisulfaattimassalla.

Projektissa keittomenetelmäksi valittiin sulfaattikeitto. Tällä hetkellä agrokuidut keitetään yleisimmin soodakeitolla pienissä tehtaissa, joihin kemikaalien talteenottoa ei suurten investointikustannusten vuoksi pystytä rakentamaan. Projektissa tutkittiin myös uudentyyppisten massanvalmistusmenetelmien, kuten fosfaatti-, sooda+AQ-, Milox- ja etanolikeiton sekä entsyymaattisten ja mikrobiologisten esikäsitteilyjen soveltuvuutta ruokohelven prosessointiin (Osaraportti III, Vaihtoehtoiset kuidutusmenetelmät, Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 1996, A5). Muiden heinäkasvien tavoin ruokohelpi keittyy hyvin eikä keittomenetelmällä ole ratkaisevaa vaikutusta lyhytkuituisen massan laatuun. Teollisesti valmistaa, liiketaloudellisesti kannattavaa ja ympäristöystävällistä, pienessä mittakaavassa toteutettavaa keittoprosessia ei ole vielä onnistuttu kehittämään.

Liiketaloudellisen kannattavuuden saavuttaminen edellyttää sellutehtailta suuria yksikkökojoja, jolloin agrokuituraaka-aineen saatavuutta ei pystytä turvaamaan. Vaadittavat peltopinta-alat tulevat suhteettoman suuriksi eikä raaka-aineen hankinnan logistiikkaa pystytä hallitsemaan kohtuukustannuksin.

Liiketaloudellisesti ainoa järkevä vaihtoehto on integroida agrokuitulinja puuta keittä-

vään tehtaaseen, jolloin ruokohelpi keitetään sulfaattimenetelmällä (Osaraportti V, Agrosel-lutehtaan esisuunnittelu, Jaakko Pöyry Oy, 1996).

Tavoitteet

Tämän osaprojektin tavoitteena oli:

- kehittää ruokohelpimassasta hyvää lyhytkuituista hienopaperimassaa
- optimoida keitto ja valkaisu huomioiden massan laatu, valmistuskustannukset sekä ympäristönäkökohdat
- selvittää agrokuitumustalipeän ominaisuudet silikaatin käsittely huomioiden
- selvittää ruokohelpimassan soveltuvuus hienopaperin raaka-aineeksi valmistamalla hienopaperia pilotmittakaavassa ja painamalla se arkkioffsetpainokoneella

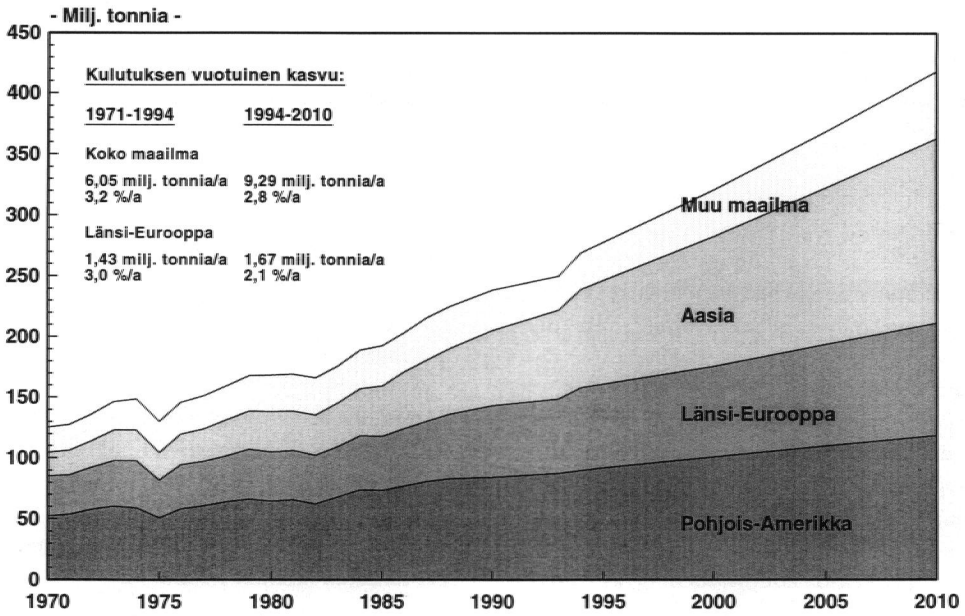
1 Paperituotteiden markkinanäkymät

1.1 Paperin tuotanto

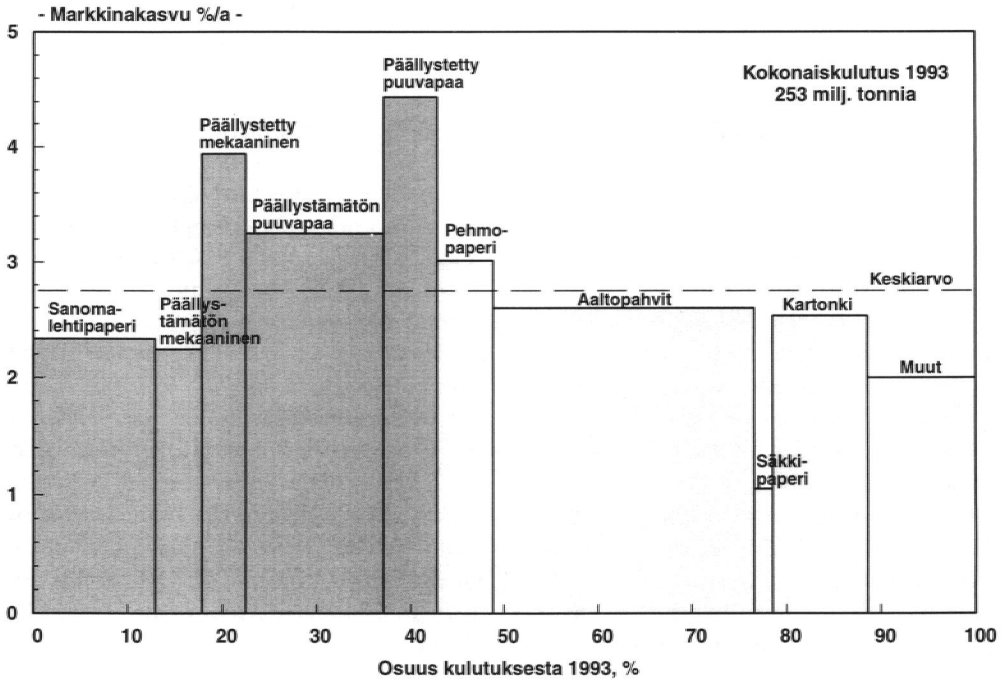
Maailman paperin ja kartongin kulutuksen on ennustettu nousevan 400 miljoonaan tonniin vuoteen 2010 mennessä (Kuva 1). Vuosittainen kasvu on 2,8 % (9,29 milj. t/a). Voimakasta kasvu on Aasiassa, jossa eräs paperiteollisuuden laajenemista vaikeuttava tekijä on pula puuraaka-aineesta.

Päällystettyjen papereiden sekä puupitoisten ja puuvapaiden painopapereiden kulutuksen on ennustettu kasvavan eniten (Kuva 2). Kasvu on 4–5 %/a maailmanlaajuisesti ja samalla tasolla myös Suomen tärkeimmällä markkina-alueella Länsi-Euroopassa. Syy tähän on mainonnan lisääntyminen ja toimistoteknologian kehitys.

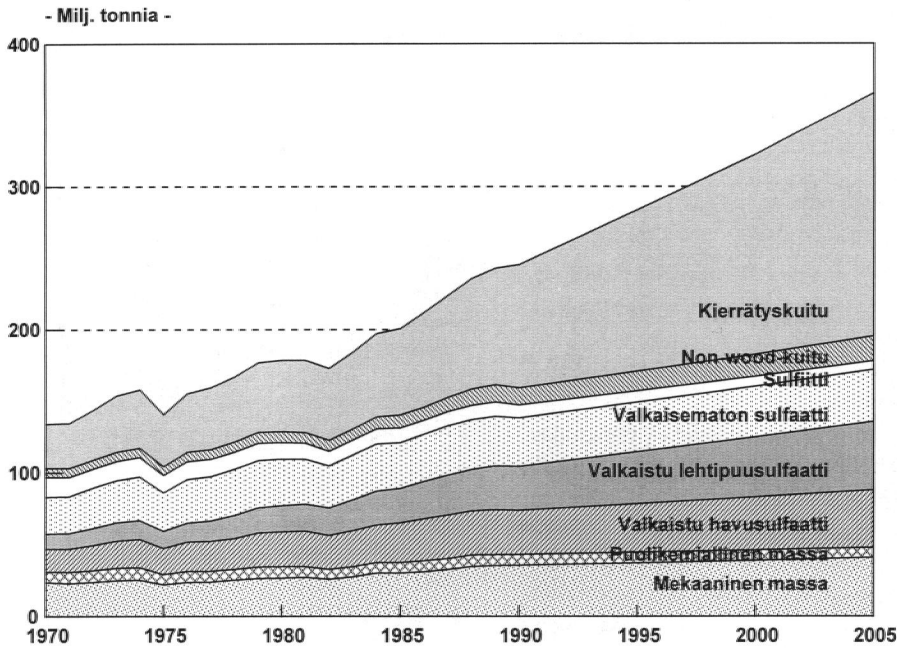
Suomi on kuudenneksi suurin paperin- ja kartongintuottaja maailmassa ja toiseksi suurin Euroopassa. Etenkin paino- ja kirjoituspapereiden tuottajana Suomi on merkittävä: suurin



Kuva 1. Paperin ja kartongin kulutus maailmanlaajuisesti vuosina 1970–2010. (Kuva: Jaakko Pöyry Oy)



Kuva 2. Maailman paperin ja kartongin kulutuksen kasvuennuste 1993–2010. (Kuva: Jaakko Pöyry Oy)



Kuva 3. Eri massalajien kulutus 1970–2005. (Kuva: Jaakko Pöyry)

Euroopassa ja kolmanneksi suurin koko maailmassa.

1.2 Massan tuotanto

Massan ja paperin kulutus kulkevat käsi kädessä. Kirjoitus- ja painopapereiden kasvu lisää valkaistun neitseellisen lyhyt- ja pitkäkuituisen massan tarvetta (Kuva 3). Vaikka kierrätysmassan kulutus kasvaakin ennustemme mukaan eri massalajeista eniten, sen osuus painoja kirjoituspapereissa pysyy alhaisena (alle 20 %). Kierrätyskuidun osuus lisääntyy etenkin sanomalehtipaperissa ja sellaisissa tuotteissa, joissa kierrätyskuidun osuus jo nyt on keskimäärin 50 %. Näitä ovat pehmpaperit, laineri- ja flutingkartongit sekä laatikkokartongit. Tietyillä alueilla kuten Japanissa ja eräissä Euroopan maissa kierrätyskuidun kulutus on saavuttamassa maksiminsa.

”Ympäristöystävällisten massojen” tuotanto tulee lisääntymään. TCF-massojen tuotanto kasvaa hitaammin kuin aiemmin ennustettiin. Ympäristöystävällisyys yhdistetäänkin tänä päivänä enemmän suljettuihin prosesseihin. Markkinoilla on myös pieniä määriä ”tree-free”-papereita.

Valkaistu kemiallisesti valmistettu ruokohelpimassa on lyhytkuituista massaa, jonka pääkäyttökohteita ovat puuvapaat kirjoitus- ja painopaperit (eli hienopaperit) sekä pakkauskartonkien pintakerros. Ruokohelpi soveltuu myös kemimekaanisena massana lopputuotteisiin, kuten pehmpapereihin, laineri- ja flutingkartonkiin ja laatikkokartonkeihin. Näissä ruokohelpimassa kilpailee kierrätyskuidun kanssa ja sen kilpailukyky riippuu kierrätyskuidun hinnan kehityksestä.

1.3 Non-wood-massojen tuotanto ja käyttö

Maailmassa on valmistettu paperia non-wood-kuiduista jo yli 1 900 vuotta. Aina 1800-luvulle asti non-wood-kuidut, lähinnä pellava ja puuvilla, olivat paperiteollisuuden pääraaka-aineita. Paperinkulutuksen kasvaessa ja teolliseen paperintuotantoon siirryttäessä non-wood-kuidut eivät enää pystyneet tyydyttämään paperiteollisuuden raaka-ainetarvetta. Puukuidut ovatkin korvanneet non-wood-kuidut monissa paperilajeissa tiettyjä erikoispapereita lukuunottamatta.

Tänä päivänä 6 % maailman paperimassasta tuotetaan non-wood-kasveista (18 milj. ADt/a). Non-wood-massojen tuotanto on keskittynyt alueille, joilla puuta ei ole riittävästi saatavilla. Maailman non-wood-massasta 90 % tuotetaan Aasiassa. Ylivoimaisesti suurin non-wood-massojen tuottaja on Kiina, joka ohittaa muut Aasian maat ja Etelä-Amerikan (Kuva 4).

Pääosa non-wood-massoista valmistetaan oljesta, bagassesta ja bambusta. Kiina on maailman suurin olkimassan tuottaja yli 80 %:n osuudellaan (Kuva 5). Bagassemassan päätuottajat ovat Kiina, Intia, Meksiko, Peru ja Indonesia. Bambumassaa tuotetaan lähinnä Intiassa, Kiinassa ja Thaimaassa.

Non-wood-massaa tuotetaan pääasiassa pienissä sellu-paperitehdas-integraateissa. Markkinamassaa, joka on kemiallista massaa, valmistetaan n. 800 000 t/a (Taulukko 1). Tärkeimmät non-wood-markkinamassat ovat puuvillalintteri-, bagasse- ja bambumassa. Näiden non-wood-massojen hinta on puuselluja huomattavasti korkeampi ja massat käytetään erikoistuotteissa, kuten setelipapereissa.

Maataloustuotteiden ylituotanto Euroopassa on johtanut siihen, että parhaillaan selvitetään mahdollisuuksia tuottaa pelloilla raaka-ainetta sekä paperinvalmistukseen että energiantuotantoon. Potentiaalisia lyhytkuituisia kasveja ovat ruokohelpi ja elefanttiruoho, pitkäkuituisia kasveja pellava ja hamppu.

Taulukko 1. Non-wood-markkinamassan tuotanto maailmanlaajuisesti 1994.

Kuitu	Massaa ADt/a
Puuvillalintteri	260 000
Bagasse	187 000
Bambu	157 000
Olki	83 000
Ruoko	50 000
Esparto	30 000
Manilla	22 000
Pellava, hamppu, sisal	18 000
Muut	21 000
Yhteensä	828 000

ADt = 1000 kg ilmakeivää materiaalia

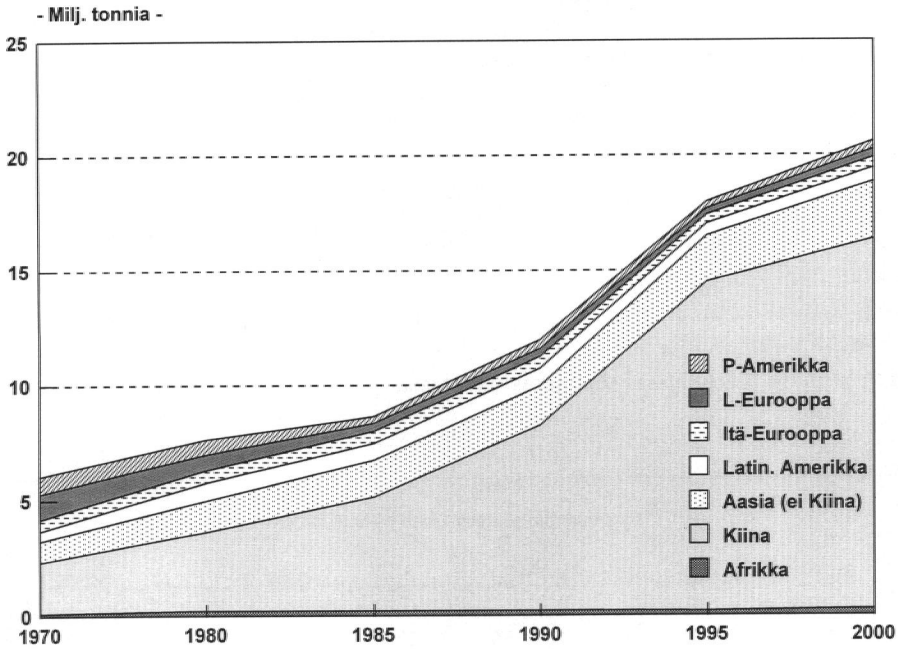
2 Ruokohelpiraaka-aine

Ruokohelven kemialliset ja morfologiset ominaisuudet määräytyvät kehitysasteen (korjuuajankohta), kasvin iän, kasvupaikan ja lajikkeen perusteella. Näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kasvin jalostuksella.

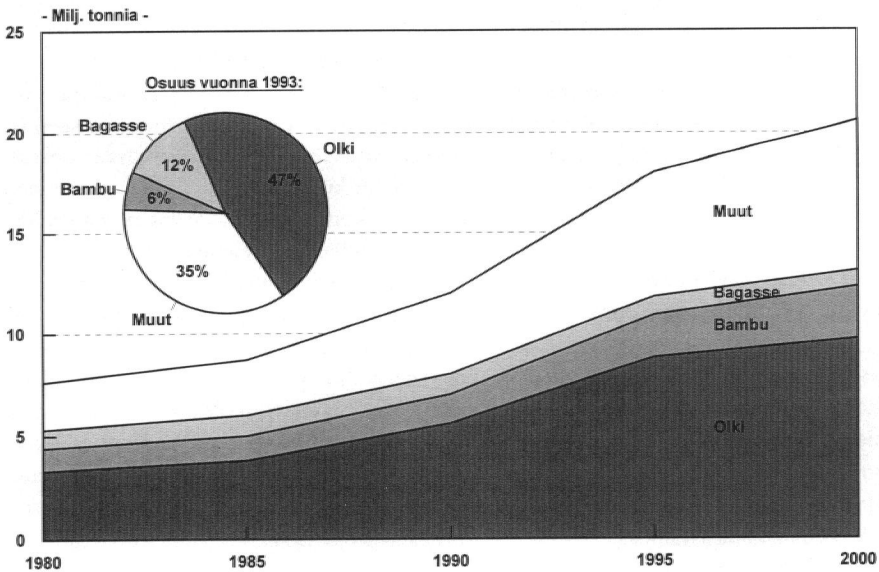
2.1 Kemialliset ominaisuudet

Selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin lisäksi ruokohelpi sisältää proteiinia ja rasvoja. Kasvukauden kuluessa kasvin ligniini- ja etenkin selluloosa- sekä hemiselluloosapitoisuus lisääntyvät, mutta proteiinipitoisuus alenee. Tämä johtuu kasvin rakenteen muutoksista kasvukauden aikana; lehtien suhteellinen osuus pienenee.

Lehdet sisältävät vähemmän selluloosaa ja ligniiniä kuin korret. Lehtien proteiini-, pii- ja tuhkapitoisuus on korkea. Kemiallisen koostumuksen kannalta ruokohelpikasvusto tulisi korjata mahdollisimman myöhään.



Kuva 4. Non-wood-massojen tuotanto. (Kuva: Jaakko Pöyry)



Kuva 5. Non-wood-massatuotannon jakaantuminen eri raaka-aineiden kesken. (Kuva: Jaakko Pöyry)

Taulukko 2. Ruokohelven, oljen, koivun ja eukalyptuksen kemiallinen koostumus.

	Ruokohelpi	Olki (vehnä)	Koivu	Eukalyptus
Ligniini, %	14 ¹⁾	20	21	25
Selluloosa, %	34 ¹⁾	37	41	46
Hemiselluloosa, %	22 ¹⁾	23 – 30	33	26
Tuhka, %	7	5 – 9	0,3	0,3
Silikaatti, %	2	1,5 – 2	0,03	–

¹⁾ Theander 1991

Taulukko 3. Ruokohelpi- ja koivumassan hiilihydraattikoostumus määriteltynä entsyymattisen hydrolyysin avulla.

Sokerikoostumus, % kuiva-aineesta									
Massa	Man	Ara	Gal	Glu	Ksyl	GalA	GlcA	MeGlcA	
Ruokohelpi	0,2	0,7	0,1	73,9	23,9	0,4	0,2	0,6	
Koivu	–	–	–	72,7	24,8	–	–	1,0	

Samoin kuin oljen, myös ruokohelven selluloosapitoisuus on alhaisempi kuin puiden (Taulukko 2). Ruokohelven ligniinipitoisuus on olkeakin alhaisempi. Hemiselluloosan osuus kuiva-aineesta on ruokohelvellä samaa luokkaa kuin eukalyptuksella. Sen sijaan hemiselluloosan ja selluloosan suhde on suurempi kuin eukalyptyksellä, mutta alhaisempi kuin koivulla.

Ruohokasvien hemiselluloosa koostuu pääosin ksylaanista, pektiinistä ja ksyloglukaanista sekä pienestä määrästä glykoproteiinia, jossa sokereina esiintyvät arabiinosi, galaktoosi, ramnoosi ja mannoosi (Pere & Viikari 1996, Taulukko 3). Koivussa hemiselluloosa esiintyy pääosin O-asetyyli-4-O-metyylyglukuroniksyklaanina, jossa ksylaanin pääketjuun on liittynyt metyylyglukuronihapporyhmiä.

Hemiselluloosakoostumus ja -määrä vaikuttavat ratkaisevasti massan turpoamiseen ja vedenpidätyskykyyn. Hemiselluloosan koostumuksessa ei kuitenkaan näytä olevan merkittäviä eroja koivu- ja ruokohelpimassan välillä.

Ruokohelven korkea tuhka- ja piipitoisuus ovat tyypillisiä muillekin non-wood-kuiduille (Taulukko 2). Silikaattipitoisuus lisääntyy kasvukauden edetessä. Kevätkorjatun ruokohelven silikaattipitoisuus on lisäksi korkeampi kuin syyskorjatun ruokohelven.

Kasvupaikka vaikuttaa ratkaisevasti ruokohelven silikaattipitoisuuteen. Syyskorjatun ruokohelven silikaattipitoisuuden on todettu vaihtelevan 0,8 %:sta 4,5 %:iin kasvupaikasta riippuen (maalajin vaikutus). Silikaattipitoisuudet ovat korkeimmat savimaalla kasvaneessa ruokohelvellä ja alhaisimmat hietamaalla kasvaneessa ruokohelvellä.

Taulukko 4. Kevätkorjatun ruokohelpimassan, koivu ja eukalyptuksen morfologiset ominaisuudet.

