

**ISSN 0355-1180**

**HELSINGIN YLIOPISTO**

**Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos**

**EKT-sarja 1572**

**OHRAN BEETAGLUKAANIN KONSENTRINTI  
MYLLYTYKSELLÄ**

**Marko Meskanen**

**Helsinki 2012**

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## ESIPUHE

1	JOHDANTO	7
2	KIRJALLISUUSTUTKIMUS	9
2.1	Ohra	9
2.2	Lajikkeiden ominaispiirteitä	10
2.3	Ohran bioaktiiviset yhdisteet	11
2.4	Ohranjyvän rakenne	11
2.4.1	Jyvän kuorikerrokset	11
2.4.2	Jyvän sisäkerrokset	13
2.5	Jyvän kemiallinen koostumus	15
2.5.1	Hiilihydraatit	16
2.5.2	Tärkkelys	16
2.5.3	Proteiini	19
2.5.4	Beetaglukaani	19
2.6	Ohran prosessointi kuivamenetelmin	20
2.6.1	Kuorinta, hionta ja hiutalointi	20
2.6.2	Jauhatus	23
2.6.3	Seulonta	24
2.6.4	Ilmaluokittelu	26
2.6.5	Kauran kuivafraktiointi	28
2.7	Ohran prosessointi märkämenetelmin	29
3	KOKEELLINEN TUTKIMUS	32
3.1	Materiaalit ja menetelmät	32
3.1.1	Lajikkeet	34
3.1.2	Näytteiden koostumusanalyysit	35
3.1.3	Hionta	37
3.1.4	Jauhaminen	38
3.1.5	Ilmaluokittelu	38
3.2	Tulokset	39
3.2.1	Jyvien jauhautuvuus ja kokojyväjauhon ilmaluokittelu	40
3.2.2	Hionnan vaikutus ytimien ja hiontajakeen koostumukseen	46
3.2.3	Hiottujen jyvien ilmaluokittelu	51
3.3	Pohdinta	54
4	PÄÄTELMÄT	59
	LÄHDELUETTELO	60
	LIITTEET	68
	Liite 1. Näytteiden valmistuksessa ja analysoinnissa käytetyt laitteet ja välineet.	
	Liite 2. Pitoisuuksien määrittämisessä käytetyt laskukaavat.	
	Liite 3. Kokojyväjauhojen seula-analyysit ja partikkelikokojakaumat.	

Liite 4. Kokojyväjauhoista luokiteltujen karkeiden ja hienojen jakeiden osuudet.

Liite 5. Kokojyväjauhoista luokiteltujen karkeiden jakeiden partikkelikoko-  
jakaumat.

Liite 6. Hiotuista jyvistä jauhettujen jauhojen seula-analyysit.

Liite 7. Hiotuista jyvistä jauhettujen jauhojen ilmaluokittelut.

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Marko Meskanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Ohran beetaglukaanin konsentroidin myllytyksellä			
Oppiaine — Läroämne — Subject Elintarviketeknologia (viljateknologia)			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterin tutkielma		Aika — Datum — Month and year Lokakuu 2012	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 77
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Pääosa ohrasta käytetään rehun ja maltaan raaka-aineena. Ohrassa on kuitenkin teknologisesti ja ravitsemuksellisesti arvokkaita komponentteja. Tutkielman kirjallisuusosassa selvitettiin ohralajikkeiden yleisiä ominaisuuksia ja ravintoainekoostumukseen vaikuttavia tekijöitä beetaglukaani-, proteiini-, tärkkelys- ja tuhkapitoisuuksien näkökulmasta. Erityisesti huomio kohdistui beetaglukaaniin, sen terveysvaikutusten ja varsinkin elintarviketeollisuuden kiinnostuksen vuoksi. Jyvän koostumuksen vaikutusta ohralajikkeiden hionta-, jauhautuvuus-, ja ilmaluokitteluominaisuuksiin tutkittiin beetaglukaanipitoisuuden näkökulmasta.</p> <p>Kokeellisessa osassa tutkittiin kymmenen ohralajikkeen ravintoainekoostumuksia ja jauhautumisominaisuuksia. Lajikkeet jaettiin todennäköisimmän käyttötarkoituksen mukaan erikois-, rehu- ja tärkkelys- sekä mallasohratyypisiin lajikkeisiin. Jauhautumisominaisuuksia seurattiin sekä seulomalla että analysoimalla partikkelikokojakaumia jauhetuista kokojyväjauhoista. Lisäksi kokojyväjauhoista erotettiin karkeat jakeet ilmaluokittelun avulla. Erikoisohratyypisten lajikkeiden beetaglukaani-, proteiini- sekä tuhkapitoisuudet olivat muihin lajikkeisiin verrattuna korkeimmat ja tärkkelyspitoisuudet vastaavasti matalimmat. Rehu- ja tärkkelysohratyypisissä lajikkeissa beetaglukaanipitoisuudet olivat hieman korkeammat verrattuna mallasohratyypisiin lajikkeisiin, joilla puolestaan oli korkeimmat tärkkelyspitoisuudet.</p> <p>Jyvien pintakerroksesta poistettiin hiomalla 0–25 %. Jyvien hionta vähensi ytimien tuhkapitoisuutta ja lisäsi beetaglukaani- ja tärkkelyspitoisuutta ytimissä noin 15 %:n hionta-asteeseen asti. Tämän jälkeen tärkkelys- ja beetaglukaanipitoisuudet eivät juuri muuttuneet. Kun jyvistä hiottiin 15–20 % massasta ja ne jauhettiin hienojauhatusmyllyllä jauhoiksi, osoittivat ilmaluokittelun jälkeiset karkeat jakeet beetaglukaanin, proteiinin ja tuhkan rikastuvan karkeaan jakeeseen erilaisin saannoin roottorin pyörimisnopeudesta riippuen. Tärkkelyksen havaittiin puolestaan rikastuvan hienoon jakeeseen.</p> <p>Korkein beetaglukaanipitoisuus saavutettiin beetaglukaanirikkaassa erikoisohralajikkeessa D, jonka alkuperäinen beetaglukaanipitoisuus oli 9,4 %. Tässä lajikkeessa beetaglukaani pystyttiin rikastamaan pelkän hionnan avulla 11,4 %:iin. Kokojyväjauhon ilmaluokituksella saavutettiin 13,5 %:n ja hiottujen ja jauhettujen jyvien jauhon ilmaluokituksella 15,5 %:n beetaglukaanipitoisuus. Raaka-aineen beetaglukaanipitoisuuden todettiin olevan merkittävin tekijä rikastettavan jakeen beetaglukaanipitoisuuden osalta, mutta oikeanlaisella jauhatuksella ja luokitusolosuhteilla oli suuri merkitys rikastuksen onnistumiseen.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords ohra, beetaglukaani, jauhatus, seulonta, partikkelikoko, hionta, ilmaluokittelu			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Viikin tiedekirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information EKT-sarja 1572			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Food and Environmental Sciences	
Tekijä — Författare — Author Marko Meskanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Enrichment of barley beta-glucan by milling			
Oppiaine — Läroämne — Subject Food Technology (Cereal Technology)			
Työn laji — Arbetets art — Level M. Sc. Thesis		Aika — Datum — Month and year October 2012	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 77
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Most barley is used for animal feed or malting. However, barley contains technologically and nutritionally valuable components. The compositions of different barley cultivars as well as the factors affecting the concentrations of different nutrients (beta-glucan, protein, starch and ash) were surveyed in the literature part of this Master's thesis. Special attention was paid to beta-glucan as it has attained significant interest in the food industry due to its positive health effects. In addition, the effect of grain composition on the pearling, milling and air classification properties of barley were surveyed.</p> <p>The nutrient composition and milling properties of ten different barley varieties were examined in the experimental part of the thesis. The varieties were divided into four subgroups based on their potential end usage: 1) speciality barley, 2) feed barley, and 3) starch barley, and 4) malting barley. The milling properties were analysed by sieve analysis and volumetric particle size distribution from the whole grain barley flours. In addition, coarse fractions were separated from the whole grain flour by air classification. These fractions were also analysed by the abovementioned particle analyses. Beta-glucan, protein and ash concentrations were usually higher in the speciality barley varieties and their coarse fractions. Starch concentrations were lower in these varieties and fractions. Feed and starch barleys had somewhat higher beta-glucan concentration compared to malting barleys, which respectively had the highest starch concentrations.</p> <p>Zero to 25 % of the grain's outer layers was removed by pearling. Compositional analyses revealed that pearling decreased the amount of ash and increased the concentration of starch and beta-glucan until about 15 % of the grain was pearled off. Starch and beta-glucan concentrations did not change significantly after this pearling level. Pearled barley flour was manufactured by pearling off 15–20 % of the grain's outer layers, and milling the remaining pearled grains with a fine impact mill. Flour was then air classified to give fine and coarse fractions. The coarse fractions contained enriched concentrations of beta-glucan, protein and ash. However, their concentrations and yields were dependent on the speed of the classifier wheel. By contrast, starch was enriched in the fine fractions.</p> <p>The highest beta-glucan concentration was obtained with the beta-glucan-rich speciality variety D, which initially had 9.4 % beta-glucan. The beta-glucan concentration was enriched up to 11.4 % by pearling. Air classification of whole grain flour resulted maximally in 13.5 % and air classification of pearled grain flour in 15.5 % beta-glucan concentration. Based on the results, the beta-glucan concentration of the raw material seems to play the most important role in the enrichment. However, proper milling technology and air classifier settings are of utmost importance.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords barley, dietary fibre, beta-glucan, milling, sieving, pearling, air-classification, particle size			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Viikki Science library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information EKT-series 1572			

## **ESIPUHE**

Tämän maisterin tutkielman kokeellinen osuus on suoritettu Teknologian tutkimuskeskus VTT:llä Elintarvikkeiden biotekniikan osaamiskeskuksessa 15.8.2008–19.6.2009. Opinnäytetyö liittyi MMM:n rahoittaman projektiin (Ohran kehittäminen taloudellisten elintarvikeprosessien raaka-aineeksi). Projekti oli VTT:n ja MTT:n yhteishanke ja tässä työssä oli käytössä hankkeen viljamateriaali. Työ rahoitettiin professori T.M. Enarin rahaston apurahalla. Työn ohjaajina VTT:llä toimivat Pekka Lehtinen ja Ulla Holopainen sekä Helsingin yliopiston viljateknologian yliopistonlehtori Tuula Sontag-Strohm. Työn valvojana toimi Helsingin yliopiston viljateknologian professori Hannu Salovaara.

Kiitän VTT:n tutkijoita TkT Pekka Lehtistä ja FM Ulla Holopaista asiantuntevasta ohjauksesta. Kiitos Tuulalle sekä Hannulle arvokkaista neuvoista matkan varrella.

Kiitän erityisesti työhöni liittynyttä, mutta myös työni ulkopuolista VTT:n henkilökuntaa, tutkimushenkilökuntaa ja tutkijoita, etenkin Juhania ja Outia, avoimen avuliaasta asenteesta ja lämpimästä suhtautumisesta, sekä useista mieleen painuneista hetkistä niin tutkimus- kuin vapaa-ajalla. Kiitän myös viljateknologian kanssaopiskelijoita ja tutkijoita, etenkin Päiviä, hyvistä neuvoista sekä monista mukavista hetkistä niin ohran kuin muidenkin viljojen parissa.

Suurin kiitos kuuluu lähimmäisille ja ystäville.

Helsingissä 10. lokakuuta 2012.

Marko Meskanen

# 1 JOHDANTO

Ohra (*Hordeum vulgare*) on maailman vanhimpia tunnettuja viljakasveja. Lähi-idässä ohra on ollut satunnaisesti osa ihmisen ruokavaliota yli 20 000 vuotta ennen ajanlaskun alkua (Nadel ym. 2004). Nykyään ohra on maailman neljänneksi viljellyin vilja. Maailman ohrasato on noin 152 milj. tonnia, josta elintarvikkeisiin käytetään alle viisi prosenttia. Suurin osa maailman ohrasadosta käytetään rehun ja maltaan raaka-aineena (FAOSTAT 2011).

Ohra sisältää runsaasti liukoista kuitua, beetaglukaania, jolla on todettu olevan terveyttä edistäviä vaikutuksia (Alminger ja Eklund-Jonsson 2008). Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto FDA sekä Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen EFSA ovat hyväksyneet LDL-kolesterolin (low density lipoprotein) alentamiseen liittyvän terveystieteiden ohran ja kauran beetaglukaaneille (FDA 1996, 1997, 2006; EFSA 2009). Terveystieteiden mukaan beetaglukaania tulisi saada vähintään kolme grammaa päivässä, jotta se vaikuttaisi kolesterolitason alentumiseen.

Ohran soluseinärakenteissa sijaitseva beetaglukaani on kemialliselta rakenteeltaan (1→3)(1→4)-β-D-glukaania. Beetaglukaani on elintarviketeknologisesti kiinnostava muun muassa viskositeetin- ja geelinmuodostuskykynsä takia. Korkean viskositeetin on esitetty olevan yksi merkittävimmistä tekijöistä liittyen beetaglukaanein terveysvaikutuksiin (Lazaridou ja Biliaderis 2007). Ohran beetaglukaania voidaan hyödyntää mm. korkeakuituisten välipalatuotteiden, esimerkiksi keksien ja patukoiden, raaka-aineena (Mälkki 2004).

Viljoista merkittäviä määriä beetaglukaania sisältävät vain ohra ja kaura. Ohran beetaglukaani on jakautunut melko tasapuolisesti sekä jyvän sisimmän kuorikerroksen (aleuronin) että jyvän tärkkelyspitoisen sisäosan (endospermin) kesken. Kaurassa beetaglukaani sijaitsee sub-aleuronissa (Dornez ym. 2011). Beetaglukaanein sijainti jyvässä sekä korkea rasvapitoisuus kaurassa vaikuttavat vahvasti beetaglukaanein eristämiseen ja rikastamiseen (Heneen ym. 2009; Sibakov ym. 2011).

Ohrasta voidaan rikastaa beetaglukaania kuiva- tai märkämenetelmin. Kuivamenetelmiä ovat muun muassa hionta, jauhatus, seulonta ja ilmaluokittelu. Ohran beetaglukaania voidaan rikastaa hiomalla pois jyvän vähemmän beetaglukaania sisältäviä pintakerroksia, jonka jälkeen jyvät voidaan jauhaa esimerkiksi hienojauhatusmyllyllä. Seulontaa ja ilma-

luokittelua voidaan käyttää jauhetun ohran beetaglukaanin rikastamisessa (Sundberg ym. 1995; Jadhav ym. 1998; Zheng ja Bhatta 1998; Kiryluk ym. 2000; Vasanthan ja Temelli 2008). Käytetyimmät beetaglukaanin rikastusmenetelmät ovat kuitenkin märkämenetelmiä, joissa jopa 95 % jyvän sisältämästä beetaglukaanista saadaan talteen. Märkämenetelmät perustuvat yleensä kuumavesiuuttoon yhdistettynä erilaisiin entsyymikäsittelyihin (Burkus ja Temelli 1998; Brennan ja Cleary 2005). Beetaglukaanin erotus voi olla myös osa tärkkelyksen erotusprosessia. Märkämenetelmien heikkouksina ovat prosesseissa tarvittavat kalliit entsyymit ja suuri veden- sekä energiankulutus beetaglukaanijakeen rikastus- ja kuivausvaiheessa.

Taloudellinen kuivaerotusmenetelmä, esimerkiksi jauhatuksen ja ilmaluokittelun tai seulonnan yhdistäminen, voisi korvata monivaiheisia ja kalliita märkämenetelmiä. Kuivaerotusmenetelmän kehittämisen edellytyksenä ovat nykyistä parempi ohran lajikeominaisuuksien ja kasvuolosuhteiden vaikutusten tunteminen sekä prosessin säätäminen näiden mukaisesti. Tämän maisterin tutkielman tavoitteena oli tutkia erilaisten ohralajikkeiden beetaglukaanipitoisuutta ja beetaglukaanin rikastamista erilaisin kuivamenetelmin. Kuivamenetelmillä pyrittiin ohran beetaglukaanin taloudellisesti kannattavampaan rikastamiseen märkämenetelmiin verrattuna.



## 2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

### 2.1 Ohra

Ohra (*Hordeum vulgare*) kuuluu heinäkasvien *Poaceae* alaheimoon *Triticeae*. Heinäkasvit ovat maailman ruoantuotannon, elintarviketalouden ja -turvallisuuden kannalta tärkeimpiä kasveja. Tämä johtuu oikein käsiteltyjen jyvien hyvästä säilyvyydestä, ravintoainekoostumuksesta sekä viljan kuljetuksen ja varastoinnin helppoudesta. Ohraa viljeltiin vuonna 2009 maailmassa neljänneksi eniten maissin, riisin ja vehnän jälkeen. Maailman vuotuinen ohrantuotanto on noin 152 miljoonaa tonnia (FAOSTAT 2011). Suomen vuotuinen ohrasato on 2000-luvulla ollut noin kaksi miljoonaa tonnia. Vastaavasti kaura- ja vehnäsadot ovat olleet noin miljoona ja 0,8 miljoonaa tonnia (Tike 2009).

Ohran viljelyn suosiota selittää osittain sen asema yhtenä vanhimmista tunnetuista viljoista. Merkkejä ohranviljelystä on löydetty Lähi-idän alueelta yli 10 000 vuoden takaa. Toisaalta ohran menestystä selittää erilaisia käyttötarkoituksia varten jalostettujen lajikkeiden laaja kirjo, esimerkiksi erilaiset rehu- ja mallasohrat. Ohralajikkeista löytyy myös hyvin haastavia viljelyolosuhteita sietäviä lajikkeita, jotka soveltuvat muun muassa kylmiin, vetisiin, kuiviin, emäksisiin ja suolapitoisiin kasvuolosuhteisiin. Hyvästä sopeutumiskyvystään johtuen ohra on maailman laajimmalle levinnyt viljakasvi (Briggs 2001).

Läntisissä teollisuusmaissa ohraa käytetään pääasiassa eläinten rehuna, maltaana ja tärkkelyslähteenä esimerkiksi elintarviketeollisuudessa sekä etanolin tuotannossa. Suomessa ja länsimaissa ohran elintarvikekäyttö on alle viisi prosenttia sadosta. Ohran elintarvikekäyttö on hieman suurempaa kehittyvissä maissa (FAOSTAT 2011). Elintarvikeohralle ei ole määritelty aivan yhtä tiukkoja laatuvaatimuksia kuin mallasohralle, johtuen pääasiassa nykyaikaisen oluenpanoprosessin raaka-aineille asettamista korkeista laatuvaatimuksista sekä ohran elintarvikekäytön vähäisyydestä. Suurimo-ohran vaatimukset kohdistuvat lähinnä jyvän kokoon ja väriin. Tasakokoiset jyvät helpottavat prosessin hallintaa ja värin osalta pyritään mahdollisimman vaaleaan jyvään. Kuorettomien lajikkeiden esikäsittelyn vähäisyys ja sitä kautta saatavat kustannussäästöt saattavat tulevaisuudessa lisätä ohran käyttöä elintarvikkeissa.

Jalostuksen kannalta ohran tärkeimmät komponentit ovat yleensä tärkkelys ja proteiini. Vaatimukset perustuvat pääosin ohran suureen rehukäyttöön sekä panimoteollisuuden

prosessivaatimuksiin. Mallasohran toivottavia ominaisuuksia ovat kohtuullinen proteiinipitoisuus, korkea tärkkelyspitoisuus ja suuri entsyymiaktiivisuus. Rehuohrien tärkeimmät ominaisuudet ovat kotieläimille ravitsemuksellisesti tärkeiden komponenttien oikea suhde, proteiinin ja etenkin rajoittavien aminohappojen osalta. Aiemmin vähäinen lysiinipitoisuus heikensi ohran rehuarvoa (Raisio Oyj 2009).

## 2.2 Lajikkeiden ominaispiirteitä

Ohralajikkeet on luokiteltu erilaisiin tyyppihin mm. kylvöajankohdan (syksy/kevät), tähkätyypin, (kuoren/kuorettomuuden), tärkkelystyyppin, vahamaisuuden tai korkean proteiinipitoisuuden mukaan. Ohrasta on olemassa ilmiänsuhtaan hyvin erilaisia lajikkeita (kuva 1). Suomessa viljellyistä ohralajikkeista yleisimmät ovat kaksi- ja kuusitahoiset kevätkylvölajikkeet. Molemmissa on sama määrä kukkia, mutta kaksitahoisella vain keskimmäiset kukat ovat hedelmällisiä. Kaksitahoisessa ohrossa tähkylät sijaitsevat tähkässä pitkittäin kahdessa rivissä ja monitahoisissa ohrossa neljässä tai kuudessa rivissä.



**Kuva 1.** Ohralajikkeiden tähkätyypit vaihtelevat kaksi-, neljä- ja kuusitahoisista vihneellisiin ja vihneettömiin. Kuva: Shulte ym. (2009).

Kaksitahoisten lajikkeiden tähkässä on 15–30 jyvää kun taas monitahoisten lajikkeiden tähkässä on 25–60 jyvää. Kaksitahoisten jyvät ovat suurempikokoisia kuin monitahoisten (Briggs 2001). Kokoero johtuu jyvien täyttämiseen vaadittavan energian jakautumisesta

monitahoisen ohran useampien jyvien kesken sekä tähkän tiiviimmästä rakenteesta. Monitahoisten lajikkeiden kuorifraktion osuus on jyvän kokonaisuudessaan suhteutettuna suurempi kuin kaksirivisissä isommissa jyvissä. Kaksitahoisten lajikkeiden suurempi ja tasaisempi jyväkoko on eduksi niin mallastuksessa kuin muussakin jatkojalostuksessa. Suurin satomääriin vaikuttava tekijä on oikean lajikkeen valinta maaperän ja satokauden kasvuolosuhteiden mukaan.

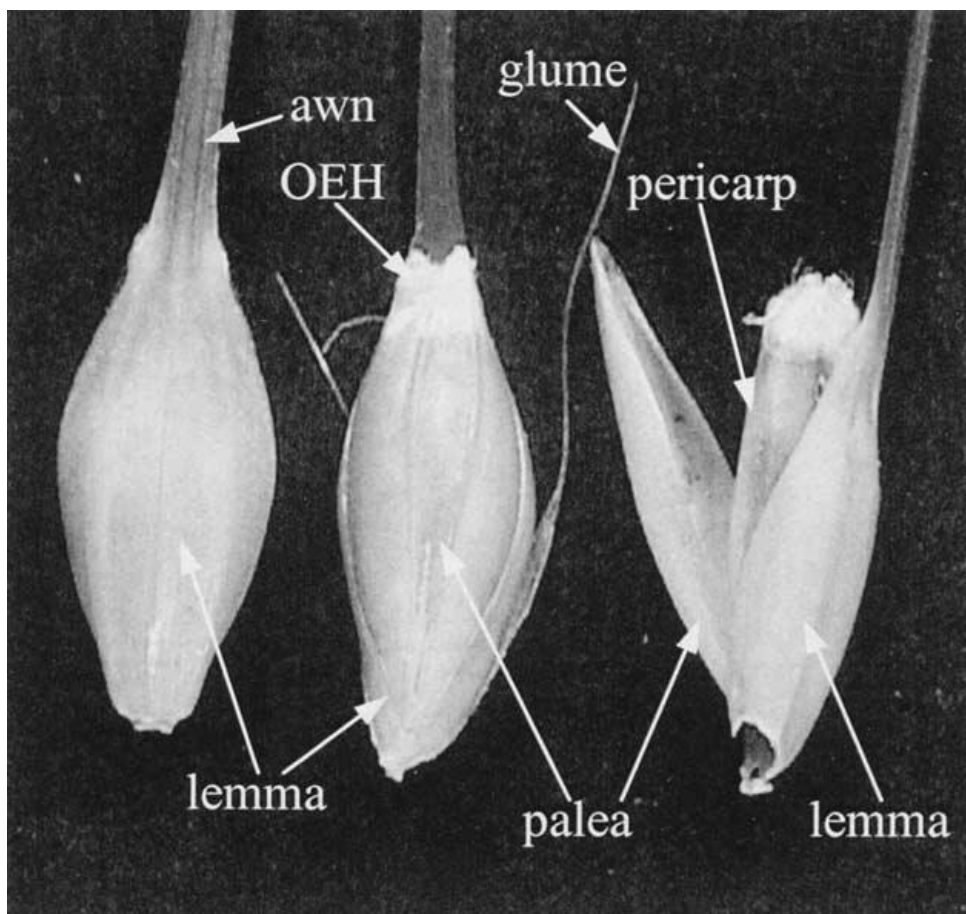
### **2.3 Ohran bioaktiiviset yhdisteet**

Ohra sisältää beetaglukaanin lisäksi myös monia muita bioaktiivisia yhdisteitä, kuten E-vitamiineja (Peterson 1994; Cavallero ym. 2004), B-vitamiineja, kivennäis- ja hivenaineita sekä fenolisia yhdisteitä (Holtekjølen ym. 2006; Madhujith ym. 2006; Andersson ym. 2008; Newman ja Newman 2005; 2008). Bioaktiivisten komponenttien taloudellisesti kannattava rikastaminen ominaisuuksiltaan erilaisista ohralajikkeista on edelleen teknologinen haaste teollisuudelle (Charalampopoulos ym. 2002).

### **2.4 Ohranjyvän rakenne**

#### **2.4.1 Jyvän kuorikerrokset**

Jyvän uloimpia kuoriosia kutsutaan helpeiksi (kuva 2). Sisähelve (*palea*) on jyvän vakopuolen eli korrenpuoleinen kuoriosia, joka liittyy jyvän kyljellä osittain ulkohelpeen (*lemma*) alle. Ulkohelpeeseen kiinnittyy vihne (*awn*). Korren ja jyvän liittymiskohdassa ovat kaleet (*glume*). Helpeiden alla sijaitsevat tiiviisti toisiinsa liittyneet hedelmäkuori (*perikarppi*) ja siemenkuori (*testa*). Helpeiden ja ulkokuoren tehtävänä on suojata jyvää mikrobeilta ja tuholaisilta lepotilan aikana. Helpeet ovat noin 7–25 % jyvän kuivapainosta, ja ne voivat olla kiinnittyneenä lujasti perikarppiin (Evers ym. 1999). Näin ollen ”kuorellisella” ohralla helpeet pysyvät puidessa kiinni jyvässä (Hoseney 1998). Ohrasta on olemassa myös ”kuoretomia” lajikkeita, joilla joko ei ole lainkaan helpeitä tai helpeet ovat heikosti kiinni ja karisevat puinnin yhteydessä.