	Ruokohelpi	Koivu	Eukalyptus
Pituudella painotettu kuitupituus, mm	0,7	0,9	0,8
Hienoainepitoisuus <0,20 mm, %	46,7	12,7	10,8
Pituusmassa, mg/m	0,080	0,110	0,075
Kuidun leveys, µm	16	25	16
Miljoona kuitua/g sellua	17	10	17

2.2 Morfologiset ominaisuudet

Ruokohelpi koostuu kuiduista sekä lyhyistä ja ohutseinäisistä putkilosoluista, parenkyymisolui-
luista ja epidermisoluista (Wisur 1991). Ruokohelpimassan pituudella painotettu kuitupi-
tuus on keskimäärin 0,7 mm, mikä on vertailu-
kelpoinen lehtipuukuitujen kanssa (Taulukko
4). Pisimmät kuidut sijaitsevat korsien nivelvä-
leissä ja lyhimmät kuidut lehdissä. Kuitupi-
tuusjakautuma on leveämpi kuin lehtipuukui-
duista valmistetulla massalla (Kuva 6).

Ruokohelpi, kuten non-wood-kuidut yleensä, sisältää runsaasti lyhyitä parenkyymi-
ja epidermisoluja (Kuva 7). Hienojakeen osuus on suurin lehdissä ja alhaisin korsissa. Kas-
vusto korsiantuu vanhetessaan ja hienoaineen määrä alenee. Kasvupaikalla on ratkaiseva vai-
kutuksen lehtien määrään ja siten myös massan sisältämän hienoaineen määrään. Savimailla nuori kasvusto tuottaa enemmän lehteä kuin multa- tai hietamailla. Lehtien määrä vaihtelee myös lajikkeiden välillä. Paperimassan ruokohelpiraaka-aine tulisi siis korjata mahdollisimman myöhäisessä kehitysvaiheessa ja vasta toisen vuoden sato on hienoaineen määrään puolesta kelvollista paperin raaka-aineeksi. Parhaimmaksi lajikkeeksi on osoittautunut Palaton.

Hienoaineen määrään voidaan lisäksi vaikuttaa fraktioimalla lehtiaines kuidusta ennen

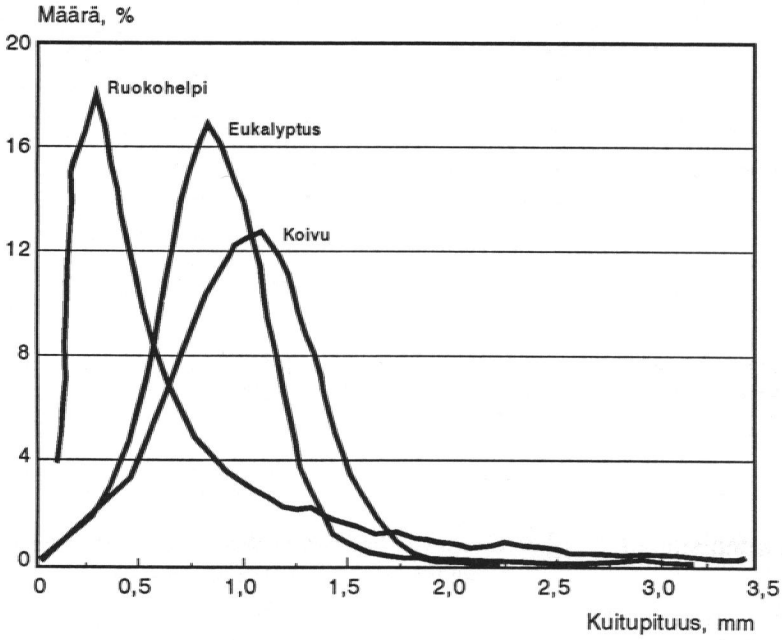
keittoa. Fraktiointi alentaa myös keittimeen joutuvan silikaatin määrää, parantaa keitto-
saantoa ja tasaa raaka-aineen laatuvarioitumia.

Ruokohelpikuidut ovat kapeita ja seinämän paksuus on samaa suuruusluokkaa kuin lehtipuilla (Taulukko 4). Ruokohelpimassan pituusmassa on alhaisempi kuin koivulla, mutta jonkin verran korkeampi kuin eukalyptuksella. Ruokohelpimassassa on suuri määrä kuituja painoyksikössä, mikä on edellytys hyvien painettavuusominaisuuksien saavuttamiseksi.

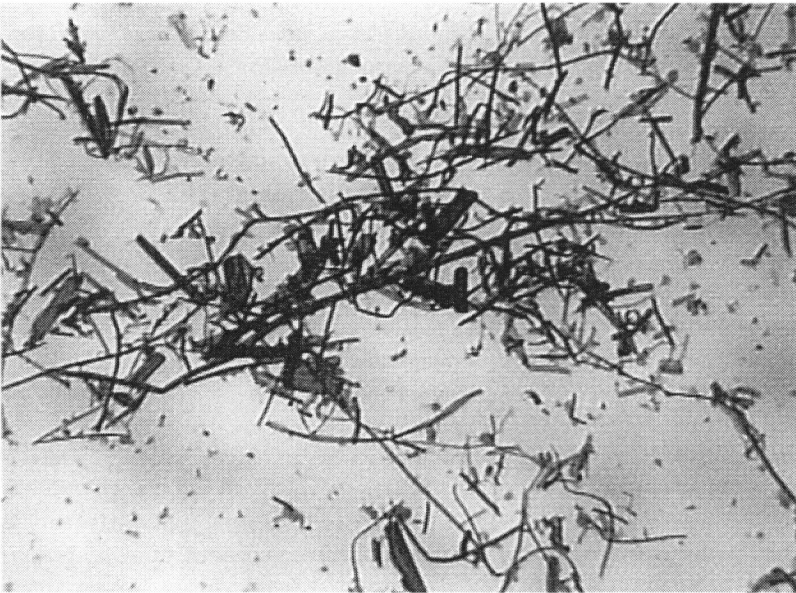
2.3 Lehti/korsi-suhteen vaikutus prosessoitavuuteen ja massan laatuun

Lehti-korsisuhteen vaikutusta ruokohelpiraaka-
aineen keitettävyyteen ja paperitekniisiin ominaisuuksiin tutkittiin fraktioimalla käsin lehdet ja tupet erilleen keväällä korjatusta ruokohelvestä. Kasvin eri osien paino-osuudet uunikuivana olivat: 63 % korsia, 18 % tuppia ja 19 % lehtiä.

Lehtien raakakuitupitoisuus määritettynä neutraloimismenetelmällä oli vain 31,9 %, kun samoista kasveista eroteltujen korsien kuitupitoisuus oli 54 % (Taulukko 5). Korsien silikaatti- ja tuhkapitoisuus oli vain 28 % lehtien pitoisuuksista.



Kuva 6. Ruokohelmi-, koivu- ja eukalyptusmassan kuitupituusjakautumat, FS-200.



Kuva 7. Lajiteltu ja pesty ruokohelvimassa (50 x) sisältää runsaasti parenkkyimisoluista peräisin olevaa hienoainetta. Kuva VTT/Jaakko Pere.

Taulukko 5. Viikistä keväällä 1994 korjatun ruokohelven käsinjakeistettujen kasvinosien raakakuitu- ja kivennäispitoisuudet.

	Raakakuitu % ka	SiO ₂ % ka	Tuhka % ka	K g/kg ka	Fe mg/kg ka	Mn mg/kg ka	Cu mg/kg ka
Lehdet	31,9	4,3	5,8	2,2	1,308	37	8,1
Korret	54,0	1,2	1,6	0,7	46	12	3,7
Tupet	42,2	2,4	3,3	1,5	277	28	6,1
Koko kasvi	41,6	2,0	7,0	1,8	169	85	6,8

Taulukko 6. Vuoden varastoidun vuonna 1993 syyskorjatun (Venture, varasto) sekä Uumajasta (Palaton) ja Viikistä (Venture) vuonna 1994 kevätkorjatun ja Viikin käsinjakeistetun (Venture, korret) ruokohelven keittvyövyys sulfaattikeitossa.

	Saanto, %	Kappaluku	SR-luku	Kuidun pituus, mm
Venture, syys, varasto	42,0	10,7	35	0,6
Palaton, kevät	44,2	10,2	27	0,7
Venture, kevät	44,9	11,7	27	0,6
Venture, kevät, korret	53,8	10,1	21	0,7

Keittvyövyys ja massan ominaisuudet

Viikistä paalaamalla kevätkorjatun ruokohelven kokonaissaanto oli 44,9 % ja vastaavan syyskorjatun ruokohelven 42 %. Käsineroteltujen kevätkorjattujen pelkkien korsien kokonaissaanto oli vastaavasti 53,8 % (Taulukko 6).

Lehtien poisto parantaa massan suotautuvuutta (Taulukko 6). Kevätkorjatusta raaka-aineesta tehdyillä massoilla on syyskorjattua parempi suotautuvuus. Sellun raaka-aineena pelkkä korsi oli siten parempaa kuin koko kasvi kevätkorjattuna ja huomattavasti parempaa kuin koko kasvi syyskorjattuna.

Paperitekniset ominaisuudet

Ruokohelpimassojen paperiteknistä potentiaalia tutkittiin valmistamalla ruokohelvestä se-osarkkeja (lyhytkuitu/pitkäkuitu/täyteaine, 40/40/20 %) ja vertaamalla näitä vastaaviin koivumassasta valmistettuihin arkkeihin.

Ruotsalainen Uumajasta tuotu ruokohelpi (Palaton-lajike) oli vertailussa tietyiltä ominaisuuksiltaan parempaa kuin Viikissä kasvanut Venture-lajike. Kun Venturesta poistettiin lehdet ja tupet, seosarkkien ominaisuudet paraniivat huomattavasti suotautumisnopeuden, tiheyden ja ilmanläpäisevyyden osalta, kuten syyskorjatulla raaka-aineella tehdyssä kokeesakin. Sen sijaan lehtien poiston vaikutus lujuusominaisuuksiin ja valonsirontaan oli merkityksetön (Taulukko 7).

Taulukko 7. Lehtien vaikutus kevätkorjatun ruokohelven paperitekniisiin ominaisuuksiin (seosarkit lyhyt/pitkäkuitu/täyteaine 40/40/20 %). Huom. vetolujuuden arvot poikkeavat normaalista myös koivumassalla.

	Tiheys kg/m ³	Taitto- lujuus	Ilmanläpäisy- vastus s	Repäisy- lujuus mNm ² /g	Vetolujuus Nm/g	Valonsironta- kerroin m ² /kg
Koivu	650	0,70	5,9	6,8	18,5	41,5
Palaton, Uumaja	680	1,0	21	7,1	19,5	46,0
Venture	690	0,95	18	6,9	19,0	44,5
Venture, korret	690	0,90	12	6,6	18,5	43,0

3 Ruokohelven esikäsitely

Kevätkorjatun ruokohelven korren ja varsinkin lehtien pinnoilla esiintyy tummaa sienikasvustoa sekä irrallista mineraalista ja nokimaista likaa, joka huonontaa massan valkaistavuutta (Liite 1). Tästä syystä ruokohelpiraaka-aineelle suositellaan mekaanista esikäsitelyä. Projektissa on hyvin tuloksin kokeiltu lehtien ilmaerottelua ja raaka-aineen pesua ennen keitti-meen syöttöä. Esikäsitely ruokohelpi vaalenee helpommin kuin koivu. Lisäksi esikäsitelyllä voidaan alentaa silikaatti- ja hienoainepitoisuutta.

3.1 Lehtiaineksen fraktiointi ilmaerottelulla

Fraktioinnissa käytetty laitteisto on yksinkertainen: viisi metriä pitkä poikkileikkaukseltaan nelikulmainen tunneli, jonka korkeus on 1,5 m ja leveys 1 m. Tunnelin päässä on keskipakopuhallin, joka imee ilmaa tunnelin läpi. Jakeistettava heinäsilppu syötetään tunneliin puhaltimen vastakkaisesta päästä yläreunan tasalta. Joutuessaan ilmavirtaan heinäsilpussa olevat raskaimmat jakeet tippuvat välittömästi syöttökohdan alapuolelle ja keveimmät jakeet leijuvat ilmavirran mukana kauimmaksi syöttökohdasta. Kaikkein hienoin pöly ajettiin erotelussa puhaltimen läpi.

Laitteistolla tehdyssä ilmaerottelussa akseptijakeen määrä oli toistuvasti noin 80 % syötetystä kasvimateriaalista. Raaka-aineeseen verrattuna akseptin kuitupitoisuutta voitiin parantaa ja silikaattiyhdisteiden määrää vähentää. Raaka-aineen silikaattipitoisuutta voidaan alentaa noin 40 %.

Jakeistuksen vaikutus sellusaantoon oli varsin vähäinen, mikä johtui syötteen eli kokeessa käytetyn kasvimateriaalin keskimääräistä paremmasta saannosta (Taulukko 8). Käytännössä saantoero käsittelemättömän ja jakeistetun materiaalin välillä on noin 5–6 %-yksikköä jakeistetun hyväksi. Mikäli akseptijakeita verrataan vedenpoistumisen ja kuitupituuden osalta, havaitaan laadun paranevan. Lisäksi kemikaaleja kului hieman vähemmän kuin keitetessä fraktioimatonta raaka-ainetta.

3.2 Ruokohelpiraaka-aineen pesu

Hienojakoisen lian epäiltiin ainakin osittain vaikeuttavan massan vaalenemista vaaleuden jäädessä tasolle 83 % ISO. Lisäksi kemikaalikulutus osoittautui suureksi. Tämän vuoksi kokeiltiin ruokohelven vesipesua pulpperissa ja sekoittimella varustetussa kyyppissä. Näin käsitellyn raaka-aineen keittosaanto parani 2–4 %-yksikköä ja valkaisun tavoitevaaleus (87 % ISO) saavutettiin helposti kohtuullisin kemikaalikustannuksin. Raaka-aineen pesuhäviö oli 10 %, jota osaltaan kompensoi korkeampi keittosaanto.

Taulukko 8. Pilotkoelaitteistolla ilmaerotellun kevätkorjatun ruokohelven eri fraktioiden keittyyvyys ja massan ominaisuudet.

	Saanto, %	Kappaluku	SR-luku	Kuidun pituus, mm
Syöte	49,8	13	36	0,7
Aukko 1	50,6	13	28	0,8
Aukko 2	48,8	15	35	0,7
Aukko 3	45,5	19	52	0,7
Aukko 4	42,5	23	63	0,6

4 Keittokokeet

4.1 Korjuuajankohdan ja kasvupaikan vaikutus keitettävyyteen

Ruokohelven kasvupaikalla ja korjuuajankohdalla on ratkaiseva vaikutus sekä massan saantoon että silikaattipitoisuuteen ja hienoainemäärään. Mitä myöhäisemmässä kehitysvaiheessa raaka-aine korjataan sitä parempi on saanto ja sitä vähemmän massassa on hienoainetta (Liite 2). Silikaattipitoisuus kuitenkin samanaikaisesti kasvaa eli kevätkorjatun ruokohelven silikaattipitoisuus on korkeampi kuin syksyllä korjatun. Käytännössä tehtaalle tulevan ruokohelven silikaattipitoisuus vaihtelee ja tehtaalla joudutaan turvautumaan silikaatin poistoon.

Säilörehuvaiheessa korjatun ruokohelven keittosaanto on alhaisin ja kevätkorjatun korkein. Kevätkorjatun ruokohelven ja koivun keittosaanto on samaa suuruusluokkaa. Multamaalta korjatusta ruokohelvestä saatiin korkein saanto ja savimaalla kasvaneesta alhaisin (Liite 3). Koska lehdet antavat alhaisemman saannon kuin korsimateriaali, kortisuuden lisääntyessä massasaanto suurenee.

4.2 Sulfaattikeiton optimointi

4.2.1 Keitto-olot

Keittokokeet tehtiin KCL:ssä. Raaka-aineena käytettiin kevätkorjattua ruokohelpeä (Palaton). Massat keitettiin pyörivissä vastuslämmitteisissä 15 litran keittimissä seuraavissa oloissa:

Ruokohelpiannos	800 g ka
Neste-ruoko-suhde	5,0 l/kg
Tehollisen alkalin annos	16 tai 18 % NaOH
Sulfiditeetti	38 %
Lämpötilan nosto	20 °C – 165 °C, 60 min
Keittoaika 165 °C:ssa	10 min

4.2.2 Keittotulokset

Tulokset kevätkorjattujen ruokohelpinäytteidien keitoista on koottu taulukkoon 9. Valkaisu- ja jauhatustutkimuksissa käytetyn koivunäytteen tulokset on myös esitetty samassa taulukossa.

Keittokokeet osoittivat raaka-aineen esikäsittelyn tarpeellisuuden. Erilaiset esikäsittelyt edistivät keittymistä. Huonoin kokonaisaanto (46 % kappaluvussa 12,5) saatiin käsittelemättömälle ruokohelvelle. Pulpperointi

Taulukko 9. Ruokohelven laboratoriomittaisten sulfaattikeittojen tulokset verrattuna koivukeiton tuloksiin.

Keitto nro	Tehollinen alkali mol/kg	Kappa	Kokonais- saanto %	Rejeksi %	Lajiteltu saanto %	Vaaleus %	Viskositeetti ml/g
Käsittlemätön ruokohelpi							
2380+2381	4,0	15,1	46,8	0,8	46,0	28,9	1180
2401	4,5	11,7	46,0	0,4	45,6		
2403	4,5	12,2	46,1	0,6	45,5		
2406	4,5	12,1	45,3	0,5	44,8		
2413	4,5	12,5	45,1	0,4	44,7		
2455	4,5	12,0	45,4	0,6	44,8		
Pulperoitu ruokohelpi							
2476	4,5	10,5	48,1	0,5	47,6	33,9	1160
2477	4,5	9,8	47,3	0,4	46,9	37,3	1170
2481	4,0	12,2	49,5	0,8	48,7	33,8	1180
2482	4,5	10,9	47,4	0,8	46,6	36,6	1170
2486+87	4,0	12,9	48,9	0,8	48,1	32,0	1160
2498+99	4,0	13,7	48,3	0,7	47,6	32,1	1180
Tuulilajiteltu ruokohelpi							
2500	4,5	14,3	48,2	1,0	47,1	28,2	1160
2501	4,0	15,4	49,8	1,5	48,3	27,3	1170
Tuulilajiteltu ja kyypipeesty ruokohelpi							
2531	4,0	11,5	52,0	1,1	50,9	32,2	1250
2532	4,5	10,2	51,2	0,9	50,3	33,8	1230
2541	4,5	9,4	50,6	0,5	50,2	35,4	1280
Koivu							
2338A	4,5	18,3	52,7	2,1	50,6		

nosti saannon 48 %:iin kappaluudessa 12. Ilmaerottelu vastaa pulperointia, sillä saanto oli 49 % hieman korkeammassa kappaluudessa (kappa 15). Ehdottomasti paras saanto saatiin suorittamalla sekä ilmaerottelu että pesu. Kokonaissaanto kappaluudessa 10,5 oli 51 %. Saannon paraneminen on luonnollinen seuraus siitä, että puhdistuskäsittely poistaa raaka-aineen epäpuhtauksia ja lehtimateriaalia.

Ruokohelpimassassa oli varsin vähän rejektiä. Määrä vaihteli välillä 0,5–1,0 %. Ruokohelven pesu ennen keittoa nosti ruskean massan vaaleuden tasolta 30 % ISO tasolle 33 % ISO. Viskositeettiin ei ruokohelven esikäsittelyllä ollut merkittävää vaikutusta.

5 Happidelignifiointi

Happidelignifiointikokeet tehtiin KCL:ssä sekä käsittelemättömälle että pulpperoidulle ruokohelpimassalle. Projektin edetessä havaittiin, ettei ruokohelpimassalle tarvitse suorittaa happidelignifiointia, koska massa keittyy helposti kappalukuun 10 ja saanto on hyvä. Tämän vuoksi koetulokset on tässä esitetty lyhyesti.

5.1 Happidelignifiointiolot

Happidelignifioinnit tehtiin pyörivissä vastuslämmitteisissä 15 litran autoklaaveissa seuraavissa oloissa:

Massa-annos	600 g ka
Sakeus	10 %
Lämpötila	95 °C
Lämpötilan nosto	30 min
Reaktioaika	60 min
O ₂ -paine	6 bar
Kemikaaliannos	0,08 x keittokappi, % NaOH ja MgSO ₄ , 0,5 %

5.2 Tulokset

Ruokohelpimassan happidelignifiointien tulokset on esitetty taulukossa 10. Koivumassan ja ruokohelpimassan yhteisvalkaisuissa käytetyn koivumassan happidelignifiointitulokset ovat samassa taulukossa.

Käsittelemättömästä ruokohelvestä kappalukutasolle 12–13 keitetyllä massalla saavutettiin noin 40 %:n kappareduktio eli happidelignifioidun massan kappaluku oli noin 7,5. Pesty ruokohelpimassa käyttäytyi samalla tavalla. Happidelignifioinnin saanto oli 97 %. Happidelignifioidun massan saanto raaka-aineesta laskettuna oli pestyllä ruokohelvellä noin 3 %-yksikköä suurempi kuin käsittelemättömällä ruokohelvellä (47 vs. 44 %). Ruokohelven pesu ei vaikuttanut happidelignifioidun massan vaaleuteen eikä viskositeettiin.

6 ECF- ja TCF-valkaisu ja yhteisvalkaisu koivun kanssa

6.1 Valkaisuolot

Valkaisukokeet tehtiin KCL:ssä. Valkaisuolot eri sekvensseillä on esitetty taulukoissa 11–14.

6.2 Valkaisutulokset

6.2.1 ECF-valkaisu

Esikäsitteilyn vaikutus

Ensimmäisissä ECF-valkaisuissa happidelignifioitujen ruokohelpimassojen (kappaluvut 7–8) vaaleudet jäivät alhaisiksi, noin 83 % ISO, vaikka klooridioksidin kulutus oli suurehko (3,5 % aktiivi Cl:na). Massa-arkeissa oli silmin havaittavia, sysimustia tai ruskeahkoja epäpuhtauksia, jotka vähensivät vaaleutta. Havainnot johtivat ruokohelpimateriaalin puhdistukseen.

Kun pulpperoidusta ruokohelvestä valmistettua massaa valkaistiin D(EO)D-yhdistelmällä, vaaleus kohosi samalla kemikaalin kulutustasolla lähes 90 %:iin ISO (Tulukko 15). Valkaistun massan saanto keiton raaka-aineesta laskettuna parani myös pari %-yksikköä (puhdistettu helpi 43,4 % vs. puhdistamaton helpi 41,4 %).