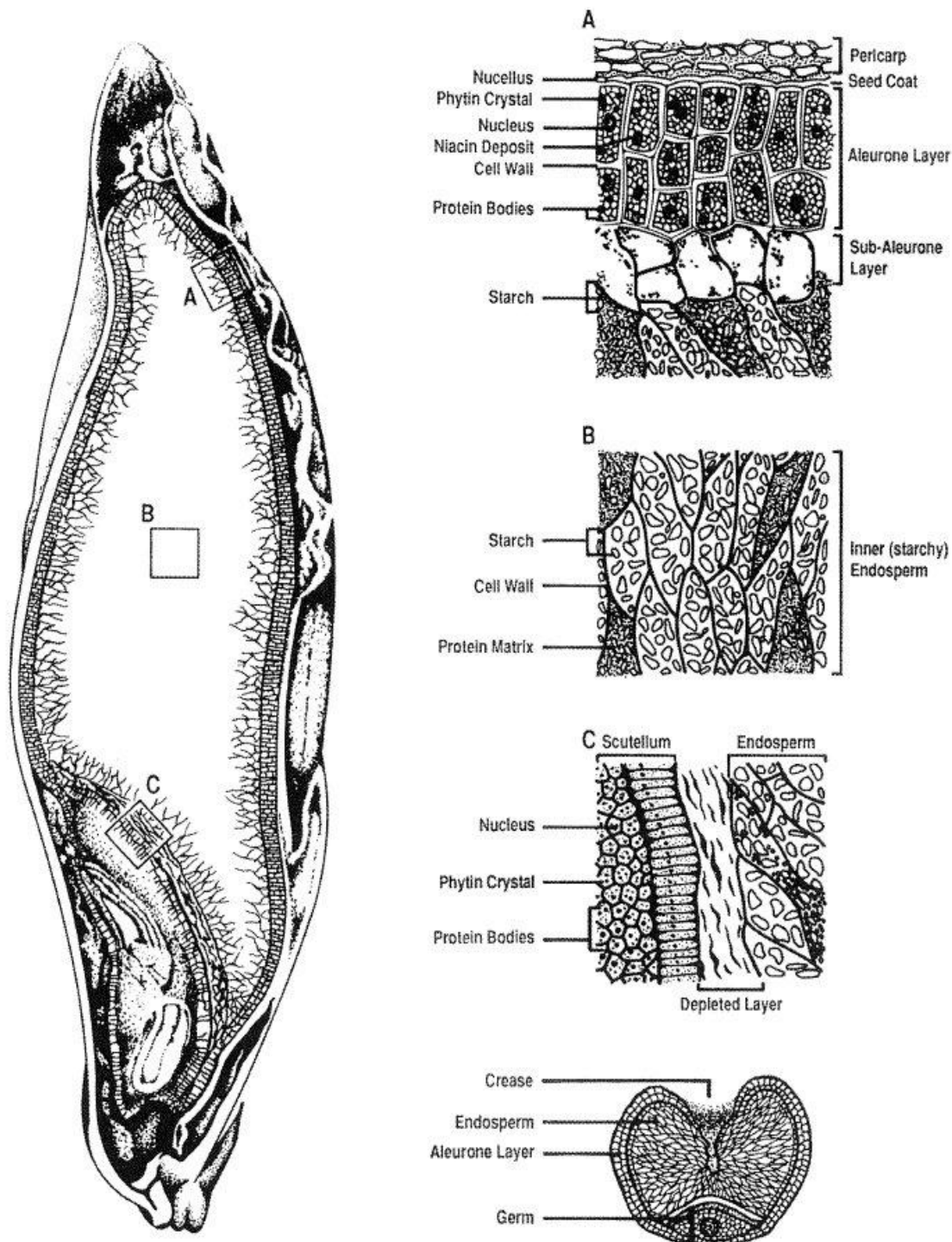


**Kuva 2.** Ohranjyvän uloin rakenne ja kuorikerrokset: sisähelpe (*palea*), ulkohelpe (*lemma*), ulkohelpeessä kiinni oleva vihne (*awn*) sekä korren ja jyvän liittymiskohdan kaleet (*glume*). Kuva: Abebe ym. (2010).

Helpeettömien ja korkean amyloosipitoisuuden omaavien lajikkeiden kehityksen arvellaan saaneen alkunsa aasialaisten aikanaan tekemän valinnan perusteella. Lähi-idän ja Japanin alueella tunnetaan ainakin kahdeksan erilaista ohralajiketta, joiden tärkein ominaisuus on puuroutuminen keitettäessä. Puuroutuvaa ohraa on käytetty riisin tapaan ja sitä on viljelty riisille liian haasteellisilla alueilla mm. vuoristoissa (Purugganan ja Fuller 2009). Helpeetöntä ohraa on myöhemmin jalostettu myös Pohjois-Amerikassa hyvän kuivuuden-sietokyvyn ja jatkojalostuksen helppouden vuoksi (Jadhav ym. 1998). Helpeet ovat pääasiassa ihmisravinnoksi kelpaamatonta selluloosaa ja ne hankaloittavat ohran elintarvikekäyttöä (Höije ym. 2005). Ainoastaan oluenpanossa ohran helpeillä on suuri merkitys, sillä ne toimivat mäsäyksen jälkeisessä vierteen erotuksessa suodatus-materiaalina.

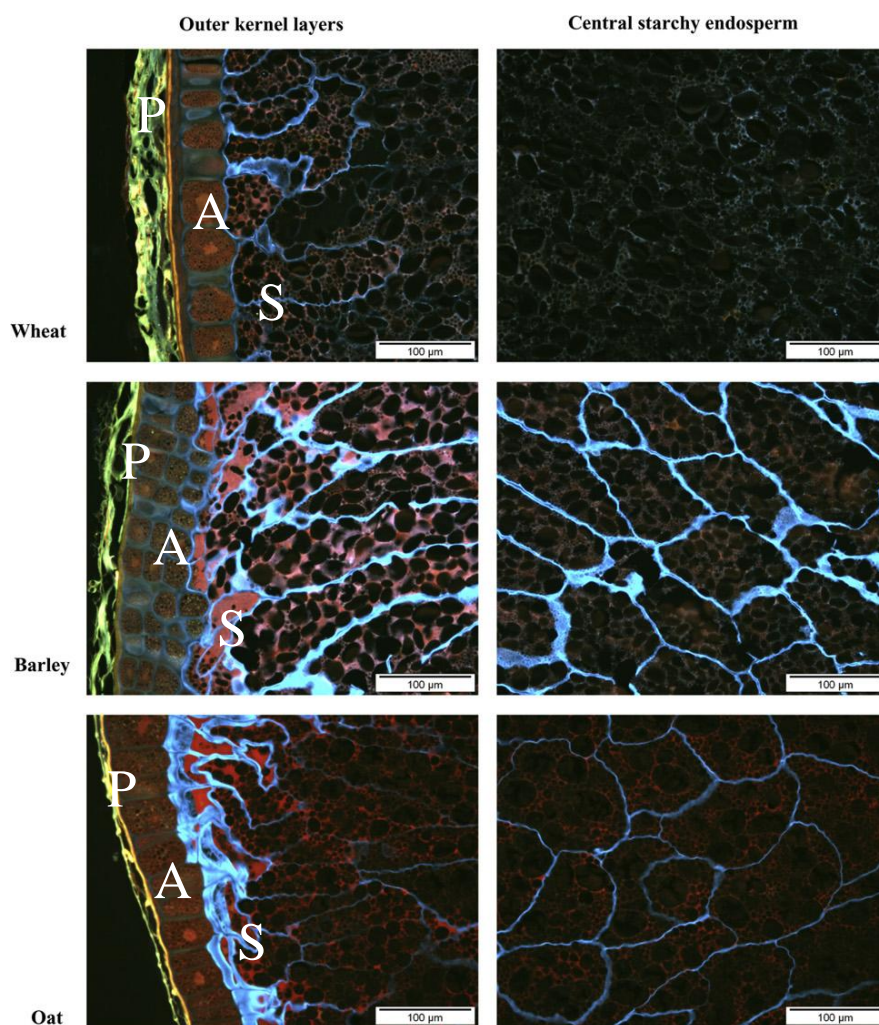
## 2.4.2 Jyvän sisäkerrokset

Ohranjyvän rakenteessa on säteittäisesti erotettavissa erilaisia kerroksia, joiden määrä ja koostumus riippuvat lajikkeesta (kuva 3).



**Kuva 3.** Ohranjyvän pitkittäis- ja poikkileikkaus. Suurenokset: (A) kuorikerroksesta, jossa ovat hedelmä- ja siemenkuoret sekä aleuron- ja sub-aleuronkerros, (B) tärkkelysendospermista ja (C) alkion ja endospermin välisestä alkiokilvestä (*scutellum*). Poikkileikkauksessa vatsanpuolen vako (crease) sekä alkio (germ) jyvän selkäpuolella. Kuva: Newman ja Newman (2008).

Endospermi, joka on 70–80 % jyvän kuivapainosta, sisältää aleuroni- ja sub-aleuroni-kerrokset. Lajikkeesta riippuen ohran aleuronikerros on kahdesta neljään solua paksu, kun taas vehnällä ja kauralla se on yksikerroksinen (Dornez ym. 2011) (kuva 4). Aleuroni-kerroksen paksuus vaikuttaa osaltaan viljojen prosessointiin, varsinkin mikäli se halutaan erottaa ja rikastaa. Aleuronikerros sisältää runsaasti mikroravintoainekomponentteja, kuten vitamiineja. Aleuronikerros – tai halutussa kerroksessa sijaitseva ja kustannustehokkaasti analysoitavissa oleva komponentti – voisi toimia myös jyvien riittävän prosessoinnin merkkikomponenttina (Hemery ym. 2007; 2009). Sub-aleuroni-kerros sijaitsee ennen varsinaista tärkkelysendospermiä ja alkiota. Tässä kerroksessa aktivoituvat itämisen aikana entsyymit, jotka hydrolysoivat endospermin tärkkelystä ja varastoproteiineja kasvin omiin tarpeisiin. Kuvasta 3 nähdään, että alkiokilpi (*scutellum*) erottaa juuri- ja sirkkalehden aihiot sisältävän alkion (*germ*) tärkkelysendospermistä.



**Kuva 4.** Mikroskopiakuvat vehnän, ohran ja kauran jyvien poikkileikkauksista. Värjäykset on tehty Acid Fuchsin ja Calcofluor-väreillä, jolloin beetaglukaani näkyy sinisenä, proteiini punertavan ruskeana ja tärkkelys mustana. Vasemmassa rivissä on esitetty jyvien kuorikerrokset eli perikarppi (P), aleuroni (A) ja sub-aleuroni (S); oikeassa rivissä tärkkelysendospermi. Mittajanan pituus on 100 µm. Kuva: Dornez ym. (2011).

## 2.5 Jyvän kemiallinen koostumus

Ohran helpeet koostuvat pääasiassa selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Helpeiden alla sijaitsevat siemen- ja hedelmäkuoret, jotka sisältävät mikrobien kasvua inhiboivia ja kasvinsyöjien ruoansulatusta haittaavia proteiinirakenteita, tokoferoleita sekä fenolisia yhdisteitä. Aleuronikerroksen solut varastoivat proteiineja, hydrolyyttisiä entsyymejä, vitamiineja ja mineraaleja. Newman ja Newman (2008) mukaan aleuronin soluseinien paksuus on 3–5 µm ja se koostuu pääosin arabinoksyalaanista (noin 75 %) ja beetaglukaanista (25 %). Sub-aleuroni koostuu pääasiassa proteiineista, joiden osuus on suurempi kuin endospermissä. Proteiinit liittävät aleuronin ja endospermin yhteen. Endospermin soluseinien määrä ja paksuus korreloivat sekä jyvän kovuuden että beetaglukaani-pitoisuuden kanssa lasimaisilla eli kovilla ja haurailta ohralajikkeilla (Holopainen ym. 2005). Mallasohralajikkeet ovat usein pehmeämpiä kuin rehulajikkeet johtuen niiden pienemmästä proteiinipitoisuudesta. Mallastamoissa on yleisenä proteiinipitoisuuden ylärajana 12,5 %.

Suurin osa ohranjyvän hiilihydraateista on tärkkelystä (taulukko 1). Tärkkelys on varastoituneena tärkkelysjyväsinä aleuronikerroksen peittämään tärkkelysendospermiin (kuvat 3 ja 4). Tärkkelysendospermin osuus kaksitahoisen ohranjyvän kuivapainosta on tyypillisesti noin 75 %. Tärkkelysendospermi sisältää myös suurimman osan jyvän proteiineista, noin 10 % kuivapainosta. Alkion osuus kuivapainosta on 2–5 %, ja se sisältää 20–25 % liukoisia sokereita, 14–17 % rasvaa ja 34 % proteiinia (Briggs 2001).

**Taulukko 1.** Ohran koostumus kuivapainosta (MacGregor ja Fincher 1993).

Ohran koostumus	(%)
Hiilihydraatteja,	78–83
josta tärkkelystä	63–65
emäsluukoisia polysakkaridejä	8–10
selluloosaa	4–5
sakkaroosia	1–2
vesiliukoisia polysakkaridejä	1–1,5
muuta sokereita	1
Proteiinia	10–12
Rasvaa	2–3
Tuhkaa	2

Ohran erilaisista viljelyolosuhteista ja laajasta lajikevalikoimasta johtuen jyvien ravintoainekoostumus vaihtelee paljon. Tärgkelys ei ole jakautunut tasaisesti endospermin proteiinimatriisiin, vaan tärgkelyspitoisuus on suurempi keskellä jyvää. Lähellä subaleuronia on puolestaan suurempi proteiinipitoisuus. Tarkkaa amyloosi- ja amylopektiinimolekyylien järjestäytymistä tärgkelysendospermissä ei kuitenkaan tunneta (MacGregor ja Fincher 1993).

### 2.5.1 Hiilihydraatit

Ohra sisältää hiilihydraatteja lajikkeesta riippuen 78–83 % kuiva-aineesta. Mono- ja di-meeristen sokerien (glukoosin, fruktoosin ja sakkaroosin) pitoisuus on noin 0,7–5,8 %. Suurin osa hiilihydraateista on tärgkelystä (50–65 %). Ei-tärgkelysperäisten polysakkaridien (arabinoksyalaanin, beetaglukaanin ja selluloosan) pitoisuus on yleensä noin 9,5–19 % kokojyväjauhosta. Suuria vaihteluja kuitenkin esiintyy eri lajikkeiden ja kasvuolosuhteiden välillä. Esimerkiksi pohjoismaisten ja kanadalaisten kuorettomien ja kuorellisten ohralajikkeiden tärgkelyspitoisuudet vaihtelivat 51 ja 64 %:n ja ei-tärgkelyspolysakkaridien pitoisuudet 23 ja 41 %:n välillä. Kuorettomien lajikkeiden todettiin sisältävän vähemmän tärgkelyspolysakkarideja sekä enemmän proteiinia ja beetaglukaania kuin kuorellisten lajikkeiden. Vaha- ja amyloolajikkeissa on havaittu korkeiden proteiini- (> 15 %) ja beetaglukaanipitoisuuksien (> 5 %) sekä beetaglukaani- ja ei-tärgkelyspolysakkaridipitoisuuksien (noin 40 %) välinen vahva positiivinen korrelaatio (Holtekjølen ym. 2006).

Tärgkelysjyvästen ja niitä ympäröivän proteiinien pakkautuminen endospermissä vaikuttaa jyvän kovuuteen. Pehmeärakenteisessa, ns. mealy-ohrassa, tärgkelysjyvästen väleissä on ilmataskuja kun taas erittäin kovassa, ns. steely-ohrassa pienehköt ja pyöreät tärgkelysjyväset ovat endospermissä tiiviisti proteiinimatriisiin pakkautuneina. Eniten rakenteellisten erojen syntymistä saattaa selittää jyvän täyttymisen aikana vallinneet sääolosuhteet esimerkiksi veden ja ravintoaineiden saanti sekä lämpötila (Chandra 1999).

### 2.5.2 Tärgkelys

Ohran endospermin sisältämä tärgkelys (63–65 %) on glukoosipolymeeri, joka muodostuu amyloosista (20–30 %) ja amylopektiinistä (70–75 %). Amyloosimolekyyliä on noin 1500 glukoosiyksikköä liittyneenä  $\alpha$ -1,4-glukosidisiin sidoksin. Amylopektiinimolekyyliä on useampia tuhansia glukoosiyksiköitä liittyneenä sekä suurin  $\alpha$ -1,4- että polymeeriä haaroittavin  $\alpha$ -1,6-glukosidisiin sidoksin (Henry 1988).

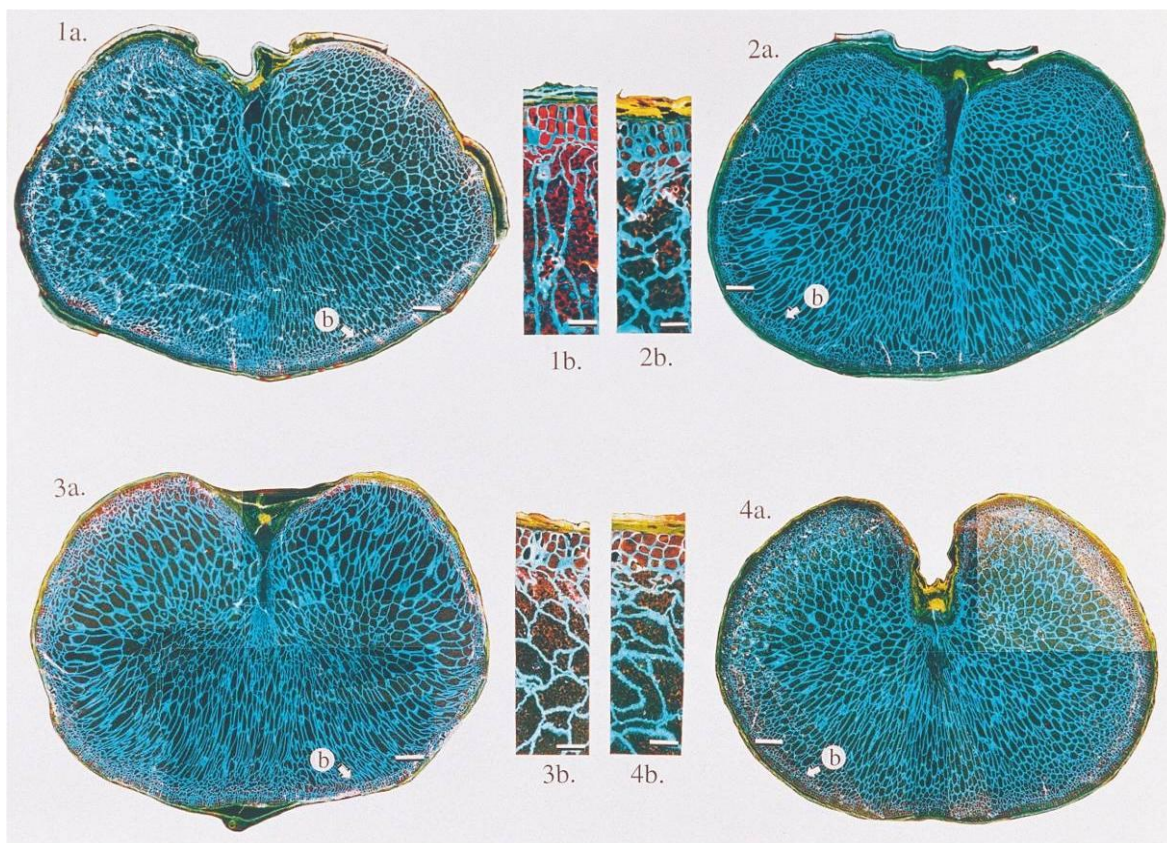


Amyloosi- ja amylopektiinipitoisuuksien suhteen muokattuja ohria on jalostettu sekä kuorellisista että kuorettomista lajikkeista. Enemmän kuin 45 % amyloosia sisältäviä lajikkeita sanotaan amyloolajikkeiksi (MacGregor ja Fincher 1993). Ensimmäinen amylo-ohraksi raportoitu lajike oli kuusitahoinen rehulajike *Glacier*, jonka tärkkelyksestä 44–47 % oli amyloosia (Walker ja Merritt 1969). Vahalajikkeissa (waxy) endospermin tärkkelyksestä amylopektiiniä on yli 55 %. Vahalajikkeista on jalostettu myös täysin amyloosittomia (zero-amylose waxy barley) eli 100 % amylopektiiniä sisältäviä lajikkeita (MacGregor ja Fincher 1993). Vahalajike nimitys on peräisin runsaasti amylopektiiniä sisältävän lajikkeen tärkkelysendospermin vahamaisesta koostumuksesta, jonka muodostumiseen vaikuttava geenilokus on nimetty glx/wx.

Tärkkelyksen uudelleen kiteytyminen (retrogradaatio) aiheuttaa leipomo-tuotteissa kuivumista. Tähän voidaan vaikuttaa valitsemalla tuotteeseen sopiva amyloosi ja amylopektiinisuhte. Amylopektiini lisää tärkkelyksen kiteytymistä ja sitoo hyvin vettä, mikä lisää tuotteen hyllyikä. Amylopektiinilajikkeiden tärkkelykselle on ominaista tärkkelyksen alhaisempi liisteröitymislämpötila (Morell ym. 2003). Tästä on hyötyä elintarviketeollisuudessa, sillä matalampi prosessointilämpötila kuluttaa vähemmän energiaa ja parantaa tuotteen laatua.

Ohran tärkkelysjyväset luokitellaan A-tyypin suuriin ( $\emptyset$  25–40  $\mu\text{m}$ ), ja B-tyypin pieniin ( $\emptyset$  5–10  $\mu\text{m}$ ) jyväsiin (Hoseney 1998). Pienemmät B-tyypin tärkkelysjyväset muodostavat normaalissa ohrassa lukumääräisesti suurimman osan tärkkelyksestä, noin 85–95 %, mutta ovat massaltaan vain 10–15 % koko tärkkelyksen massasta. Suuria A-tyypin tärkkelysjyväsiä on lukumäärällisesti vähän, mutta niiden massaosuus on noin 85–95 % (Goering ym. 1973). Tärkkelysjyvästen kokojakauma on hyvin erilainen amylo- ja vahalajikkeissa tavanomaisiin ohralajikkeisiin verrattuna. Amyloolajikkeissa B-tyypin tärkkelysjyväset ovat tavanomaisista lajikkeista poiketen A-tyyppiä suurempia ja niiden kokojakauma on huomattavan tasainen (Banks ym. 1973; Morrison ym. 1986). Vahalajikkeissa pienten B-tyypin tärkkelysjyvästen määrä on suurempi ja suurten A-tyypin tärkkelysjyvästen massaosuus tavanomaisia lajikkeita suurempi (Morrison ja Scott 1986).

Amyloosi- ja amylopektiinipitoisuukseltaan poikkeavien lajikkeiden 2, 3 ja 4 poikkileikkauskuvissa nähdään eroja lajikkeiden soluseinäkerroksien määrissä ja paksuuksissa verrattuna tavanomaiseen lajikkeeseen 1 (Oscarsson ym. 1997) (kuva 5).



**Kuva 5.** Poikkileikkauskuvat (a) ohran jyvästä, mittajana 250  $\mu\text{m}$  ja (b) kuorikerroksesta, mittajana 50  $\mu\text{m}$ . Värjäykset on tehty Acid Fuchsin ja Calcofluor-väreillä, jolloin aleuroni-kerroksen proteiinit näkyvät punaisena, endospermikerroksen proteiinit oranssi-punaruskeana, beetaglukaani sinisenä ja tärkkelys mustana. Lajikkeet: 1. Golf (normaalitärkkelys, kuorellinen). 2. SW 7142–92 (korkea amylopektiinipitoinen, kuorellinen). 3. Glacier (korkea amyloosipitoinen, kuorellinen). 4. Hashonucier (korkea amyloosipitoinen, kuoreton). Kuva: Oscarsson ym. (1997).

Amyloosipitoisten lajikkeiden on todettu sisältävän enemmän pieniä tärkkelysjyväsiä (29–43 %), mikä lisää soluseinien suhteellista osuutta jyvästä (Morrison ym. 1986). Soluseinät myös näyttävät paksummilta amyloolajikkeissa 2, 3 ja 4 verrattuna tavanomaiseen lajikkeeseen 1 (kuva 5). Sekä vaha- että amyloolajikkeiden on todettu olevan beetaglukaanirikkaampia kuin tavanomaisten tärkkelyslajikkeiden (Oscarsson ym. 1996). Vahamaisilla lajikkeilla on yleisesti todettu olevan 5–8 % pienempi tärkkelyspitoisuus (Ullrich ym. 1986; Xue ym. 1997). Toisaalta nämä lajikkeet sisältävät enemmän fruktoosia, glukoosia ja sakkaroosia (Xue ym. 1997).

### 2.5.3 Proteiini

Ohran proteiinipitoisuus määräytyy lajikkeen ja kasvuolosuhteiden mukaan. Proteiini-rikkaita lajikkeita pyritään välttämään mallaslajikkeiden jalostuksessa, sillä liiallinen proteiinimäärä aiheuttaa oluenpanossa vaahdonmuodostusta sekä lisää varastoinnin aikaista samentumisriskiä. Toisaalta riittävä proteiinipitoisuus on erittäin tärkeä tekijä käymisen aikana hiivan ravinnonsaannin ja entsyymien toiminnan kannalta. Korkea proteiinipitoisuus on oleellinen osa rehuohran laatua (Raisio Oyj 2009). Lysiini on yksi ihmisille ja rehulla ruokittaville eläimille välttämättömistä aminohapoista. Ohran luontainen lysiinipitoisuus on alhainen. Tästä syystä ohrasta on jalostettu proteiini- ja lysiinipitoisuudeltaan rikkaampia lajikkeita erityisesti rehukäyttöön.

Proteiinit voidaan jakaa Osbornen (1924) proteiinien liukoisuusluokituksen mukaan:

- vesiliukoisiin albumiineihin
- suolaliukoisiin globuliineihin
- 70 % alkoholi-vesiliuokseen liukeneviin prolamiineihin
- happo-emäsluukoisiin gluteliineihin.