Pilotvalkaisukoe ilmaerottelulla fraktioidulle ja kyypipestulle ruokohelvelle olisi ollut yksinkertaisinta suorittaa DED-sekvenssiä käyttämällä, mutta sillä ei päästy aivan tavoitettavaaleuteen 87 % ISO. Kun alkalivaihetta terästettiin peroksidilla (0,5 %), vaaleus parani 2–4 vaaleusyksikköä samalla aktiivikloorin kulutustasolla (Taulukko 16). Vaaleus kohosi pari vaaleusyksikköä yli tavoitteen, joten D(EP)D-sekvenssissä oli nyt mahdollista vähentää käytetyn klooridioksidin määrää.

Taulukko 10. Ruokohelpimassojen ja koivumassan happidelignifointitulokset.

Lähtömassa		Happidelignifointi										
Massa	Kappa	Valkaisematon saanto %	Vaaleus %	Viskositteetti dm ³ /kg	Deligni-fointi nro	NaOH-annos %	Kappa	O ₂ -del saanto %	Kokonais-saanto % raaka-aine	Vaaleus %	Viskositteetti dm ³ /kg	Kappa-reduktio %
<u>Käsittelemätön ruokohelpi</u>												
2380+2381	15,1	46,0	28,9	1180	2384	1,50	7,9	96,57	44,4	39,9	1080	47,7
2401	11,7	45,6			2412	1,17	7,5	97,13	44,3	39,4	1070	35,9
2403	12,5	45,5			2348	1,25	7,5	96,67	44,0			40,0
2413	12,5	44,7			2349	1,25	7,5	97,33	44,3			40,0
2413	12,5	44,7			2440	1,25	7,5	97,47	43,6			40,0
2455	12,0	44,8			2468	1,20	7,2	--	--			40,0
2406	12,1	44,8			2469	1,21	7,9	96,65	43,3	39,0		34,2
<u>Pulperoitu ruokohelpi</u>												
2448	16,7	49,2	31,6	1120	2470	1,67	10,9	97,12	47,7			34,7
2486+2487	12,9	48,1	32,0	1160	2490	1,29	7,6	97,33	46,8	39,0	1050	41,1
<u>Koivu</u>												
2238A	18,3	52,1			2549	2,10	11,6	98,31	51,2	37,9	1010	36,6

Taulukko 11. Happidelignifioitujen ruokohelpimassojen ECF-valkaisuolot.

Vaihe	D0	(EO)	D1	A
Sakeus, %	3	10	10	2
Lämpötila, °C	60	70	70	20
Viive, min	60	60	240	20
Loppu-pH	<2,5	10,6–10,8	3,6–3,8	4,5
Kemikaaliannos, %	0,20 × kappa	0,16 × kappa	2,5–3,0	–
pH:n säätö	H ₂ SO ₄		NaOH	SO ₂

Taulukko 12. ECF-valkaisuolot pilotkoetta varten.

Vaihe	D0	E tai (EP)	D1	A
Sakeus, %	3 tai 10	10	10	2
Lämpötila, °C	60	70	60	20
Viive, min	60	60	180	20
Loppu-pH	<2,5	10,3–10,8	3,6–4,0	4,5
Kemikaaliannos, %	(0,15–0,20) × kappa	1,3–1,6 % NaOH 0,5 % H ₂ O ₂	1,0–3,0	
pH:n säätö	H ₂ SO ₄		NaOH	SO ₂

Taulukko 13. Valkaisuolot ruokohelpimassan ECF-yhteisvalkaisulle koivumassan kanssa.

Vaihe	D0	(EP)	D1	D2	A
Sakeus, %	8	10	10	10	2
Lämpötila, °C	60	70	60	60	20
Viive, min	60	60	18	180	20
Loppu-pH	2,3	10,6	3,4–3,9	3,3–3,5	4,5
Kemikaaliannos, %	0,15 × kappa	1,1 % NaOH 0,3 % H ₂ O ₂	1,5	0,3	
pH:n säätö	H ₂ SO ₄		NaOH	–	SO ₂

Taulukko 14. Happidelignifioitujen ruokohelpimassojen TCF-valkaisuolot.

Vaihe	Q	Z	P
Sakeus, %	2,5	20	10
Lämpötila, °C	60	20	90
Viive, min	60	6–10	180
Loppu-pH	~4,5		
Kemikaaliannos, %			
- EDTA	0,3		
- O ₃		0,35–0,7	
- NaOH			3–5,5
- H ₂ O ₂			1–6
- DTPA			0,2
- MgSO ₄			0,5
pH:n säätö	H ₂ SO ₄		

Pientämällä D0-vaiheen ClO₂-annosta noin 25 % saavutettiin tavoitevaaleus 87 % ISO. Yli sekvenssin laskettuna klooridioksidin kulutus väheni noin 15 %. Toisaalta tavoitevaaleus ylittyi 1,5 %-yksikköä, kun alkuvalkaisua tehostettiin nostamalla D0-vaiheen sakeus 3 %:sta 10 %:iin. Välikappa laski muutoksessa 15 %.

Valkaisematon ruokohelpimassa (kappa 9,4) ja happidelignifioitu koivumassa (kappa 11,6) vaalenivat samantapaisesti D(EP)DD-valkaisussa täysvaaleiksi (Taulukko 17). Klooridioksidin kulutus kappayksikköä kohti oli molemmilla massoilla noin 0,31 aktiivi Cl:na. Myös massojen yhteisvalkaisu onnistui hyvin samalle vaaleustasolle, 89 % ISO.

6.2.2 TCF-valkaisu

Esikäsittelemättömästä ruokohelvestä valmistetut massat vaalenivat TCF-valkaisussa huomasti. Maksimivaaleus oli 79–83 % ISO ja peroksidikulutukset olivat erittäin suuria, 40–45 kg/ts. Tämä aiheutui mitä ilmeisimmin massan epäpuhtaudesta. Kelatointivaiheistakaan ei näyttänyt olevan apua roskien aiheuttamiin haittoihin (Taulukko 18).

Ilmaerotellusta ja kyyppipestystä raaka-aineesta valmistettu ja happidelignifioitu ruokohelpimassa (kappa 7,6) sen sijaan vaaleni hyvin TCF-valkaisussa. QP(Z/Q)P-yhdistelmällä saavutettiin vaaleustaso 87,7 % ISO. Peroksidin kulutus pieneni käsittelemättömään raaka-aineeseen verrattuna samalla otsonin kulutustasolla (0,3–0,35 %) noin 80 % ja oli alle 10 kg/ts (Taulukko 18).

Taulukko 15. Happidelignifioitujen ruokohelpimassojen ECF-valkaisut.

<u>Happidelignifiointi</u>				<u>ECF-valkaisu</u>							
nro	Kappaluuku	Kokonais- saanto % raaka-aine	Vaaleus %	Viskosi- teetti dm ³ /kg	Valkaisu- sekvenssi	Vaaleus %	Viskosi- teetti dm ³ /kg	NaOH %	ClO ₂ -kulutus % akt.C1	akt.C1/ kappaluuku	Kokonais- saanto % raaka-aine
<u>Puhdistamaton helpi</u>											
2384	7,9	44,4	39,9	1080	D(EO)DD	83,4	1050	1,1	3,55	0,449	41,5
2348	7,5	44,0	-	-	D(EO)D	82,9	-	1,45	3,51	0,468	41,3
2349	7,5	44,3	-	-	D(EO)D	83,1	-	1,45	3,66	0,488	41,5
2440	7,5	43,6	-	-	D(EO)D	83,1	970	1,45	3,56	0,475	40,8
2468	7,2	43,9	-	1080	D(EO)D	85,8	960	1,45	3,50	0,486	-
2469	7,9	43,3	39,0	-	D(EO)D	82,0	-	1,45	3,47	0,439	40,6
<u>Puhdistettu helpi</u>											
2470	10,9	47,7	-	-	D(EO)D	89,7	970	1,9	4,65	0,427	45,2
2490	7,6	46,8	39,0	1050	D(EO)D	89,9	1010	1,45	3,60	0,473	43,4

*PC-luku 0,45 ja **PC-luku 0,50

Taulukko 16. Ruokohelpimassojen ECF-valkaisu pilotkoetta varten.

<u>Lähtömassa</u>		<u>ECF-valkaisu</u>									
nro	Kappa-luku	Kokonais-saanto % raaka-aine	Vaaleus %	Viskosi-teetti dm ³ /kg	Valkaisu-sekvenssi	Vaaleus %	Viskosi-teetti dm ³ /kg	NaOH %	Peroksidin kulutus %	ClO ₂ -kulutus % akt. Cl	akt.Cl/ kappaluku
<u>Pulperoituu ruokohelpi</u>											
2498/99	13,7	47,6	32,1	1180	DED	84,9	-	1,75	-	4,13	0,301
					DED	86,0	1160	1,84	-	4,54	0,331
					DED	86,8	-	1,90	-	4,94	0,361
2498/99	13,7	47,6	32,1	1180	D(EP)D	88,6	-	0,75	0,47	4,03	0,294
					D(EP)D	89,0	1020	1,84	0,47	4,48	0,327
					D(EP)D	89,0	-	1,90	0,47	4,85	0,354
2498/99	13,7	47,6	32,1	1180	D(EP)D	87,0	-	1,45	0,41	3,45	0,252
					D(EP)DD	88,3	1090	1,45	0,41	3,84	0,280
2498/99	13,7	47,6	32,1	1180	D(EP)D	88,4	1070	1,60	0,45	3,28	0,239
<u>Tuulilajiteltu ja kyyppipesty ruokohelpi</u>											
2515	11,5	49,9	33,4	1230	D(EP)D	88,4	1160	1,20	0,40	2,67	0,232
					D(EP)D	89,0	-	1,25	0,40	3,03	0,263

Taulukko 17. Ruokohelpimassan yhteisvalkaisu happidelignioidun koivun kanssa ECF-sekvenssillä.

<u>Lähtömassa</u>				<u>ECF-valkaisu</u>							
nro	Kappalu	Kokonais- saanto % raaka-aine	Vaaleus %	Viskosi- teetti dm ³ /kg	Valkaisu- sekvenssi	Vaaleus %	Viskosi- teetti dm ³ /kg	NaOH %	Peroksidin kulutus %	ClO ₂ -kulutus % akt.Cl	Kokonais- saanto % raaka-aine
<u>Tuulilajiteltu ja kyyppipesty ruokohelpi</u>											
2541	9,4	50,2	35,4	1280	D(EP)DD	89,2	1110	1,3	0,27	2,91	48,1
<u>Happidelignioidu koivusulfaatti</u>											
2549 +	11,6	51,2	37,8	1010	D(EP)DD	89,1	950	1,3	0,25	3,53	49,4
2548	11,6	51,3	-	-							
<u>Ruokohelpimassa + koivumassa (1:1,5)</u>											
<u>yhteisvalkaisu</u>											
2532	10,2	50,3	33,8	1230	D(EP)DD	88,9	1030	1,3	0,25	3,42	48,9
2549	11,6	51,2	37,8	1010							

Taulukko 18. Happidelignifioitujen ruokohelpimassojen TCF-valkaisut.

<u>Happidelignifiointi</u>			<u>ECF-valkaisu</u>								
nro	Kappaluku	Kokonais- saanto % raaka-aine	Vaaleus %	Viskosi- teetti dm ³ /kg	Valkaisu- sekvenssi	Vaaleus %	Viskosi- teetti dm ³ /kg	NaOH %	Peroksidin kulutus %	Otsomin kulutus %	Kokonais- saanto % raaka-aine
<u>Käsittelemätön ruokohelpi</u>											
2384	7,9	44,4	39,9	1080	QZPP	81,7	650	4,6	3,97	0,32	39,3
2412	7,5	44,3	39,4	1070	QPZP	79,0	670	5,0	4,48	0,34	39,9
					QPZPP	81,8	–	6,5	5,34	0,34	–
2412	7,5	44,3	39,4	1070	QZQP	80,0	800	3,0	2,21	0,51	–
					QZQPP	83,1	720	5,5	3,98	0,51	39,3
<u>Tuulilajiteltu ja kyyppiesty ruokohelpi</u>											
*95630	7,6	50,7	43,7	–	QP(Z/Q)P	87,7	940	3,6	0,85	0,3	47,8
95631											

*Happidelignifiointi, tehty keitoista 2531 ja 2532

7 Mustalipeän ominaisuudet

7.1 Tutkitut lipeät

Ruokohelpimustalipeä eroaa oleellisesti normaaleista (lehti- ja havupuu) sulfaattimustalipeistä mm. viskositeetin, kemiallisen koostumuksen ja poltto-ominaisuuksien osalta. Tämän vuoksi ruokohelpimustalipeiden ominaisuuksia tutkittiin Åbo Akademiassa (Insinööri-toimisto Prosessikemia). Tutkitut lipeänäytteet olivat:

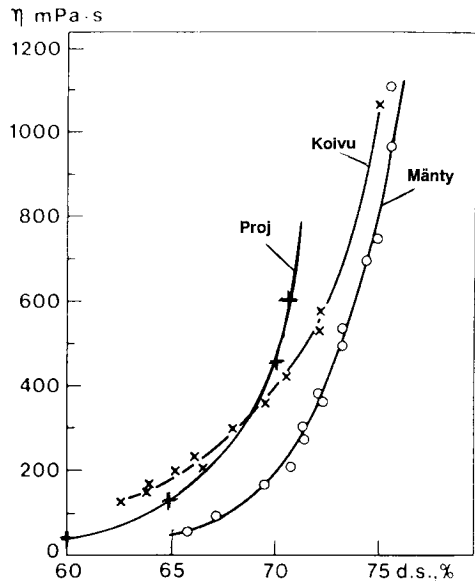
- agromustalipeä Tervakosken pilotkei-tosta (Agro)
- agromustalipeä KCL:n laboratoriokei-tosta (Lab)
- projektimustalipeä (Proj), joka sisältää:
 - 20 % Tervakosken lipeää (Agro)
 - 30 % Kymin koivulipeää (Kymi/Ko)
 - 50 % Kymin havulipeää (Kymi/Ha)

Projektimustalipeä edustaa tehdassuunnitelun vaihtoehtoa 1 (kuitulinjojen tuotannot: 100 000 ADt/a ruokohelpimassaa, 150 000 ADt/a koivumassaa ja 250 000 ADt/a havumassaa; osaraportti V, Agrosellutehtaan esisuunnittelu). Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että Kymin lipeät ovat Kuusankosken tehdaslpeitä, joissa eri komponenttien pitoisuudet ovat kemikaalien talteenotossa tasapainottuneet tietylle tasolle, kun taas Tervakosken lipeä on otettu suoraan keitosta.

7.2 Kemiallinen koostumus ja lämpöarvo

Analyysitulokset on esitetty taulukossa 19, jossa referenssilipeät ovat tyypillisiä suomalaisia tehdasmustalipeitä.

Ruokohelpimustalipeän hiilipitoisuus osoittautui hieman pienemmäksi ja vety-pitoisuus vähän suuremmaksi kuin puusta peräisin olevilla lipeillä. Ruokohelpimustalipeän typpi-pitoisuus on kaksinkertainen referenssilipeisiin



Kuva 8. Mustalipeiden viskositeetit.

verrattuna. Kalsium- ja magnesiumpitoisuus on selvästi pienempi, mikä johtunee vertailusta tehdaslpeisiin. Fosforipitoisuus, samoin kuin piipitoisuus, on ruokohelpimustalipeällä sen sijaan huomattavasti korkeampi. Ruokohelpilipeiden piipitoisuus on puolestaan 1,6–2,9 %, kun se puusta peräisin olevilla lipeillä on prosentin kymmenyksii. Alhaisempi natriumpitoisuus johtuu keiton pienemmästä kemikaaliannoksesta.

7.3 Viskositeetti

Projektilipeän viskositeetti (110 °C) määritettiin kuiva-ainepitoisuusalueella 50–71,2 %. Tulokset on esitetty kuvassa 8, jossa on myös referenssikäyrät tyypillisille koivu- ja mäntymustalipeille.

Tulosten mukaan on ilmeistä, että jo pieni ruokohelpilipeälisäys (20 %) suurentaa viskositeettiä merkittävästi, kun kuiva-ainepitoisuutta nostetaan yli 67 %:n.

Taulukko 19. Kemiallinen koostumus ja lämpöarvo.

		Agrolipeät			Referenssit	
		Agro	Lab	Proj	Havupuu	Koivu
k.a.	%	15,4	11,9	18,7	65,1	67,0
Hcal	MJ/kg ka	13,56	13,73	13,42	–	–
C	%	32,3	32,7	32,9	33,9	33,2
N	%	0,3	0,6	0,2	0,07	0,08
H	%	4,2	4,1	3,6	3,3	3,3
S	%	4,1	4,3	4,7	5,7	5,2
Na	%	16,3	14,8	19	25,1	21,1
K	%	1,7	0,2	1,9	3,2	2,6
Si	%	1,6	2,9	0,4	–	–
Cl	%	0,16	0,11	1,6	0,3	0,3
Ca	mg/kg	38	12	95	144	212
Mg	mg/kg	10	2	161	67,2	220
P	mg/kg	249	829	162	54,7	79,4
Al	mg/kg	29	13	11	0	–
S/Na ₂		0,361	0,417	0,355	0,326	0,353

(Agro-, Lab- ja Proj-lyhenteiden selitykset luvussa 7.1)

Taulukko 20. Pyrolyysikokeiden tulokset.

Näyte	Pyrolyysisaanto, %		Inerti paisuminen, cm ³ /g	
	700 °C	800 °C	700 °C	800 °C
Agro	67,8	60,5	1,9	2,1
Lab	66,6	60,5	5,3	4,3
Proj	80,6	73,5	7,9	12,5
Kymi/Ha	76,2	66,2	22	28,4
Kymi/Ko	69,7	63,1	11,1	10,6

(Näytteet kuvattu luvussa 7.1)

7.4 Poltto-ominaisuudet

Pyrolyysikokeet eri lipeille tehtiin yksittäisille pisaroille typpikaasussa reaktioajan ollessa 15 sekuntia. Koelämpötilat olivat 700 ja 800 °C (Taulukko 20).

Polttokokeet puolestaan tehtiin yksittäisille pisaroille ilmassa, koelämpötilat olivat 700 ja 800 °C. Palamistapahtuma kuvattiin videonauhalla. Kuvasta määritettiin pyrolyysiaika, kok-

sin palamisaika sekä maksimipaisuminen. Tulokset on esitetty taulukossa 21.

Pyrolyysi- ja polttokokeiden tulosten perusteella puhtaan ruokohelpimustalipeän pyrolyysisaanto on hieman pienempi kuin puumustalipeiden. Ruokohelpimustalipeät eivät paisu pyrolyysin aikana, kun sen sijaan puumustalipeillä paisumistilavuus on 30–50 -kertainen. Ruokohelpimustalipeän huono paisumistaipumus on samanlainen kuin sulfittijätelipeillä. Huonosta paisuntataipumuksesta

Taulukko 21. Polttokokeiden tulokset.

Näyte	Pyrolyysi- aika s		Koksin palamisaika s		Orgaanisen aineksen palamisaika, s		Paisuminen cm ³ /k.a.	
	700 °C	800 °C	700 °C	800 °C	700 °C	800 °C	700 °C	800 °C
Agro	10,8	4,4	7,6	6,8	18,4	11,2	2,2	1,8
Lab	4,5	3	9,6	8,9	14,1	11,9	3,8	4,8
Proj	2,4	3,1	5,5	4,8	7,9	7,9	16,9	10,9
Kymi/Ha	2,2	1,4	4,6	4,4	6,8	5,8	23,9	26,8
Kymi/Ko	2,5	2,9	5,7	3,8	8,2	6,7	13,0	10,8

seuraa ruokohelpimustalipeän puumustalipeisiin verrattuna selvästi pidempi kokonaispalamisaika (pyrolyysi ja koksin palaminen).

8 Silikaatinpoisto

8.1 Yleistä

Agrokuidut sisältävät paljon enemmän silikaattia kuin puu. Vaihteluväli non-wood-materiaalilla on 1 %:sta (bambu) - 14 %:iin (riisiolki). Ruokohelven silikaattipitoisuudet vaihtelivat välillä 1–5 %. "Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa" -kehitysprojektissa silikaatinpoiston mitoitustapana käytettiin ilmaerotellulle ruokohelvelle 3 %:n silikaattipitoisuutta.

Pääosa agrokuidun sisältämästä silikaatista liukenee mustalipeään alkalisissa keitoissa (sooda- ja sulfaattikeitto) aiheuttaen vaikeuksia talteenottolinjan kaikissa yksiköissä. Tyypillisiä pulmia puuta käyttäviin sellutehtaisiin verrattuna ovat esimerkiksi laihamustalipeän alhaisempi kuiva-ainepitoisuus, suurempi pesuhäviö ja vaahtoaminen johtuen suuremmasta silikaatti- ja hienoainepitoisuudesta. Agrokuitumustalipeillä on korkeampi viskositeetti ja suurempi silikaattipitoisuus, mikä lisää saostumia haihduttamossa.

Alhainen kuiva-ainepitoisuus ja lämpöarvo huonontavat soodakattilan hyötysuhdetta. Kivettymien määrä lisääntyy ja ulkoisen polttoaineen tarve kasvaa. Silikaatti alentaa lisäksi selkeytysnopeutta ja suurentaa lietetilavuutta kaustisoinnissa. Silikaattipitoista meesaa ei voi yhtä helposti polttaa meesauunissa. Silikaatti lisää laitteiden mekaanista kulumista. Kemikaalikierrossa silikaatti lisää energian ja korvauskemikaalien kulutusta. Silikaattia tulee poistaa prosessista yhtä paljon kuin sitä tulee raaka-aineiden mukana, mikäli agrosellutehtaan kemikaalien talteenottolinjan halutaan toimivan ilman silikaatista aiheutuvia vaikeuksia.

8.2 Silikaatin poistomenetelmät

8.2.1 Agroraaka-aineen esikäsitteleminen

Agrokuidun sisältämää silikaattia voidaan poistaa sekä kuiva- että märkäesikäsitteilyllä. Kuivamenetelmä koostuu ruokojen katkomisesta, lajittelusta ja pölynpoistosta. Ilmaerotellulla voidaan agromateriaalin silikaatista poistaa 20–50 % riippuen järjestelmän tehokkuudesta ja käsiteltävästä raaka-aineesta. Ilmaerotelu toimii hyvin, kun raaka-aineen kosteus on alle 15 %, kuten kevätkorjatulla ruokohelvellä. Pilotkokeissa ruokohelven silikaattipitoisuus pieneni ilmaerotellussa 40 % ja edelleen vesipesussa 30 %.

8.2.2 Saostus savukaasuilla

Laihamustalipeä karbonoidaan savukaasuilla. Silikaatti saostuu noin pH 10:ssä kalsiumsiliikaattina, joka voidaan poistaa prosessista. Menetelmän suurimpia haittoja ovat ligniinin ja silikaatin samanaikainen saostuminen ja vaikeus erottaa sakka lipeästä.

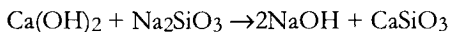
Esimerkki menetelmän kaupallisesta sovelluksesta on New Hindustan Newsprint Ltd:n Kerala sellutehtaalla, missä raaka-aineena käytetään bambua ja ruokoa. Karbonointi tehdään kolmessa vaiheessa siten, että vaiheiden jälkeiset pH-arvot ovat 11, 10,5 ja 10,1. Silikaattisakka erotetaan ja pestään kolmivaiheisesti tasosuotimella. Pesuvesi ja silikaattivapaa mustalipeä johdetaan alkalointisäiliöön, jossa pH nostetaan NaOH:lla tasolle pH 12 ennen haihdutusta. Erotetun silikaattisakan SiO₂-pitoisuus on yli 90 %, ligniinipitoisuus 0,5 % ja natriumpitoisuus 1,0 %. Järjestelmän silikaatinpoistotehokkuus on 80 %.

Savukaasuilla karbonointia on kokeiltu tehdasmitassa myös Egyptissä (RAKTA), Indonesiassa (Kertas Leces) ja Kiinassa (Zhong-Mo). Näistä vain viimeksi mainitussa tehtaassa menetelmä lienee enää kaupallisessa käytössä. Laboratoriomitassa silikaatin saostusta laihamustalipeästä on kokeiltu lukuisilla kemikaaleilla kuten rikkihapolla, kalsiumhydroksidilla, rautasulfaateilla jne. Nämä kokeet eivät ole vielä johtaneet kaupallisiin sovelluksiin.

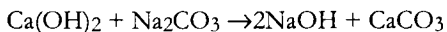
8.2.3 Kaksivaiheinen kaustisointi

Kaksivaiheinen kaustisointi perustuu ensimmäisen vaiheen silikaattipitoisen meesan poistoon prosessista ja käyttöön maantäytteenä. Kaustisointivaiheiden pääreaktiot ovat:

I vaihe:



II vaihe:



Tehokkaan silikaatinpoiston varmistamiseksi viherlipeä jäähdytetään noin 60 °C:een.

Ensimmäisen kaustisointivaiheen retentioaika on 30 min. Kalkin määrä on silikaattipitoisuudesta riippuen 15–30 % kokonaisannoksesta. Ennen toista kaustisointivaihetta tulee viherlipeä lämmittää 90 °C:een. Silikaatinpoiston tehokkuus kaksivaiheisessa kaustisoinnissa on 75–90 %.

Kaksivaiheinen kaustisointi ei ratkaise haihduttamon ja soodakattilan mahdollisia silikaattiongelmia. Menetelmän haittapuoli on myös prosessista poistettavan silikaattipitoisen meesan suuri määrä, josta seuraa huomattava korvauskalkin tarve.

8.2.4 Kaksivaiheinen silikaatinpoisto

Kaksivaiheinen silikaatinpoisto koostuu savukaasukarbonoinnista ja kalkkikäsittelystä. Menetelmää on kokeiltu pilotmittakaavassa Kreikassa (Thessalian Pulp and Paper Mill). Raaka-aineena oli vehnän olki.

Ensimmäisessä vaiheessa mustalipeä karbonoidaan savukaasuilla ja loppu-pH on 9,8. Karbonoidun lipeän flokkausaineena käytetään MgO:a ja sakka erotetaan jatkuvatoimisella sentrifugilla. Toinen silikaatinpoistovaihe suoritetaan kalkkisaostuksena, jossa tarvittava annos on 170–190 kg kalkkia/sellutonna ja viipymäaika 30–40 min. Reaktorin lämpötila pidetään 90 °C:ssa. Silikaatti ja Ca-yhdisteet erotetaan selkeytysastiassa ja silikaattivapaa mustalipeä johdetaan haihduttamolle.

Selkeyttimen pohjavirtaus ja sentrifugista saatu sakka käsitellään yhdessä toisessa selkeyttimessä. Näin saadaan talteen osa jäännösalkalista ja orgaanisesta aineksestä. Syntyvä sakka voidaan pestä Eimco-belt-suodattimella.

Menetelmän silikaatinpoistotehokkuus on 92–94 %. Haittapuolia ovat prosessin monimutkaisuus ja suuret materiaalihäviöt (alkali 2 % ja orgaaninen aines 4 %).

8.2.5 Mustalipeän lämpökäsittely

Korkean viskositeettinsa takia agromustalipeää ei yleensä pystytä haihduttamaan konventionaalisella tekniikalla yli 57 %:n kuiva-ainepi-

toisuuteen. Viskositeettia voidaan kuitenkin alentaa lämpökäsittelyllä ennen konsentraattoria niin, että haihdutus 70 %:n kuiva-ainepitoisuuteen on mahdollista. Tarvittava lämpötila on 180–190 °C ja käsittelyaika 30 min. Mahdolliset silikaattisaostumat haihduttimissa voidaan irrottaa lämpöshokeilla ja poistaa suodatamalla mustalipeästä. Lipeään jää kuitenkin osa silikaatista, joka voidaan poistaa esimerkiksi kaksivaiheisella kaustisoinnilla.

8.2.6 Muut menetelmät

Myös monia muita menetelmiä on esitetty ratkaisuksi silikaattiongelmiin: märkäpyrolyysi, mustalipeän kaasutus, märkähapetus ilmalla, leijukeroskattilan käyttö, DARS-prosessi jne. Mikään näistä menetelmistä ei kuitenkaan ole yleistynyt non-wood-massan valmistuksessa.

8.2.7 Valittu silikaatinpoistomenetelmä

Projektissa päädyttiin seuraavaan konseptiin silikaattiongelmiin välttämiseksi sellutehdasintegraatissa, jossa on ruokohelvelle erillinen kuitulinja:

Ensin ruokohelpi esikäsitellään ilmaerottelulla, joka poistaa silikaattipitoiset lehdet ja pölyn. Haihduttamolle on lisätty lämpökäsittely-yksikkö viskositeetin alentamiseksi. Kaustisointi suoritetaan kaksivaiheisena siten, että ensimmäisen vaiheen silikaattipitoinen meesa poistetaan maantäytteeksi. Inerttimateriaalin poistoa varten tarvitaan oma kuljetin, konit jne. Korvauskalkin määrä on niin suuri, että korvaus kannattaa tehdä kalkkikivellä, jolle tulee olla erillinen käsittelyjärjestelmä. Tarvittavat laitteet ovat: syöttösuppilo, tärysytin, hihnakuljetin, murskain, elevaattori, sillo ja uuniin syöttökuljetin vaakoineen.

Vertailun vuoksi otettiin myös budjettitarjous silikaatinpoistolaitoksesta, jossa ruokohelpimustalipeän silikaatti saostetaan savukaasuilla ja syntynyt silikaattisakka poistetaan järjestelmästä ennen mustalipeän haihdutusta. Silikaatinpoiston vaikutus tehtaan kannattavuuteen on esitetty osaraportissa V (Agrosellutehtaan esisuunnittelu).

9 Ruokohelpimassan paperitekninen potentiaali

Lyhytkuituisen ruokohelpimassan tarkoitukseksi on antaa paperille hyvät painettavuusominaisuudet, kun taas ajettavuuden edellyttämä lujuus saadaan aikaan lisäämällä pitkäkuituista havusellua.

9.1 Ruokohelpimassan ominaisuudet

Ruokohelpikuiduilla on hyvä sitoutumiskyky, mutta suuri hienoainemäärä yhdessä korkean hemiselluloosa-selluloosa-suhteen kanssa todennäköisesti jonkin verran vaikeuttaa vedenpoistoa. Ruokohelpimassan SR-luku on korkeampi kuin jauhamattoman koivumassan. Hyvien sitoutumisominaisuuksiensa ansiosta ruokohelpimassaa ei tarvitse jauhaa. Jauhetun hienopaperimassan (tavoitevetolujuus 50–60 Nm/g) SR-luku on vielä hieman korkeampi kuin jauhamattoman ruokohelpimassan. Ruokohelpimassan turpoamista ja sitoutumista indikoiva WRV-arvo on myös korkeampi kuin jauhamattoman koivumassan. Kun koivumassaa jauhetaan, WRV-arvo suurenee eivätkä erot massojen välillä ole enää merkittäviä. (Taulukko 22)

Jauhamattoman ruokohelpimassan vetolujuus vastaa hienopaperin lyhytkuitumassalta vaadittavaa vetolujuutta. Ruokohelpimassan erinomaista sitoutumiskykyä kuvaavat myös korkeat palstautumislajuuden arvot. Lyhytkuituisemman ruokohelpimassan repäisyjuisuus on alhaisempi kuin koivumassan, mutta murtotyö suurempi. Jauhamattoman ruokohelpimassan tiheys ja ilmanläpäisyvastus ovat jonkin verran korkeammat kuin jauhetun koivumassan. Nämä ominaisuuserot ovat kuitenkin koi-

Taulukko 22. ECF- ja TCF-valkaistun jauhamattoman ruokohelpimassan ja ECF-valkaistun Valley-jauhetun koivumassan paperitekniset ominaisuudet, laboratoriovalkaisu.

	Koivu	Ruokohelpi	
	ECF	ECF	TCF
Jauhatusaika, min	10	–	–
SR-luku	21	35,5	35,0
WRV, % (jauhamaton)	159	173	169
Vetoindeksi, Nm/g	50,0	52,9	52,8
Venymä, %	3,9	4,4	4,6
Murtotyöindeksi, J/g	1,38	1,75	1,82
Repäisyindeksi, mNm ² /g	8,5	6,0	6,2
Tiheys, kg/m ³	760	780	780
Ilmanläpäisyvastus, s	4	41	47
Valonsirontakerroin, m ² /kg	25,0	28,2	26,0
Jäykkyys, mNm	0,138	0,124	0,120
Scott-bond, J/m ²	306	707	460

vumassan ominaisuusvaihteluiden rajoissa. Suuri kuitumäärä massayksikössä takaa ruokohelpimassalle hyvät valonsirontaominaisuudet, vaikka kuiduilla onkin hyvä sitoutumiskyky.

9.2 Raaka-aineen ominaisuusvaihtelujen vaikutus massan paperitekniiseen potentiaaliin

Seosarkkikokeet ovat osoittaneet, että eri ruokohelpilajikkeiden väliset ominaisuuserot ovat suhteellisen pienet. Sen sijaan kasvupaikka (maalaji) ja korjuuajankohta aiheuttavat suuria raaka-aineen ominaisuusvaihteluita. Mikäli ruokohelpi tuottaa runsaasti kortta, siitä keitetyn massan saanto ja paperitekniinen potentiaali hienopaperissa ovat samaa luokkaa kuin koivumassalla.

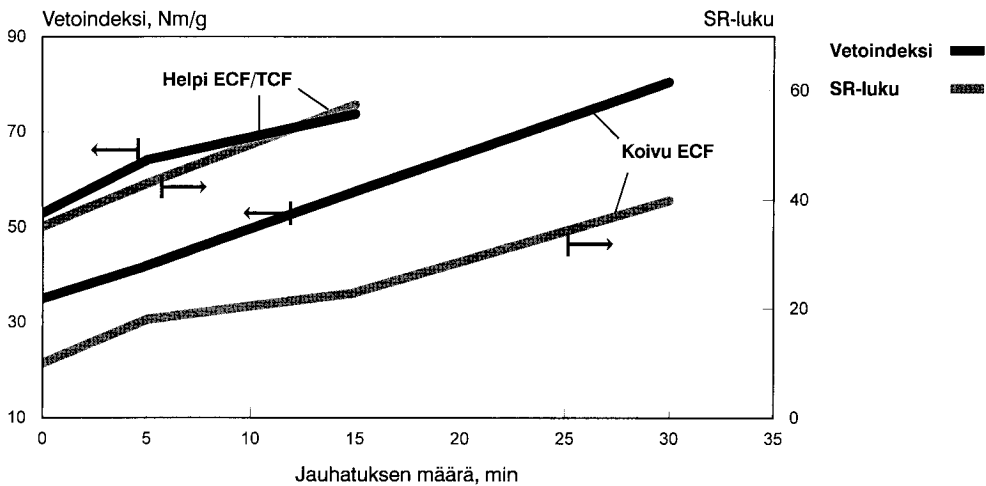
Paperin vetolujuus pienenee ja repäisyjujus suurenee mitä myöhäisemmässä kehityksasteessa raaka-aineena käytetty ruokohelpi korjataan. Myös erilaisista kasvupaikoista seu-

raa lujuseroja, jotka kuitenkin eivät ole kriittisiä hienopaperin kannalta (Liitteet 2 ja 3).

Hienoainemäärän kasvaessa paperin tiheys ja ilmanläpäisyvastus suurenevat ja valonsirontakerroin saattaa aleta (hienoaineen korkea hemiselluloosapitoisuus), mikä on haitallista hienopaperin loppukäytön kannalta. Tästä syystä säilörehu- tai heinäasteesta korjattu agrokuitu ei sovellu hienopaperin raaka-aineeksi. Toisen vuoden sato saattaa kasvupaikasta riippuen sisältää liikaa hienoainetta.

Verrattaessa ruokohelven kasvupaikan vaikutusta siitä valmistetun paperin ominaisuuksiin havaittiin multamaalta saatavan parasta hienopaperikuitua ja savimaalta huonointa. Ruokohelvestä voidaan valmistaa hyvää, koivupaperin veroista hienopaperia. Myös ruokonata ja nurminata soveltuvat ominaisuuksiensa puolesta hienopaperin raaka-aineeksi.

Tehtaalalle tulevan raaka-aineen laatu vaihtelut ovat kriittisin tekijä massan laadun kannalta. Kevätkorjuu tasaa ominaisuusvaihteluita samoin kuin lehtien tuulierottelu.



Kuva 9. Ruokohelpi- (ECF ja TCF) ja koivumassan jauhautuvuus.

9.3 Jauhatuus

9.3.1 Jauhautuvuus

Ruokohelpimassalla (ECF ja TCF) on jauhamattomanakin hyvä sitoutumiskyky. Jauhatusessa vetolujuus kehittyy sekä ruokohelppi- että koivumassalla samalla tavalla (Kuva 9). Ruokohelpimassan SR-luku sen sijaan suurenee voimakkaasti jauhatuksessa, vaikka hienonäin määrässä (mitattuna FS-200-kuitupituusmittarilla) ei havaittu merkittävää muutosta. Samalla ruokohelpimassan ja etenkin TCF-ruokohelpimassan ilmanläpäisyvastus suurenee jyrkästi.

Varovainenkin jauhatuus alentaa ruokohelpimassan repäisyjuuutta. Tämä merkitsee sitä, että ruokohelpikuidut jauhamattominakin saavuttavat maksimivetolujuuden edellyttämän sitoutumisasteen. Valley-jauhatuus ei katkonut kuituja.

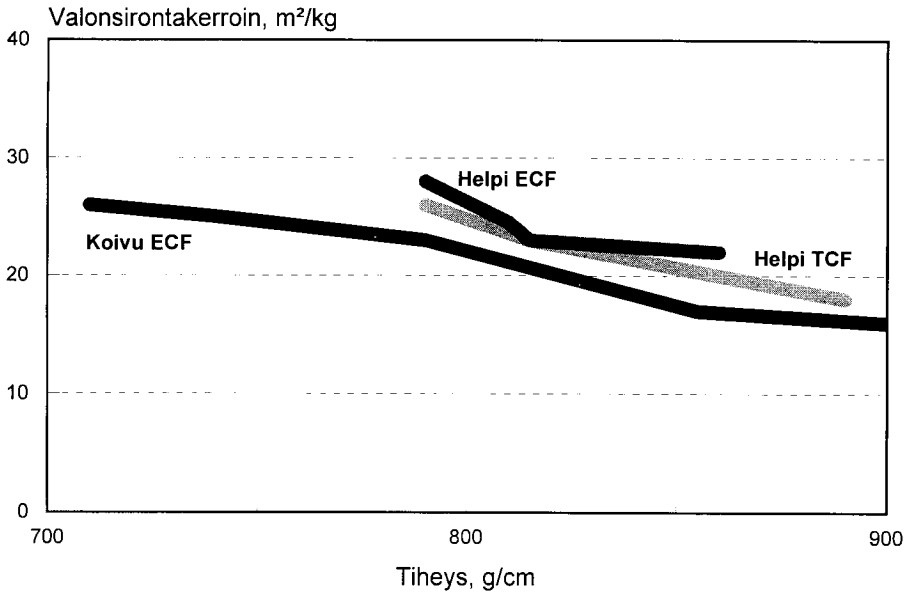
Eri massojen soveltuvuutta hienopaperimassoiksi voidaan kuvata tiheyden ja valonsirontakertoimen riippuvuudella toisistaan. Tietystä tiheydestä ruokohelpimassalla on yhtä hyvä tai jopa jonkin verran parempi valonsirontakyky kuin koivumassalla (Kuva 10).

ECF- ja TCF-ruokohelpimassojen paperteknisten ominaisuuksien kehittymisessä jauhatuksessa ei ilmanläpäisyvastusta lukuunottamatta ollut merkittäviä eroja.

9.3.2 Yhteisjauhatuus koivumassan kanssa

Koska tutkitussa tehdaskonseptissa ruokohelpimassa valkaistaan yhdessä koivumassan kanssa ja siten myös jauhetaan yhdessä, seuraavassa verrataan jauhettua koivumassaa ja yhteisjauhatuksella jauhettua koivu-ruokohelpimassan ominaisuuksia laboratoriokoetulosten perusteella (Taulukko 23).

Yhteisjauhatuksen voidaan olettaa huonontavan massan laatua, koska agrokuitumassaa ei hienopaperilta vaadittavan vetolujuuden (50 Nm/g) saavuttamiseksi tarvitse jauhaa. Laboratorijauhatusen perusteella näyttää kuitenkin siltä, että koivumassa suojaa jauhatuksessa agrokuituja. Massan kuitupituus tai lujuudet eivät alene merkittävästi jauhatuksessa. Vaikka ruokohelppi-koivumassa jauhautuu helpommin kuin koivumassa, ruokohelppi-koivumassan kuitupituus ei muutu jauhatuksessa. Valley-laboratorijauhin tosin käsittelee kuitua



Kuva 10. Ruokohelpi- (ECF ja TCF) ja koivumassan tiheyden ja valonsirontakertoimen välinen riippuvuus.

Taulukko 23. Jauhetun ECF-valkaistun koivumassan ja yhteisjauhatuksella jauhetun koivu-ruokohelpimassan (40 % ruokohelpeä) ominaisuudet (veto 50 Nm/g), Valley.

	Koivu	Koivu- Ruokohelpi
Jauhatusaika, min	10	2
SR-luku	21	26
CSF, ml	483	424
WRV, %	159	173
Vetoindeksi, Nm/g	50	50
Venymä, %	3,9	4,4
Murtotyöindeksi, J/g	1,38	1,65
Repäisyindeksi, mNm ² /g	8,5	8,0
Tiheys, kg/m ³	760	760
Ilmanläpäisyvastus, s	4	8
Valonsirontakerroin, m ² /kg	25,0	25,6
Jäykkyys, mNm	0,138	0,130
Scott-bond, J/m ²	306	438

Taulukko 24. Kevätkorjatun ruokohelven (Palaton, Vöyri multamaa) soveltuvuus hienopaperin raaka-aineeksi (seossuhde laboratorioarkeissa 40 % lyhyttä kuitua, 40 % pitkää kuitua, 20 % talkkia).

	Tiheys, kg/m ³	Jäykkyys, mNm	Ilmanläpäisy- vastus, s	Repäisy- indeksi, mNm ² /g	Veto- indeksi, Nm/g	Valonsironta- kerroin, m ² /kg
Ruokohelppi	690	0,196	42	7,1	42,3	42,4
Referenssi (koivu)	687	0,197	17	7,4	36,4	42,7

Taulukko 25. Ruokohelpimassaosuuden vaikutus laboratorioseosarkkien ominaisuuksiin.

Ruokohelppi-sa, %	0	20	35	50	70
Neliömassa, g/m ²	77,7	80,5	80,3	80,1	82,7
Tiheys, kg/m ³	689	694	696	703	710
Vetoindeksi, Nm/g	64,7	67,7	66,6	66,9	65,5
Repäisyindeksi, mNm ² /g	9,27	8,92	8,46	8,34	7,56
Jäykkyys, res. menetelmä (80 g/m ²), mNm	0,262	0,272	0,262	0,275	0,274
ISO-vaaleus, %	85,6	86,1	86,5	86,8	86,4
Opasiteetti (80 g/m ²), %	77,1	76,3	75,9	75,8	75,3
Valonsirontakerroin, m ² /kg	30,5	29,5	29,0	29,0	27,9
Ilmanläpäisyvastus, Gurley, s	172	189	175	178	195

Havu (tehdasmassa), jauhatus 3 Ws/m, 720 MJ/t, vetoindeksi 71,1 Nm/g
 Koivu (tehdasmassa), jauhatus 2 Ws/m, 720 MJ/t, vetoindeksi 61,9 Nm/g
 Ruokohelpimassaa ei jauhettu

hellävaraisesti, mutta tehdasjauhimessa kuitujen katkeilu on mahdollista.

Samassa vetolujuudessa ruokohelppi-koivumassan lujuudet samoin kuin tiheys, valonsirontakerroin ja ilmanläpäisyvastus ovat samaa tasoa kuin puhtaalla koivumassalla. Ainoa merkittävä ero on ruokohelppi-koivumassan korkea z-suuntainen lujuus, joka indikoi myös hyvää pintalujuutta. Valkaisemalla ja jauhamalla ruokohelpimassa yhdessä koivumassan kanssa saadaan koivumassan ominaisuudet täyttävää massaa ja samalla säästetään energiankulutuksessa.