Albumiinit ovat jyvän itämisen alkuvaiheessa toimivia entsyymejä, jotka sijaitsevat ohran aleuronikerroksessa. Globuliineihin kuuluu sekä entsyymejä että pienimolekyylisiä varastoproteiineja sub-aleuronissa ja tärkkelysendospermissä. Prolamiinit eli ohralla hordeiinit käsittävät suurimman osan ohran proteiineista (35–55 %) ja esiintyvät pääasiassa endospermin varastoproteiineina (Shewry 1993). Hordeiinit voidaan jakaa neljään ryhmään: Runsaasti rikkiä sisältävät: pienimolekyyliset B-hordeiinit sekä monomeeriset  $\gamma$ -hordeiinit, ja vähän rikkiä sisältävät: C-hordeiinit ja suurimolekyyliset polymeeriset D-hordeiinit. Gluteliinit ovat puolestaan soluseinärakenteiden niukkaliukoisia rakenneosia (Palmer 1989).

### 2.5.4 Beetaglukaani

Täysjyväohran beetaglukaanipitoisuus on välillä 2–12 % (Zheng ym. 2000; Høltekjolen ym. 2006), ohrajauhon 3,9–9,0 % ja -leseeseen 4,9–15,4 % (Bhatty 1992). Vaha- ja amylo- lajikkeiden on todettu sisältävän suurempia beetaglukaanipitoisuuksia kuin tavanomaisissa lajikkeissa (Oscarsson ym. 1996; Andersson ym. 1999; Izyrdorczyk ym. 2003; Wood ym.

2003). Mallasohralajikkeissa beetaglukaanipitoisuus on usein alhainen, sillä korkea pitoisuus aiheuttaa ongelmia vierteen suodatuksessa (Jadhav ym. 1998).

Beetaglukaanikäyhissä lajikkeissa beetaglukaani sijaitsee etupäässä sub-aleuronissa ja sen pitoisuus laskee jyvän keskiosaa kohden. Beetaglukaanirikkaissa lajikkeissa beetaglukaani on jakautunut tasaisemmin koko endospermin alueelle (Zheng ym. 2000). Soluseinien paksuuden on havaittu korreloivan positiivisesti beetaglukaanipitoisuuden kanssa (Bhatty 1993; 1997; Miller ja Fulcher 1994; Oscarsson ym. 1997). Aleuronin soluseinät sisältävät keskimäärin 26 % beetaglukaania, kun taas tärkkelysendospermin soluseinistä noin 70 % on beetaglukaania (Fincher ja Stone 1986). Perikarpin beetaglukaanipitoisuus on hyvin matala (Zheng ym. 2000).

Kasvulämpötilan on havaittu vaikuttavan mm. beetaglukaanin uuttuvuuteen sekä suhteelliseen molekyylipainoon ja beetaglukaanin vesiliuoksen viskositeettiin. Korkea kasvulämpötila ja kuivat olosuhteet korreloivat yleensä positiivisesti beetaglukaanipitoisuuden kanssa (Brennan ja Cleary 2005; Izydorczyk ja Dexter 2008). Toisaalta kosteat olosuhteet madaltavat helposti ohran beetaglukaanipitoisuutta (Pérez-Vendrell ym. 1996; Güler 2003). Kasvulämpötila voi vaikuttaa merkittävästi myös liukoisen ja liukenemattoman beetaglukaanin suhteellisiin osuuksiin. Lämpötilan nousun on havaittu lisäävän suuri-molekyylisen ja vähemmän liukoisen beetaglukaanin määrää (Anker-Nilssen ym. 2008). Tyypilannoituksen lisäämisellä on myös havaittu positiivinen vaikutus beetaglukaanin muodostumiseen (Oscarsson ym. 1997; Güler 2003).

## **2.6 Ohran prosessointi kuivamenetelmin**

### **2.6.1 Kuorinta, hionta ja hiutalointi**

Ohran prosessointi aloitetaan yleensä puhdistuksella, jossa erotetaan roskat ja rikat sekä seulotaan jyvät eri kokoluokkiin. Kokoluokittelulla saadaan prosessointiin tasalaatuisempi raaka-aine ja laadukkaampi lopputulos. Kuorimalla tai hiomalla voidaan poistaa jyvän ulkokerrokset, jotka aiheuttavat epämiellyttävää makua ja tummaa väriä. Hometoksiinipitoisuuden on myös todettu vähenevän lajittelemalla ja kuorimalla ohra (Rämö ym. 2008). Lisäksi kuorinnalla voidaan lyhentää ruoanvalmistukseen kuluva aikaa. Kuorinnassa menetetään kuitenkin suuri määrä ravintoaineita mm. B- ja E-vitamiineja sekä alkion sisältämiä tyydyttymättömiä rasvoja. Mitä enemmän jyvää hiotaan, sitä suurempi on jyvien

rikkoutumisriski, jolloin alkio voi myös irrota (Jadhav ym. 1998). Esimerkiksi vahaohrasta, jonka tärkkelyksestä oli 96 % amylopektiiniä, erotettujen helpeiden koostumusanalyysi paljasti, että helpeisiin oli jäänyt paljon jyvistä peräisin olevaa tärkkelystä ja proteiinia (Höije ym. 2005).

Ohra kuoritaan ja hiotaan useimmiten pyörivillä hiomakivillä. Kuorinta ja hionta suoritetaan usein samalla laitteella yksinkertaisesti jatkamalla niin kauan, että saavutetaan haluttu hionta-aste. Jyvien hiontaan voidaan käyttää myös teräslangoista valmistettua hiontarajaa, joka pyörii kammion sisällä. Materiaalin hioutuminen voi perustua myös jyvien keskinäiseen vuorovaikutukseen kovassa puristuksessa ja hierteessä syntyvään kitkaan, joka irrottaa kuoriosan. Tai jyvien hioutumiseen karkeaa pintaa sekä toisiaan vasten. Kuorinta- ja hiomalaitteissa kivien tai hiontapinnan materiaalina on yleisesti erittäin hyvin kulutusta kestävä piikarbidi (kuva 6).



**Kuva 6.** Ohran kuorintalaite. Kuva: Seedburo Equipment Co. (2012).

Kiviä ympäröi joko seulaverkko, jonka läpi hiontajae kulkeutuu, tai hiovasta materiaalista valmistettu kammio, josta hiontajae poistetaan ilmapvirran avulla. Hiontaprosesseja on sekä panos- että jatkuvatoimisia. Panostoimisessa prosessissa tasalaatuisen hionta-asteen saavuttaminen on varmempaa (Leonard ja Martin 1963). Hionnan tehoon ja valittavaan hiontamenetelmään vaikuttaa sekä lajikkeen kuorellisuus että jyvän kovuus. Rikastettaessa jyvistä haluttuja komponentteja on tiedettävä halutun komponentin sijainti kussakin lajikkeessa (Yeung ja Vasanthan 2001). Tutkimuksissa on todettu, että normaalitärkkelyksisen, kuoretoman ja alhaisen beetaglukaanipitoisuuden lajikkeessa beetaglukaani sijaitsee sub-aleuronissa ja tärkkelysendospermin ulkokerroksessa (Zheng ym. 2000). Värianalysointia käyttämällä voidaan luotettavasti määrittää hionta-aste, sillä hiottujen jyvien värin muutoksen on todettu kertovan hyvin kuorikerroksen määrän vähenemisestä (Flores ym. 2007).

Tasakokoiset ja keskikovat lajikkeet sopivat parhaiten hionnan raaka-aineeksi. Kovilla jyvillä endospermiä hioutuu vähinten hukkaan, mutta toisaalta tarvitaan suurempi jauhatusergia, mikä lisää matriisin rikkoutumisriskiä (Baik ja Ullrich 2008). Panostoimista hiontalaitetta käytettäessä on havaittu, että pienemmällä näytemäärillä saadaan tasaisempia hiontatuloksia. Kun käytettiin perättäistä hiontamenetelmää yhdistettynä jyvien välijäähdytykseen, saavutettiin tasaisempi ja vähemmän jyviä rikkova tulos verrattuna jatkuvatoimiseen hiontaan. Hiontaverkon silmäkoko ja langan paksuus eivät vaikuttaneet hionnan tasaisuuteen. Näillä oli kuitenkin vaikutusta jyvän rikkoutumiseen ja hionnan tehokkuuteen. Suurempi silmäkoko aiheutti enemmän jyvien rikkoutumista, ja johti ylisuuriin hionta-asteisiin. Kun hionta-astetta rajoitetaan alle 30 %:iin, rikkoutuneiden jyvien määrä vähenee merkittävästi (Liu 2007).

Kuorelliset vahalajikkeet sopivat paremmin hiottujen jyvien ja riisin korvikkeen raaka-aineeksi kuin kuorettomat vahalajikkeet. Kuorettomilla vahalajikkeilla havaittiin hieman vaaleampi väri, mutta niiden endospermin pehmeämpi rakenne soveltui huonommin hiontaan. Kaksi- ja kuusirivisten lajikkeiden välillä ei todettu merkittävää eroa. Tosin lajikkeiden erikokoisista jyvistä johtuen prosessi oli säädettävä aina uudelleen (Edney ym. 2002).

Hiontamenetelmän ja parametrien valinnalla ohrasta voidaan tehdä sopivia jakeita erilaisiin elintarvikesovellutuksiin (Sumner ym. 1985). Ravitsemuksellisesti tärkeän lysiini-aminohapon on havaittu rikastuvan jyvän kuoriosista saatavaan hiontajakeeseen (Robbins ja Pomeranz 1972). Hionnan on myös havaittu soveltuvan mallastetun ohran ravintokuidun sekä entsyymi- ja aromikomponenttien rikastamiseen (Vose ja Youngs 1978). Tuhkapitoisuuden on havaittu korreloivan proteiinin, värin, vapaiden rasvahappojen ja ravintokuidun kanssa. Hionnalla voidaan myös merkittävästi rikastaa tärkkelystä ja beeta-glukaania. Mineraali- ja proteiinipitoisuuksien on kuitenkin havaittu olevan suurempia poistetussa hiontajakeessa kuin hiotuissa jyvissä (Klamczynski ym. 1998).

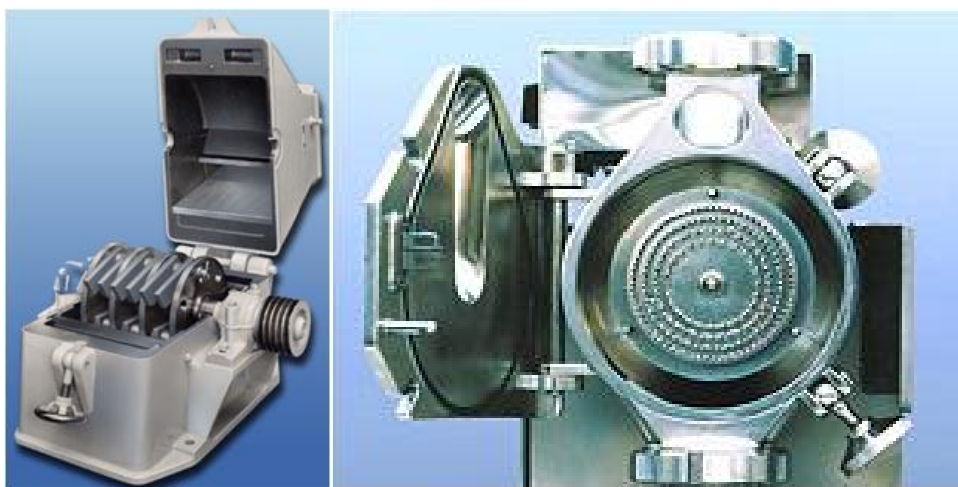
Ohra sisältää tyydyttymättömiä rasvahappoja, mm. öljyhappoa (18:1) ja linolihappoa (18:2), joiden hapettuminen saa aikaan pilaantuneen aromin (Ryan ym. 2007). Hionta poistaa osittain hapettumisongelman, sillä jyvän pintakerroksissa olevien fenolisten rasvahappojen hapettavien entsyymien, kuten polyfenolioksidaasien ja peroksidaasien pitoisuus vähenee merkittävästi. Myös hiottujen jyvien säilyvyys paranee ja entsyymaattinen tummeneminen hidastuu. Hionnan ja rasvan mukana poistuu myös ravitsemuksellisesti

tärkeitä komponentteja, kuten E-vitamiineihin kuuluvia tokoleja. Tutkimusten mukaan 20 % hiottujen jyvien hiontajae sisälsi suurimman osan tokoleista,  $\alpha$ -tokoferolista ja  $\alpha$ -tokotrienolista (Wang ym. 1993; Peterson 1994).

Kuoritut jyvät voidaan poikkileikkaamisen jälkeen valssata hiutaleiksi. Hiutalointi erottaa tehokkaasti toisistaan leseen ja tärkkelysendospermin sisältävän jyvän sisäosan. Hiutaleita käytetään lähinnä puuroissa. Ohrahelmet tai -ryynit puolestaan vaativat pidemmän haudutusajan, ja niitä käytetään usein pääruokien lisäkkeinä. Hiottuja jyviä rouhitaan myös pienemmiksi. Tällöin saadaan ohrasuurimoita, joiden kypsymisaika on lähellä riisiä. Yleensä prosessoitu ohra lämpökäsitellään entsyymaattisten reaktioiden aiheuttamien virhemakujen ja -hajujen estämiseksi, jolloin myös kypsennysaika lyhenee. Lämpökäsittely vähentää herkimpien vitamiinien määrää, mutta parantaa huomattavasti tuotteen säilyvyyttä.

## 2.6.2 Jauhatus

Vehnän kovuuden ja myllytyskelpoisuuden selvittämisessä käytetään yleisesti koemyllytysmetodia (particle size index, AACC 55–30, 1983). Metodi perustuu jauhetun näytteen muodostamaan partikkelikokojakaumaan. Jyvien kovuus vaikuttaa niiden jauhautumiseen: mitä kovempi lajike, sitä suurempi on seuloille jäävän suurien partikkelien osuus. Eri lajikkeille täytyy etsiä oikeat myllyt ja säätää hiontaparametrit ohralajikkeiden suuresta vaihtelevuudesta johtuen. Ohra jauhetaan yleensä valssi-, vasara- tai tappimyllyllä (kuva 7).



**Kuva 7.** Karkeaan jauhamiseen tarkoitettu Hosokawa Alpine Omniplex 40/20 HA vasaramylly (vasen) ja 100 UPZ hienojauhatusmylly tappilevykiekoilla (oikea). Kuva: Hosokawa Alpine AG (2009).

Jyvät voidaan kuoria hiomalla niitä kevyesti ennen jauhatusta. Flores ym. (2005) mukaan vehnän koemylytysmetodia muokkaamalla voidaan määrittää sopivat parametrit tärkkelys- ja beetaglukaanipitoisten jakeiden erottamiseksi erilaisista ohralajikkeista. Flores ym. (2005) tutkivat kahta kuoretonta ja yhtä kuorellista ohralajiketta sekä neljää erilaista myllyä. Beetaglukaani rikastui pääosin karkeimpaan, kuoripitoiseen jakeeseen. Kaikilla myllyillä tärkkelys rikastui parhaiten korkeimman tärkkelyspitoisuuden sisältäneen kuorettoman lajikkeen jauhofraktioon.

Yleisesti ottaen ohra on vehnää pehmeämpi vilja ja etenkin mallaslajikkeiden valinnassa painottunut beetaglukaanipitoisuuden jatkuva lasku lisää jyvien pehmeyttä (Henry ja Cove 1990). Ohran jauhatusta ja eri jakeiden erotusprosessia hankaloittavat kovat ja tiivisti jyvään kiinnittyneet helpeet sekä lajikkeittain ja kasvuolosuhteiden mukaan vaihtelevat kovuus- ja haurausominaisuudet. Jyvän kovuuden on esitetty johtuvan osittain ohran varastoproteiinien tiiviistä pakkautumisesta jyvään (Brennan ym. 1996 ja 1997).

### 2.6.3 Seulonta

Seulonnassa erikokoisia partikkeleita sisältävä materiaali seulotaan seulakokoa pienempiin ja suurempiin jakeisiin. Seulontatulokseen vaikuttavat mm. partikkelien koko ja muoto suhteessa seulan silmäkokoan, pinta-alaan ja valmistusmateriaaliin. Lisäksi tulokseen vaikuttaa seulan liikesuunta, -taajuus ja seulonta-aika (Leschonski 1979). Seulontatuloksen tarkkuuteen vaikuttaa merkittävästi seulojen tukkeutuminen ja suurempien partikkeleiden takertuminen seulaverkon silmiin, jolloin seuloutuminen hidastuu tai estyy kokonaan (kuva 8).



**Kuva 8.** Seulasarja ravistelulaitteessa, suurisilmäisin seula päällimmäisenä ja umpipohja alinna. Kuva: VTT.



Viljojen jauhatus- ja seulontatapa vaikuttaa oleellisesti seulontatulokseen. Esimerkiksi Liu (2009) vertasi eri seulontamenetelmiä ja -aikoja sekä tärytyksen vaikutusta. Raaka-aineena oli kahdella erilaisella myllyllä ja eri kosteuspitoisuuksissa jauhettuja pehmeitä ja kovia viljoja (vehnää, kuoretonta ohraa ja riisiä). Kaikkien muuttujien todettiin vaikuttavan seulontatulokseen ja tehokkuuteen. Suurimmat vaikutukset olivat tärytyksellä, seulonta-ajalla ja -menetelmällä. Seulontamenetelmistä tarkempi oli käänteinen menetelmä, jossa seulottiin yhdellä seulalla kerrallaan aloittaen tiheimmästä seulasta ja siirtämällä seulalle jäänyt materiaali harvempaan seulaan.

Suorassa menetelmässä seulat olivat päällekkäin suurisilmäisin päällimmäisenä. Käänteisessä menetelmässä seulontahävikki oli yhdestä kahteen prosenttia pienempi ja seulontavasta riippuen proteiini rikastui eri jakeisiin. Suorassa menetelmässä harvemmille seuloille jäi myös paljon pieniä partikkeleita. Vaikutuksen kumuloituessa seulakoosta seuraavaan pienimmässä partikkelikoossa ( $< 38 \mu\text{m}$ ) erot suoran ja käänteisen menetelmän välillä olivat ohrajauhon saannossa yli 20 %. Tulosten arveltiin johtuvan suurten partikkelien kyvystä irrottaa silmiin takertuneita partikkeleita, jolloin seulan tukkeutuminen väheni ja seulontatulos sekä -tarkkuus paranivat (Liu 2009).

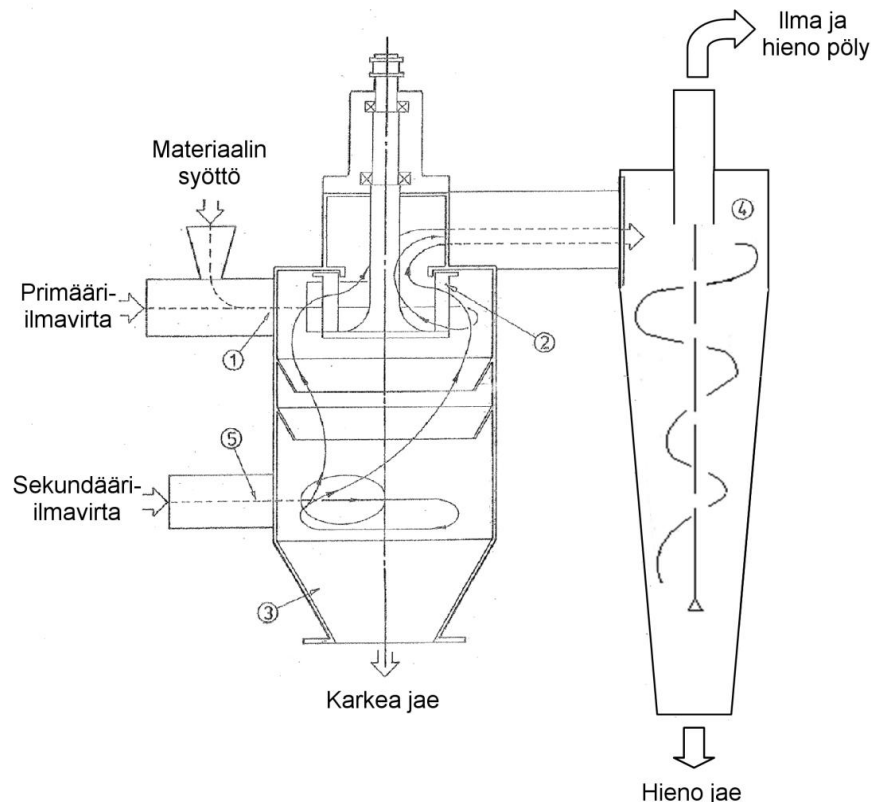
Kuivajauhatusta ja seulontaa voidaan hyödyntää kuitupitoisten jakeiden erottamiseen ohrasta (Andersson ym. 2000; Wu ja Doehlert 2002; Izydorczyk ym. 2003). Bhattyn (1992) mukaan ohran beetaglukaani rikastui parhaiten jauhamalla jyvät kolmeen kertaan Allis-Chalmers -myllyllä ja seulomalla jauho kuuteen jakeeseen. Beetaglukaanipitoisin jae saatiin talteen 236  $\mu\text{m}$  seulalla. Seulan yläpuolelle jäänyt karkea lesejake sisälsi lähtömateriaaliin verrattuna 1,4-kertaisen määrän beetaglukaania.

Kuivajauhetusta kuorellisesta ja kuorettomasta sekä rasvauutetusta ohrasta on seulonnalla rikastettu beetaglukaanipitoisia jakeita. Esimerkiksi Knuckless ym. (1992) seuloivat hyvin hienoksi jauhetusta ohrasta 325-meshin seulan (45  $\mu\text{m}$  rakojen) läpi karkean jakeen, joka jauhettiin ja seulottiin vielä uudelleen. Karkea jake oli massasaannoltaan 18–30 % kokojyväohrasta ja sisälsi 16–27 % beetaglukaania. Kun tämä jake seulottiin edelleen 100-meshin seulan (147  $\mu\text{m}$  rakojen) läpi, saatiin karkean jakeen massasaannoksi 1,7–16,5 % ja beetaglukaanipitoisuudeksi jopa 28 %. Täten Knuckless ym. (1992) saavuttivat Bhattyn (1992) nähden suuremman rikastusasteen, joka oli 2,4–4,9 -kertainen lähtömateriaaliin nähden. Lisäksi Sundberg ja Åman (1994) erottivat 7–12 % saannolla jakeen, joka sisälsi 25 % ravintokuitua ja 8 % beetaglukaania.

## 2.6.4 Ilmaluokittelu

Ilmaluokittelussa partikkeleiden luokittuminen hienoon ja karkeaan jakeeseen tapahtuu ilmavirrassa. Ilmaluokittimen spiraalimaisessa ilmavirtauksessa partikkelin nopeus kiihtyy, josta seuraa tangentin suuntaan vaikuttava voima. Tämä yhdistettynä partikkelin muodosta, tiheydestä ja koosta seuraavaan ilmanvastukseen johtaa partikkelien luokittumiseen.

Jauhettu materiaali syötetään primääri-ilmavirtaan (1, kuva 9). Luokitinpyörän (2) pyörimisnopeudella vaikutetaan partikkelikoon määrämittaan, jonka ylittävät partikkelit luokittevat karkeaan jakeeseen (3) ja laskeutuvat seinämää myöten pohjalle. Alle määrämittan olevat partikkelit läpäisevät luokitinpyörän ja kulkeutuvat sykloniin (4), jossa ilma ohjataan spiraalimaiseen liikkeeseen kohti syklonin pohjaa. Keskipakovoima lisääntyy ilman nopeuden kasvaessa syklonin kartion kaventuessa pohjaa kohti, jolloin yhä pienemmät hiukkaset ajautuvat seinämälle stationääriseen ilmakerrokseen ja putoavat hienon jakeen keräilyastiaan. Sekundääri-ilmavirtaa (5) lisäämällä partikkelien erottumis-aika syklonikammiossa pitenee (Kössö 2008).



**Kuva 9.** Ilmaluokittimen toimintaperiaate. Kuva: VTT.

Määrämitta on se partikkelikoko, jolla on yhtä suuri mahdollisuus joutua hienoon tai karkeaan jakeeseen. Luokituslaitteen säädettävät parametrit ovat materiaalin syöttönopeus,

luokitinpyörän pyörimisnopeus ja laitteen läpi imettävä ilmamäärä. Luokitinpyörän pyörimisnopeuden kasvaessa pyörän hila-aukot pienevät. Syötettävän materiaalin partikkelikoon tulee olla riittävän pieni, jotta eri komponentit saadaan erilleen toisistaan.

Usein karkean jakeen joukkoon jää osa pienistä partikkeleista, jolloin karkea jae voidaan luokitella uudestaan, kunnes massasta on poistunut suurin osa hienoaineesta. Ilmaluokittelun tarkkuus määräytyy jakeiden puhtauden mukaan eli paljonko hienojakeen partikkeleita on karkeassa ja päinvastoin. Nykyaikaisella ilmaluokittelulaitteistolla voidaan saada eroteltua hyvinkin tarkasti toisistaan kooltaan ja tiheydeltään poikkeavat jakeet (Shapiro ja Galperin 2005).

Ohran ilmaluokittelussa erot hienon ja karkean jakeen partikkelikojakaumissa johtuvat erilaisista tärkkelyskoostumuksista eli amyloosi- ja amylopektiinipitoisuuksien vaihtelusta. Partikkelikojakaumat määrittelevät jauhon jakautumisen erilaisiin jakeisiin. Usein proteiini- ja rasvapitoiset partikkelit saadaan yhteen jakeeseen ja tärkkelyspartikkelit toiseen. Runsaasti ravintokuitua sisältävät endospermin soluseinäpartikkelit erottuvat yleensä kaikkein karkeimpaan jakeeseen. Kun kaikkein karkeinta jaetta jauhetaan edelleen, on ravintokuidun rikastusastetta mahdollista nostaa.

Kuitupartikkelit ovat yleensä hiutalemaisista ja kevyitä. Niiden muoto johtaa helposti suureen ilmanvastukseen. Kuitupartikkelit on jauhettava riittävän hienoiksi, jottei partikkelien muoto vaikuta liikaa partikkeleiden jakautumiseen ilmaluokittelussa (Srinivasan ja Singh 2008). Ilmaluokittelussa proteiini rikastui yli 15 % suurempaan pitoisuuteen kuin alkuperäisessä ohranäytteessä. Samaan jakeeseen rikastui myös tuhka ja rasva (Pomeranz ym. 1971).