9.4 Massan optimaalinen seossuhde

Kevätkorjatusta jauhamattomasta sulfaatti-ruokohelpimassasta valmistetun hienopaperin (40 % ruokohelpimassaa, 40 % havupuusulfaattimassaa ja 20 % talkkia) ominaisuudet ovat vertailukelpoiset vastaavan koivusta valmistetun hienopaperin (40 % koivumassaa, 40 % havupuusulfaattimassaa ja 20 % talkkia) kanssa (Taulukko 24).

Optimaalisen seossuhteen löytämiseksi tehtiin seoslaboratorioarkeja pitämällä määntymassan osuus vakiona (30 %) ja lisäämällä ruokohelpimassan osuutta seoksessa 0 %:sta 70 %:iin (Taulukko 25). Ruokohelpiosuuden lisäämisen merkittävin vaikutus on repäisy-
 lujuuden lisääminen.

juuden aleneminen. Lyhytkuituisen runsaasti hienoainetta sisältävän ruokohelpimassan repäisyjujuus on alhaisempi kuin koivumassan. Repäisyjujuutta voidaan tarvittaessa parantaa lisäämällä pitkäkuituisen massan osuutta. Valonsirontakertoimen aleneminen korkeilla ruokohelpiosuuksilla (70 %) voidaan puolestaan kompensoida täyteainestusta optimoimalla.

10 Vedenpoisto-, märkäpuristus- ja kuivatusominaisuudet

Ruokohelpimassakuidut ovat lyhyitä. Massa sisältää runsaasti hienoainetta, ja kuiduilla sekä hienoaineella on hyvä sitoutumiskyky (kuidut turpoavat). Ruokohelpimassan koivumassaa huonommat vedenpoisto-ominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmia niin massan pesussa kuin paperikoneen viira- ja puristinosallakin.

Ruokohelpimassan käyttäytymistä vedenpoistossa viiralla, märkäpuristuksessa ja kuivatusosalla tutkittiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun Paperiteknikan laboratorion kanssa (Cheng *et al.* 1995). Tavoitteena oli arvioida, miten ruokohelpimassan vedenpoistokyky eroaa tyyppillisen hienopaperisulpun vedenpoisto-ominaisuuksista. Tutkittu massa oli kevätkorjattua, fraktioimatonta ECF-valkaistua ruokohelpimassaa (SR-luku 36). Hienoaineen vaikutusta em. ominaisuuksiin selvitettiin poistamalla massasta 10 %:ia hienoainetta, jolloin massan SR-luku oli 26. Referenssimassana käytettiin valkaistua tehdaskoivusulfaattimassaa, joka jauhettiin kahdelle eri jauhatustasolle (SR 26 ja 36).

10.1 Vedenpoisto viiraosalla

Fraktioimattoman ruokohelpimassan vapaa suotautuvuus (DDJ-laite) ja tyhjöllä aikaansaatava vedenpoisto (moving belt drainage tester) ovat hitaammat kuin koivumassalla. Vapaata suotautuvuutta voidaan parantaa poistamalla

ruokohelpiraaka-aineesta lehtiainesta ja käyttämällä retentioaineita. Verrattaessa ruokohelpi- ja koivumassaa samalla SR-lukutasolla ei vapaassa suotautumisessa ollut eroja massojen välillä. Vedenpoistokemikaaleista kaksikomponenttiretentio-/vedenpoistoaineet toimivat ruokohelpimassalla tehokkaimmin.

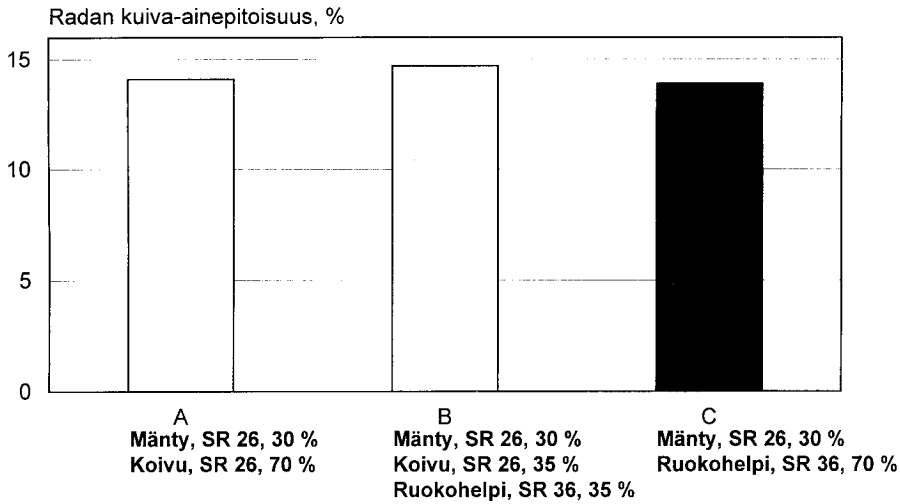
Paperikoneella tapahtuvaa vedenpoistoa pyrittiin simuloimaan käyttämällä pientä (0 - 6 kPa) tyhjää tai suurta tyhjää (10 - 60 kPa) vastaavia imulaatikoita). Vedenpoisto ruokohelpimassasta käytettäessä sekä pientä että suurta tyhjää onnistuu selvästi huomommin kuin vedenpoisto koivumassasta. Pulsstiaajuuden lisääminen tyhjän ollessa pieni, eli vedenpoistoelinten määrän lisääminen viiraosan alkuun, parantaa vedenpoistoa ruokohelpisulputta, mikä näkyy rainan kuiva-ainepitoisuuden suurenemisena.

Tyhjössä tapahtuva vedenpoisto paranee myös, kun sulppuun lisätään puukuitua tai raaka-aineesta poistetaan lehtiainesta. Rainan kosteuspitoisuudessa ei ole eroja, olipa lyhytkuitumassa ruokohelpeä tai koivua (lyhytkuitumassaosuus 70 %, Kuva 11).

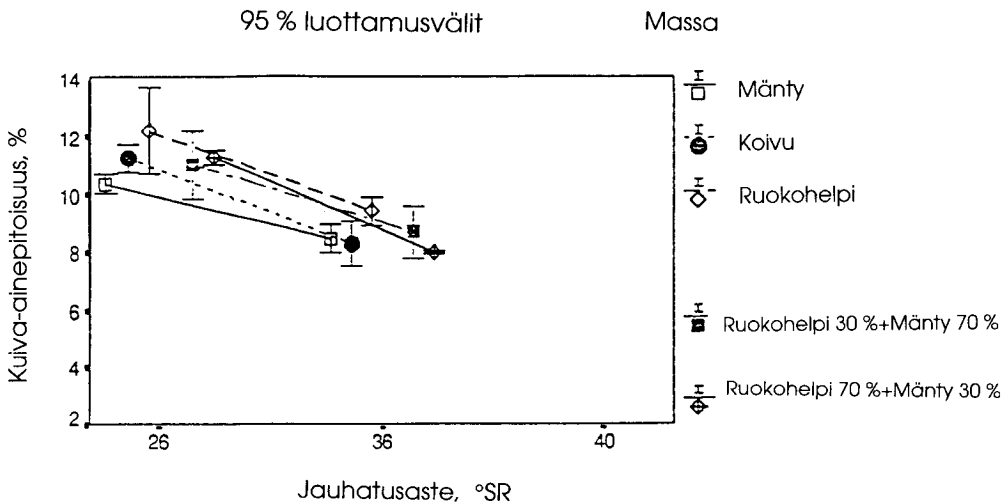
10.2 Märkäpuristus

Märkäpuristuksessa vesi näyttää märkäpuristussimulaattorilla (pulsin pituus 1 - 5 ms, paine 2 - 10 MPa) suoritettujen kokeiden mukaan poistuvan helposti ruokohelpimassasta. Vedenpoisto massaseoksesta puristuksessa riippuu voimakkaasti jauhatusasteesta (hienoainepitoisuudesta). Rainan kuiva-ainepitoisuusero mitattuna ennen puristusta ja puristuksen jälkeen alenee 2 %, kun SR-luku alennettiin 36:sta 26:een (Kuva 12). Vedenpoistoa voidaan parantaa pidentämällä painepulssia ja käyttämällä retentioemikaaleja. Parhaimmaksi vaihtoehdoksi ruokohelpimassalle osoittautui tarkkelystä ja silikaattia sisältävä retentioaine.

Rainan kokoonpuristumiseen voidaan tehokkaimmin vaikuttaa painepulssia pidentämällä ja käyttämällä riittävää painetta. Ruokohelpeä sisältävä raina ei tässä suhteessa poikkea merkittävästi vastaavasta koivua sisältävästä rainasta (Kuva 13). Ainoa merkittävä ero



Kuva 11. Veden poistuminen ruokohelpeä sisältävästä massaradasta (tyhjö 30 kPa, 35 ms).



Kuva 12. Rainan kuiva-ainepitoisuuden muutos märkäpuristuksessa (käytetty pitkää pulssia).

on ruokohelpikuitujen taipumus tarttua sylinterin pintaan, mikä saattaa aiheuttaa kuitujen irtoamista pinnasta.

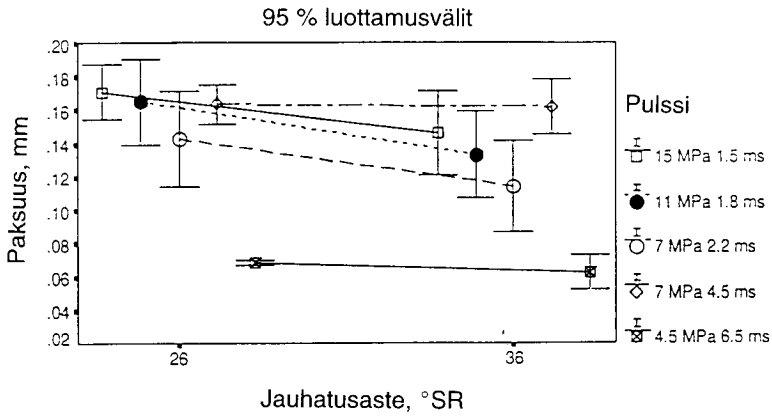
10.3 Kuivatus

Ruokohelpimassalla on suurempi haihdutusvastus kuivatuksen alkuvaiheessa (0 - 100 s)

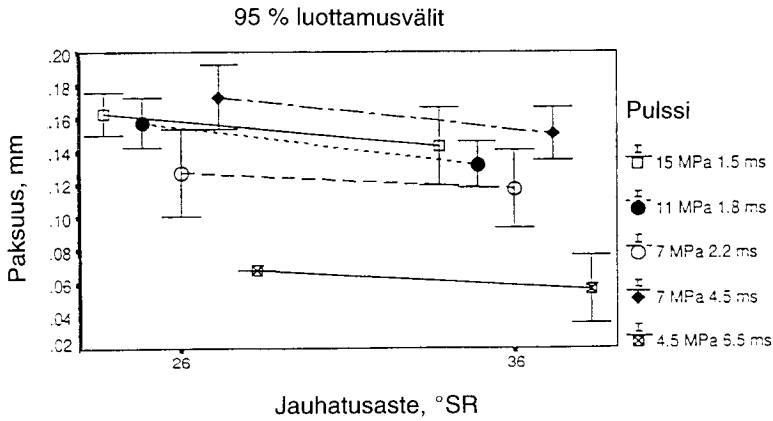
kuin puumassoilla. Ruokohelpirainan kosteuspitoisuus on siis hieman suurempi kuin vastavaan koivurainan (Kuva 14).

Kuivatuksen lopussa (100–500 s) paperin sisäinen aineensiirtovastus on tärkein kuivumista rajoittava tekijä. Kuivatuksen edistyessä ruokohelpi- ja puumassojen väliset erot taasoittuvat. Kun hydroskooppinen alue saavutetaan, näiden kahden massan välillä ei ole

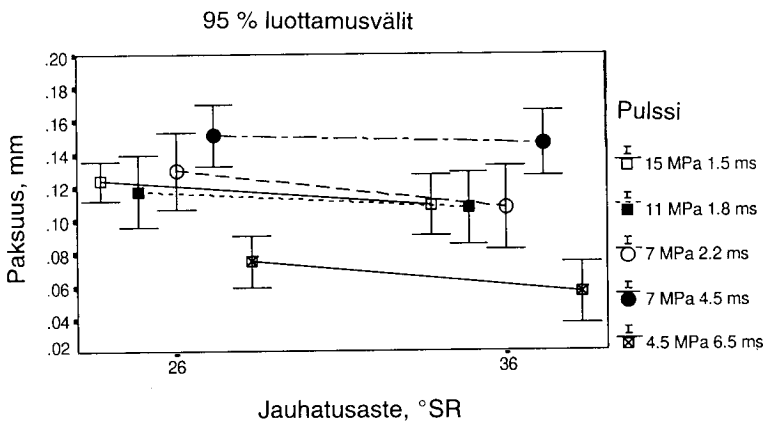
a) Rainan kokoonpuristuminen, koivu



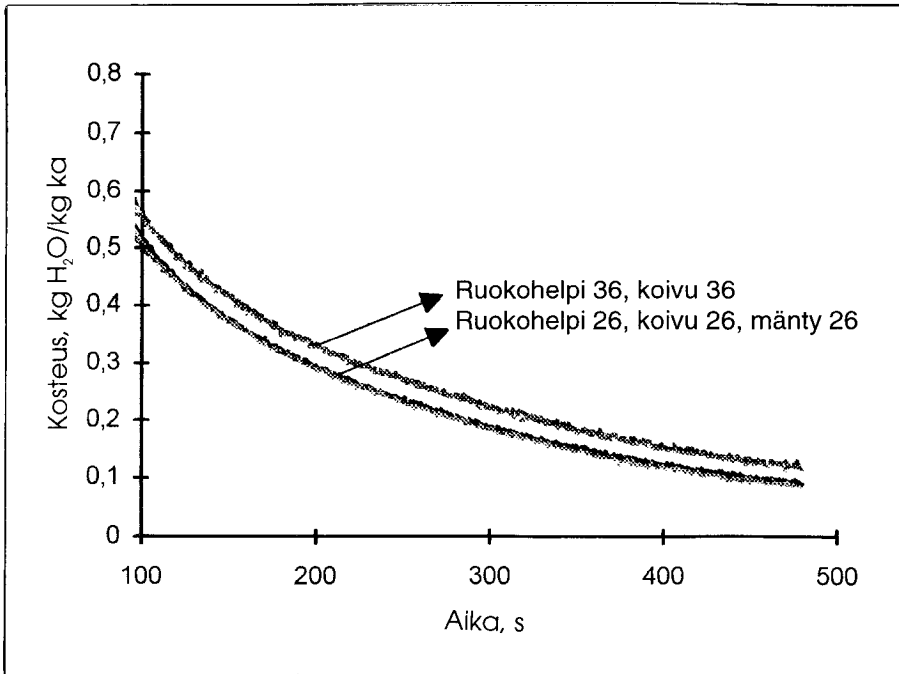
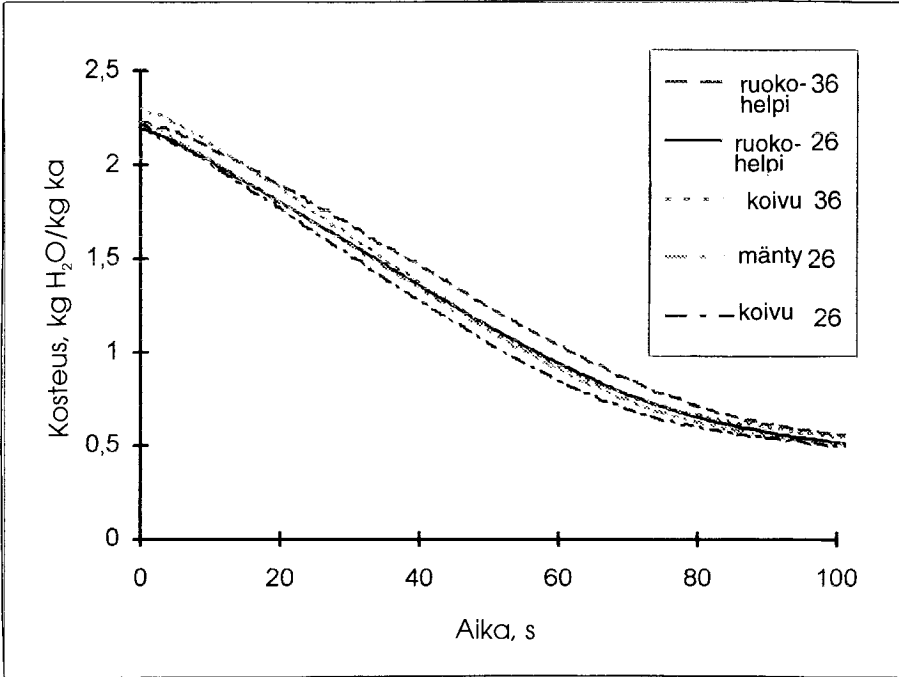
b) Rainan kokoonpuristuminen, ruokohelpi



c) Rainan kokoonpuristuminen, ruokohelpi 30 %+mänty 70 %



Kuva 13. Massalajin ja pulssin pituuden vaikutus rainan kokoonpuristumiseen märkäpuristuksessa. a) koivuraina, b) ruokohelpiraina, c) ruokohelvi/pitkäkuitu-seos (70/30)



Kuva 14. Rainan kosteuspitoisuus kuivatusajan funktiona.

enää eroja, kun massojen SR/hienoaine-taso on sama. Erot rainan kriittisessä kosteuspitoisuudessa (sidotun ja vapaan veden suhde) eivät olleet tilastollisesti merkittäviä. Hienoainepitoisuudella näyttääkin olevan suurempi vaikutus haihdutusnopeuteen kuin massatyypillä.

Laboratoriokuivatussimulaattorikokeiden perusteella ruokohelpeä sisältävän paperin loppukosteuspitoisuus voi olla alhaisempi kuin puumassasta tehdyn paperin siinä tapauksessa, että kuivatusosa on koneen ”pullonkaula”. Pilotkoeajoissa ei ollut eroja höyrynkulutuksessa eikä sylinterien lämpötiloissa.

11 Entsyymien käyttömahdollisuudet agromassan veden sidonnan säätelyssä

Hienoaineella on vaikutusta massan ajettavuuteen paperikoneella ja tuotteen paperitekniisiin ominaisuuksiin. Kuten edellä todettiin, ruokohelvestä valmistetun massan hienoainepitoisuuden ja hiilihydraattikoostumukseen vaikuttavat kasvin lajike, kasvupaikka, kasvuston ikä, korjuumenetelmät ja mahdolliset käsittelyt kuten fraktiointi jne.

Agrokuituhankkeen entsyymäattisessä osatutkimuksessa (Pere & Viikari 1996) selvitettiin, voidaanko entsyymeillä edistää ruokohelvimassan vedenpoistoa ilman haitallisia vaikutuksia massan muihin ominaisuuksiin.

Aiemmin on todettu, että entsyymikäsittelyillä voidaan parantaa vedenpoistoa massasta, retentiota ja ajettavuutta paperikoneen märkäosalla (Pommier *et al.* 1989, Jokinen 1994). Kaupallisia preparaatteja on saatavilla. Lisäksi viime aikoina on tutkittu kierrätyskuitujen (havusulfaattimassan) suotautumiseen ja sarveistumiseen liittyviä ilmiöitä entsyymien avulla (Oksanen *et al.* 1996). Sen sijaan aiemmin ei ole tutkittu entsyymikäsittelyn tehokkuutta agrokuitumassan veden poiston parantamisessa.

11.1 Käytetyt entsyymit

Entsyymit ovat mikro-organismien tuottamia spesifisiä biokatalyyttejä, joilla on mahdollista muokata biokemiallisesti massan hiilihydraatteja, lähinnä selluloosaa ja hemiselluloosaa. Polymeerisiin substraatteihin - selluloosaan ja hemiselluloosaan - vaikuttavat entsyymit erittyvät soluseinän ulkopuolelle, josta ne voidaan konsentroida halutun väkevyisiksi käyttöliuoksiksi. Kaupalliset entsyymipreparaatit ovat yleensä usean entsyymin seoksia, joita käytettäessä sokereiden tuotto (saantohäviö) on usein suuri ja monikomponenttisen seoksen toimintamekanismin arviointi vaikeaa. Tässä tutkimuksessa käytettiin puhtaita sellulaaseja ja hemisellulaaseja, jotta saataisiin parempi käsitys vedensidontailmiöistä massassa ja voitaisiin selvittää vedenpoiston kannalta oleelliset entsyymiaktiivisuudet.

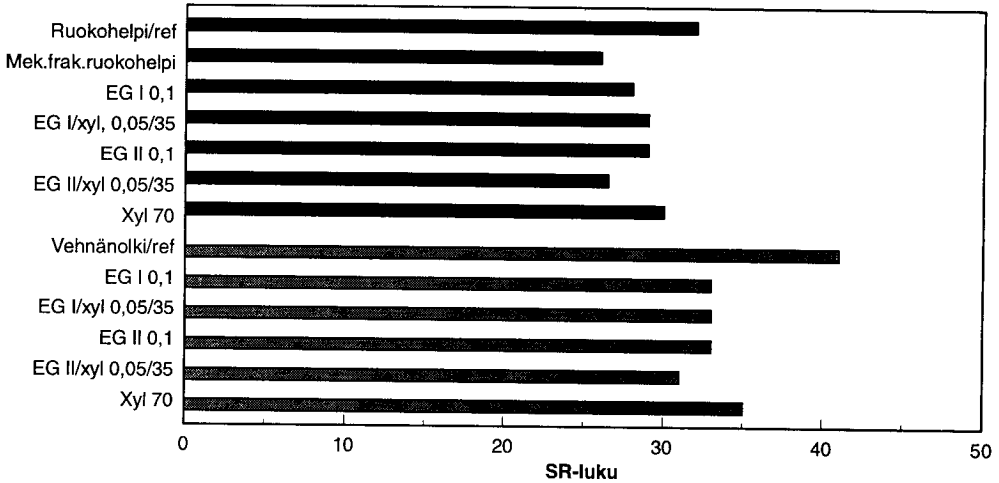
Valkaisemattomille ruokohelpi- ja vehnänolkimassoille sekä ECF-valkaistulle koiivu/ruokohelpi-seosmassalle (seossuhde 60/40) tehtiin käsittelykokeita endoglukanaaseilla, ksylanaaseilla ja näiden seoksilla. Endoglukanaasit ovat sellulaaseja, jotka hydrolysoivat amorfista, järjestäytymätöntä selluloosaa. Ksylanaasit pilkkovat ksylaanin polyksyloosirunkoa muodostaen eri pituisia, liukoisia oligosakkarideja. Kaikki tutkimuksessa käytetyt entsyymit puhdistettiin *Trichoderma reesei*- ja *Aspergillus terreus*-homeiden kasvuliukoista.

Käsittelyt tehtiin lievästi happamissa olosuhteissa (pH 4,5–5), lämpötilassa 45 °C, käsittelyaika oli 2 tuntia. Käsittelyn jälkeen massasulputta mitattiin SR-luku ja vapaa suotautuvuus ja valmistettiin laboratorioarkit testuusta varten.

11.2 Vaikutus suotautuvuuteen

Käsittelemällä massoja endoglukanaasi I:llä (EG I) SR-lukua pystyttiin alentamaan annoksesta ja massaerästä riippuen 10 - 30 %. Vapaa suotautuvuus parani 8 - 10 %. Positiivinen vaikutus suotautuvuuteen oli sidoksissa EG I-annostukseen, vaikkakin merkittävä SR-luvun lasku (20 %) saavutettiin jo annoksella

Entsyymikäsitely ja annos mg/g;nkat/g



Kuva 15. Entsyymikäsitelyiden vaikutus ruokohelpi- ja vehnänolkimassojen suotautuvuuteen (SR-luku). mek. frak. = mekaanisesti fraktioitu

0,05 mg/g (vastaa ksylanaasiaktiivisuutta 40 nkat/g). Eri käsittelyiden vaikutukset ruokohelven suotautuvuuteen olivat yhteneväiset riippumatta siitä, käytettiinkö mittausparametrina SR-lukua vai vapaata suotautuvuutta (Kuvat 15 ja 16).

Ksylaasin lisääminen EG I -preparaattiin ei edistänyt EG I -entsyymien toimintaa, vaikka samalla liukoisten sokereiden määrä (saantohäviö) lisääntyi merkittävästi. Suotautuvuutta edistävää vaikutusta ei ollut ksylanaaseilla, ksylanaaseilla yhdessä α -arabinosidaasin kanssa (hydrolysoi ksylaatin arabinoosi-sivuryhmiä), eikä erällä toisella endoglukanaasilla (EG II) yksinään.

Jauhettua ruokohelpi/koivu-seosmassaa entsyymikäsiteltäessä suhteelliset muutokset suotautumiskyvyssä olivat pienemmät kuin puhdasta ruokohelpimassaa käsiteltäessä. Päinvastoin kuin ruokohelpimassan, seosmassan suotautuvuuden paraneminen oli aiempaa selvemmin yhteydessä EG-annostuksiin ja siten hydrolyysiasteeseen.

Vastaavaan tulokseen kuin EG I -käsittelyllä, päästään poistamalla massasta 6 % hienoainetta. Entsyymikäsitelyn etuna on se, että vedenpoiston parantuminen saadaan aikaan ilman, että hienoaineen määrä massassa vähenee. Tosin arkkien veto- ja puhkaisulujuus ale-

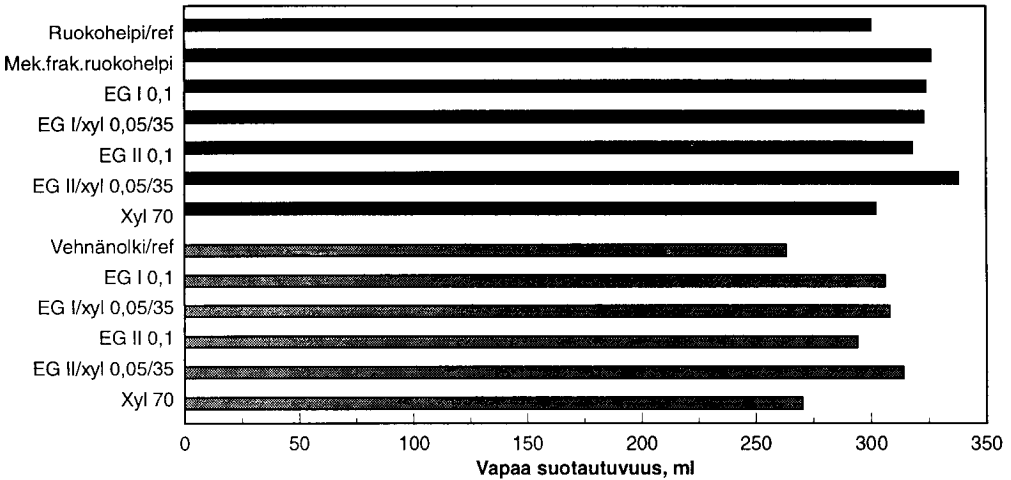
ni hieman sekä entsyymikäsitelyssä että mekaanisessa hienoaineen poistossa. Mekaaninen hienoaineen poisto alentaa lisäksi ruokohelpimassan suurta ilmanläpäisyvastuksen arvoa.

11.3 Hypoteesi vedenpoistomekanismista

Vedensitomiskyky ei siis ole vain hienoaineen määrään liittyvä ilmiö. Veden vapautuminen ruokohelpimassasta edellyttää todennäköisesti selluloosan ja ksylaatin välisen vuorovaikutuksen purkamista (Kuva 17). EG I, joka on epäspesifinen sellulaasi (Bailey *et al.* 1993), pystyy ilmeisesti hydrolysoimaan näiden kahden hiilihydraattipolymeerin välisiä sidoksia. Yksinomaan selluloosan tai ksylaatin rakenteen purkaminen, edes suuressa määrin, ei riitä positiivisen vaikutuksen aikaansaamiseen. Tarvitaan kummankin rakenteen osittainen purkaminen ennen kuin vedensitoutumisessa tapahtuu muutoksia.

Kslyloglukaani on todennäköisesti tärkeä komponentti massan vedenpidätyskyvyn säätelyssä, koska vedenpoiston paraneminen edellyttää sekä selluloosan että ksylaatin hydrolyysiä. Vedenpoiston parantuminen ei ollut sidoksissa hydrolyysin määrään, mikä viittaa

Entsyymikäsittely ja annos mg/g;nkat/g



Kuva 16. Ensyymikäsittelyiden vaikutus ruokohelpi- ja vehnänolkimassojen vapaaseen suotautuvuuteen. mek. frak. = mekaanisesti fraktoitu

spesifiisiin muutoksiin massan pintaominaisuuksissa.

Kirjallisuuden mukaan ksyloglukaani sitoutuu hyvin tiukasti selluloosaan ja haaroituneena hemiselluloosa-polymerinä saattaa muodostaa sillan mikrofibrillien välille. Samalla ksyloglukaani steerisesti estää vetysidosten muodostumisen mikrofibrillien välille, jolloin mikrofibrillit eivät voi muodostaa kimppuja eivätkä kuidut pakkautua tiiviisti. Mikäli ksyloglukaani toimii mikrofibrillien välisenä silloittajana ja geelimäisen hiilhydraattimatriisin rakenneosana yhdessä ksylaanin kanssa, voi kyseisellä rakenteella olla merkittävä vaikutus vedensitoutumiseen. Esitetyn hypoteesin todentaminen vaatii lisätutkimuksia.

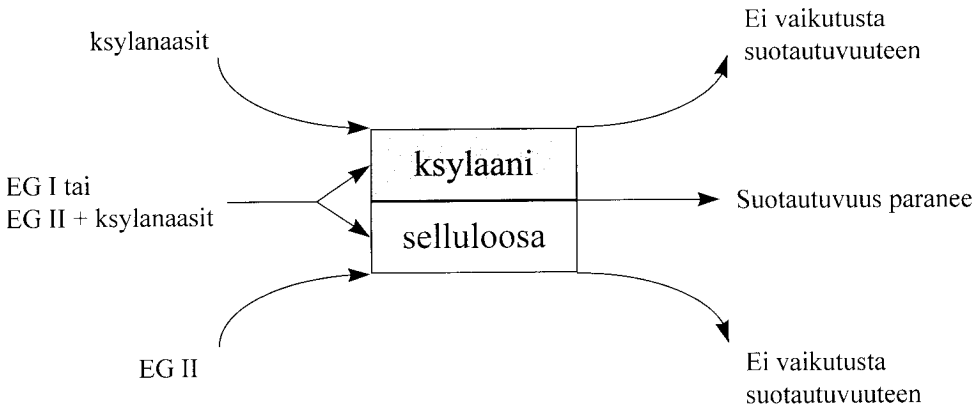
Eräänä syynä ruokohelpi- ja havusulfaatimassan välisiin käyttäytymiseroihin suhteessa entsyymikäsittelyyn saattaa olla niiden erilainen kuitu-hienoaines-matriisin rakenne. Ruokohelpimassassa ksylaani-pitoisuus on fysikaalisesti erotettavissa kuituista. Sen sijaan jauhetulla havusellulla runsaasti vettä sitova, hemiselluloosasta ja amorfisesta selluloosasta muodostunut kolloidiliuos on pääosin assosioitunut fibrilloituneen kuidun pintakerrokseen. Vedenpidätyskyvyn muuttaminen näissä kahdessa erityyppisessä matriisissa näyttäisi siten edellyttävän erilaisten sidosten purkamista.

11.4 Toteuttamismahdollisuudet

Entsyymikäsittelyn kytkeminen nykyisiin tuotantoprosesseihin on mahdollista. Käytännössä on huolehdittava siitä, että pH on hieman happaman puolella (pH 4–6), eikä lämpötila ole liian korkea (optimilämpötila 45–65 °C). Efektiiivinen käsittelyaika riippuu pääasiassa käytetystä entsyymiannoksesta ja lämpötilasta; käytännössä on mahdollista päästä alle tunnin kontaktiaikoihin.

12 Pilotkoeajot

Laboratoriokokeet osoittivat, että ruokohelpimassa soveltuu hienopaperin raaka-aineeksi. Laboratoriokoetulosten varmistamiseksi valmistettiin syksyllä 95 pilotmittakaavassa kevät-korjatusta ruokohelvestä hienopaperia, jolle tehtiin myös koepainatus. Agrokuitumassa keitettiin Enso-Gutzeit Oy:n Tervakosken lumppukeittimillä ja valkaistiin Enson Imatran tutkimuskeskuksessa. Hienopaperia ajettiin KCL:n koekoneella neljällä eri ruokohelpi-, koivu- ja havumassan seossuhteella yhteensä 12 000 m. Osa paperista päällystettiin ja osa pintaliimattiin. Koepainatus tehtiin KCL:n arkkioffsetpainokoneella. Saatuja papereita



Kuva 17. Hypoteettinen malli veden sitoutumisesta massassa ja entsyymien vaikutuksesta suotautuvuuteen.

verrattiin referenssipaperiin, joka koostui tehdaskoivu- ja havumassasta (seossuhde 70/30).

12.1 Agrokuidun esikäsittely

Suomessa ruokohelpeä on saatavilla tällä hetkellä varsin rajoitetusti. Pääosa pilotkokeissa käytetystä ruokohelvestä ostettiin pohjanmaalaisilta viljelijöiltä. Riittävän määrän saamiseksi

joukkoon jouduttiin sekoittamaan Viikistä keväällä 95 korjattua ruokohelpeä (Venture). Pohjanmaalta peräisin olevaa ruokohelpeä (Palaton) jouduttiin varastoimaan katetussa tilassa puolitoista vuotta ennen käyttöä. Kyseisen raaka-aine-erän laatu ei ollut paras mahdollinen ja laatu vaihtelut pyöröpaaleissa olivat suuret. Pilotkokeen onnistumisen takaamiseksi ruokohelvelle päätettiin suorittaa ennen keittoa tehokas esikäsittely. Ruokohelppi silputtiin ja tuulilajiteltiin Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitoksen ja Vakolan yhteistyönä ja ruohosilppu pestiin KCL:ssä.

Pilekominen ja tuulilajittelu

Ruokohelpipaalit purettiin käsin ja syötettiin heinähangolla Junkkarin TS-150-tarkkuussilppuriin. Se katkoi helven 5 - 15 cm:n pätkiksi, jotka kone puhalsi ilmaerottimen syöttösuihkuun. Suppilosta ruokohelpisilppu purettiin erottimeen syöttörullilla. Ilmaerotin oli tehty tiiviiksi päällystämällä rimakehikko muovilla. Tunnelin päässä oli puhallin, joka kuljetti lajiteltavan materiaalin niin, että raskain jae (hieka, multakokkeet jne.) putosivat alkupäähän ja kaikkein kevein jae (pöly ja lehdet) lensi ulos tunnelin toisesta päästä. Silputtu korsimateriaali (akseptijae) otettiin talteen tunnelin pohjassa olevien avattavien luukkujen kautta ja pakattiin suursäkkeihin. Rejektin osuus oli 20 % syötöstä.

Kuitusilppun pesu

Ilmaeroteltu kuitusilppu pestiin lämpimällä vedellä (n. 50 °C) sekoittimella varustetussa kyypissä (100 m³). Sakeus oli 2 % ja viipymäaika keskimäärin 5 tuntia. Pesun jälkeen ruokohelpisilppu pumpattiin suotonauhapuristi-

melle, jolla ruokohelpi sakeutettiin 30 %:n sakeuteen ja pakattiin edelleen suursäkkeihin.

12.2 Keitto

Ruokohelpi keitettiin sulfaattimenetelmällä Tervakoski Oy:n 17 m³:n pyörivässä "lump-pukeittimessa". Keittoliuksena käytettiin Kymi Oy:n Kuusankosken sellutehtaan valkoleipeää. Keitto tehtiin kahdessa erässä.

Keitto-olosuhteet olivat seuraavat:

- tehollinen alkaliannos (NaOH:na) 18 %
- sulfiditeetti 37,5 %
- nostonopeus (25 °C → 165 °C) 60 min
- keittoaika (165 °C:ssa) 10 min
- neste:ruoko n. 3,5:1

Keitin lämmitettiin suoralla höyryllä. Keittoajan jälkeen mustalipeä puskettiin säiliöön, josta otettiin lipeänäytteet silikaattitutkimuksia varten.

Kaasauksen jälkeen massa pestiin uutto-pesuna keittimessä kylmällä vedellä (1 x n. 5 m³). Pesuvesi poistettiin keittimestä paineilmalla. Keitin tyhjennettiin kaatamalla massa lattialle, josta se lapioidiin kuljetuslaatikoihin. Massan kappaluku oli noin 12 ja kuiva-ainepitoisuus 25 %.

12.3 Lajittelu

Ruskea massa lajiteltiin 0,3 mm:n rakoseulalla Enso-Gutzeit Oy:n tutkimuskeskuksessa. Rejektin määrä oli 1 % ja rejektin lisäksi lajittelussa poistui 6 % akseptia (lähinnä hienoainetta).

Lajittelun jälkeen massa sakeutettiin suotonauhapuristimella ja molempien keittojen massat sekoitettiin valkaisua varten. Massaseoksen kappaluku oli 11,1 - 11,4.

12.4 Valkaisu ja jälkilajittelu

Lajiteltu agrokuitu valkaistiin D-Ep-D-sekvenssillä kolmessa erässä Enso-Gutzeit Oy:n tutkimuskeskuksessa. Loppuvaaleus oli

86,8 - 88,8 % ISO (tavoite 86 %). Massat sakeutettiin 35 %:n sakeuteen suotonauhapuristimella ja pakattiin suursäkkeihin. Valkaisuolot ja -tulokset on esitetty liitteessä 4.

Valkaistu massa pulperoitettiin KCL:ssa 5,5 %:n sakeudessa ja jälkilajiteltiin painesihdillä (TAP-50, 0,15 mm:n rako, profiili 0,65). Lajittelun tarkoituksena oli poistaa eri käsittelyvaiheissa massaun joutuneet roskat (muovin ja puun kappaleet). Lajittelun jälkeen massa saostettiin kiekkosuotimella 3,7 % sakeuteen. Massan freeness ei muuttunut lajittelussa.

12.5 Massojen jauhatus

Referenssimassoina käytettiin Metsä-Botnian ECF-valkaistua koivu- ja havusulfaattimassaa. Massoille suoritettiin koejauhatukset, joiden perusteella koivumassa jauhettiin Bauer 442 M -levyjauhimella tavoiteltuun freeness-arvoon 350 ml (1,0 Ws/m, 45 kWh/t) ja havumassa freeness-tavoitteeseen 450 ml (1,4 Ws/m, 79 kWh/t). Ruokohelpimassaa ei jauhettu. Pilotkoeajoissa käytettyjen massojen ominaisuudet on esitetty taulukossa 26.

Jauhamattoman ruokohelpimassan vetolujuus vastaa hienopaperin lyhytkuitumassalta vaadittavaa vetolujuutta. Lyhytkuituisemman ruokohelpimassan repäisyjujuus on alhaisempi kuin koivumassalla, mutta ajettavuutta kuvaava murtotyö suurempi. Jauhamattoman ruokohelpimassan ja jauhettun koivumassan tiheys ja ilmanläpäisyvastus ovat samaa suuruusluokkaa. Suuri kuitumäärä massayksikössä takaa ruokohelpimassalle hyvät valonsirontaominaisuudet, vaikka kuiduilla onkin hyvä sitoutumiskyky.

12.6 Paperikoneajot

Paperikoneajot suoritettiin KCL:n pilotpaperikoneella 10.10.1995 (koneen nopeus 80 m/min) seuraavasti:

Koepiste	1 (Ref.)	2	3	4	5
- ruokohelpi-sa,%	0	20	35	50	70
- koivu-sa,%	70	50	35	20	0
- havu-sa,%	30	30	30	30	30

Taulukko 26. ECF-valkaistun pilotruokohelpi-, tehdaskoivu- ja havumassan ominaisuudet.

	Ruokohelpi		Koivu		Mänty	
	lajiteltu	hajotettu	jauhettu	hajotettu	jauhettu	
Neliömassa, g/m ²	65,8	63,2	64,6	63,3	64,1	
Tiheys, kg/m ³	737	691	760	597	683	
Ilmanläpäisevyys, Gurley, s	26	4,6	27	1,2	12	
Vetolujuus, kN/m	2,93	2,36	3,71	1,98	3,78	
Vetoindeksi, Nm/g	44,6	37,3	57,4	31,3	59,0	
Venymä, %	3,7	2,0	3,2	3,2	3,5	
Murtotyö, J/m ²	84,0	36,5	86,9	47,2	93,6	
TEA-indeksi, J/g	1,28	0,58	1,35	0,75	1,46	
Repäisyjuuus, mN	354	471	465	1150	866	
Repäisyindeksi, mNm ² /g	5,38	7,45	7,20	18,2	13,5	
Opasiteetti, %	72,0	71,2	68,5	69,9	65,0	
Valonsirontakerroin, m ² /kg	30,3	31,2	27,2	28,7	23,4	

Lisäaineina käytettiin täyteainetta (Nordgrona) 15 %, massaliimaa (Hydrores) 0,6 - 0,75 %, retentioainetta (Fennopool 3400) 0,015 % ja tärkkelystä (Raisamyl 135) 0,6 %. Liimaus huononi lievästi ruokohelpimassan osuutta lisättäessä. Erot eivät olleet merkittäviä, eikä liimausta voitu optimoida näin lyhyessä koeajossa.

Koneolosuhteita ei eri koepisteiden välillä tarvinnut juuri muuttaa, kun ruokohelven määrää sulpussa lisättiin. Tavoitteena oli pitää koneen säädöt vakioina ja säätää tarvittaessa vain liimausta, kosteutta, neliömassaa ja täyteainetta. Pilotpaperikoneella ei ollut ajettavuusongelmia, vaikka ruokohelpimassan osuus nostettiin 70 %:iin. Tosin märkä- ja kuivaimuja jouduttiin nostamaan, kun ruokohelven määrää massasulpussa nostettiin nolasta seitsemäänkymmeneen prosenttiin. Erot eri näytepisteiden välillä olivat kuitenkin pienet; vesirajassa havaittiin yhden foililistan muutos, kun sulpussa oli 35 % ruokohelpimassaa. Kalanteroimattoman pohjapaperin ominaisuudet on esitetty liitteessä 5.

Kalanterointi tehtiin erikseen paperikoneen kalanterilla, jotta välttyttäisiin paperihävikiltä etsittäessä optimikalanterointioleja. Kalanteroinnissa pyrittiin tavoitekarheuteen 400

ml/min (Bendtsen). Kalanteroidun pohjapaperin ominaisuudet on esitetty taulukossa 27.

Pohjapaperin ominaisuuksissa ei havaittu kriittisiä eroja nostettaessa ruokohelpimassan osuutta pohjapaperissa 0:sta 70 %:iin. Paperin lujuusominaisuudet (veto- ja repäisyjuuus) tosin alenivat jonkin verran. Murtotyössä ei havaittu merkittäviä eroja. Sen sijaan palstautumislujuus suureni sitoutumiskykyisten ruokohelpikuitujen määrää lisättäessä. Tiheydessä tai ilmanläpäisevyydessä ei myöskään havaittu muutoksia. Optisiin ominaisuuksiin ruokohelpipilisyksellä oli enemmänkin positiivinen kuin negatiivinen vaikutus.

12.7 Päälystys ja pintaliimaus

12.7.1 Päälystyskoeajo

Koeajo suoritettiin tela-aplikointimenetelmällä KCL:n päälystyskone I:llä. Päälystykseen määrä oli 10 g/m². Päälystyspastat valmistettiin Salomix-dispergaattorissa. Seoskoostumus on esitetty liitteessä 5.

Olot sivelytela-aplikoinnissa normaalikulmaa käytettäessä olivat seuraavat: koneen

nopeus 800 m/min, teräkulma 50°, terän pakkaus x korkeus 0,381 mm x 84 mm, terän vapaa ulottuma 51 mm, teränkuormituspiste kärjestä 16 mm ja esijännitys 0 mm. Applikointitelan nopeus oli 10 % koneen nopeudesta ja etäisyys vastatelasta 0,15 mm. Päälylstysten jälkeen paperi kuivattiin sähköinfralla ja kolmella kaasulämmitteisellä leijukuivaimella.

Päälylstetyt paperit superkalanteroitiin. Superkalanterin nopeus oli 400 m/min, telojen pintalämpötila 75 °C, viivakuorma 150 kN/m ja nippien lukumäärä 9 kpl. Päälylstettyjen paperien ominaisuudet on esitetty taulukossa 28.

Päälylstetyssä hienopaperissa koivumassa voidaan korvata ruokohelpimassalla ilman, että käyttäjä havaitsee muutoksia valmiin paperin toiminnallisissa ominaisuuksissa. Nostettaessa ruokohelven osuus pohjapaperissa 0:sta 70 %:iin paperin sileyys ja märkähankauskestävyys hieman paranevat, mutta veden absorptio huononee.