Wu ym. (1994) mukaan ohran seulonta ja ilmaluokittelu onnistuivat paremmin heksaaniuutolla toteutetun rasvanpoiston jälkeen, koska rasva sitoo partikkeleita yhteen muodostaen agglomeraatteja. Peräkkäisissä ilmaluokittelussa ja jauhamisissa beetaglukaani rikastui isokokoisten soluseinäpartikkeleiden mukana karkeisiin jakeisiin ( $> 15 \mu\text{m}$ ). Rasva ja proteiini rikastuivat puolestaan hienoon ( $< 15 \mu\text{m}$ ) jakeeseen. Hyvin rikas proteiinijae (proteiinipitoisuus 47,8 %) saatiin talteen läpivirtaussuodattimelta, vaikkakin hyvin alhaisella saannolla. Tärkkelys konsentroitui parhaiten hienoissa jakeissa (tärkkelyspitoisuus 42,5–45,1 %), joiden partikkelikoko oli  $< 18 \mu\text{m}$ . Saanto beeta-glukaanipitoisissa jakeissa (18–24  $\mu\text{m}$ , 24–30  $\mu\text{m}$  ja  $> 30 \mu\text{m}$ ) oli yhteensä 62 %. Korkein

beetaglukaanipitoisuus oli 37,9 % (24–30 µm:n jakeessa) ja kolmen jakeen keskimääräinen beetaglukaanipitoisuus oli 31 %. Tutkimuksessa saavutetut beetaglukaanipitoisuudet ja saannot olivat epätavallisen korkeat. Tämä johtui siitä että Wu ym. (1994) käyttivät lähtöaineena erikoisohralajiketta, jonka alkuperäinen beetaglukaanipitoisuus oli 18,2 %. Beetaglukaanipitoisuus nousi edelleen heksaaniuutossa poistuneen rasvan myötä 19,6 %:iin.

Kuivatuista ja jauhetuista maissiperäisestä tislusjätteestä (*distiller's grains*) on myös saatu erotettua kuitupitoinen jae käyttäen seulonnan ja ilmaluokituksen yhdistelmää. Pelkkä ilmaluokittelu ei kuitenkaan riittänyt kuitupitoisen materiaalin erottamiseen. Kun partikkelit seulottiin ensin kapeampiin kokoluokkiin, kuitupitoiset partikkelit saatiin ilma- luokiteltua niiden erilaisten aerodynaamisten ominaisuuksien vuoksi. Kuitupartikkeleilla oli alhaisempi massa tai verrannollisesti pienempi tiheys muihin partikkeleihin nähden ja ne olivat muodoltaan litteämpiä. Partikkelin pyöreyttä kuvaava arvo oli ei-kuitumaisille partikkeleille välillä 0,72–0,92 ja kuitupartikkeleille 0,19–0,47 eli kuitupartikkelit olivat huomattavasti litteämpiä muihin partikkeleihin verrattuna (Srinivasan ja Singh 2008).

### **2.6.5 Kauran kuivafraktiointi**

Ohrasta poiketen kauran beetaglukaani sijaitsee etupäässä sub-aleuronissa (kuva 4). Kauralle on kehitetty useita kuivafraktiointiprosesseja, jotka perustuvat jauhatukseen ja seulontaan tai ilmaluokitteluun. Tällaisella prosessilla saavutetaan yleensä noin 11–25 %:n beetaglukaanipitoisuus (Wu ja Stringfellow 1995; Mälkki ym. 1999; Wu ja Doehlert 2002). Korkeamman beetaglukaanipitoisuuden saavuttaminen vaatii rasvan poistamisen kaurasta. Rasva sitoo soluseinän proteiinit ja tärkkelysjyvät kiinni toisiinsa, joten beetaglukaanirikkaiden partikkelien erottaminen muusta matriisista ei enää onnistu (Heneen ym. 2009; Sibakov ym. 2011). Esimerkiksi Swedish Oat Fibre AB on kaupallistanut etanoliuuttoon perustuvan kuivafraktiointiprosessin, jolla saavutetaan parhaimmillaan 28 % beetaglukaanipitoisuus (Weightman 2002).

VTT:n patentin (Kaukovirta-Norja ym. 2008) mukaan rasvanpoisto ylikriittisellä hiilidioksidilla mahdollistaa beetaglukaanin erottamisen tärkkelys- ja proteiinipitoisesta matriisista vieläkin tarkemmin. Hiilidioksidiuutto onnistuu parhaiten, kun se tehdään lämpökäsittelmättömälle kauralle. Tavallisesti kaura lämpökäsitellään noin 30 min ajan 100 °C höyryssä, jotta kauran rasvoja hapettavat entsyymit saadaan inaktivoitua. Ylikriitti-

nen hiilidioksiduuutto poistaa valtaosan hapettuvista rasvoista, joten lämpökäsittely ei ole tarpeen. Lisäksi vältytään tärkkelyksen liisteröitymiseltä, jolloin jyvän komponentit pysyvät paremmin erillään toisistaan. Rasvanpoisto tekee jyvistä myös hauraamman, mikä edesauttaa eri komponenttien erottumista jauhatuksen jälkeen.

VTT:n mukaan korkein teollisuusmittakaavassa saavutettu beetaglukaanipitoisuus oli 34 % ja massasaanto kokojyväjauhosta laskettuna noin 8–9 %, kun ylikriittisesti uutettu kaura jauhettiin ja ilmaluokiteltiin kaksi kertaa. Ilmaluokittelun jälkeen noin 80 % alkuperäisestä jyvistä oli tärkkelyspitoista endospermijauhoa. Jauhojakeesta voitiin erottaa myös proteiinirikas jae, jonka proteiinipitoisuus oli 64–73 % ja massasaanto noin 5–8 % kokojyväjauhosta. Proteiinijakeen erotus vaatii kuitenkin hyvin kehittyneen ilmaluokittimen, sillä proteiinipartikkelit olivat hyvin pieniä, halkaisijaltaan vain 1–8 µm (Sibakov ym. 2011).

## 2.7 Ohran prosessointi märkämenetelmin

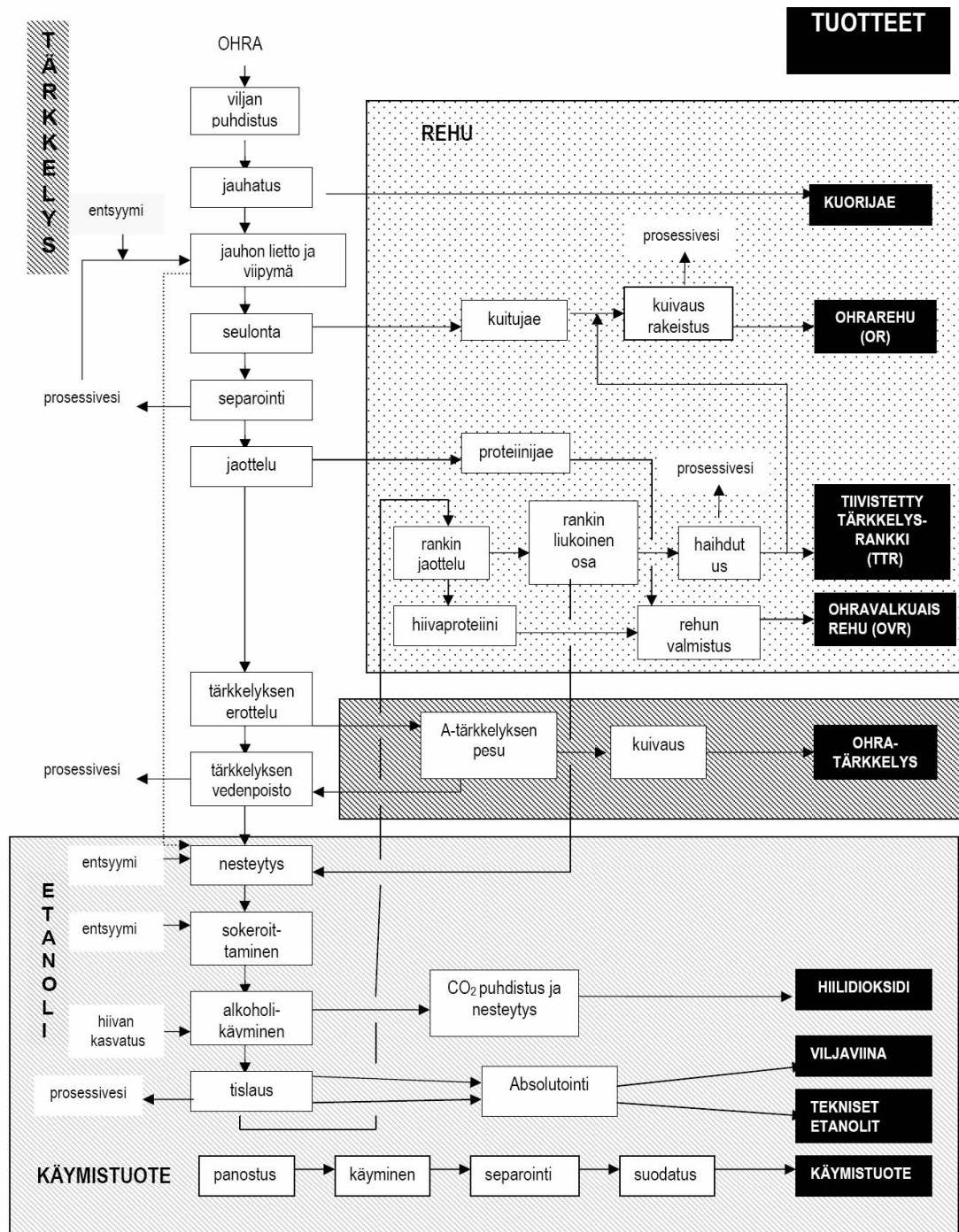
Beetaglukaanin märkäerotusmenetelmät perustuvat yleensä kuumavesiuuttoon emäksisissä tai happamissa olosuhteissa. Stabiilin korkeaviskoosisen beetaglukaanirikasteen tuotanto vaatii entsyymien inaktivoinnin ennen uuttoa (Burkus ja Temelli 1998; Brennan ja Cleary 2005). Ohraraaka-aineen entsyymit inaktivoidaan yleensä jauhun lämpökäsittelyllä tai vesi-etanoliseoksessa keittäen (Brennan ja Cleary, 2005). Keittäminen voi kuitenkin nostaa uutteen tärkkelyspitoisuutta (Burkus ja Temelli 1998). Tällöin voidaan käyttää lämpöstabiilia  $\alpha$ -amylaasia, joka minimoi tärkkelyskontaminaation beetaglukaanin myöhemmissä puhdistusvaiheissa (Ahmad ym. 2009).

Temelli (1997) tutki kuumavesiuuton lämpötilan (45–55 °C) ja pH:n (7–10) vaikutusta beetaglukaanin talteenottoon ja puhtauteen. Korkein talteenottoaste (87 %) saavutettiin 55 °C:een lämpötilassa ja pH:ssa 7–8. Beetaglukaanin uutuminen saattaa olla tehokkaampaa emäksisissä olosuhteissa, mutta korkeassa pH:ssa myös proteiinit saattavat uuttua beetaglukaanin mukana (Beer ym. 1997; Temelli 1997; Burkus ja Temelli 1998). Esimerkiksi 55 °C:ssa ja pH:ssa 10 suoritettu uuttoa johti 45 %:n beetaglukaani- ja 27 %:n proteiinipitoisuuksiin (Burkus ja Temelli 1998). Proteiinit voidaan kuitenkin saostaa pois säätämällä pH happamaksi, esimerkiksi pH 4,5:een (Temelli 1997). Emäksiset olosuhteet saattavat alentaa tuotteen viskositeettiominaisuuksia (Ahmad ym. 2009). Happamat olosuhteet puolestaan tekevät tuotteesta epästabiilin, koska entsyymit toimivat tehokkaammin happamissa olosuhteissa (Burkus and Temelli 1998).

Ohran märkäprosessoinnissa keskitytään useimmiten beetaglukaanin tai tärkkelyksen puhdistukseen ja talteenottoon. Märät prosessointimenetelmät ovat yleensä kuivia kalliimpia. Ne kuluttavat kuivauksen myötä runsaasti energiaa, mikäli lopputuote on kuiva. Märkäprosessointi voi kuitenkin olla kannattavaa, jos prosessin seuraavassa vaiheessa materiaali lietettäisiin joka tapauksessa veteen, eikä tuotetta kuivata. Kun tavoitteena on hyvin puhtaan rikasteen valmistus, märkäprosessointi on usein ainut vaihtoehto. Koko prosessin kannattavuutta voidaan kuitenkin nostaa esirikastaen haluttu komponentti ensin kuivana (esim. seulomalla tai ilmaluokittelemalla), jonka jälkeen suoritetaan lopullinen rikastus märkämenetelmällä.

Suomessa ohratärkkelystä valmistaa Altian Koskenkorvan tehdas. Tehtaassa on yhdistetty rehun-, tärkkelyksen- ja etanolintuotanto (kuva 10). Prosessi perustuu ohrajauhon liettämiseen veteen ja entsyymihydrolyysiin. Lietteestä seulotaan hydrolysoitumaton kuoripitoinen kuitujae, josta valmistetaan rehuraaka-ainetta. Tärkkelys- ja proteiinipitoinen osa fraktioidaan proteiini- ja tärkkelysrikkaiksi jakeiksi toisen seulontakierroksen avulla. Saatu proteiinijae käytetään rehuraaka-aineena ja tärkkelysjae erotellaan korkealaatuiseksi ohratärkkelykseksi (kuivataan A-tärkkelykseksi). Sivuvirtana syntyvä heikompileatuinen tärkkelysliete käytetään hiivan avulla etanoliksi (Perttu 2008). Ohratärkkelyksen valmistus on symbioosissa etanolin ja rehuntuotannon kanssa, jolloin myös tislausjäte päättyy rehun raaka-aineeksi, eikä prosessista synny jätevesien lisäksi muita sivuvirtoja.

Ohran mäsääminen vierteeksi panimoprosessissa on myös eräänlainen märkäfraktiointi. Mäsäyksessä maltaassa olevat entsyymit aktivoituvat ja vierteeseen liukenee suurin osa tärkkelyksestä sekä liukoinen ravintokuitu. Mäsäysjäte (*brewer's spent grain*) sisältää pääasiassa liukenemattomia osia jyvistä, mm. ligniiniä, selluloosaa ja kivennäisaineita. Mäsäyksen ja käymiskelpoisten sokerien saantoa voidaan parantaa käyttämällä entsyymivalmisteita, jotka lisäävät liukenevien pääasiassa hiilihydraattiperäisten komponenttien määrää vierteessä.



**Kuva 10.** Altian Koskenkorvan tehtaan tärkkelys- ja etanoliprosessi Kuva: Pöyry Environment Oy (2012).

### 3 KOKEELLINEN TUTKIMUS

Tutkielman kokeellisessa osassa oli tavoitteena tutkia eri alkuperää edustavien ohralajikkeiden ravintoainekoostumusta sekä elintarviketeknologisesti tärkeiden komponenttien pitoisuuksia ja jakautumista kuivamenetelmin erotelluissa jakeissa. Erityisesti tarkasteltiin eri ohralajikkeiden beetaglukaanin jakautumista ja rikastumista jakeissa.

Eri ohralajikkeiden hiontakestävyudet määritettiin ennen tutkielman varsinaista kokeellista osaa. Kokeellisessa osassa hionta-aika vakioitiin 60 sekuntiin perustuen hiontakestävyyskokeiden tuloksiin. Vakioidusta hionta-ajasta ja käsittelymenetelmästä huolimatta eri lajikkeet hioutuivat eri tavalla, joten hionta-aika valittiin eniten ja vähiten hioutuneiden näytteiden väliltä, niin että kaikista lajikkeista saatiin poistettua suurin osa kuoresta. Tavoitteena oli poistaa vain jyvän kuoriosan ja vahingoittaa mahdollisimman vähän endospermiä. Näin pyrittiin minimoimaan beetaglukaanin joutuminen hiontajakeeseen.

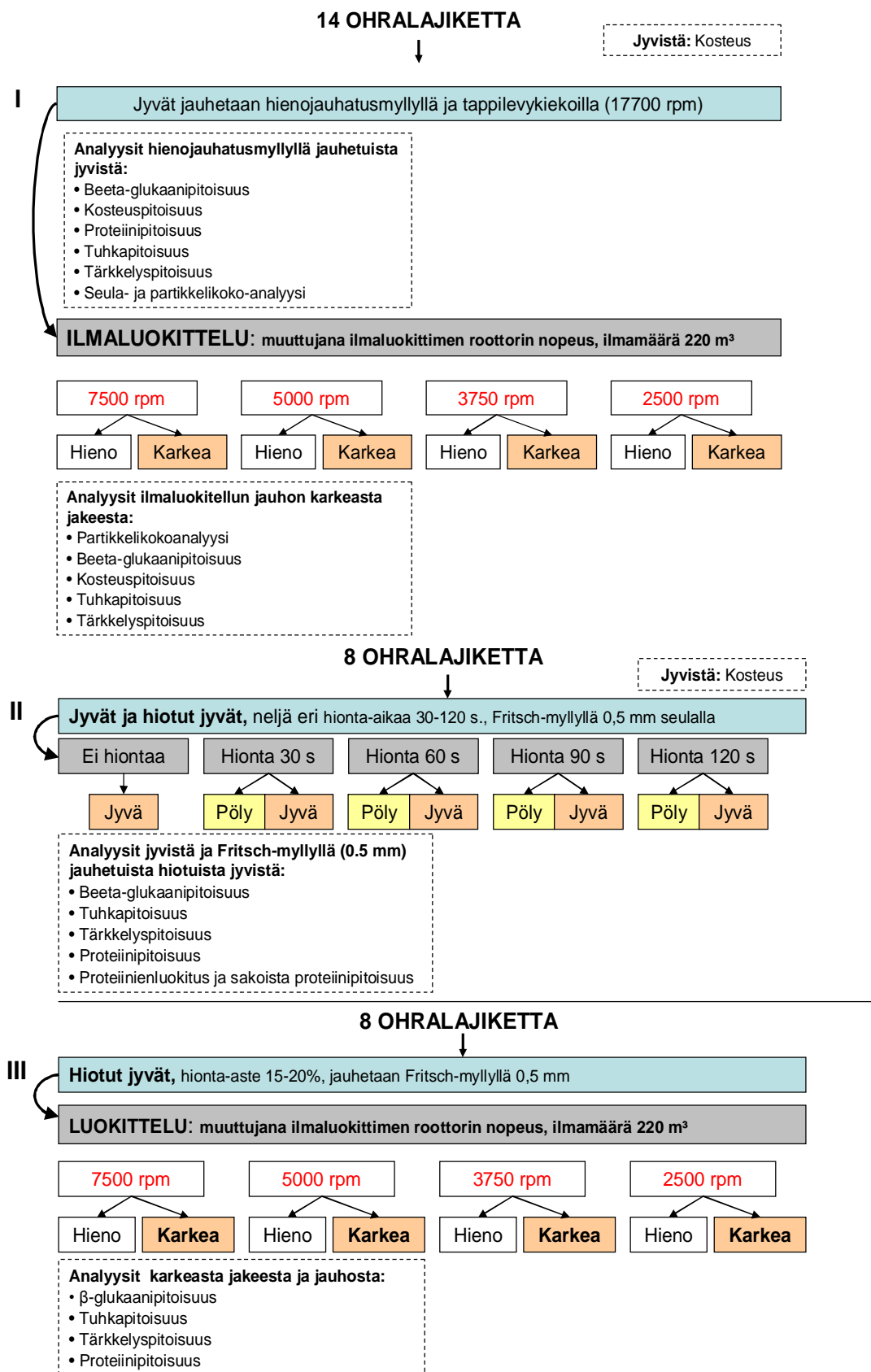
#### 3.1 Materiaalit ja menetelmät

Kokeellinen osuus koostui kolmesta osakokonaisuudesta (kuva 11), joissa eri ohranäytteitä käsiteltiin mahdollisimman samankaltaisissa olosuhteissa ja samoin menetelmin:

- kokojyvien prosessointi
- jyvien hionta
- hiottujen jyvien jatkoprosessointi.

Erityishuomio kiinnitettiin siihen, miten hionta vaikutti jyvien koostumukseen sekä jauhettujen ja eritavoin erotettujen jakeiden koostumukseen.





**Kuva 11.** Kokeellisen osan koesuunnitelma, I: 14 ohralajikkeen jauhatus- ja ilmaluokittelukokeet. II: Kahdeksan ohralajikkeen hiontakokeet. III: Hiottujen kahdeksan ohralajikkeen ilmaluokittelukokeet.

### 3.1.1 Lajikkeet

Tutkitut ohranäytteet olivat peräisin Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamasta kaksi-vuotisesta tutkimushankkeesta: ”Ohran kehittäminen taloudellisten elintarvikeprosessien raaka-aineeksi” (2007–2009). Tutkitut lajikkeet edustivat lajiketyypeittäin ryhmiteltynä: erikois-, tärkkelys- ja rehuohria (taulukko 2). Kymmenestä lajikkeesta seitsemästä oli mukana eri kasvupaikoilla tai eri satovuosien eriä. Kuudesta lajikkeesta oli mukana eri vuosien sadot. Viisi lajiketta oli eri kasvupaikoilta.

**Taulukko 2.** Työn eri vaiheissa käytetyt kymmenen ohralajiketta (19 näytettä) koodattuna kirjaimin A-J ja ryhmiteltynä lajiketyypeittäin sekä kuvaus lajikkeen käyttötarkoituksesta tai erityispiirteestä ja tähkätyypistä.

Lajike- tyyppi	Lajike <sup>a</sup>	Lajikkeen käyttötarkoitus tai erityispiirre <sup>b</sup>	Tähkä- tyyppi <sup>c</sup>
Erikois- ohra	A 2006 FIN	vahalajike, korkea amylopektiinipitoisuus	2
	A 2005 SWE	vahalajike, korkea amylopektiinipitoisuus	2
	B 2006 FIN	amyloosi- ja $\beta$ -glukaanipitoisuus	2
	C 2006 FIN	vahalajike, korkea amylopektiinipitoisuus	2
	C 2007 FIN	vahalajike, korkea amylopektiinipitoisuus	2
	D 2007 FIN	$\beta$ -glukaanipitoisuus	2
Rehu- tärkkelys- ohra	E 2007 FIN	tärkkelysohra	M
	E 2006 NOR	tärkkelysohra	M
	F 2007 FIN <sup>a</sup>	rehu-, tärkkelysohra	M
	F 2007 FIN <sup>b</sup>	rehu-, tärkkelysohra	M
Mallas- ohra	G 2006 FIN	rehu-, tärkkelys-, entsyymi-, mallasohra	2
	G 2007 FIN <sup>a</sup>	rehu-, tärkkelys-, entsyymi-, mallasohra	2
	G 2007 FIN <sup>b</sup>	rehu-, tärkkelys-, entsyymi-, mallasohra	2
	H 2006 FIN	rehu-, entsyymi-, mallasohra	2
	H 2007 FIN	rehu-, entsyymi-, mallasohra	2
	I 2006 FIN	entsyymi-, mallasohra*	2
	J 2006 FIN	mallasohra*	2
	J 2007 FIN	mallasohra*	2
	J 2006 SWE	mallasohra*	2

a) A - J = Lajike; satovuosi; viljelymaa ja a tai b kun on kyseessä eri viljelyalue saman satovuoden aikana.

b) \* = Ei ole virallinen mallasohralajike Suomessa.

c) 2 = Kaksitahoinen; M = monitahoinen.

Lajikkeiden tyypitys perustuu keskimääräisissä olosuhteissa saadun ohrasadon todennäköisimpään käyttötarkoitukseen. Markkinatilanteet ja kasvuolosuhteet sekä sadon laatu vaikuttavat kuitenkin esimerkiksi maltaaksi tarjottavan ohran määrään ja ostettavan ohran laatuvaatimukseen. Lajikkeen lopullinen käyttötarkoitus saattaa olla jokin muu kuin

oli alun perin ajateltu, joten taulukossa 2 on monien lajikkeiden kohdalla lueteltu useampia mahdollisia käyttötarkoituksia.

### **3.1.2 Näytteiden koostumusanalyysit**

Ohranäytteistä määritettiin beetaglukaani-, proteiini-, tuhka- ja tärkkelyspitoisuudet. Proteiinit luokiteltiin liukoisuuden mukaan ja eri proteiiniluokkien pitoisuudet määritettiin. Lisäksi näytteistä analysoitiin kosteuspitoisuus ja partikkelikoko, joka määritettiin sekä seula-analyysillä että laserdiffraktiolla. Näytteiden valmistuksessa ja analysoinnissa käytetyt laitteet ja välineet on esitetty liitteessä 1.

#### **Beetaglukaanipitoisuus**

Näytteiden beetaglukaanipitoisuudet määritettiin fluorometrisesti, menetelmien (E56/5, E88/5, E148/3 ja E202/3) mukaisesti (Analytica-EBC 1987). Menetelmällä voidaan määrittää (1→3)(1→4)-β-D-glukaanipitoisuus ohrasta, maltaasta, vierteestä tai oluesta. Näytteen sisältämä beetaglukaani uutettiin laimeaan happoliuokseen. Analysaattorissa ajoliuoksen sisältämä Calcofluor-reagenssi reagoi näytteen sisältämän beetaglukaanin kanssa muodostaen kompleksin, jonka fluoresenssi mitattiin UV-valon avulla. Beetaglukaanianalysaattori oli malliltaan Tecator, Carlsberg System β-GLUCAN 5700 Analyzer (Foss Instruments, Ruotsi). Analysaattorin kalibroinnissa käytettiin standardiliuosta (ohran beetaglukaani, 300 mg/l, Scandinavian Brewery-Laboratory, erä: 019-011-02). Näytteiden beetaglukaanipitoisuuksista laskettiin kolmen rinnakkaisen näytteen keskiarvot sekä niille 95 %:n luottamusvälit.

#### **Kosteus- ja tuhkapitoisuus**

Näytteiden kosteus- ja tuhkapitoisuudet määritettiin AACC 44–15 ja 08-01 menetelmien mukaisesti (AACC 1981a,b). Kosteuspitoisuus määritettiin näytteiden painohäviönä, pitämällä niitä uunissa 130 °C:ssa 2 h ajan. Tuhkapitoisuudet määritettiin painohäviönä kuumennuskäsittelyssä, jossa vesi ja kaikki orgaaninen aines poistetaan pitämällä näytteitä muhveliuunissa 650 °C:ssa 18 h ajan. Kosteus- ja tuhkapitoisuudet laskettiin kahden rinnakkaisen näytteen keskiarvona kaavalla [1] (liite 2 a).