12.7.2 Pintaliimauskoeajo

Pintaliimaus tehtiin KCL:n päälylstyskone III:lla yhdelle ruokohelpeä sisältävälle pohjapaperille (koostumus 35 % ruokohelpi-, 35 % koivu- ja 30 % havumassaa). Liiman määrä oli 0,5 g/m² per puoli. Pintaliimaus tehtiin Sym-Sizerilla ja molemmilla päälylstysasemilla käytettiin halkaisijaltaan 10 mm:n sileää sauvaa. Sym-telojen kovuus oli 45 PJ ja paperi ajettiin niin, että alapuoli käsiteltiin ensimmäisellä päälylstysasemalla. Pastana oli Raisamyl 410, joka keitettiin Jet-keitimellä vakio-olosuhteissa.

Pintaliimattu paperi superkalanteroitiin. Valmiin paperin ominaisuudet on esitetty taulukossa 29. Tulosten perusteella osa koivumassasta voidaan korvata ruokohelpimassalla paperin ominaisuuksien siitä kärsimättä. Ruokohelpilisäys näyttää parantavan paperin pintaominaisuuksia, kuten sileyttä ja kiiltoa, pa-

perin jäykkyyden huonontumatta. Valitettavasti ruokohelpimassaa ei ollut riittävästi useampien koepisteiden pintaliimaamiseksi. On kuitenkin varsin todennäköistä, että myös pintaliimattavassa pohjapaperissa ruokohelven osuutta voidaan nostaa 70 %:iin.

12.8 Arkkioffsetkoepainatus

Ruokohelpipaperin painettavuus tutkittiin koepainatuksilla KCL:n arkkioffsetpainokoneella. Ennen varsinaista koepainatusta tehtiin IGT-koepainatukset. Näissä kokeissa (Liitteet 6 ja 7) ei havaittu merkittäviä eroja eri näytteiden välillä, kun ruokohelven osuutta pohjapaperissa lisättiin.

Arkkioffsetpainatuksissa käytettiin Roland Favorit RVF -painokonetta (Orazol P51 -painolevyt), jonka tuotantonopeus on 5000 arkkia/h. Painoväreinä olivat K+E 183 -musta, Rapida-syaani ja Rapida-magneta. Arkeista mitattiin painojäljen densiteetti (Macbeth RD918), kiilto (Hunter 75°), läpipainatus (Elrepho) ja epätasaisuus (kuva-analysaattori). Lisäksi laskettiin pick-jälkien lukumäärä painetulla alueella (arkkien lukumäärä 200 kpl). Ta-voitedensiteetit olivat 1,90 musta, 1,50 syaani ja 1,30 magneta keltainen.

Arkkioffsetkoepainatustulokset päälylstetyille (ruokohelpimassan osuudet 0, 20, 35, 50 ja 70 %) ja pintaliimatulle (ruokohelpimassan osuudet 0 ja 35 %) paperille on esitetty liitteissä seuraavasti: painojäljen densiteetti liitteessä 8, painojäljen kiilto liitteessä 9, läpipainatus liitteessä 10, painojäljen epätasaisuus liitteessä 11 ja pick-jälkien lukumäärä liitteessä 12.

Painettavuusmittaukset osoittivat, että erot eri paperien ominaisuuksissa ovat vähäiset. Ainoa vähän merkittävämpi ero havaittiin päälylstetyn paperin laikullisuudessa. Lisättäessä ruokohelven määrää pohjapaperissa 0 %:sta 70 %:iin laikullisuus lisääntyi, tosin vain syaania värinä käytettäessä. Väriä ja/tai painatusolosuhteita säätämällä tämäkin ero on korjattavissa.

Taulukko 27. Kalanteroidun pohjapaperin ominaisuudet.

Ruokohelpi, sa-% kalanteroitu	0	20	35	50	70
Neliömassa, SCAN-P 6:75, g/m ²	81,7	83,5	82,9	82,3	80,3
Tiheys, SCAN-P 7:75, kg/m ³	778	773	768	762	765
Paksuus, SCAN-P 7:75, µm	110	113	113	112	110
Karheus, Bendtsen, SCAN-P 21:67, ml/min					
yp	390	415	420	405	405
vp	540	580	630	560	610
Karheus, PPS, S10, ISO 8791-4, µm					
yp	>6,0	>6,0	>6,0	>6,0	>6,0
vp	>6,0	>6,0	>6,0	>6,0	>6,0
Ilmanläpäisevyys, Bendtsen, SCAN-P 60:8, ml/min	710	730	760	730	720
ISO-vaaleus, SCAN-P 3:93, %	84,2	83,9	83,5	83,5	83,2
Opasiteetti, SCAN-P 8:93, %	85,7	86,3	87,2	86,4	86,4
Valonsirontakerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg	42	42,1	44	42,5	43,1
Valonabsorptiokerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg	0,30	0,31	0,35	0,33	0,35
Vetolujuus, SCAN-P 38:80, kN/m					
ks	4,04	4,22	3,77	3,73	3,46
ps	2,13	2,17	2,12	2,1	2,02
Vetoindeksi, SCAN-P 38:80, Nm/g					
ks	49,4	50,5	45,5	45,3	43,1
ps	26	26	25,6	25,6	25,2
Venymä, SCAN-P 38:80, %					
ks	1,61	1,68	1,68	1,73	1,9
ps	2,8	2,73	2,77	2,85	2,62
Murtotyö, SCAN-P 38:80, J/m ²					
ks	44,5	49	32,2	44,4	45,9
ps	44,1	44,7	44,7	44,4	40
Kimmomoduli, SCAN-P 38:80, N/mm ²					
ks	5800	5680	5180	5020	4770
ps	2920	2910	2870	2850	2880
Repäisyjujuus, SCAN-P 11:73, mN					
ks	572	582	574	557	484
ps	663	661	651	648	574
Repäisyindeksi, SCAN-P 11:73, mNm ² /g					
ks	7,00	6,97	6,92	6,77	6,03
ps	8,12	7,92	7,85	7,87	7,15
Vedenabs. Cobb60, SCAN-P 12:64, g/m ²					
ks	21,6	22,5	22,9	23,2	24,3
ps	21,9	22,6	23	22,7	23,8
Taiv.jäykk. resonanssimen, SCAN-64:90, mNm					
ks	0,424	0,459	0,421	0,382	0,362
ps	0,205	0,207	0,200	0,203	0,190
Palstautumislujuus, Scott, TAPPI T 833 om-94, J/m ²	317	341	359	371	416
Tuhka, SCAN-P 5:63 (600 °C), %	14,7	14,9	16,1	15,3	15,8

yp = yläpuoli, vp = viirapuoli, ks = konesuunta ja ps = poikkisuunta

Taulukko 28. Päälystetyn ja superkalanteroidun hienopaperin ominaisuudet lisättäessä ruokohelven osuutta massaseoksessa 0:sta 70 %:iin.

Ruokohelpi, sa-%	0	20	35	50	70
Neliömassa, SCAN-P 6:75, g/m ²	106	105	106	105	106
Tiheys, SCAN-P 7:75, kg/m ³	1165	1167	1152	1167	1165
ISO-vaaleus, SCAN-P 3:93, %					
vp	85,9	85,8	85,4	85,2	85,3
yp	85,8	85,5	85,2	85,1	85,1
Keltaisuus, DIN 6167,C 2°					
vp	4,14	4,15	4,30	4,41	4,38
yp	4,14	4,22	4,37	4,42	4,4
Opasiteetti, SCAN-P 8:93, %					
vp	91,2	91,2	91,4	91,1	91,1
yp	91,2	91,2	91,5	91,1	91,2
Valonsirontakerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg					
vp	45,6	45,9	45,6	44,6	44,2
yp	45,6	45,6	45,4	44,5	44,3
Valonabsorptioerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg					
vp	0,33	0,34	0,36	0,36	0,35
yp	0,34	0,35	0,37	0,36	0,36
Karheus,Bendtsen, SCAN-P 21:67, ml/min					
vp	57	46	50	60	48
yp	65	48	58	64	54
Ilmanläpäisevyys,Bendtsen SCAN-P60:87, ml/min	6	5	6	6	6
Karheus, PPS, S10, ISO 8791-4, µm					
vp	1,91	1,80	1,83	1,87	1,71
yp	1,56	1,58	1,54	1,56	1,45
Kiilto, Hunter 75°, TAPPI T480, %					
ks, vp	50,1	50,3	50,7	49,6	51,3
yp	61,0	61,9	60,0	60,4	61,5
ps, vp	46,8	48,6	49,8	47,3	48,7
yp	55,6	56,6	58,1	56,3	56,8
Taivutusjäykkyys resonanssimenet., SCAN-P 64:90, mNm					
ks	0,469	0,436	0,445	0,448	0,427
ps	0,291	0,266	0,269	0,256	0,273
Märkähankauskestävyys, Taber, Wet rub					
vp	11	13	12	15	14
yp	10	11	10	13	13
Vedenabs., Cobb60, SCAN-P 12:64, g/m ²					
vp	28,1	28,9	29,9	30,3	31,6
yp	26,9	27,9	29,3	29,9	30,4

Näytteet sisältävät optisia kirkasteita. Yp = yläpuoli, vp = viirapuoli, ks = konesuunta ja ps = poikkisuunta

Taulukko 29. Pintaliimatun ja superkalanteroidun hienopaperin ominaisuudet verrattuna konventionaaliseen koivumassaa sisältävän hienopaperiin.

Ruokohelpi, sa- %	0	35
Neliömassa, SCAN-P 6:75, g/m ²	83,2	84,0
Tiheys, SCAN-P 7:75, kg/m ³	990	988
ISO-vaaleus, SCAN-P 3:93, %		
ap	83,2	82,7
yp	83,1	82,7
Keltaisuus, DIN 6167, C 2°		
ap	6,76	7,04
yp	6,73	6,98
Opasiteetti, SCAN-P 8:93, %		
vp	85,6	85,8
ap	85,7	85,6
Valonsirontakerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg		
ap	39,8	39,2
yp	39,8	38,8
Valonabsorptiokerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg		
ap	0,33	0,35
yp	0,34	0,35
Karheus, Bendtsen, SCAN-P 21:67, ml/min		
ap	150	135
yp	105	115
Ilmanläpäisevyys, Bendtsen, SCAN-P 60:87, ml/min	230	195
Karheus, PPS, S10, ISO 8791-4		
ap	3,54	3,33
yp	3,63	3,50
Kiilto, Hunter 75°, TAPPI T480, %		
ks,ap	14,7	15,1
yp	14,8	14,8
ps,ap	13,3	14,5
yp	14,1	14,6
Taivutusjäykkyys resonanssimenet., SCAN-P 64:90, mNm		
ks	0,268	0,265
ps	0,181	0,187
Märkähankauskestävyys, Taber, Wet rub		
ap	pinta rikki	pinta rikki
yp	pinta rikki	pinta rikki
Vedenabs., Cobb60, SCAN-P 12:64, g/m ²		
ap	läpi	läpi
yp	läpi	läpi

yp = yläpuoli, vp = viirapuoli, ks = konesuunta ja ps = poikkisuunta

Yhteenveto

Maailman paperimassasta 6 % (18 milj. ADt/a) tuotetaan non-wood-kuiduista. Näiden massojen tuotanto on keskittynyt alueille, joilla on pulaa puusta. Non-wood-massoista 90 % tuotetaan Aasiassa. Ylivoimaisesti suurin non-wood-massojen valmistaja on Kiina. Euroopan tuotanto on vain 1 milj. ADt/a. Maataloustuotteiden ylituotanto on johtanut siihen, että Suomessa, niin kuin muuallakin Euroopassa, selvitetään mahdollisuuksia tuottaa pelloilla sekä paperin- että energiantuotannon raaka-aineita. Suomen oloissa lyhytkuituisesta ruokohelvestä voidaan valmistaa hienopaperia.

Ruokohelven kemialliset ja morfologiset ominaisuudet määräytyvät kehitysasteen (korjuuajankohta), kasvin iän, kasvupaikan ja lajikkeen perusteella. Ruokohelpikuidut ovat lyhyitä ja kapeita. Kuitupituus ja pituusmassa ovat hiemen alhaisemmat kuin koivumassalla, mistä on seurauksena suuri kuitumäärä massayksikössä. Muiden non-wood-kuitujen tapaan myös ruokohelven suuri hienoinemäärä huonontaa massan suotautuvuutta. Koivuun verrattuna ruokohelpi sisältää vähemmän ligniiniä ja selluloosaa, mutta huomattavasti enemmän tuhkaa ja silikaattia.

Ruokohelpi keittyy helposti kappalukuun 10 ja saanto on hyvä. Ruokohelpimassaa ei tarvitse happidelignifoida. Valkaisemattoman ruokohelmimassan (kappa 9,4) ja happidelignifoidun koivumassan D(EP)DD-valkaisu vaaleuteen 89 % ISO kulutti molemmilla massoilla kappayksikköä kohti yhtä paljon klooridioksidia (0,31 % aktiivi Cl:na). Tämän vuoksi kokeiltiin massojen yhteisvalkaisua, mikä onnistui hyvin ja täysvaaleustaso 89 % ISO saavutettiin. Fraktioitu, kyyppipesty ja happidelignifioitu ruokohelpimassa (kappa 7,6) vaaleni myös TCF-sekvenssillä QP(Z/Q)P vaaleuteen 88 % ISO kemikaalikulutusten ollessa varsin kohtuullisia (H₂O₂ 10 kg/ADt ja O₃ 3,5 kg/ADt).

Ruokohelpi sisältää 1–5 % silikaattia, joka alkalisissa keitoissa liukenee mustalipeään. Silikaatti aiheuttaa ongelmia talteenottolinjalla, jos korkeaa silikaattipitoisuutta ei huomioida

prosessia suunniteltaessa. Silikaattia on poistettava kierrosta yhtä paljon kuin sitä tulee raaka-aineen mukana. Lehtimateriaalin ja pölyn poisto fraktioimalla ennen keittoa pienentää silikaattipitoisuutta noin 40 %. Mustalipeästä silikaatti voidaan poistaa käyttämällä kaupallisia menetelmiä: saostamalla savukaasuilla tai käyttämällä kaksivaiheista kaustisointia. Kaksivaiheisessa kaustisoinnissa ensimmäisen vaiheen silikaattipitoinen meesa poistetaan prosessista ja käytetään maantätteenä. Lyhytkuituinen agrokuitumassa antaa hienopaperille hyvät painettavuusominaisuudet, kun taas ajettavuuden edellyttämä lujuus saadaan pitkäkuituisella havumassalla. Ruokohelpikuidulla on hyvä sitoutumiskyky, minkä vuoksi sitä ei tarvitse jauhaa. Jauhattoman ruokohelpimassan vetolujuus vastaa hienopaperin lyhytkuitumassalta vaadittavaa vetolujuutta. Ruokohelpimassan repäisyjujuus on pienempi, mutta murtotyö suurempi kuin jauhetulla koivumassalla. Myös ilmanläpäisyvastus on jonkin verran suurempi. Erot ovat kuitenkin koivumassan ominaisuusvaihteluiden rajoissa. Ruokohelven suuri kuitumäärä massayksikössä takaa hyvät valonsirontaominaisuudet.

Ruokohelven kasvupaikan maalaji ja korjuuajankohta aiheuttavat suuria raaka-aineen ominaisuusvaihtelevuutta. Kun ruokohelpi tuottaa runsaasti kortta, kasvaa multamaalla ja korjataan keväällä, siitä keitetyn massan saanto ja paperitekninen potentiaali hienopaperissa ovat samaa luokkaa kuin koivumassalla.

Vaikka puhtaan ruokohelpimassan vedenpoisto-ominaisuudet ovat huonommat kuin koivumassan, laboratoriosimulointikokeet osoittivat, ettei rainan kosteuspitoisuudessa ole eroja ennen puristinosaa eikä sen jälkeen olipa lyhytkuitumassa (70 %) koivua tai ruokohelpeä. Pitkän kuidun lisääminen parantaa vedenpoistoa viiraosalla ja jauhatuste - ei massalaji - kontrolloi vedenpoistoa puristinosalla. Kuivatussimulointikokeiden perusteella vain siinä tapauksessa, että kuivatusosa muodostaa ”pullonkaulakohtan”, voi ruokohelpeä sisältävän paperin loppukosteus jäädä alhaisemmaksi kuin puumassasta valmistetun paperin. Pilotpaperikoneessa kokeissa ei höyrynkulutuksessa eikä kuivaussyllintereiden lämpötiloissa havaittu eroja lisättäessä ruokohel-

pimassan osuutta pohjapaperissa. Entsyymikäsittelyllä voidaan tarvittaessa parantaa ruokohelpimassan vedenpoistokykyä.

Laboratoriomitassa saadut tulokset ruokohelpimassan soveltuvuudesta hienopaperin raaka-aineeksi varmistettiin pilotmittakaavaisissa koeajossa. Ruokohelpi silputtiin ja lehtisekä pölyjäte fraktioitiin Vakolassa omatekoisella ilmaerottelulaitteistolla. Akseptijäte kyyppipestiin KCL:ssä ja pesty ruokohelpi keitettiin sulfaattimenetelmällä Tervakoski Oy:n pyörivällä lumppukieppimellä. Massa valkaistiin D(E/P)D-sekvenssillä Enson tutkimuskeskuksessa. Valkaistu massa ajettiin hienopa-

periksi KCL:n koepaperikoneella; koivumassaa korvaavan ruokohelpimassan osuus oli 0–70 %. Havusellun määrä oli vakio 30 %. Osa pohjapaperista pintaliimattiin ja osa päällystettiin. Paperirullat arkitettiin ja arkeille tehtiin koepainatus offset-painokoneella. Referenssipaperina oli tehdaskoivu- ja mäntymassasta valmistettu paperi. Pilotkoeajot osoittivat, että ruokohelpimassalla voidaan joko osittain tai kokonaan korvata lyhytkuituinen koivusellu päällystetyssä ja pintaliimatussa hienopaperissa ajettavuuden tai laadun (toiminnallisten ominaisuuksien) kärsimättä.

Kirjallisuus

Bailey, M., Siika-aho, M., Valkeajärvi, A. & Penttilä, M. 1993. Hydrolytic properties of two cellulases of *Trichoderma reesei* expressed in yeast. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 17: 65–76.

Cheng, Z., Paltakari, J., Ye, Q. & Tuhkanen, T. 1995. Papermaking Properties of Reed Canary Grass Pulp. Raportti. Helsingin Teknillinen korkeakoulu, Paperiteknikan laboratorio, Otaniemi.

Fry S.C. 1989. Analysis of Cross-Links in the Growing Cell Walls of Higher Plants. In: Linskens, H.F. & Jackson, J.F. (eds). *Plant Fibers. Modern Methods of Plant Analysis. New Series Vol. 10*. Springer-Verlag. ISBN:3-540-18822-3.

Jokinen, O. 1994. Entsyymien mahdollisuudet märkäosan hallinnassa. *Paperi ja Puu* 76: 491–493.

Oksanen, T., Buchert, J., Pere, J., Siika-aho, M. & Viikari, L. 1996. Kierrätyskuitujen bio-

tekninen parantaminen. Loppuraportti. Uudistuva paperi -tutkimusohjelma. Espoo.

Pere, J. & Viikari, L. 1996. Entsyymien käyttömahdollisuudet agrokuitumassan vedenpoiston parantamisessa. Raportti. VTT Bio- ja elintarviketekniikka.

Pommier, J.-C., Fuentes, J.-L. & Goma, G. 1989. Using enzymes to improve the process and the product quality in the recycled paper industry. Part 1: the basic laboratory work. *Tappi Journal* 72: 187–191.

Theander, O. 1991. Rörflenets kemiska sammansättning. Rörflen för massa och bränsle. Seminaari. Karlstad, September 10–11, 1991.

Wisur, H. 1991. Cellsammansättningens inverkan på massa och papper. Rörflen för massa och bränsle. Seminaari. Karlstad, September 10–11, 1991.

PESUN EPÄPUHTAUKSIA VÄHENTÄVÄ VAIKUTUS:
MIKROSKOOPPIMENETELMÄ JA TULOKSET

Menetelmä

Raaka-aineen pinnalta ja rakenneosista irrotettiin mekaanisesti tummia kohtia ja "likaa", joista tehtiin mikroskooppipreparaatteja. Vastaavasti poimittiin massa-arkeista silmin erottuvia epäpuhtauksia preparaattilascille. Preparaatit suljettiin Sudan-oranssivärireagenssiin, ja alkuperän tunnistamiseksi niitä tutkittiin läpivalomikroskoopilla aina 400-kertaiseen suurennukseen saakka. Menetelmällä pyrittiin saamaan myös puolikvantitatiivinen tulos epäpuhtaustyyppien runsaudesta eri näytteissä ja pesun puhdistustehosta. Epäpuhtaus- ja likaesiintymää analysoitiin 10–30 kpl/näyte.

Tulokset

A Pesemätön ruokohelppi

Näyte	Koodi	Epäpuhtaus/liikalaji	Suhteellinen runsaus
Raaka-aine			
Olki		Sientä ja itiöpesäkkeitä pintakasvuna	+++++
Korret		Sienen täyttämää tylppysolukkoa	+++
Lehdet		Mineraalihiukkasia	+++
Tupet		Nokimaista ainetta	+++
		Ripsieläimiä ja hyönteisiä	+
Valkaisematon sulfaatti			
	412	Sienirihmastoja ja tylppysolukkoa	+++
		Itiöpesäkkeitä	++
		Mineraalia	++
		Nokimaista ainetta	++
Valkaistu sulfaatti			
	95110	Itiöpesäkkeitä	++
		Hiekkahiukkasia	++
		Hüitä	+
		Piioksidia ja tylppysolukkoa	+
		Sienirihmastoja, tylppysolukkoa, ym.	+

LIITE 1 B ja C

B Pesty ruokohelpi

Näyte	Koodi	Epäpuhtaus/likalaji	Suhteellinen rusaus
Raaka-aine			
Olki		Sienen täyttämää tylppysolukkoa	+++
		Muut roskat (irral. sientä, mineraalia ym.)	+
Valkaisematon sulfaatti	2470	Ruskean hartsimaisen aineen (rihmaston?) peittämiä kuitukimppuja	++
		Itiöpesäkkeitä	++
		Tummaa hülümäistä ainetta	+
Valkaistu sulfaatti (ECF)	95256	Rautapitoisia roskia	+
		Ruskean aineen peittämää solukkoa; ilmeisesti solmukohdasta	+
		Mineraalihiukkasia	+

C Pesuvesi

Näyte	Epäpuhtaus/likalaji	Suhteellinen runsaus
Esiliotuksessa irronnut lika	Lahoa sienen täyttämää solukkoa	++
	Levärihmastoa	+
	Sienirihmasto	+
Mekaanisessa pesussa irronnut lika	Sienirihmasto	++
	Mineraalihiukkasia	+
	Itiöpesäkkeitä	+
	Ripsieläimiä	+

Korjuuajankohdan ja tyypittason vaikutus ruokohelven sellu- (sooda + AQ) ja paperiteknisiin ominaisuuksiin (seosarkit: 40 % lyhyttä kuitua, 40 % pitkää kuitua, 20 % talkkia). Toisen vuoden sato, savimaa, Jokioinen.