## Proteiinipitoisuus

Näytteiden proteiinipitoisuudet määritettiin Kjeldahl-menetelmällä AACC 46–12 (AACC 1981). Tyypianalysointilaitteena oli Kjeltech 2300 Analyzer Unit (FOSS Analytical AB, Ruotsi). Näytteen sisältämä typen määrä analysoitiin hajottamalla proteiinit rikkihapolla ammoniumsulfaatiksi ja muuttamalla tämä lipeällä ammoniumhydroksidiksi. Ammoniumhydroksidin tislauksessa vapautuva ammoniakki sitoutui boorihappoon, josta ammoniakkipitoisuus määritettiin titraamalla. Näytteen proteiinipitoisuus kuiva-aineessa määritettiin kolmen rinnakkaisen näytteen keskiarvona kaavalla [2] (liite 2 b). Analysoitu typpi-pitoisuus (N) muutettiin proteiinipitoisuudeksi käyttämällä kerrointa 6,25.

## Proteiiniluokkien määrittäminen

Proteiinien uutot tehtiin Holopainen (2006) mukaan. Näytteiden sisältämät proteiinit uutettiin järjestyksessä suola-, propanoli-, propanoli-DTT- ja näytekuriliukoiset proteiinit. Suolaliukoiset proteiinit uutettiin näytteistä kaksi kertaa 0,5 M NaCl-mQ-vesiseoksella, joka sisälsi proteaasi-inhibiittoria (Complete Mini 11 836 1535 001, Lot 12781000, Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany). Tämän jälkeen uutettiin kerran mQ-vedellä, joka kaadettiin pois. Propanoliliukoisia C- ja B-hordeiineja uutettiin näytteistä kaksi kertaa 50 %:lla 1-propanoli-mQ-vesiseoksella. Seokseen lisättiin 1 % pelkistävää ditiotreitolia (DTT), jolloin osa D-hordeiineista uutettiin B-hordeiinien lisäksi. Lopuksi näytteestä uutettiin niukkaliukoisimmat B- ja D-hordeiinit SDS-PAGE -näytekurilla.

Proteiinien uutossa käytettiin 2,0 ml:n mikrosentrifugiputkia, joihin punnittiin 150 mg näytettä. Putkia sekoitettiin voimakkaasti koeputkiravistelijalla heti uuttoliuosten lisäämisen jälkeen. Välittömästi tämän jälkeen putket laitettiin tasoravistelijaan. Uuttolämpötilat olivat 21 ja 60 °C:ta. Uuttamisen jälkeen putkia sentrifugoitiin (20800 g, 4 °C, 10 min), jonka jälkeen supernatantti pipetoitiin huolellisesti talteen. Ennen analysointia propanolia sisältävät uutteen säilytettiin -80 °C:n ja muut uutteen -20 °C:n lämpötilassa näytteissä tapahtuvien muutosten minimoimiseksi.

Suola-, propanoli-, propanoli-DTT- ja näytekuriiuotteiden proteiinipitoisuudet määritettiin 2 D Quant -proteiininmäärityskitillä spektrofotometrisesti Holopainen (2007) mukaan. Spektrofotometrinen menetelmä perustui aallonpituudella 480 nm havaittavan valon pidättäytymiseen aineeseen eli intensiteetin laskuun proteiinipitoisuuden kasvaessa.

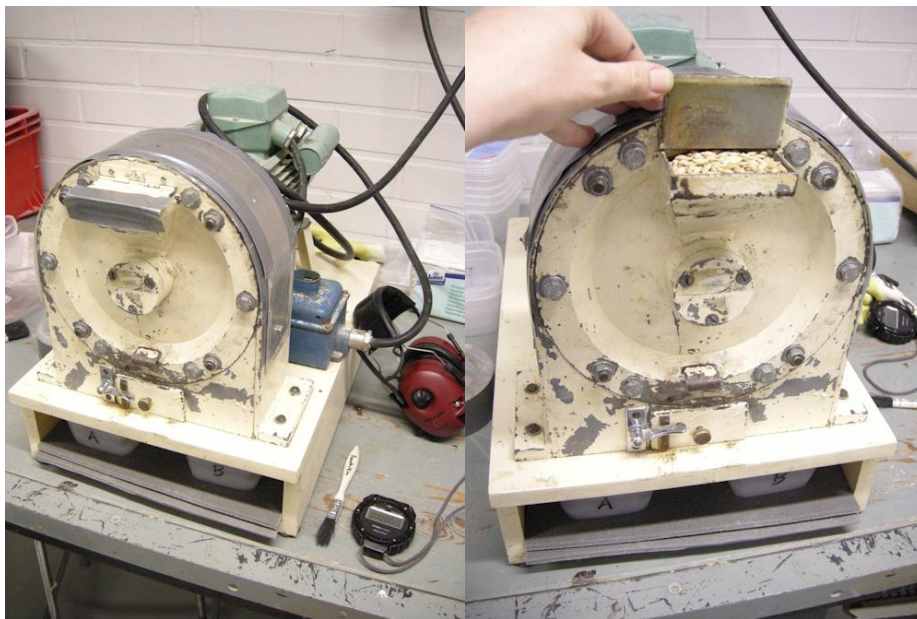
Spektrofotometrimittauksissa käytettiin naudan albumiinista tehtyä kalibrointisarjaa. Proteiinipitoisuus mitattiin kolmesta rinnakkaisesta näytteestä, joista laskettiin keskiarvo.

### Tärkkelyspitoisuus

Näytteiden tärkkelyspitoisuudet määritettiin Megazyme-menetelmän mukaan entsyymaattispektrofotometrisesti (McCleary ym. 1994a,b). Menetelmässä näyte liuotetaan puskuriliuokseen ja tärkkelys pilkotaan  $\alpha$ -amyloosilla ja amyloglukosidaasilla glukoosiksi. Liuoksen glukoosipitoisuus määritetään kolorimetrisesti glukoosioksidaasi-peroksidaasi-reagenssilla. Tärkkelyspitoisuudet laskettiin kolmen rinnakkaisen näytteen keskiarvona.

#### 3.1.3 Hionta

Hiontalaite (kuva 12) oli VTT:lle tutkimuskäyttöön valmistettu erikoislaite (Myllymäki 2009, suullinen tiedonanto). Laite koostui sähkömoottoriin horisontaalisesti laakeroidusta akselistasta, jolle oli kiinteästi asennettu kaksi hiomakiveä rinnakkain. Hiomakivet pyörivät vakionopeudella eli pyörimisnopeutta ei voinut säätää. Hiottavan materiaalin hioutuminen aiheutui hiomakivien sekä jyvien hankautumisesta toisiinsa sekä siitä seuraavasta jyvien jatkuvasta liikkeestä pienisilmäisen verkon ja laitteen tukirakenteiden rajoittamassa lieriössä. Ohranjyvien hionta-aste laskettiin kaavalla [3] (liite 2c).



**Kuva 12.** Hiontalaite panostettuna. Kuva: VTT.

Ohranjyvien hionta suoritettiin panosperiaatteella 100,0 gramman erissä. Jyvät ladattiin hiontalaitteen täyttöaukosta ja luukku suljettiin tiiviisti ennen laitteen käynnistämistä.

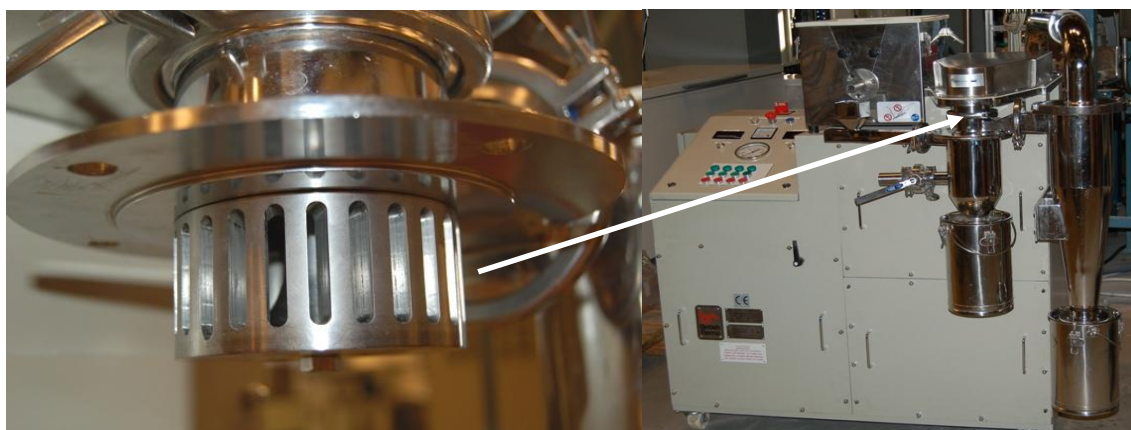
Luukun kiinnitysymisen ja avattavan kuoren tiivyyden varmistamiseksi käytettiin kudosteippiä. Kudosteipin tehtävänä oli myös vähentää ilmaan leviävän pölyn määrää. Hionta-aika (s) mitattiin laitteen käynnistyksestä sammutukseen. Hiottu jyvät kerättiin laitteen ulostuloaukosta muovisiin pakastusrasioihin ja eroteltiin seulaverkon päällä muista aineksista mm. irronneista alkioista sekä helpeistä.

### 3.1.4 Jauhaminen

Jyvien ja hiottujen jyvien jauhaminen ilmaluokittelua ja analyysejä varten suoritettiin 100 UPZ-Ib myllyllä (Hosokawa Alpine AG, Saksa). Materiaalin partikkelikokoon voitiin vaikuttaa kierrosnopeutta, seulakokoa, tappilevyjen etäisyyttä ja annostelunopeutta muuttamalla. Tässä työssä jauhamisessa käytettiin maksiminopeutta 17 700 kierrosta minuutissa, seulakokoa 0,5 mm ja normaalia etäisyyttä tappilevyjen välillä. Syöttölaitteen DR100 (Retsch GmbH, Saksa) värähtelynopeus oli 1/40 s. Jauhetut kokojyvät ilmaluokiteltiin pääsääntöisesti heti jauhamispäivänä, muutoin jauhot säilytettiin -18 °C:ssa. Pakastimessa säilytetyt jauhot temperoitiin huoneenlämpötilaan ja sekoitettiin huolellisesti ennen pakauksen avaamista ja jatkokäsittelyä tasaisen kosteuspitoisuuden takaamiseksi.

### 3.1.5 Ilmaluokittelu

Ilmaluokittimena käytettiin tutkimuskäyttöön sekä pienen mittakaavan tuotantoon soveltuvaa Minisplit Classifier -ilmaluokitinta (British Rema Manufacturing Company Ltd, Iso-Britannia) (kuva 13). Ilmaluokittelu suoritettiin neljällä eri roottorin pyörimisnopeudella: 2 500, 3 750, 5 000 ja 7 500 rpm. Ilmaluokittimen läpikulkeva ilmamäärä pidettiin vakiona (220 m<sup>3</sup>/h). Näytteet syötettiin ilmaluokittimeen käyttäen ruokalusikkaa, koska näytemäärät olivat liian pieniä ilmaluokittimen syöttölaitteelle.



**Kuva 13.** Ilmaluokittelulaite ja sen sisältä löytyvä roottori (vas.). Nuoli osoittaa roottorin paikan laitteen sisällä. Kuva: VTT.

### 3.2 Tulokset

Erot näytteiden beetaglukaanipitoisuuksissa olivat pääosin pieniä (taulukko 3). Vaha- eli korkean amylopektiinipitoisuuden lajikkeiden beetaglukaanipitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin rehu-, tärkkelys- tai mallasohratyyppisten lajikkeiden (5,4–5,9 % vs. 3,7–5,3 %). Korkein beetaglukaanipitoisuus (9,4 %) määritettiin näytteestä D, joka oli kehitysvaiheessa oleva beetaglukaanirikas lajike. Tämän lajikkeen tärkkelyspitoisuus oli vastaavasti 10–20 % muita lajikkeita alhaisempi.

Kokojyvänäytteiden välillä ei havaittu merkittäviä eroja proteiinipitoisuuksissa. Lajikkeen D proteiinipitoisuus oli 14,9 %, joka oli hieman korkeampi kuin muissa näytteissä. Alhaisin proteiinipitoisuus (11,1 %) määritettiin näytteestä F 2007 FINa (taulukko 3). Korkein tuhkapitoisuus (3,0 %) oli näytteissä D ja E 2007 FIN. Alhaisin pitoisuus 1,9 % oli näytteessä E 2006 NOR. Näytteiden kosteuspuitoisuudet vaihtelivat 7,2–8,6 %:n välillä.

**Taulukko 3.** Kokojyväjauhojen koostumus (%) kuiva-aineesta. Ohran lajiketyyppi viittaa näytteen todennäköiseen käyttötarkoitukseen ja lajikekoodi kertoo satovuoden sekä viljelypaikan. Beetaglukaani-, proteiini- ja tärkkelyspitoisuudet kolmen rinnakkaisen tuloksen ja tuhkapitoisuus kahden rinnakkaisen tuloksen keskiarvona. Virherajat kuvaavat 95 % luottamusväliä.

Lajike- tyyppi	Lajike	Beetaglukaani- pitoisuus (%)	Proteiini- pitoisuus (%)	Tärkkelys- pitoisuus (%)	Tuhka- pitoisuus (%)
Erikois- ohra	A 2005 SWE	5,9 ± 0,1	13,7 ± 0,1	56,3 ± 0,5	2,6 ± 0,0
	A 2006 FIN	5,4 ± 0,2	13,4 ± 0,0	55,2 ± 0,4	2,5 ± 0,0
	D 2007 FIN	9,4 ± 0,6	14,9 ± 0,0	44,5 ± 0,5	3,0 ± 0,1
Rehu- tärkkelys- ohra	E 2006 NOR	5,3 ± 0,1	12,7 ± 0,0	57,3 ± 0,5	1,9 ± 0,0
	E 2007 FIN	4,0 ± 0,0	11,4 ± 0,1	58,7 ± 0,4	3,0 ± 0,0
	F 2007 FINa	3,8 ± 0,1	11,1 ± 0,0	61,8 ± 0,7	2,5 ± 0,0
	F 2007 FINb	3,7 ± 0,2	11,3 ± 0,0	59,2 ± 1,0	2,9 ± 0,1
Mallas- ohra	G 2006 FIN	4,8 ± 0,1	12,6 ± 0,1	57,9 ± 0,8	2,6 ± 0,0
	G 2007 FINa	4,0 ± 0,2	12,4 ± 0,0	57,8 ± 0,5	2,7 ± 0,1
	G 2007 FINb	4,3 ± 0,2	11,5 ± 0,0	59,8 ± 0,2	2,6 ± 0,0
	H 2007 FIN	4,9 ± 0,1	12,0 ± 0,0	60,6 ± 0,4	2,4 ± 0,0
	J 2006 SWE	3,9 ± 0,1	11,5 ± 0,1	63,1 ± 0,6	2,3 ± 0,0
	J 2006 FIN	4,1 ± 0,1	11,8 ± 0,1	62,7 ± 0,4	2,4 ± 0,0
	J 2007 FIN	4,6 ± 0,2	11,5 ± 0,0	62,2 ± 0,8	2,8 ± 0,1

### 3.2.1 Jyvien jauhautuvuus ja kokojyväjauhon ilmaluokittelu

Tappimyllyllä jauhettujen jauhojen partikkelikokojakauma oli kaikilla näytteillä bimodaalinen eli jakaumassa näkyi kaksi huippua (liite 3, kuvat 1 ja 2). Tämä tuli esille sekä seula-analyyseissä että Coulter-analyssaattorilla tehdyissä partikkelikokomäärityksissä. Seula-analyysin perusteella huiput sijaitsivat partikkelikokoalueilla  $< 95 \mu\text{m}$  ja  $180\text{--}355 \mu\text{m}$  (liite 3, kuva 1). Partikkelikokoanalyssaattorilla tehdyn analyysin perusteella vastaavat huiput sijaitsivat partikkelikokoalueilla  $10\text{--}40 \mu\text{m}$  ja  $100\text{--}1000 \mu\text{m}$  (liite 3, kuva 2). Beetaglukaanirikas lajike D poikkesi jauhautuvuudeltaan muista. Näytteessä oli muihin lajikkeisiin verrattuna huomattavasti vähemmän pienen kokoluokan  $< 40 \mu\text{m}$ :n partikkeleita. Vastaavasti kyseisessä näytteessä oli huomattavasti muita näytteitä enemmän isoja  $500\text{--}600 \mu\text{m}$ :n partikkeleita. Tärkkelysohratyypisellä lajikkeella E, pienimmät partikkelit olivat  $5\text{--}10 \mu\text{m}$  muita näytteitä isompia ja mallasohratyypinen lajikkeella J esiintyi muita näytteitä selvemmin pieni kolmas huippu partikkelikokoalueella  $50\text{--}80 \mu\text{m}$ .

#### Hienojauhatusmyllyllä jauhettujen kokojyvien karkea jae

Ilmaluokittelussa roottorin kierrosnopeudella pystyttiin säätämään partikkeleiden jakautumista karkeaan ja hienoon jakeeseen. Mitä suurempi oli roottorin pyörintänopeus, sitä pienempi osa partikkeleista kulkeutui hienoon jakeeseen, koska roottorin säleiden muodostama hila-aukko kapeni pyörimisnopeuden kasvaessa. Hitaimmalla pyörimisnopeudella (2500 rpm) kokojyväjauhon massasta luokittui noin 25 % karkeaan jakeeseen (kuva 1, liite 4). Suurimmalla pyörimisnopeudella (7500 rpm) ohrajauhasta luokittui noin 75 % karkeaan jakeeseen.

Eri ohratyypien välillä ei havaittu selkeää systemaattista eroa jauhon jakautumisessa karkeaan ja hienoon jakeeseen. Beetaglukaanirikkaalla lajikkeella D karkean jakeen saanto oli luokittimen hitailla roottorinopeuksilla selkeästi muita näytteitä suurempi (30 %). Nopeilla pyörimisnopeuksilla ero kuitenkin tasoittui. Mallasohratyypisellä lajikkeella J karkean jakeen saanto oli osittain muita näytteitä alhaisempi (13 %, roottorinopeudella 2500 rpm). Kasvupaikka- ja satovuosivaihtelut olivat tällä näytteellä kuitenkin niin suuria, ettei kyse ollut välttämättä lajikekohtaisesta ominaisuudesta.



## **Karkeiden jakeiden partikkelikokojakaumat**

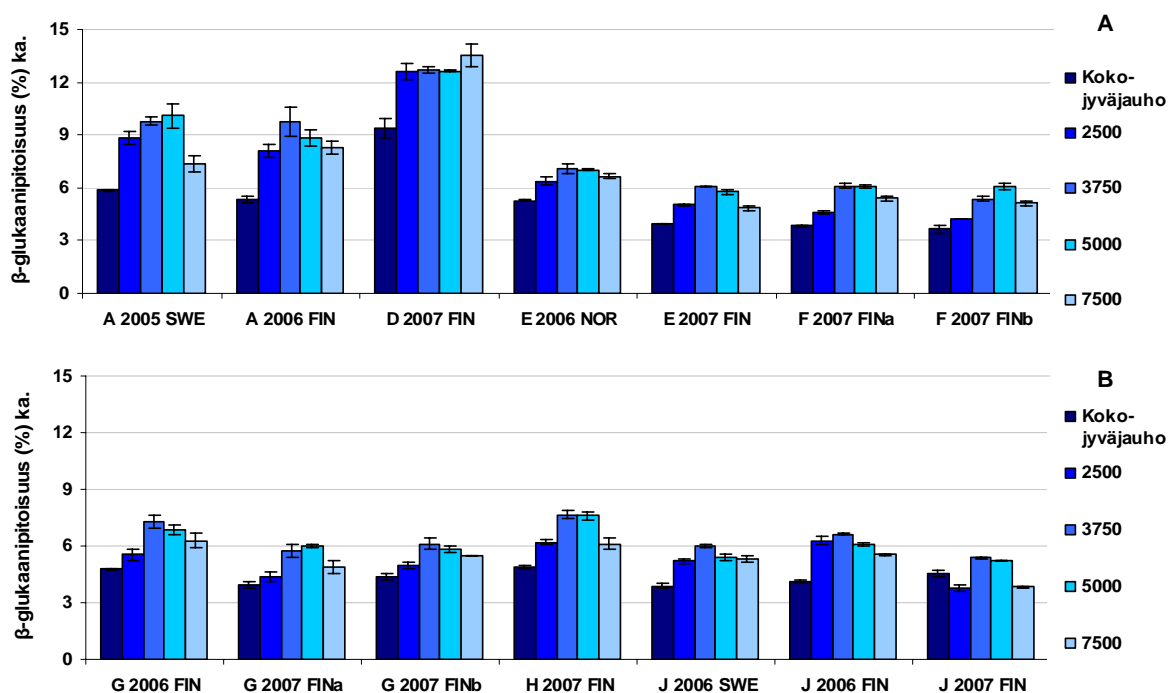
Hitaimmalla ilmaluokittimen roottorinopeudella (2500 rpm) hienojauhatusmyllyllä jauhe-  
tusta jauhosta saadussa karkeassa jakeessa oli havaittavissa tilavuusosuudeltaan alle yksi  
prosentti  $< 100 \mu\text{m}$ :n partikkeleita. Hienoimmat partikkelit olivat siis erottuneet tarkasti  
eroon karkeasta jakeesta (kuva 1, liite 5). Nopeammilla kierrosnopeuksilla  $< 100 \mu\text{m}$   
partikkeleiden tilavuudellinen osuus nousi noin kahteen prosenttiin. Kun roottorinopeus oli  
7 500 rpm, karkea jae muistutti tilavuudelliselta partikkelikokojakaumaltaan alkuperäistä  
luokittelematonta kokojyväjauhoa (ks. kuva 2, liite 3 ja kuva 4, liite 5). Tämä selittyi sillä,  
että suurin osa hienoista partikkeleista päätyi karkeaan jakeeseen ja vain kaikkein  
pienimmät partikkelit päätyivät hienoon jakeeseen.

Beetaglukaanirikkaasta lajikkeesta D ilmaluokitellut karkeat jakeet erosivat muiden  
näytteiden vastaavista jakeista. Lajikkeen D tilavuudellisen partikkelikokojakauman  
huippu oli roottorin pyörimisnopeudesta riippuen noin 500–700  $\mu\text{m}$ :n kohdalla kun  
tilavuudellisen partikkelikokojakauman huippukohdat pääosalla lajikkeista sijoittuvat 300–  
500  $\mu\text{m}$ :n välille (kuvat 1–4, liite 5). Tärkkelys- ja rehuohratyyppisillä lajikkeilla (E ja F)  
karkean jakeen tilavuudellinen partikkelikokojakauman huippu oli hieman muita  
pienempikokoisissa partikkeleissa ja sijoittui noin 200–300  $\mu\text{m}$ :n kohdalle.

## Karkeiden jakeiden beetaglukaanipitoisuudet

Ilmaluokittimen roottorinopeuksilla 2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm luokiteltujen karkeiden jakeiden beetaglukaanipitoisuudet olivat lähes kaikissa näytteissä suurempia kuin alkuperäisessä kokojyväjauhossa (kuva 14). Ainoastaan lajikkeen J 2007 FIN kierrosnopeuksien 2500 ja 7500 karkeiden jakeiden näytteissä oli kokojyväjauhoa pienempi beetaglukaanipitoisuus.

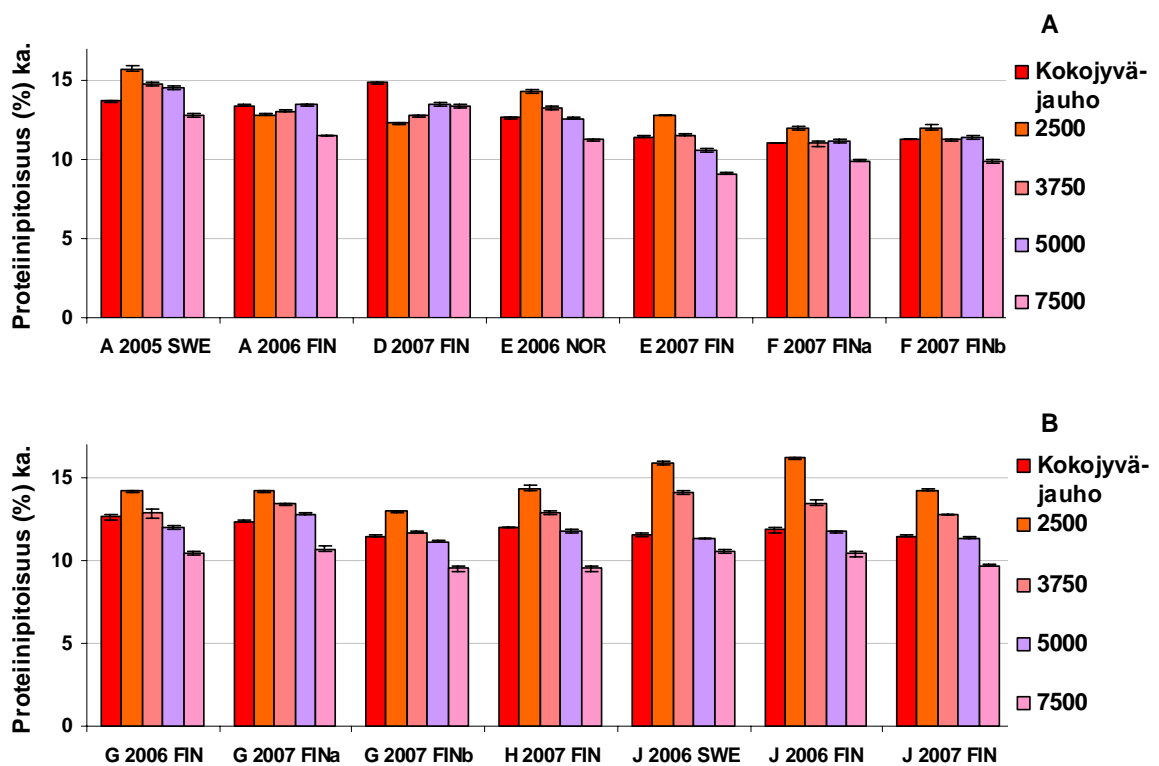
Kaikkein karkeimmassa, 2500 rpm kierrosnopeudella saadussa jakeessa beetaglukaanipitoisuus oli systemaattisesti pienempi kuin kierrosnopeuksilla 3750 ja 5000 rpm saaduissa karkeissa jakeissa. Kierrosnopeutta edelleen kasvatettaessa karkean jakeen beetaglukaanipitoisuus pieneni kaikilla muilla lajikkeilla paitsi lajikkeella D, jossa pitoisuus pysyi ennallaan tai kasvoi lievästi luokittimen roottorinopeuden kasvaessa.



**Kuva 14.** Erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden hienojauhatusmyllyllä jauhetun kokojyväjauhon sekä neljän kokojyväjauhosta luokitellun karkean jakeen beetaglukaanipitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

## Karkeiden jakeiden proteiinipitoisuudet

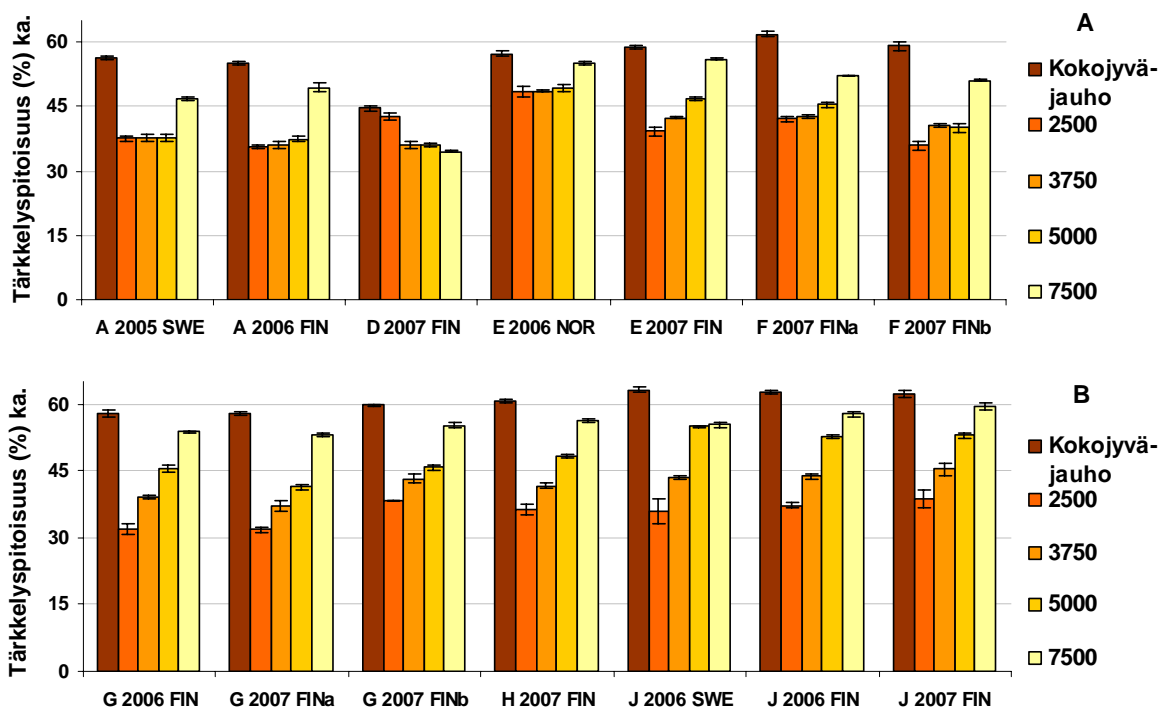
Ilmaluokittelun jälkeen proteiinipitoisuus oli pääsääntöisesti korkein kaikkein karkeimmassa jakeessa (kuva 15). Proteiinipitoisuus pieneni, kun karkean jakeen saanto kasvoi. Eniten proteiinipitoisuus kasvoi luokitteluprosessissa lajikkeella J 2006 FIN. Tällä lajikkeella proteiinipitoisuus nousi kokojyväjauhon noin 12 %:sta karkean jakeen noin 16 %:iin, kun ilmaluokittimen roottorinopeus oli 2500 rpm. Näytteiden A 2006, (amylopektiinirikas lajike) ja D 2007 (beetaglukaanirikas lajike) proteiinipitoisuus pysyi samana tai pieneni luokitteluprosessissa kokojyväjauhoon verrattuna.



**Kuva 15.** Erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden täysjyväjauhon sekä neljän täysjyväjauhosta luokitellun karkean jakeen proteiinipitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

## Karkeiden jakeiden tärkkelyspitoisuudet

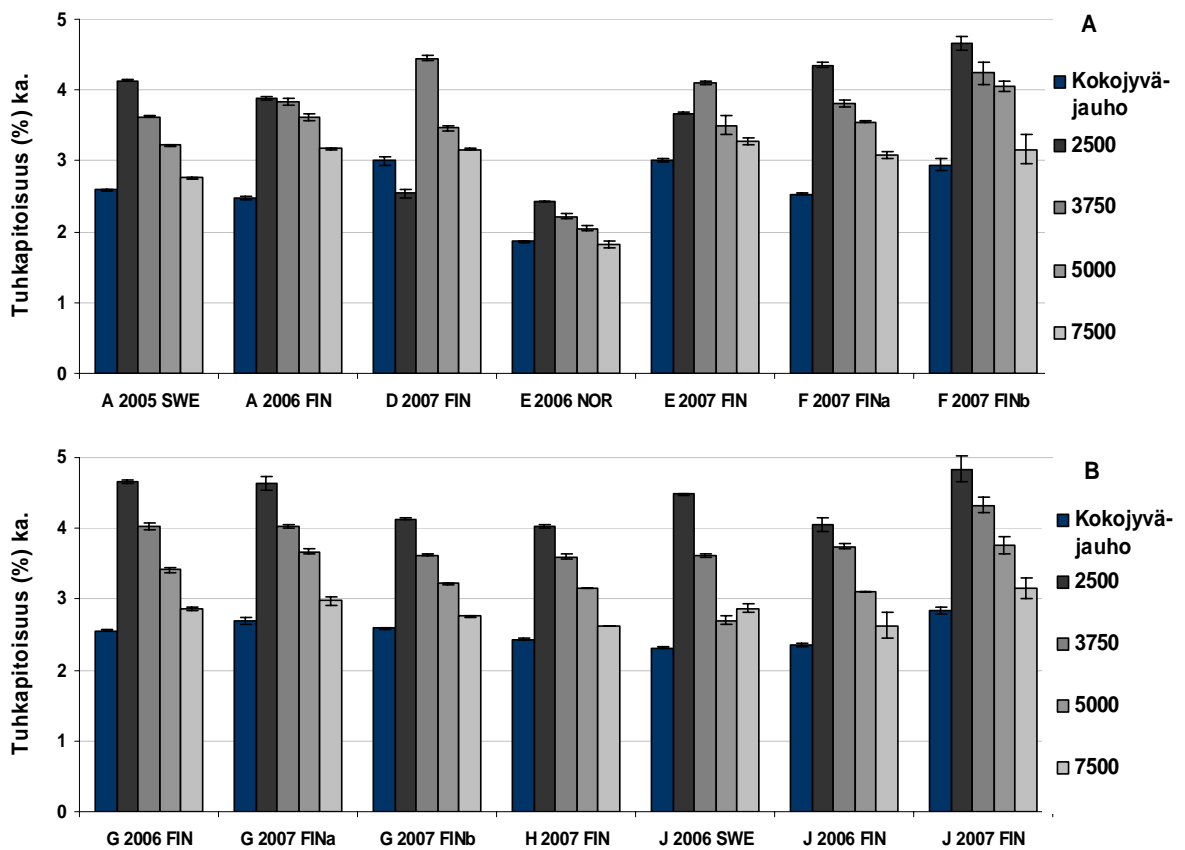
Tärkkelys rikastui ilmaluokittelussa systemaattisesti hienoon jakeeseen. Kaikilla näytteillä karkean jakeen tärkkelyspitoisuus oli matalampi kuin alkuperäisessä kokojvājauhossa. Vaikka karkeimmissa jakeissa ei ollut juuri alle 100  $\mu\text{m}$ :n partikkeleita (liite 5, kuvat 1–4), oli niissä noin 31,7–59,4 % tärkkelystä (kuva 16). Alhaisin tärkkelyspitoisuus karkeassa jakeessa oli lajikkeella G (2500 rpm) ja korkein lajikkeella J (7500 rpm).



**Kuva 16.** Erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden kokojvājauhon ja neljän kokojvājauhosta luokitellun karkean jakeen tärkkelyspitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

## Karkeiden jakeiden tuhkapitoisuudet

Tuhka eli kivennäisaineet rikastuivat lähes systemaattisesti kaikkein karkeimpiin jakeisiin. Melkein kaikissa näytteissä karkean jakeen tuhkapitoisuus oli korkeampi kuin kokojyväjauhon (kuva 17). Poikkeuksena olivat beetaglukaanirikas lajike D ja tärkkelysohratyypinen lajike E 2007 FIN, joilla suurimmat tuhkapitoisuudet (4,5 ja 4,1 %) analysoitiin 3750 rpm roottorinopeudella luokitellusta karkeasta jakeesta. Korkein tuhkapitoisuus (5,0 %) oli näytteen J 2007 FIN karkeimmassa jakeessa.



**Kuva 17.** Erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden kokojyväjauhon sekä neljän kokojyväjauhosta luokitellun karkean jakeen tuhkapitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa kahden tuloksen keskihajontaa.

### 3.2.2 Hionnan vaikutus ytimien ja hiontajakeen koostumukseen

Ohranjyvien hionta poisti jyvän pinnasta eri määrän kuorikerrosta eri lajikkeilla. Hiontaan vaikuttivat eniten jyvän muoto sekä kuorikerroksen paksuus ja kovuus. Kokeellisen osan toisessa vaiheessa oli mukana kahdeksan lajiketta. Tutkitut lajikkeet hioutuivat melko tasapuolisesti koko jyvän mitalta. Jyvien päädyt pyöristyivät sitä enemmän, mitä pidempi oli hionta-aika (kuva 18). Jyvien pinta muuttui valkoisemmaksi mitä pidempään sitä hiottiin. Tämä johtui siitä, että tärkkelysendospermi alkoi näkyä ohenevan kuorikerroksen alta.



**Kuva 18.** Stereomikroskoopin 12-kertaisella suurennoksella otetussa kuvassa ylhäältä vasemmalta: Beetaglukaanirikkaan lajikkeen D hiomaton jyvä sekä 30 s, 90 s ja 120 s ajan hiotut jyvät.

Näytteiden hionta-asteet vaihtelivat eri hionta-aikojen mukaan 10–45 %:n välillä (taulukko 4). Lyhyillä hionta-ajoilla (30 ja 60 s) erot eri lajikkeiden hionta-asteiden välillä olivat pieniä. Pidemmällä hionta-ajoilla (90 ja 120 s) näytteen C 2007 FIN havaittiin hioutuvan noin 30 % enemmän kuin saman lajikkeen eri kasvukauden näytteen C 2006 FIN.

**Taulukko 4.** Hionta-ajan (s) vaikutus eri ohralajikkeiden hionta-asteeseen (%), beetaglukaanipitoisuuteen (%) ja -saantoon (g), proteiinipitoisuuteen (%) ja -saantoon (g), tärkkelyspitoisuuteen (%) ja -saantoon (g) sekä tuhkapitoisuuteen (%) ka. Virherajat kuvaavat 95 % luottamusväliä.

Lajike	Hionta-aika (s)	Hionta-aste (%)	Beetaglukaani-pitoisuus (%) saanto (g)		Proteiini-pitoisuus (%) saanto (g)		Tärkkelys-pitoisuus (%) saanto (g)		Tuhka-pitoisuus (%)
B 2006 FIN	0	0	6,0 ± 0,1	6,0	12,7 ± 0,1	12,7	54,0 ± 1,4	54,0	2,8
	30	11,5	6,2 ± 0,2	5,5	13,2 ± 0,1	11,7	60,7 ± 0,5	53,7	1,9
	60	16,7	6,9 ± 0,7	5,7	12,8 ± 0,0	10,6	63,3 ± 0,6	52,8	1,5
	90	21,6	6,9 ± 0,1	5,4	12,1 ± 0,0	9,5	66,1 ± 0,3	51,8	1,2
	120	26,8	7,1 ± 0,2	5,2	11,7 ± 0,0	8,6	68,0 ± 0,6	49,7	1,1
C 2006 FIN	0	0	5,7 ± 0,1	5,7	12,5 ± 0,1	12,5	57,9 ± 0,8	57,9	2,5
	30	12,2	6,5 ± 0,5	5,7	12,8 ± 0,0	11,3	64,5 ± 0,1	56,7	1,6
	60	15,7	7,4 ± 0,2	6,2	12,0 ± 0,0	10,1	67,7 ± 0,5	57,1	1,3
	90	24,8	7,2 ± 0,3	5,4	11,4 ± 0,0	8,6	69,8 ± 0,3	52,5	1,1
	120	32,6	7,4 ± 0,4	5,0	10,8 ± 0,0	7,3	71,6 ± 0,2	48,2	1,0
C 2007 FIN	0	0	4,6 ± 0,1	4,6	10,1 ± 0,1	10,1	59,9 ± 0,7	59,9	2,2
	30	12,4	5,3 ± 0,2	4,6	10,0 ± 0,2	8,8	65,8 ± 0,2	57,7	1,9
	60	17,0	5,9 ± 0,3	4,9	9,7 ± 0,0	8,0	68,5 ± 0,3	56,8	1,6
	90	33,3	5,9 ± 1,0	3,9	9,3 ± 0,0	6,2	69,8 ± 0,2	46,5	1,3
	120	44,1	6,0 ± 0,3	3,4	8,9 ± 0,0	5,0	71,5 ± 0,4	40,0	1,2
D 2007 FIN	0	0	9,4 ± 0,5	9,4	14,9 ± 0,0	14,9	44,7 ± 0,4	44,7	3,0
	30	13,9	10,8 ± 0,8	9,3	15,5 ± 0,2	13,4	51,3 ± 0,6	44,2	2,1
	60	18,2	10,9 ± 0,3	8,9	15,1 ± 0,0	12,4	52,8 ± 0,7	43,2	2,0
	90	22,0	11,4 ± 0,4	8,9	15,0 ± 0,0	11,7	54,0 ± 0,2	42,1	1,8
	120	25,6	11,2 ± 1,0	8,3	14,8 ± 0,1	11,0	55,1 ± 0,3	41,0	1,7
E 2007 FIN	0	0	3,7 ± 0,0	3,7	11,4 ± 0,1	11,4	60,1 ± 0,9	60,1	3,0
	30	13,3	4,4 ± 0,1	3,8	11,5 ± 0,1	10,0	68,2 ± 1,0	59,1	1,9
	60	18,5	4,4 ± 0,2	3,6	11,1 ± 0,1	9,1	69,4 ± 0,6	56,5	1,7
	90	23,4	4,6 ± 0,0	3,5	10,7 ± 0,1	8,2	71,9 ± 0,3	55,1	1,5
	120	27,6	4,4 ± 0,2	3,2	10,1 ± 0,1	7,3	73,1 ± 0,4	52,9	1,4
F 2007 FINb	0	0	3,3 ± 0,1	3,3	11,3 ± 0,1	11,3	58,8 ± 0,5	58,8	3,1
	30	12,6	3,8 ± 0,3	3,3	11,2 ± 0,0	9,8	66,3 ± 0,4	58,0	2,2
	60	19,5	3,9 ± 0,1	3,1	10,6 ± 0,1	8,5	70,5 ± 0,8	56,8	1,9
	90	25,3	3,9 ± 0,1	2,9	10,2 ± 0,0	7,6	72,5 ± 0,5	54,1	1,8
	120	30,9	3,9 ± 0,2	2,7	9,9 ± 0,0	6,8	73,9 ± 0,2	51,1	1,5
H 2006 FIN	0	0	5,2 ± 0,3	5,2	12,8 ± 0,1	12,8	60,5 ± 0,2	60,5	2,4
	30	10,6	5,9 ± 0,1	5,2	12,9 ± 0,1	11,6	65,9 ± 0,4	58,9	1,8
	60	17,7	6,0 ± 0,4	4,9	12,0 ± 0,0	9,9	70,3 ± 0,3	57,8	1,3
	90	24,7	6,0 ± 0,1	4,5	11,6 ± 0,1	8,7	72,9 ± 0,5	54,9	1,1
	120	26,8	5,7 ± 0,1	4,2	11,0 ± 0,1	8,0	73,3 ± 0,7	53,7	0,9
I 2006 FIN	0	0	4,3 ± 0,2	4,3	11,4 ± 0,1	11,4	62,1 ± 0,6	62,1	2,3
	30	11,7	4,4 ± 0,1	3,9	11,4 ± 0,0	10,0	69,7 ± 0,4	61,6	1,5
	60	18,7	4,7 ± 0,1	3,8	10,8 ± 0,0	8,7	73,0 ± 0,6	59,4	1,2
	90	26,2	4,7 ± 0,1	3,4	10,2 ± 0,1	7,5	74,9 ± 0,6	55,3	0,9
	120	32,8	4,8 ± 0,1	3,2	9,5 ± 0,0	6,4	77,6 ± 0,1	52,1	0,8

### **Eri hionta-asteisten näytteiden beetaglukaanipitoisuudet**

Hiottujen jyvien beetaglukaanipitoisuus kasvoi tai pysyi samana systemaattisesti kaikissa näytteissä hionta-ajan pidentyessä (taulukko 4). Poikkeuksena oli mallasohratyyppinen lajike H, jolla pisin hionta-aika (120 s) laski hieman beetaglukaanipitoisuutta (6,1 %:sta 5,8 %:iin). Jyvien hionta-aika (60 s) lisäsi beetaglukaanin saantoa viidellä lajikkeella. Yli (90 s) hionta-ajalla beetaglukaanin saanto aleni kaikilla lajikkeilla.

### **Eri hionta-asteisten näytteiden proteiinipitoisuudet**

Lievällä hionnalla ei ollut suurta vaikutusta hiotun jyvän proteiinipitoisuuteen (taulukko 4). Osalla näytteistä proteiinipitoisuus nousi, sillä hionnan alussa jyvistä poistui proteiiniyhdistä kuoriosaa. Kun hionta-aste lähestyi 15 %:a, kääntyivät hiottujen jyvien proteiinipitoisuudet laskuun. Proteiinipitoisuudet laskivat tästä edelleen melko lineaarisesti hionta-asteen kasvaessa. Beetaglukaanirikkaan lajikkeen D proteiinipitoisuus oli korkein (14,9 %), eikä proteiinipitoisuus juuri muuttunut hiomisen myötä. Hiominen ei lisännyt proteiinisaintoa.

### **Eri hionta-asteisten näytteiden tärkkelys- ja tuhkapitoisuudet**

Eri näytteiden kokojyväjauhojen tärkkelyspitoisuudet erosivat toisistaan jonkin verran (44,5–63,1 %). Kaikkien näytteiden tärkkelyspitoisuudet kasvoivat jyviä hiottaessa, mikä oli oletettavaa poistettaessa tärkkelystä sisältämätöntä kuorikerrosta. Tärkkelyspitoisuudet kasvoivat kaikilla näytteillä lähes identtisesti hionta-asteen funktiona (taulukko 4). Ensimmäisenä yli 70 %:n tärkkelyspitoisuuden ylitti noin 10 %:n hionta-asteen kohdalla mallasohratyyppinen lajike I. Pisimmällä hionta-ajalla (120 s) ja suurimmalla hionta-asteella melkein kaikki lajikkeet saavuttivat 70 %:n tärkkelyspitoisuuden. Tämän alle jäivät vain amyloosi- ja beetaglukaanipitoinen lajike B (68,0 %) sekä beetaglukaanirikas lajike D (55,1 %). Näytteiden tuhkapitoisuudet laskivat hionta-asteen kasvaessa (taulukko 4). Tämä oli odotettavissa, sillä kuoriosan myötä näytteiden kivennäisaineiden määrä väheni. Kahdella lajikkeella, H ja I 2006 FIN, tuhkapitoisuus oli alle yhden prosentin kuiva-aineesta suurimmalla hionta-asteella.

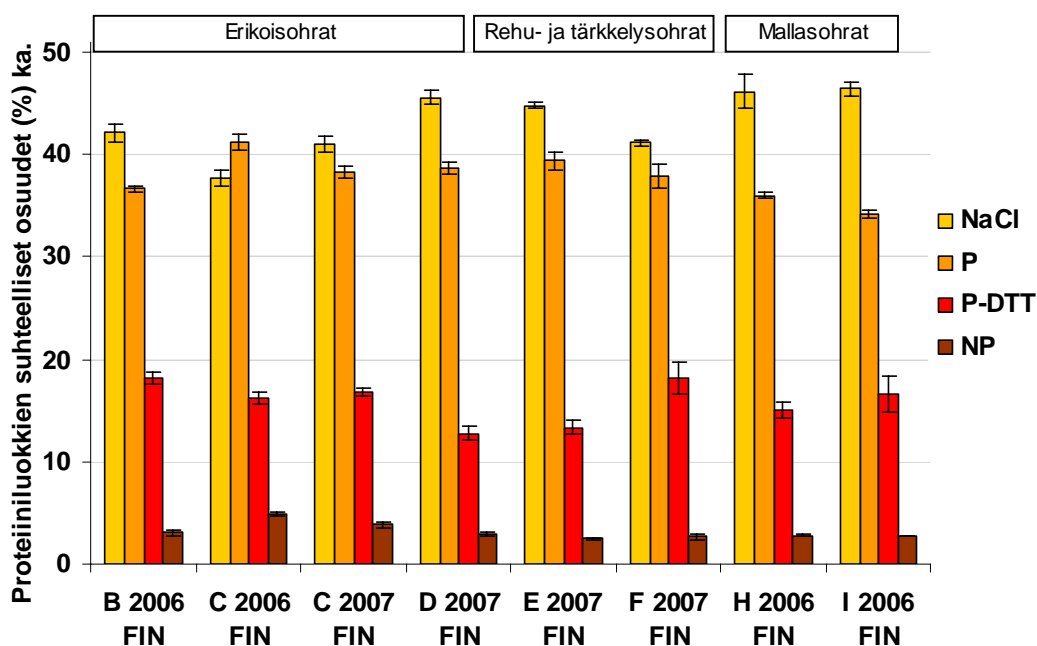


## Hionta-aste ja hionnassa poistuvan jakeen koostumus

Eri hionta-asteisesti hiottujen jyvien lisäksi seurattiin kuoripitoisen hiontajakeen kemiallista koostumusta. Hiontajakeesta määritettiin beetaglukaani-, proteiini-, tärkkelys-, ja tuhkapitoisuudet, jotta saatiin tietoa jyvän ulkokerrosten koostumuksesta. Tavoite oli, ettei arvokomponentteja poistuisi jyvistä liiallisen hionnan myötä. Beetaglukaani-, ja proteiinipitoisuudet nousivat hiontajakeessa hionta-ajan pidentyessä ja samalla tuhkapitoisuudet hiotussa jyvässä laskivat, mikä oli odotettavissa kivennäisainerikkaan pintakerroksen vähentyessä. Hiontajakeen saannon vähyydestä johtuen pääteltiin sen sisältämien arvokomponenttien määrä vähäiseksi. Hiontajakeen koostumuksen perusteella jatkotutkimukset päätettiin tehdä 60 sekunnin hionta-ajalla.

## Proteiinien luokittelu liukoisuuluokituksen mukaan

Lajikkeiden B, C, D, E, F, H ja I kokojyväjauhojen sisältämät proteiinit luokiteltiin uuttamalla ne liukoisuuden mukaisiin luokkiin (kuva 19).



**Kuva 19.** Näytteiden proteiini luokkien suhteelliset osuudet (%) ka., luokiteltuna NaCl = suola-, P = propanoli-, P-DTT = Propanoli-DTT- ja NP = näytekuriliukoisiin luokkiin. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

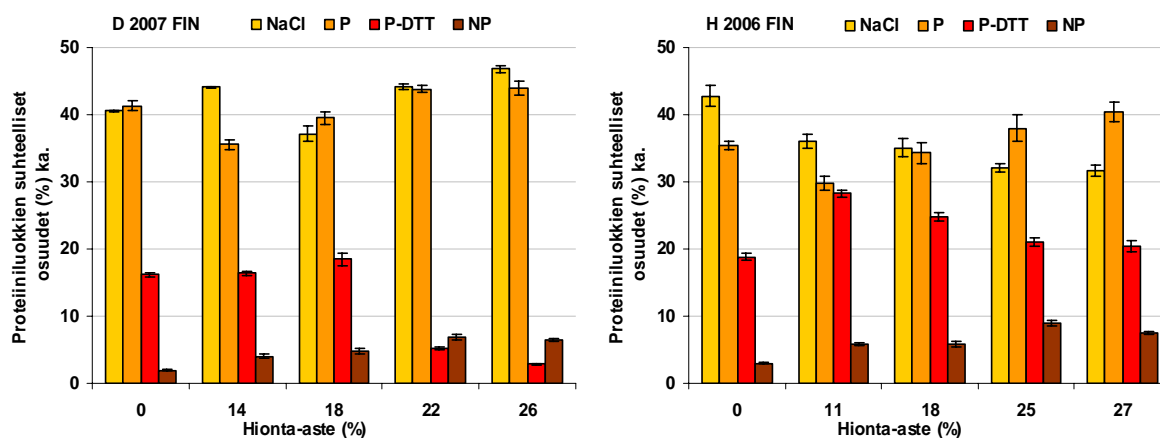
Uuttuneiden proteiinien määriä verrattaessa nähtiin eri lajikkeilla samojen liukoisuusluokkien noudattavan keskenään samankaltaista trendiä (kuva 19). Suolaliukoisten proteiinien osuus oli lähes kaikilla lajikkeilla suurin (37,7–46,4 %) ja propanoliliukoisten toiseksi

suurin (34,2–41,2 %). Poikkeuksena oli kuitenkin lajike C 2006 FIN, jossa suolaliukoisten proteiinien osuus oli propanoliliukoisia pienempi (37,7 % vs. 41,2 %). Matalin suolaliukoisten ja korkein propanoliliukoisten proteiinien osuus oli lajikkeella C 2006 FIN, jonka todettiin poikkeavan muista lajikkeista myös hiontakäyttötymisen osalta (taulukko 4).