NaOH + AQ %, 3,50 mol/kg + 0,1 % AQ

Ruokohelpi	Tyypittaso	Kappa	Kokonais- saanto %	Rejektit %	SiO ₂ %	Tuhka %	Tiheys kg/m ³	Veto- indeksi Nm/g	Repäisy- indeksi mNm ² /g	Ilman- läpäisy s	Karheus ml/min, yp/ap	Jäykkyys mNm	Valonisrionta m ² /kg, yp/ap
Säilörehu	100 N	14,2	37,0	1,1	1,9	8,7	787	52,8	5,5	583	943/1124	0,149	39,9/36,5
Säilörehu	200 N	15,9	36,7	1,1	1,3	8,3	764	52,9	5,7	449	957/987	0,124	46,9/35,2
Heinäaste	100 N	17,4	36,0	1,0	2,2	7,4	742	49,8	6,6	231	1213/1347	0,144	42,5/38,7
Heinäaste	200 N	20,9	36,5	2,6	2,1	7,2	761	48,2	5,9	301	1196/1379	0,142	45,3/35,9
Siemenaste	100 N	18,9	35,1	1,5	3,3	7,7	734	46,7	7,4	204	1166/1439	0,188	43,6/38,1
Siemenaste	200 N	18,5	36,0	1,4	2,9	7,1	736	43,8	7,2	165	1140/1379	0,196	43,5/39,4

Kasvupaikan ja lajikkeen vaikutus ruokohelven sellu- (sooda + AQ) ja paperitekniisiin ominaisuuksiin (seosarkit: 40 % lyhyttä kuitua, 40 % pitkää kuitua, 20 % talkkia). Toisen vuoden sato, savimaa, Jokioinen.

NaOH + AQ % 3,50 mol/kg

Ruokohelpi	Kappa	Kokonais- saanto %	Rejektii %	SiO ₂	Tuhka %	Korret %	Tiheys kg/m ³	Veto- indeksi mNm ² /g	Ilman- läpäisy s	Karheus ml/min, yp/ap	Jäykkyys mNm	Valon- sirona m ² /kg, yp/ap
Jokioinen												
130-133	R-90	38,9	1,3	4,2	8,1	38,3	723	41,9	7,2	99	1253/1261	0,244
142-145	Rival	36,6	1,0	4,3	8,3	40,7	735	42,7	7,5	113	1260/1354	0,250
146-149	Jo 510	36,9	2,5	4,4	8,5	38,0	750	42,6	6,3	201	1304/1376	0,196
134-137	Palaton	38,7	2,8	4,0	7,6	41,4	716	46,7	7,6	72	1269/1293	0,226
Tohmajärvi												
98	R-90	42,6	2,2	0,9	3,9	58,0	699	41,3	8,2	53	1284/1414	0,219
101	Rival	39,4	1,4	0,8	3,8	59,2	683	40,9	7,0	55	1023/1291	0,279
104	Jo 510	38,1	3,1	0,8	3,5	56,7	708	40,6	7,7	71	1136/1139	0,203
109	Palaton	40,9	3,3	0,8	3,6	58,4	698	40,2	8,2	66	1293/1244	0,237
Ylistaro												
231-233	R-90	44,6	5,1	2,7	7,7	48,3	677	41,5	8,0	46	1303/1434	0,189
234-236	Rival	45,5	4,9	2,1	5,7	58,0	699	41,7	7,9	85	1231/1467	0,254
237-239	Jo 510	45,8	3,5	2,4	7,3	40,9	717	44,4	7,5	121	1154/1269	0,215

VALKAISURAPORTTI

Koehjelma VVKKPVXX

Projekti Proj. 3379, ruokohelven massan valkaisuolosuhteet
Tekijä K.J./S.K.

Lähtömassa KD4311/KD4312
Kappa 11,6 (massakyyppi)

Viskositeetti dm³/kg 1155

ERÄ 1

	V-DISK	D ₀	E/P	D ₁
Valkaisuvaihe	25.9.1995	25.9.1995	25.9.1995	26.9.1995
Tekopvm	tekn. valk.			
Massamäärä kg, abs.	200			
Tavoite-sakeus %		10	10	10
Lämpötila °C		60	70	60
Aika min		60	60	180
Tavoite-sakeus %		2,5	>10,5	3,8...4,5
Tavoite-pH				
Kemikaaliansios %				
ClO ₂	2,5		1,5	
NaOH		1,6	0,15	
H ₂ O ₂		0,5		
Analyytit:				
Kuiva-ainesisakeus %	11,5	13,1	12,4	
pH alku	3,4	10,9	4,7	
pH loppu	2,9	11,4	3,7	
Jäännös %	0,03		0,15	
Kappa	11,2		1,2	
ISO-vaaleus %		59,0	79,2	87,0
Viskositeetti dm ³ /kg				955
Massan nro	KM054	KM055	KM056	KM057

ERÄ 2

	V-DISK	D ₀	E/P	D ₁ (SO ₂)
Valkaisuvaihe	27.9.1995	27.9.1995	27.9.1995	28.9.1995
Tekopvm	tekn. valk.			
Massamäärä kg, abs.	220			
Tavoite-sakeus %		10	10	10
Lämpötila °C		60	70	60
Aika min		60	60	180
Tavoite-sakeus %		2,5	>10,5	3,8...4,5
Tavoite-pH				
Kemikaaliansios %				
ClO ₂	2,9		1,6	1,5
NaOH		1,6	0,15	
H ₂ O ₂		0,5		
Analyytit:				
Kuiva-ainesisakeus %	10,9	12,3	13,1	
pH alku	2,6	11,3	4,1	
pH loppu	2,4	11,5	3,9	
Jäännös %	0,03	0,003	0,18	
Kappa	11,4		0,9	
ISO-vaaleus %		80,5	86,8	89,5
Viskositeetti dm ³ /kg				895
Massan nro	KM058	KM059	KM060	KM061

ERÄ 3

	V-DISK	D ₀	E/P	D ₁ (SO ₂)
Valkaisuvaihe	2.10.1995	2.10.1995	2.10.1995	3.10.1995
Tekopvm	tekn. valk.			
Massamäärä kg, abs.	232			
Tavoite-sakeus %		10	10	10
Lämpötila °C		60	70	60
Aika min		60	60	180
Tavoite-sakeus %		2,5	>10,5	3,8...4,5
Tavoite-pH				
Kemikaaliansios %				
ClO ₂	2,5		1,6	1,5
NaOH		1,6	0,15	
H ₂ O ₂		0,5		
Analyytit:				
Kuiva-ainesisakeus %	10,9	13,8	12,0	
pH alku	3,0	11,3	4,8	
pH loppu	2,5	11,9	4,2	
Jäännös %	0,03	0,001	0,25	
Kappa	11,1		1,1	
ISO-vaaleus %		81,9	88,8	89,0
Viskositeetti dm ³ /kg				890
Massan nro	KM062	KM063	KM064	KM065

Kalanteroimattoman pohjapaperin ominaisuudet

Ruokohelpi, sa-%, kalanteroimaton	0	20	35	50	70
Neliömassa, SCAN-P 6:75, g/m ²	81,7	83,2	83,1	82,8	80,7
Tiheys, SCAN-P 7:75, kg/m ³	723	730	723	720	708
Karheus, Bendtsen, SCAN-P 21:67, ml/min					
YP	830	855	835	885	870
VP	1070	1180	1065	1095	1090
Ilmanläpäisevyys, Bendtsen, SCAN-P 60:87, ml/min	765	795	765	775	760
ISO-vaaleus, SCAN-P 3:93, %	84,1	83,7	83,6	83,3	83
Opasiteetti, SCAN-P 8:93, %	85,7	86,4	86,1	86,3	86,3
Valonsirontakerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg	41,9	42,3	41,5	41,9	42,6
Valonabsorptiokerroin, SCAN-P 8:93, m ² /kg	0,30	0,32	0,32	0,33	0,35
Vetolujuus, SCAN-P 38:80, kN/m					
KS	3,97	4,08	4,13	4,07	3,54
PS	2,16	2,17	2,19	2,16	2,02
Vetoindeksi, SCAN-P 38:80, Nm/g					
KS	48,6	49,1	49,7	49,2	43,8
PS	26,4	26,1	26,3	26,1	25,0
Venymä, SCAN-P 38:80, %					
KS	1,48	1,68	1,72	1,83	1,81
PS	2,66	2,65	2,67	2,88	2,53
Murtotyö, SCAN-P 38:80, J/m ²					
KS	39,9	47,4	49,1	51,8	44,6
PS	42,8	43,6	44,6	47,4	38,1
Repäisylujuus, SCAN-P 11:73, mN					
KS	595	582	566	587	493
PS	679	662	641	654	593
Repäisyindeksi, SCAN-P 11:73, mNm ² /g					
KS	7,28	7,00	6,81	7,09	6,11
PS	8,31	7,96	7,71	7,90	7,35

yp = yläpuoli, vp = viirapuoli, ks = konesuunta ja ps = poikkisuunta

Ruokohelpipaperin IGT-koepainatus I

Näyte	Koepainatus IGT AIC2-5 laitteella RH 50 %, 23 °C			Painojäljen kiilto, Hunter 75° %	Nukkautumislujuus IGT AC-2 SCAN-P 63:90 poikkisuunta m/s
	Värintarve g/m ²	Set-off 0,06 s	10 s		
Ruokohelpi, sa-%					
alapuoli					
0	1,62	0,43	0,31	25,4	2,15
35	1,85	0,52	0,36	25,0	2,15
yläpuoli					
0	2,04	0,50	0,38	22,8	2,20
35	2,08	0,50	0,38	21,5	2,10

Painatusolot:
Painoväri: Reflecta 8000
Painatusnopeus: 1 m/s
Viivakuormitus: 20 kN/m
Set-off paperi: New-Ojo

Painatusolot:
Öljy: Norm. visk. öljy
Loppunopeus: 3,5 m/s
Viivakuormitus: 35 kN/m

Ruokohelpipaperin IGT-koepainatus II

Näyte	Koepainatus IGT AIC2-5 laitteella RH 50 %, 23 °C			Nukkautumislujuus IGT AC-2 SCAN-P 63:90 poikkisuunta	
	Värintarve g/m ²	Set-off 0,06 s 10 s		Painojäljen kiilto, Hunter 75° %	m/s
Ruokohelpi, sa- %					
alapuoli					
0	1,24	0,89	0,33	68,0	0,60
20	1,20	0,92	0,35	69,7	0,55
35	1,15	0,93	0,38	71,3	0,55
50	1,26	0,92	0,35	68,9	0,55
70	1,14	0,94	0,31	69,6	0,60
yläpuoli					
0	1,10	0,91	0,35	76,9	0,55
20	1,08	0,95	0,38	77,8	0,55
35	1,03	0,90	0,35	76,9	0,60
50	1,06	0,89	0,34	76,6	0,60
70	1,06	0,90	0,31	77,2	0,60

Painatusolot:
Painoväri: Reflecta 8000
Painatusnopeus: 1 m/s
Viivakuormitus: 20 kN/m
Set-off paperi: New-Ojo

Painatusolot:
Öljy: Norm. visk. öljy
Loppunopeus: 1,0 m/s
Viivakuormitus: 35 kN/m

Ruokohelpipaperin arkkioffsetkoepainatustulokset/painojäljen densiteetti

Painojäljen densiteetti, Macbeth RD918

Ruokohelpi, sa-%

Päällystetty	Musta 1. yksikkö			Musta 1. yksikkö	Musta 1. yks.+ Syaani + Musta 4. yks.
	100 %	80 %	Suht. kontrasti		
yläpuoli					
0	1,54	0,98	0,37	1,47	1,83
20	1,57	1,00	0,37	1,50	1,82
35	1,57	1,02	0,35	1,49	1,86
50	1,56	0,98	0,37	1,47	1,84
70	1,56	1,00	0,36	1,48	1,88
alapuoli					
0	1,50	0,94	0,37	1,42	1,79
20	1,52	0,97	0,36	1,46	1,77
35	1,57	1,01	0,35	1,49	1,88
50	1,51	0,96	0,36	1,43	1,80
70	1,53	0,99	0,35	1,46	1,73
Pintaliimattu					
yläpuoli					
0	0,95	0,76	0,19	0,93	1,27
35	0,95	0,75	0,21	0,91	1,29
alapuoli					
0	0,95	0,76	0,21	0,93	1,32
35	0,97	0,76	0,21	0,93	1,34

LIITE 9

Ruokohelpipaperin arkkioffsetkoepainatustulokset/painojäljen kiilto

Painojäljen kiilto, Hunter 75°, %

Kenttä	Musta 1.yks.+ Syaani 2.yks.+ Musta 4.yks.	Musta 1.yks.+4.yks.
--------	---	------------------------

Ruokohelpi, sa-%

Pintaliimattu

0 yp	23,6	20,4
0 ap	26,8	19,8
35 yp	25,3	19,8
35 ap	27,6	21,2

Päällystetty

0 yp	84,8	78,5
0 ap	79,1	70,6
20 yp	84,1	77,7
20 ap	77,9	69,5
35 yp	86,8	79,2
35 ap	79,8	70,2
50 yp	85,8	80,1
50 ap	79,1	70,9
70 yp	86,2	78,4
70 ap	80,4	72,8

yp = yläpuoli, ap = alapuoli

Ruokohelpipaperin arkkioffsetkoepainatustulokset/
läpipainatus

Läpipainatus, Elrepho

Painettu puoli: **yläpuoli**

Ruokohelpi, sa-%

Päällystetty

0	0,048
20	0,047
35	0,047
50	0,050
70	0,049

Pintaliimattu

0	0,084
35	0,086

Painettu puoli: **alapuoli**

Päällystetty

0	0,049
20	0,048
35	0,047
50	0,051
70	0,049

Pintaliimattu

0	0,084
35	0,085

Ruokohelpipaperin arkkioffsetkoepainatustulokset/painojäljen epätasaisuus

Painojäljen epätasaisuus, kuva-analysaattori

Näyte	1. Yksikkö, musta 70 %		2. Yksikkö, syaani 70 %	
	Jyväisyys 0,5 – 2 mm	Laikullisuus 2 – 8 mm	Jyväisyys 0,5 – 2 mm	Laikullisuus 2 – 8 mm
Ruokohelpi, sa-%				
yläpuoli				
Pintaliimattu				
0	2,9	1,4	7,0	3,1
35	2,5	1,1	5,4	2,2
Päällystetty				
0	2,5	1,6	9,3	5,0
20	2,0	1,3	10,0	5,8
35	2,6	1,7	10,9	5,2
50	2,7	1,6	9,8	5,7
70	2,4	1,9	9,6	5,9
alapuoli				
Pintaliimattu				
0	2,2	1,1	4,8	2,1
35	2,5	1,2	5,0	2,2
Päällystetty				
0	3,1	2,0	9,5	5,6
20	2,7	1,9	9,6	5,4
35	3,0	2,1	12,1	5,5
50	3,0	2,0	10,0	5,2
70	2,8	2,1	9,9	6,2

Ruokohelpipaperin arkkioffsetkoepainatustulokset/pick-jäljet

Pick-jälkien määrä (kpl/m²) painetulla alueella

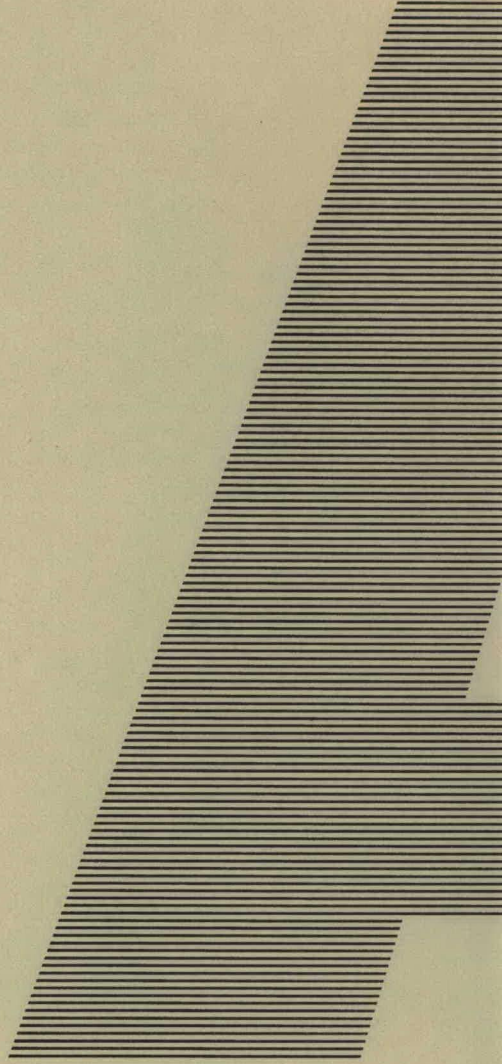
Painettujen arkkien lukumäärä 200

Mittausala teipillä 0,0128m² (1. ap 1/3 0,0124 m²)

Ruokohelpi, sa-%

	1/1	1/3	1/1	1/3
Päällystetty	yläpuoli		alapuoli	
0	0,8	0,8	1,2	0,4
20	0,8	0,0	0,4	0,0
35	1,6	0,4	1,2	0,4
50	1,6	0,0	1,2	0,0
70	2,0	0,4	1,2	0,8
Pintaliimattu				
0	1,2	0,0	2,0	1,2
35	1,2	1,2	1,6	0,8

		Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 6	
		Julkaisuaika (kk ja vuosi) Marraskuu 1996	
Tekijä(t) Leena Paavilainen, Jorma Tulppala, Antero Varhimo, Marjatta Ranua ja Jaakko Pere		Tutkimushankkeen nimi Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa	
		Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus	
Nimike Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa, Tutkimuksen loppuraportti, IV osa. Ruokohelpisulfaattimassa hienopaperin raaka-aineena			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Suomen oloissa lyhytkuituinen ruokohelpi on osoittautunut potentiaaliseksi hienopaperin raaka-aineeksi. Ruokohelven kuitupituus ja pituusmassa ovat hieman alhaisemmat kuin koivumassalla, mistä on seurauksena suuri kuitumäärä massayksikössä. Non-wood-kuitujen tapaan ruokohelvelle on tyypillistä suuri hienoainemäärä, joka huonontaa massan suotautuvuutta. Koivuun verrattuna ruokohelpi sisältää vähemmän ligniiniä ja selluloosaa, mutta huomattavasti enemmän tuhkaa ja silikaattia. Ruokohelpi keittyy helposti kappalukuun 10 ja saanto on hyvä. Ruokohelpimassaa ei tarvitse happidelignifoida. Valkaisemattoman ruokohelpimassan ja happidelignifioidun koivumassan vaalenevuudessa ei ollut eroja. Fraktioitu, kyyppipesty ja happidelignifioitu ruokohelpi vaaleni myös TCF-sekvenssillä täysvaaleuteen kemikaalikulutusten ollessa varsin kohtuullisia. Ruokohelven korkea silikaattipitoisuus (1–5 %) aiheuttaa ongelmia talteenottolinjalla, jos sitä ei huomioida prosessia suunniteltaessa. Lehtimateriaalin ja pölyn poisto fraktioinnilla ennen keittoa pienentää silikaattipitoisuutta noin 40 %. Mustalipeästä silikaatti voidaan poistaa käyttämällä kaupallisia menetelmiä: saostamalla savukaasuilla tai kaksivaiheisella kaustisoinnilla. Lyhytkuituinen ruokohelpimassa antaa hienopaperille hyvät painettavuusominaisuudet, kun taas ajettavuuden edellyttämä lujuus saadaan pitkäkuituisella havumassalla. Ruokohelpikuidulla on hyvä sitoutumiskyky, joten sitä ei tarvitse jauhaa. Ruokohelpimassan repäisyjujuus on pienempi, mutta murtotyö suurempi kuin jauhetulla koivumassalla. Myös ilmanläpäisyvastus on jonkin verran suurempi. Erot ovat kuitenkin koivumassan ominaisuusvaihteluiden rajoissa. Ruokohelven suuri kuitumäärä massayksikössä takaa massalle hyvät valonsirontaominaisuudet. Ruokohelven kasvupaikan maalaji ja korjuuajankohta aiheuttavat suuria raaka-aineen ominaisuusvaihteluita. Kun ruokohelpi tuottaa runsaasti korppia, kasvaa multamaalla ja korjataan keuhalla, siitä keitetyn massan saanto ja paperitekniinen potentiaali hienopaperissa ovat samaa luokkaa koivumassan kanssa. Vaikka puhtaana ruokohelpimassan vedenpoisto-ominaisuudet ovat koivumassaa huonommat, laboratoriosimulointikokeet osoittivat, ettei rainan kosteuspuiteolosuhteissa ole eroja ennen puristinosaa eikä sen jälkeen olipa lyhytkuitumassa koivua tai ruokohelpeä. Kuivatussimulointikokeiden perusteella vain kuivatusosan ollessa paperikoneen pullonkaula voi ruokohelpeä sisältävän paperin loppukosteus jäädä korkeammaksi kuin puumassasta valmistetun paperin. Pilotpaperikoneella tehdyissä kokeissa ei höyrykulutuksessa eikä kuivaussyntereiden lämpötiloissa havaittu eroja lisättäessä ruokohelpimassan osuutta pohjapaperissa. Entsyymikäsittelyllä voidaan tarvittaessa parantaa ruokohelpimassan vedenpoistokykyä.</p>			
<p>Avainsanat agrokuitu, ruokohelpi, sellun valmistus, silikaatinpoisto, hienopaperi, vedenpoisto-ominaisuudet</p>			
<p>Toimintayksikkö Jaakko Pöyry Oy, PL 4, (Jaakonkatu 3), 01621 Vantaa</p>			
ISSN 1238-9935		ISBN 951-729-491-3	
		<input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä	
Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puh. (03) 41 881 Telekopio (03) 418 8339		Sivuja 57 s. + 12 liitettä	Hinta 55 mk + alv 12 %



Jokioinen 1997
ISBN 951-729-491-3
ISSN 1238-9935