Proteiinien uutosta jäljelle jääneestä sakasta analysoitiin proteiinipitoisuus Kjeldahlmenetelmällä. Proteiinipitoisuuksien keskiarvo oli 5,6 %. Lajikkeen C 2007 FIN sakasta analysoitu proteiinipitoisuus (4,9 %) kuiva-aineesta oli alhaisin ja erosi eniten sakassa proteiinia (6,5 %) sisältävästä lajikkeesta B 2006 FIN noin 20 %. Kokojyvien proteiinipitoisuuksissa lajike C oli myös alhaisimmalla tasolla, sisältäen noin 10 % proteiinia kuiva-aineesta.

### Kahden lajikkeen kokojyväjauhon ja eri hionta-asteisten jyvien proteiinipitoisuudet liukoisuuden mukaan luokiteltuna

Kahden lajikkeen (beetaglukaanirikas D 2007 ja mallasohratyyppinen H 2006) kokojyväjauhon ja eri hionta-asteisten (%) jyvien sisältämät liukoiset proteiinit on esitetty liukoisuusluokkien mukaan kuvassa 20.



**Kuva 20.** Kahden lajikkeen (D 2007 ja H 2006) kokojyväjauhon, (hionta-aste 0 %) ja neljistä eri hionta-asteisista jyvistä määritetyt liukoisten proteiinien osuudet (%) ka., liukoisuusluokituksen mukaan (NaCl = suola-, P = propanoli-, P-DTT = Propanoli-DTT- ja NP = näytepuskuriliukoiset). Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

Hiottaessa jyviä liukoisuusominaisuuksiltaan erilaisten proteiinien suhteellisissa määrissä tapahtui muutoksia. Jyvän ulkokuoressa sijaitsevien, yleensä laimeaan suola-vesiliukseen liukenevien albumiinien ja globuliinien määrä laski hionta-asteen kasvaessa lajikkeella H (kuva 20). Sen sijaan näytepuskuriliukoisten proteiinien eli gluteliinien määrä kohosi

tasaisesti lajikkeilla D ja H aina 22 ja 25 %:n hionta-asteisiin. Lajikkeilla D ja H havaittiin myös propanoli-DTT-liukoisten proteiinien suurin suhteellinen osuus hionta-asteissa 18 ja 11 %.

### **3.2.3 Hiottujen jyvien ilmaluokittelu**

Kokeellisen osan kolmannessa vaiheessa tutkittiin kahdeksaa lajiketta, joista kolme (D, E ja F) olivat mukana myös ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa. Kun näytteitä hiottiin 60 sekunnin ajan, jyvien massasta poistui noin 17–21 %. Hioutuminen oli silmämääräisesti tarkasteltuna tasaista kaikilla näytteillä. Hioutumisominaisuuksiltaan joukosta poikkesi rehu- ja tärkkelysohratyypiseksi luokiteltu lajike F, jonka hionta-aste oli 21 %. Muiden näytteiden hionta-aste oli 17–19 %:n välillä.

Seula-analyysissä havaittiin hiottujen ja jauhettujen jyvien jauhojen partikkeli-kokojakauman bimodaalisuus (liite 6, kuva 1). Tämä oli samankaltainen kuin kokojyväjauhoilla (liite 3, kuva 1). Rehu-, tärkkelys- ja mallastyypisten lajikkeilla (C, E, F, H ja I) partikkelit olivat pääosin 75–475 µm:n välillä. Erikoisohratyyppisillä lajikkeilla (B–D) havaittiin myös suurempia partikkeleita.

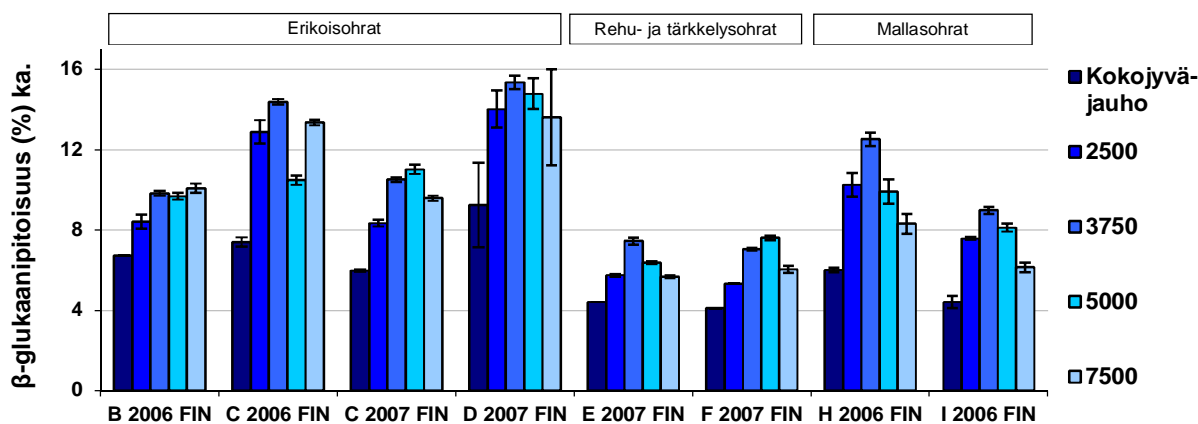
### **Hiottujen jyvien karkean ja hienon jakeen saannot**

Hiotuista jyvistä jauhettujen kokojyväjauhojen jakautuminen hienoon ja karkeaan jakeeseen noudatti ilmaluokittelussa samankaltaista kaavaa kuin hiomattomilla jyvillä (liite 7, kuva 1). Pienimmällä roottorin pyörimisnopeudella (2500 rpm) karkean jakeen osuus jäi kuudella näytteellä (C 2006, C 2007, E, F, H ja I) alle 25 %:iin ja kahdella näytteellä (B ja D) osuus oli yli 25 %. Erikoisohratyyppisistä lajikkeista amyloosi- ja korkea beetaglukaanipitoiset lajikkeet B ja D käyttäytyivät poikkeavasti ilmaluokittimen roottorin nopeuksilla 2500 ja 3750 rpm luokituen karkeaan jakeeseen enemmän kuin muut näytteet. Roottorin pyörimisnopeuden nousu pienensi lajikkeiden välistä eroa hienossa ja karkeassa jakeessa.

### **Hiottujen jyvien karkeiden jakeiden beetaglukaanipitoisuudet**

Hiottujen jyvien kokojyväjauhojen beetaglukaanipitoisuudet olivat systemaattisesti korkeammat verrattuna hiomattomiin jyviiin. Beetaglukaanin rikastumista tapahtui näin ollen sekä jyvän hionnan että jauhon ilmaluokittelun aikana. Beetaglukaanirikkaan lajikkeen D

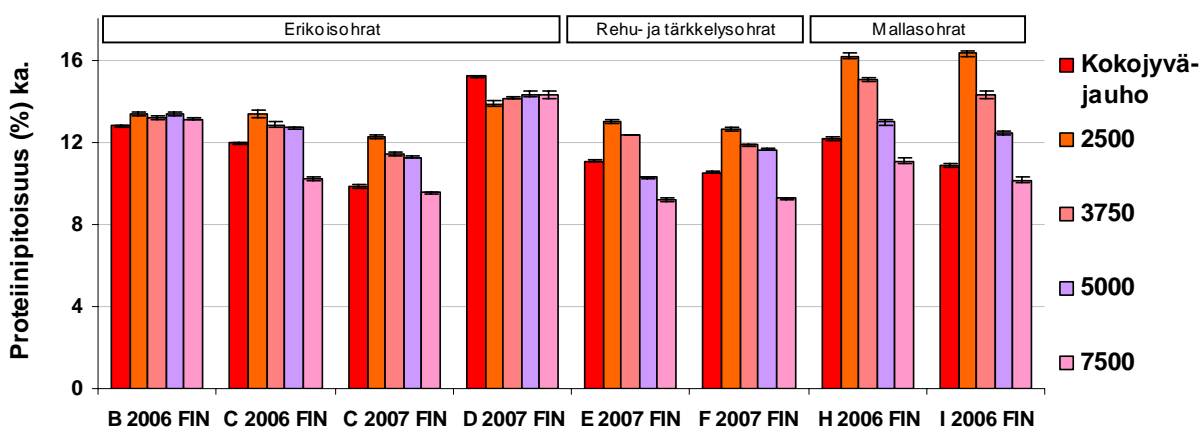
beetaglukaanipitoisuus nousi noin 9 %:sta yli 15 %:iin (kuva 21). Myös lajikkeet C 2006 FIN ja H 2006 FIN osoittautuivat hyviksi beetaglukaanin rikastamisen suhteen (molemmilla saavutettiin yli 12 %:n beetaglukaanipitoisuus).



**Kuva 21.** Hiottujen jyvien kokojvājauhon ja jauhosta roottorinnopeuksilla 2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm ilmaluokiteltujen karkeiden jakeiden beetaglukaanipitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

### Hiottujen jyvien karkeiden jakeiden proteiinipitoisuudet

Proteiinien rikastumista tapahtui lähes kaikissa näytteissä. Parhaiten proteiini rikastui mallasohratyyppisissä lajikkeissa H ja I roottorinnopeudella 2500 rpm. Proteiinien rikastumista ei tapahtunut beetaglukaanirikkaalla lajikkeella D, vaan karkeiden jakeiden proteiinipitoisuudet jäivät matalammiksi kuin kokojvājauhossa (kuva 22).

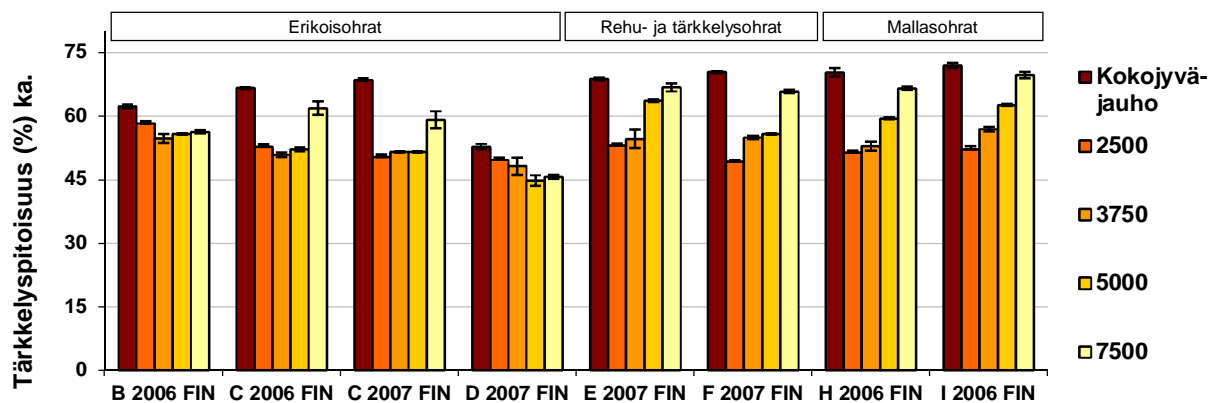


**Kuva 22.** Hiottujen jyvien kokojvājauhon ja jauhosta roottorinnopeuksilla 2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm ilmaluokiteltujen karkeiden jakeiden proteiinipitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

### Hiottujen jyvien karkeiden jakeiden tärkkelyspitoisuudet

Hiottujen jyvien kokojvājauhojen tärkkelyspitoisuudet olivat kaikissa näytteissä systemaattisesti korkeampia kuin jauhoista luokiteltujen karkeiden jakeiden pitoisuudet

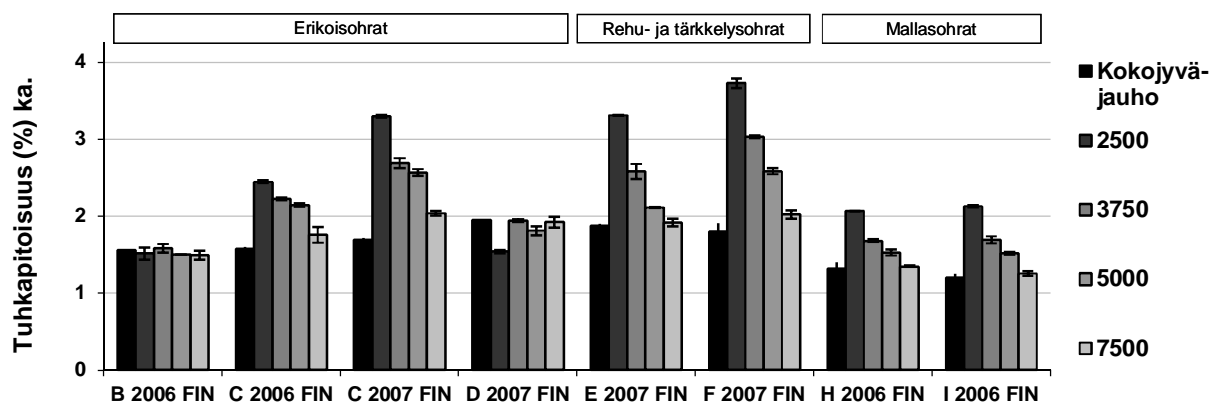
(kuva 23). Suurimman luokittelunopeuden (7500 rpm) karkeissa jakeissa tärkkelyspitoisuus kuiva-aineesta lähestyi kokojyväjauhon vastaavaa pitoisuutta, etenkin rehu-, tärkkelys- ja mallasohratyyppisillä lajikkeilla (E–I). Amyloosi- ja beetaaglukaanipitoisen lajikkeen B karkeiden jakeiden tärkkelyspitoisuudet laskevat ilmaluokittelussa samantyyppisesti kuin beetaaglukaanirikkaassa lajikkeessa D.



**Kuva 23.** Hiottujen jyvien kokojyväjauhon ja jauhoista roottorinnopeuksilla 2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm ilmaluokiteltujen karkeiden jakeiden tärkkelyspitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

### Hiottujen jyvien karkeiden jakeiden tuhkapitoisuudet

Hiottujen jyvien ilmaluokitelluissa karkeissa jakeissa oli suuremmat tai yhtä suuret tuhkapitoisuudet verrattuna lähtöaineena käytettyyn kokojyväjauhoon. Nopeudella 2500 rpm luokiteltu karkea jae sisälsi huomattavasti enemmän tuhkaa kuin alkuperäinen jauho. Poikkeuksena olivat kuitenkin lajikkeiden B ja D karkeat jakeet, joissa tuhkapitoisuus ei juuri muuttunut (kuva 24).



**Kuva 24.** Hiottujen jyvien kokojyväjauhojen sekä jauhoista roottorinnopeuksilla 2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm ilmaluokiteltujen karkeiden jakeiden tuhkapitoisuudet (%) ka. Virheraja kuvaa 95 % luottamusväliä.

### 3.3 Pohdinta

Tutkimuksessa havaittiin eri alkuperää edustavien ohralajikkeiden elintarviketeknologisesti tärkeiden komponenttien pitoisuuksien vaihtelua. Näiden komponenttien jakautumisen ja rikastumisen eri jakeisiin havaittiin vaihtelevan käytetystä kuivamenetelmästä riippuen. Tavoiteltua beetaglukaanin rikastumista tapahtui sekä ilmaluokittelussa että hionnassa. Parhaiten beetaglukaani rikastui, kun jyvät hiottiin lievästi ennen jauhoksi jauhamista ja ilmaluokittelua. Hionnan tavoitteena oli poistaa vain jyvän kuoriosia ja vahingoittaa mahdollisimman vähän endospermiä. Näin minimoitiin beetaglukaanin joutuminen hiontajakeeseen.

#### Kokojyväjauhojen koostumus

Beetaglukaani- ja proteiinipitoisuuksien vaihtelut ovat tyypillisiä ohralle. Tutkimuksessa havaittiin beetaglukaanirikkaiden lajikkeiden sisältävän myös korkeimpia proteiinipitoisuuksia. Vastaavanlainen korrelaatio on raportoitu myös aiemmissa tutkimuksissa (Oscarsson ym. 1996; Andersson ym. 1999; Wood ym. 2003). Mallasohrien jalostuksessa pyritään alhaisiin beetaglukaanipitoisuuksiin. Nyt tutkituissa mallasohratyyppisissä näytteissä (G, H ja J) beetaglukaanipitoisuudet (3,9–4,9 %) olivat mallasohriksi melko korkeita. Myös näiden lajikkeiden proteiinipitoisuudet (11,5–12,6 %) olivat lähellä ylärajaa. Mallasohrien proteiinipitoisuuden tulisi olla alle 12,5 % ja erityisesti beetaglukaanista on haittaa vierteen suodatuksessa (Jadhav ym. 1998).

Beetaglukaani- ja tuhkapitoisuuksien havaittiin olevan korkeita erikoisohratyyppisillä lajikkeilla (A ja D). Näiden beetaglukaani- ja tuhkapitoisuudet olivat 5,4–9,4 % ja 2,5–3,0 %. Koska beetaglukaani sijaitsee ohrassa aleuronin lisäksi endospermissä, jonka tuhkapitoisuus on alhainen, ei havainto selity pelkästään jyvän uloimpien osien suurella osuudella, etenkin kun kyseessä olivat kaksitahoiset lajikkeet. Rehu- ja tärkkelysohratyyppiset lajikkeet (E FIN ja F FIN) käyttäytyivät erikoisohriin verrattuna eritavoin, koska niiden beetaglukaanipitoisuudet olivat matalia (3,7–4,0 %) ja tuhkapitoisuudet korkeita (2,5–3,0 %). Poikkeuksena oli kuitenkin norjassa viljelty tärkkelysohra (E 2006 NOR), jonka beetaglukaanipitoisuus oli korkea (5,3 %) ja tuhkapitoisuus kaikkein matalin (1,9 %). Erot voivat selittyä sillä, että rehu- ja tärkkelysohralajikkeet olivat tähkätyyppiltään monitahoisia, ja siten kuorikerroksen osuus oli suurempi suhteessa jyvän tilavuuteen.

## Jauhautuminen ja ilmaluokittelu

Tappimyllyllä jauhetut kokojyväjauhot sisälsivät kaikkien lajikkeiden osalta merkittävän määrän suuria yli 100 µm:n partikkeleita, vaikka jauhatusergia oli käytetyn myllytyypin ylärajalla. Ohran korkean hordeiini- ja soluseinäpitoisuuden on todettu vaikuttavan jyvän kovuuteen, mikä puolestaan vaikuttaa suoraan jyvän jauhautumiseen (Brennan ym. 1996 ja 1997). Proteiinien liukoisuusluokituksen perusteella eri lajikkeiden välillä ei nähty suurta eroa varastoproteiinien suhteellisissa osuuksissa. Toisaalta näiden proteiinien sijainti jyvässä vaikuttaa jauhautumisominaisuuksiin (Zheng ym. 2000). Hordeiinien muodostumiseen vaikuttavat lannoitus ja kasvuolosuhteet, etenkin kuivuus jyvän täyttymisen aikana, sekä geneettisten ominaisuuksien ja sääolosuhteiden yhteisvaikutukset (Edney ym. 2002; Ehrenbergerová ym. 2008).

Beetaglukaanirikkaan lajikkeen D kokojyväjauho oli partikkelikokojakaumaltaan selkeästi karkeampaa kuin muilla näytteillä. Tämä saattoi johtua lajikkeen kovuuteen nähden liian vähäisestä jauhatusergiasta. Suuri partikkelikoko jauhamisen jälkeen ja matala tärkkelyssaanto viittaavat epätäydelliseen jauhautumiseen, jossa osa tärkkelyksestä on sitoutuneena edelleen proteiinimatriisiin. Ilmaluokittelun jälkeen eri jakeilla havaittiin hyvin pienet erot tärkkelyspitoisuuksissa, joten tärkkelystä ei ollut saatu puhtaasti erilleen soluseinämistä. Toisaalta pelkkä korkea proteiini- ja beetaglukaanipitoisuus ei riittänyt selittämään jauhautuvuudessa havaittuja eroja. Esimerkiksi lajikkeiden E ja F partikkelikokojakaumat kertoivat karkeasta jauhautumisesta (suurin osa partikkeleista 200–300 µm:n välillä), vaikka niiden proteiini- ja beetaglukaanipitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa käytetyistä lajikkeista matalimpia. Mikäli partikkelikokojakauman mediaani olisi ollut sadan tienoilla, niin tulokset olisivat voineet olla huomattavasti parempia. Epätäydellisesti jauhautuneet partikkelit sisältävät epämääräisissä suhteissa mm. proteiinia ja tärkkelystä. Tästä syystä keskimääräisen partikkelikoon on oltava riittävän pieni.

Matalan beetaglukaanipitoisuuden lajikkeissa on tärkkelysendospermissä tutkitusti vähemmän beetaglukaania johtuen ohuemmista soluseinistä. Näissä lajikkeissa beetaglukaani on sijoittunut enemmän sub-aleuronikerrokseen (Bhatty, 1993; Bhatty, 1997; Oscarsson ym., 1997). Erilainen sijoittuminen jyvässä saattaa ainakin osittain selittää beetaglukaanipitoisuudeltaan eri lajikkeiden välisiä jauhautumiseroja ja matalan beetaglukaanipitoisuuden lajikkeiden parempaa jauhatussaantoa samalla jauhatusergialla.

Ilmaluokiteltujen kokojyväjauhojen karkeiden jakeiden tuhkapitoisuudet indikoivat kuorifraktion ja sen mukana kivennäisaineiden jakautumisesta karkeaan jakeeseen. Karkea jae saatiin kaikista lajikkeista erotettua puhtaana, eikä siinä esiintynyt alle 100 µm:n partikkeleita. Tuhka rikastui kaikkein karkeimpaan jakeeseen, kun taas beetaglukaani rikastui yleensä massasaannoltaan pienimmän ja suurimman karkean jakeen välisiin jakeisiin. Proteiini kulkeutui myös pääosin karkeisiin jakeisiin. Hienoista jakeista ei tässä työssä määritetty tärkkelyspitoisuutta, mutta laskennallisesti voitiin arvioida hienon jakeen tärkkelyspitoisuudeksi noin 70–80 % lähes kaikilla lajikkeilla.

Karkeiden jakeiden tärkkelyspitoisuudet olivat sen sijaan yllättävän korkeita (31,7–59,4 % kokojyväjauhosta luokitelluissa ja 45,0–66,2 % hiotuista jyvistä jauhetuissa ja luokitelluissa jakeissa). Tämä johtui pääosin siitä, että tärkkelys oli edelleen sitoutuneena karkean jakeen lesepartikkeleihin. Jauhatusenergia ei todennäköisesti ollut riittävän suuri, joten partikkeleja ei saatu riittävän hienoksi.

### **Hionta-aste ja ytimien koostumus**

Hiontatulokseen vaikuttavat lajikkeiden kovuus sekä kuorellisuus. Yleensä kuorettomat lajikkeet soveltuvat huonommin hiottavaksi pehmeämmän tärkkelysendospermin vuoksi (Flores ym. 2005). Hioutumiserot saattoivat osittain selittyä kasvukausien välisistä eroista, sillä esimerkiksi kovuuteen vaikuttavien varastoproteiinien ja beetaglukaanin muodostumiseen vaikuttavat kuivuus ja viljelymaan typpilannoitus (Zheng ym. 2000). Eri kasvukausien väliset erot saattoivat täten johtaa suurempiin eroihin kuin mitä havaittiin eri lajikkeiden välillä. Zheng ym. (2000) mukaan kasvuolosuhteet eivät kuitenkaan vaikuttaneet merkittävästi varastoproteiinien ja beetaglukaanin sijoittumiseen jyvässä, vaan ne olivat lajikesidonnaisia.

Näyte D oli beetaglukaanirikas lajike ja sen hionta nosti beetaglukaanipitoisuutta kuiva-aineessa noin 20 %. Osassa näytteitä virherajat olivat melko suuria johtuen epähomogeenisista näytteistä. Hionta poisti jyvistä uloimmat kerrokset, minkä seurauksena tuhkapitoisuus laski. Hionta-asteen ollessa noin 20 %, tuhkapitoisuus tasaantui kaikissa mallasohratyyppisissä näytteissä noin yhteen prosenttiin ja muilla lajikkeilla hieman tätä korkeammalle tasolle. Hionnan alkuvaiheessa beetaglukaania ei juuri poistunut. Kun hionta-aste oli 15 % tai yli, beetaglukaania päätyi myös hiontajakeeseen.



Beetaglukaanipitoinen lajike D hioutui muita näytteitä tasaisemmin. Suurimmassa osassa näytteistä jyvä hioutui päistään voimakkaammin eli se alkoi pyöristyä, kun taas näytteen D jyvät säilyivät enemmän pitkulaisina. Näytteessä D havaittiin liukoisuuden mukaan luokitelluissa proteiineissa selkeä gradientti siten, että noin 18 %:n hionta-asteella suolaliukoisten proteiinien prosentuaalinen osuus väheni (44 %:sta noin 37 %:iin) ja seuraavalla hionta-asteella (22 %) propanoli-DTT:hen liukenevien proteiinien määrä romahti (18 %:sta 5 %:iin, kuva 20). Jauhatusenergian riittämättömyydestä kertoo osin myös uuttosakkojen proteiini-analyysit, jotka osoittivat noin 5 %:n pitoisuuksia. Uuttosakkaan jääneet proteiinit olivat luultavasti molekyylipainojakaumaltaan suuria ja hyvin niukkaliukoisia. Uutossa voitaisiin käyttää tehokkaampia menetelmiä, mutta proteiini-luokka-analyysi on herkkä muun muassa pinta-aktiivisten aineiden pitoisuuksille.

### **Hiottujen jyvien jauhatus ja ilmaluokittelu**

Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa käytettiin hionta-aikana 60 sekuntia, jotta hiottujen jyvien ytimissä olisi tallella kaikki arvokomponentit, ja vain ravintoköyhä kuoriossa olisi poistettu lähes kokonaan. Tämä tarkoitti noin 15–20 %:n hionta-astetta. Optimaalinen hiontatulos olisi saavutettu täysin pyöreillä ja kovuudeltaan homogeenisillä jyvillä. Käytännössä kaikkien tutkittujen jyvien havaittiin hioutuneen enemmän päistään. Tämä kävi ilmi myös eriasteisesti hiottujen jyvien tuhkapitoisuuksista, jotka laskivat hitaasti. Hioutuissa näytteissä lähes 50 %:ssa oli vielä noin 1 % tuhkaa. Hionta-aste oli korkein lajikkeella F, josta hioutui 60 sekunnin aikana pois 21 %. Näytteiden keskimääräinen hionta-aste oli 17 %. Lajikkeella F havaittiin myös matalimmat beetaglukaani- ja proteiinipitoisuudet (3,8–3,9 % ja 9,9–11,2 %). Muiden lajikkeiden hionta-asteilla ei ollut suuria eroja. Erikoisohratyyppiset lajikkeet hioutuivat kuitenkin vähiten (15,7–18,2 %).

Hienojauhatusmyllyllä jauhettujen jauhojen ilmaluokitteluominaisuudet olivat lähes samanlaiset. Ainoastaan erikoisohratyyppiset lajikkeet (B ja D) poikkesivat 2500 rpm roottorinopeudessa muodostaen hieman suuremman saannon karkeaan jakeeseen. Erikoisohratyyppiset lajikkeet poikkesivat hieman myös seula-analyysissä. Niissä havaittiin muihin näytteisiin nähden suurempi määrä suurikokoisia partikkeleita. Tästä voitiin päätellä, että kyseiset lajikkeet jauhautuivat huonommin. Hionta ei merkittävästi muuttanut jauhautumiskäyttäytymistä.

Beetaglukaania kyettiin rikastamaan kaikilla näytteillä. Tutkimuksen korkein beetaglukaanipitoisuus (15,5 %) saavutettiin ilmaluokittelemalla lajikkeen D hiotuista jyvistä jauhettua jauhoa. Ilmaluokitellun karkean jakeen beetaglukaanipitoisuus oli 30 % kokojyväjauhoa korkeampi. Lisäksi beetaglukaani rikastui merkittävästi mallasohratyyppisellä lajikkeella H (noin 50 % verrattuna kokojyväjauhoon), jolloin korkein beetaglukaanipitoisuus oli 12,6 %. Tulosta voidaan pitää merkittävänä, etenkin kun markkinoilla on kaupallisia saman pitoisuusluokan kauralesekonsentraatteja.

Jotta ilmaluokituksessa olisi saavutettu oleellisesti korkeampi, esimerkiksi yli 20 %:n beetaglukaanipitoisuus, olisi lähtömateriaalin beetaglukaanipitoisuuden pitänyt olla korkeampi ja keskimääräisen partikkelikoon pienempi (Knuckless ym. 1992). Lähtömateriaalin rasvojen uutto heksaanilla (Knuckless ym. 1992; Wu ym. 1994) tai ylikriittisellä hiilidioksidilla (Sibakov ym. 2011) voisi myös edesauttaa beetaglukaani-rikkaiden soluseinäpartikkelien erottumista.

## 4 PÄÄTELMÄT

Ohran rakenteelliset ominaisuudet, kuten soluseinien paksuus sekä tärkkelyksen määrä ja laatu vaikuttavat ohran elintarvikekäyttöön. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia erityyppisten ohralajikkeiden käyttäytymistä hionnassa, kuivajauhautuksessa ja ilmaluokittelussa. Tutkimuksessa seurattiin erityisesti beetaglukaanin ja proteiinin rikastumista. Eri lajikkeiden jauhautumista seurattiin partikkelikoko- ja seula-analyysillä. Ilmaluokituksen kannalta suurin pullonkaula oli ohrajauhon epätäydellinen jauhautuminen. Intensiivisinkin jauhatus jätti merkittävän osan tärkkelyksestä suuriin, yli 100  $\mu\text{m}$ :n partikkeleihin. Jyvien jauhaminen kaksi, tai sitä useamman kerran hienojauhatusmyllyllä olisi voinut pienentää kovuseroista johtuvia jauhautumiseroja ja samalla vaikuttanut ilmaluokittelun hienon ja karkean jakeen saantoihin.

Hionnan, jauhatuksen ja ilmaluokitteluprosessin yhdistelmällä saatiin suhteellisen tehokkaasti erotettua beetaglukaanirikas jae, etenkin kun lähtömateriaalina oli beetaglukaanirikas lajike. Paras lopputulos saatiin lajikkeella D, jonka beetaglukaanipitoisuus oli alun perin korkea (9,4 %). Tällä lajikkeella beetaglukaani pystyttiin rikastamaan pelkän hionnan avulla 11,4 %:iin. Lajikkeen D kokojyväjauhon ilmaluokituksessa päästiin beetaglukaanipitoisuudessa 13,5 %:iin. Lajikkeen D hiottujen ja jauhettujen jyvien ilmaluokituksessa saatiin beetaglukaanipitoisuudeksi 15,5 %:a. Raaka-aineen beetaglukaanipitoisuus oli merkittävin tekijä beetaglukaanin rikastumisessa. Myös muut jyvän rakenneominaisuudet ja -komponentit vaikuttivat rikastumiseen. Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää kehittäessä ohralle paremmin soveltuvia kuivia jauhatus- ja erotusmenetelmiä beetaglukaanin rikastamiseksi.

## LÄHDELUETTELO

[AACC] American Association of Cereal Chemists. 1981a. AACC method 44-15. Moisture – air oven method. Teoksessa: Approved methods of the American Assn. of Cereal Chemists. 10. p. St. Paul, Minnesota: AACC.

[AACC] American Association of Cereal Chemists. 1981b. AACC method 08-01. Ash – basic method. Teoksessa: Approved methods of the American Assn. of Cereal Chemists. 10. p. St. Paul, Minnesota: AACC.

[AACC] American Association of Cereal Chemists. 1981c. AACC method 46-12. Crude protein – Kjeldahl method, boric acid modification. Teoksessa: Approved methods of the American Assn. of Cereal Chemists. 10. p. St. Paul, Minnesota: AACC.

[AACC] American Association of Cereal Chemists. 1983. AACC method 55-30. Particle size index for wheat hardness. Teoksessa: Approved methods of the American Assn. of Cereal Chemists. 10. p. St. Paul, Minnesota: AACC.

[EBC] Analytica-EBC. 1987. E56/5, E88/5, E148/3, E202/3. Teoksessa: Analysis committee of EBC, toim. Brauerei- und Getränke Rundschau. 4. p. Zürich.

Abebe T, Melmaiee K, Berg V, Wise RP. 2010. Drought response in the spikes of barley: gene expression in the lemma, palea, awn, and seed. *Funct Integr Genomics* 10:191-205.

Ahmad A, Anjum FM, Zahoor T, Nawaz H, Din A. 2009. Physicochemical and functional properties of barley  $\beta$ -glucan as affected by different extraction procedures. *Int J Food Sci Technol* 44:181-187.

Alminger M, Eklund-Jonsson C. 2008. Whole-grain cereal products based on a high-fibre barley or oat genotype lower post-prandial glucose and insulin responses in healthy humans. *Eur J Nutr* 47:294-300.

Andersson AAM, Andersson R, Autio K, Åman P. 1999. Chemical composition and microstructure of two naked waxy barleys. *J Cereal Sci* 30:183-191.

Andersson AAM, Andersson R, Åman P. 2000. Air classification of barley flours. *Cereal Chem* 77:463-467.

Andersson, AAM, Lampi A-M, Nyström L, Piironen V, Li L, Ward JL, Gebruers K, Courtin CM, Delcour JA, Boros D, Fraš A, Dynkowska W, Rakszegi M, Bedo Z, Shewry PR, Åman P. 2008. Phytochemical and dietary fiber components in barley varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J Agric Food Chem* 56:9767-9776.

Anker-Nilssen K, Sahlstrøm S, Knutsen SH, Holtekjølen AK, Uhlen AK. 2008. Influence of growth temperature on content, viscosity and relative molecular weight of water-soluble  $\beta$ -glucans in barley (*Hordeum vulgare* L.). *J Cereal Sci* 48:670-677.

Baik B-K, Ulrich SE. 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *J Cereal Sci* 48:233-248.

Banks W, Greenwood CT, Muir DD. 1973. Studies on the biosynthesis of starch granules: Part 6. Properties of the starch granules of normal barley and barley with starch in high-amylose content during growth. *Starch* 25:225-230.

Beer MU, Wood PJ, Weisz J. 1997. Molecular weight distribution and (1→3)(1→4)-β-D-glucan content of consecutive extracts of various oat and barley cultivars, *Cereal Chem* 74:476-480.

Bhatty RS. 1992. β-glucan content and viscosities of barleys and their roller-milled flour and bran products. *Cereal Chem* 69:469-471.

Bhatty RS. 1993. Nonmalting uses of barley. Teoksessa: MacGregor AW, Bhatty RS, toim. *Barley: chemistry and technology*. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists. s 355-417.

Bhatty RS. 1997. Milling of regular and waxy starch hull-less barleys for the production of bran and flour. *Cereal Chem* 74:693-699.

Briggs DE. 2001. Barley. Teoksessa: Dendy DAV, Dobraszczyk BJ, toim. *Cereals and cereal products: chemistry and technology*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers Inc. s 325-340.

Brennan CS, Harris N, Smith D, Shewry PR. 1996. Structural differences in the mature endosperms of good and poor malting barley cultivars. *J Cereal Sci* 24:171-178.

Brennan CS, Amor MA, Harris N, Smith D, Cantrell I, Griggs D, Shewry PR. 1997. Cultivar differences in modification patterns of protein and carbohydrate reserves during malting of barley. *J Cereal Sci* 26:83-93.

Brennan CS, Cleary LJ. 2005. The potential use of cereal (1→3, 1→4)-β-D-glucans as functional food ingredients. *J Cereal Sci* 42:1-13.

Burkus Z, Temelli F. 1998. Effect of extraction conditions on yield, composition and viscosity stability of barley β-glucan gum, *Cereal Chem* 75:805–809.

Cavallero A, Gianineti A, Finocchiaro F, Delogu A, Stanca AM. 2004. Tocols in hull-less and hulled barley genotypes grown in contrasting environments. *J Cereal Sci* 39:175-180.

Chandra GS, Proudlove MO, Baxter ED. 1999. The structure of barley endosperm – An important determinant of malt modification. *J Sci Food Agric* 79:37-46.

Charalampopoulos D, Wang R, Pandiella SS, Webb C. 2002. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. *Int J Food Microbiol* 79:131-141.

Dornez E, Holopainen U, Cuyvers S, Poutanen K, Delcour JA, Courtin CM, Nordlund E. 2011. Study of grain cell wall structures by microscopic analysis with four different staining techniques. *J Cereal Sci* 54:363-373.

Edney MJ, Rosnagel BG, Endo Y, Ozawa S, Brophy M. 2002. Pearling quality of Canadian barley varieties and their potential use as rice extenders. *J Cereal Sci* 36:295-305.

EFSA. 2009. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA); Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans and maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 754, 755, 757, 801, 1465, 2934) and contribution to the maintenance and/or achievement of a normal body weight (ID 820, 823) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 on request from the European Commission. *EFSA Journal* 7(9):1254.

Ehrenbergerová J, Březinová Belgerdi N, Psota V, Hrstková P, Cerkal R, Newman CW. 2008. Changes caused by genotype and environmental conditions in beta-glucan content of spring barley for dietetically beneficial human nutrition. *Plant Foods Hum Nutr* 63:111-117.

Evers AD, Blakeney AB, O'Brien L. 1999. Cereal structure and composition. *Aust J Agric Res* 50:629-650.

FAOSTAT. 2011. Viljojen tuotantomäärät mailmassa. Saatavilla: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.

FDA. 1996. Food labeling: Health claims; Oats and coronary heart disease. Federal Register. 61(3), tammik. 4.1996. Food and Drug Administration. U.S. Department of Health and Human Services.

FDA. 1997. FDA allows whole oat foods to make health claim on reducing the risk of heart disease. FDA Talk Paper tammik. 22.1997. Food and Drug Administration. U.S. Department of Health and Human Services.

FDA. 2006. Food labeling: Health claims; Soluble Dietary Fiber From Certain Foods and Coronary Heart Disease. Federal Register. 71(98), toukok. 22.2006. Food and Drug Administration. U.S. Department of Health and Human Services.

Fincher GB, Stone BA. 1986. Cell walls and their components in cereal grain technology. Teoksessa: Pomeranz Y, toim. *Advances in Cereal Science and Technology*. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists. s 207-295.

Flores RA, Hicks KB, Eustace DV, Phillips J. 2005. High-starch and high- $\beta$ -glucan barley fractions milled with experimental mills. *Cereal Chem* 82:727-733.

Flores RA, Hicks KB, Wilson J. 2007. Surface abrasion of hulled and hulless barley: Physical characterization of the milled fractions. *Cereal Chem* 84:485-491.

Goering KJ, Fritts DH, Eslick RF. 1973. A study of starch granule size and distribution in 29 barley varieties. *Starch* 25:297-302.

Güler M. 2003. Barley grain  $\beta$ -glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *Field Crops Res* 84:335-340.

Hemery Y, Rouau X, Lullien-Pellerin V, Barron C, Abecassis J. 2007. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *J Cereal Sci* 46:327-347.

Hemery Y, Lullien-Pellerin V, Rouau X, Abecassis J, Samson M-F, Åman P, von Reding W, Spoerndli C, Barron C. 2009. Biochemical markers: Efficient tools for the assessment of wheat grain tissue proportions in milling fractions. *J Cereal Sci* 49:55-64.

Heneen WK, Banas A, Leonova S, Carlsson AS, Marttila S, Debski H, Stymne S. 2009. The distribution of oil in the oat grain. *Plant Sign Behav* 4:55-56.

Henry RJ. 1988. The carbohydrates of barley grains-A review. *J Inst Brew* 94:71-78.

Henry RJ, Cove IA. 1990. Factors influencing the hardness (milling energy) and malting quality of barley. *J Inst Brew* 96:135-136.

Holopainen URM, Wilhelmson A, Salmenkallio-Marttila M, Peltonen-Sainio P, Rajala A, Reinikainen P, Kotaviita E, Simolin H, Home S. 2005. Endosperm structure affects the malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *J Agric Food Chem* 53:7279-7287.

Holopainen U. 2006. Ohran ja maltaan hordeiinien uuttaminen. Menetelmäohje 26.10.2006.

Holopainen U. 2007. 2 D Quant –proteiinimääritys hordeiinien kvantifiointia varten. Menetelmäohje 17.12.2007.

Holtekjølen AK, Uhlen AK, Bråthen E, Sahlstrøm S, Knutsen SH. 2006. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. *Food Chem* 94:348-358.

Hoseney CR. 1998. Principles of cereal science and technology. 2. p. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists. 378 p.

Hosokawa Alpine AG. 2009. 40/20 HA vasaramylly ja UPZ100 hienojauhatusmylly. Saatavilla:[http://www.alpinehosokawa.com/engl/02powder/prodpro/machines/machine.asp?sqlTable=machine\\_dry\\_cutup1&machineID=3](http://www.alpinehosokawa.com/engl/02powder/prodpro/machines/machine.asp?sqlTable=machine_dry_cutup1&machineID=3).

Höije A, Gröndahl M, Tømmerraas K, Gatenholm P. 2005. Isolation and characterization of physicochemical properties of arabinoxylans from barley husks. *Carbohydr Polym* 61:266-275.

Izydorczyk MS, Dexter RG, Desjardins RG, Rossnagel BG, Lagasse SL, Hatcher DW. 2003. Roller milling of Canadian hull-less barley: Optimization of roller milling conditions and composition of mill streams. *Cereal Chem* 80:637-644.

Izydorczyk MS, Dexter JE. 2008. Barley  $\beta$ -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products - A review, *Food Res Int* 41:850-868.

Jadhav SJ, Lutz SE, Ghorpade VM, Salunkhe DK. 1998. Barley: Chemistry and Value-Added Processing. *Crit Rev Food Sci* 38:123-171.

Kaukovirta-Norja A, Myllymäki O, Aro H, Hietaniemi V, Pihlava J-M, keksijät; Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, hakija. 8.2.2007. Method for fractionating oat, products thus obtained, and use thereof. PCT Patent Application WO 08/096044A1.

Kirylyuk J, Kawka A, Gasiorowski H, Chalcarz A, Anioła J. 2000. Milling of barley to obtain  $\beta$ -glucan enriched products. *Nahrung* 44:238-241.

Klamczynski A, Baik B-K, Czuchajowska Z. 1998. Composition, microstructure, water imbibition, and thermal properties of abraded barley. *Cereal Chem* 75:677-685.

Knuckles BE, Chiu MM, Betschart AA. 1992.  $\beta$ -glucan-enriched fractions from laboratory-scale dry milling and sieving of barley and oats. *Cereal Chem* 69:192-202.

Kössö T. 2008. Luokittimen (Minisplit Classifier) käyttöohje.

Lazaridou A, Biliaderis CG. 2007. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *J Cereal Sci* 46:101-118.

Leonard WH, Martin JH. 1963. Barley. *Teoksessa: Cereal Crops*, Macmillan, New York. s 478-543. Viite: Yeung J, Vasanthan T. 2001. Pearling of hull-less barley: Product composition and gel color of pearled barley flours as affected by the degree of pearling. *J Agric Food Chem* 49:331-335.

Leschonski K. 1979. Sieve analysis, the Cinderella of particle size analysis methods. *Powder Technol* 24:115-124.

Liu KS. 2007. A modified laboratory method to remove outer layers from cereal grains using a barley pearler. *Cereal Chem* 84(4):399-406.

Liu KS. 2009. Some factors affecting sieving performance and efficiency. *Powder Tech* 193:208-213.

MacGregor AW, Fincher GB. 1993. Carbohydrates of the barley grain. *Teoksessa: MacGregor AW, Bhatti RS, toim. Barley Chemistry and Technology*. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists. s 73-130.

Madhujith T, Izydorczyk MS, Shahidi F. 2006. Antioxidant properties of pearled barley fractions. *J Agric Food Chem* 54:3283-3289.

McCleary BV, Gibson TS, Solah V, Mugford DC. 1994a. Total starch measurement in cereal products: Interlaboratory evaluation of a rapid enzymic test procedure. *Cereal Chem* 71:501-505.

McCleary BV, Solah V, Gibson TS. 1994b. Quantitative measurement of total starch in cereal flours and products. *J Cereal Sci* 20:51-58.

Miller SS, Fulcher RG. 1994. Distribution of (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan in kernels of oats and barley using microspectrofluorometry. *Cereal Chem* 71:64-68.

Morell MK, Kosar-Hashemic B, Cmiel M, Samuel MS, Chandler P, Rahman S, Buleon A, Batey IL, Li Z. 2003. Barley *sex6* mutants lack starch synthase IIa activity and contain a starch with novel properties. *Plant J* 34:173-185.

Morrison WR, Scott DC. 1986. Measurement of the dimensions of wheat granule populations using a Coulter counter with 100-channel analyzer. *J Cereal Sci* 4:13-21.



Morrison WR, Scott DC, Karkalas J. 1986. Variation in the composition and physical properties of barley starches. *Starch* 38:374-379.

Mälkki Y, Myllymäki O, Teinilä K, Koponen S, keksijät; Avena Oy, hakija. 13.10.1999. A method for preparing an oat product and a foodstuff enriched in the content of beta-glucan. PCT Patent Application WO 01/26479A1.

Mälkki Y. 2004. Trends in dietary fibre research and development. *Acta Alimentaria* 33: 39-62.

Nadel D, Weiss E, Simchoni O, Tsatskin A, Danin A, Kislev M. 2004. Stone Age hut in Israel yields world's oldest evidence of bedding. *Proc Natl Acad Sci. USA.* 101:6821-6826.

Newman CW, Newman RK. 2005. Hulless Barley for Food and Feed. Teoksessa: Abdel-Aal E, Wood P, toim. *Speciality grains for food and feed.* St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists. s 167-202.

Newman CW, Newman RK. 2008. *Barley for food and health: science, technology and products.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. s 1-126.

Osborne TB. 1924. *The vegetable proteins.* Longmans Green and Co., New York.

Oscarsson M, Andersson R, Salomonsson A-C, Åman P. 1996. Chemical composition of barley samples focusing on dietary fiber components. *J Cereal Sci* 24:161-170.

Oscarsson M, Parkkonen K, Autio K, Åman P. 1997. Composition and microstructure of waxy, normal and high amylose barley samples. *J Cereal Sci* 26:259-264.

Palmer GH. 1989. *Cereals in malting and brewing.* Teoksessa: Palmer GH, toim. *Cereal Science and Technology.* Aberdeen: The University Press. s 56-249.

Pérez-Vendrell AM, Brufau J, Molina-Cano JL, Francesh M, Guasch J. 1996. Effects of cultivar and environment on  $\beta$ -(1,3)-(1,4)-D-glucan content and acid extract viscosity of Spanish barleys. *J Cereal Sci* 23:285-292.

Perttu J. 2008. Ohraetanolin energia- ja kasvihuonekaasutaseet Koskenkorvan tehtaalla. (Energy and GHG balances of barley ethanol at Koskenkorva factory) [MSc thesis]. Helsinki: University of Helsinki, Department of Agrotechnology. 61 p.

Peterson DM. 1994. Barley tocols: Effects of milling, malting and mashing. *Cereal Chem* 71:42-44.

Pomeranz Y. 1972. Scanning electron microscopy of the endosperm of malted barley. *Cereal Chem* 49:5-19.

Pomeranz Y, Ke H, Ward AB. 1971. Composition and utilization of milled barley products. I. Gross composition of roller-milled and air-separated fractions. *Cereal Chem* 48:47-58.

Purugganan MD, Fuller DQ. 2009. The nature of selection during plant domestication. *Nature* 457:843-848.

- Pöyry Environment Oy. 2012. Altia Corporation Koskenkorvan tehtaan laajennus –Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Saatavilla internetistä: <http://www.miljo.fi/download.-asp?contentid=58167&lan=fi>. Tulostettu 1.6.2012.
- Raisio Oyj. 2009. Vastaanottovaatimukset ja laatuhinnoittelu vilja- ja öljykasveille 2009. Saatavilla internetistä: <http://www.raisio.com/www/page/1623>. Tulostettu 31.3.2009.
- Robbins GS, Pomerantz Y. 1972. Composition and utilization of milled barley products. III. Amino acid composition. *Cereal Chem* 49:240-246.
- Ryan E, Galvin K, O'Connor TP, Maguire AR, O'Brien NM. 2007. Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods Hum Nutr* 62:85-91.
- Rämö S, Hietaniemi V, Parikka P, Hankomäki J. 2008. Lajittelu ja kuorinta vähentävät viljojen hometoksiineja. *Maaseudun Tiede* 3:16.
- Shapiro M, Galperin V. 2005. Air classification of solid particles: review. *Chem Eng Process* 44:279-285.
- Shewry PR. 1993. Barley seed proteins. Teoksessa: MacGregor AW, Bhatti RS, toim. *Barley: chemistry and technology*. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists. s 131-97.
- Shulte D, Close TJ, Graner A, Langridge P, Matsumoto T, Muehlbauer G, Sato K, Schulman AH, Waugh R, Wise RP, Stein N. 2009. The International Barley Sequencing Consortium-At the Threshold of Efficient Access to the Barley Genome. *Plant Physiol* 149:142-147.
- Sibakov J, Myllymäki O, Holopainen U, Kaukovirta-Norja A, Hietaniemi V, Pihlava J-M, Lehtinen P, Poutanen K. 2011. Lipid removal enhances separation of oat grain cell wall material from starch and protein. *J Cereal Sci* 54:104-109.
- Srinivasan R, Singh V. 2008. Physical properties that govern fiber separation from distillers dried grain with solubles (DSSG) using sieving and air classification. *Separ Purificat Technol* 61:461-468.
- Sumner AK, Gebre-Egziabher A, Tyler RT, Rosnagel BG. 1985 Composition and properties of pearled and fines fractions from hulled and hull-less barley. *Cereal Chem* 62:112-116.
- Sundberg B, Åman P. 1994. Fractionation of different types of barley by roller milling and sieving. *J Cereal Sci* 19:179-184.
- Sundberg B, Tilly A-C, Åman P. 1995. Research note. Enrichment of mixed-linked (1-3), (1-4)- $\beta$ -D-glucans from a high-fibre barley-milling stream by air classification and stack-sieving. *J Cereal Sci* 21:205-208.
- Temelli F. 1997. Extraction and functional properties of barley  $\beta$ -glucan as affected by temperature and pH. *J Food Sci* 62:1194-1197.

- Tike, 2009. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Viljelykasvien sato vuonna 2008. Saatavilla internetistä: [http://www.mmm.fi/attachments/5hieIZyrT/5EcYS1Jmk/Files/CurrentFile/viljelykasvien\\_sato\\_2008.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/5hieIZyrT/5EcYS1Jmk/Files/CurrentFile/viljelykasvien_sato_2008.pdf). Tulostettu 29.1.2009.
- Ullrich SE, Clancy JA, Eslick RF, Lance RCM. 1986. Beta-glucan content and viscosity of waxy barley. *J Cereal Sci* 4:279-285.
- Vasanthan T, Temelli F. 2008. Grain fractionation technologies for cereal beta-glucan concentration. *Food Res Int* 41:876-881.
- Vose JR, Youngs CG. 1978. Fractionation of barley and malted barley flours by air classification. *Cereal Chem* 55:280-286.
- Walker JT, Merritt NR. 1969. Genetic control of abnormal starch granules and high amylose content in a mutant of Glacier barley. *Nature* 221:482-483.
- Wang L, Xue Q, Newman RK, Newman CW. 1993. Enrichment of tokopherols, tokotrienols and oil in barley fractions by milling and pearling. *Cereal Chem* 70:499-501.
- Weightman R. 2002. Oatec: New Technology for New Markets. Saatavilla: [http://www.oat.co.uk/pdfs/oatec/oatec\\_exec.pdf](http://www.oat.co.uk/pdfs/oatec/oatec_exec.pdf).
- Wood PJ, Weisz J, Beer MU, Newman CW, Newman RK. 2003. Structure of (1->3)(1->4)- $\beta$ -D-glucan in waxy and nonwaxy barley. *Cereal Chem* 80:329-332.
- Wu YV, Doehlert DC. 2002. Enrichment of  $\beta$ -glucan in oat bran by fine grinding and air classification. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol* 35:30-33.
- Wu YV, Stringfellow AC. 1995. Enriched protein and  $\beta$ -glucan fractions from high-protein oats by air classification. *Cereal Chem* 72:132-134.
- Wu YV, Stringfellow AC, Inglett GE. 1994. Protein- and  $\beta$ -glucan enriched fractions from high-protein, high- $\beta$ -glucan barleys by sieving and air classification. *Cereal Chem* 71:220-223.
- Xue Q, Wang L, Newman RK, Newman CW, Graham H. 1997. Influence of the hullless, waxy starch and short-awn genes on the composition of barleys. *J Cereal Sci* 26:251-257.
- Yeung J, Vasanthan T. 2001. Pearling of hull-less barley: Product composition and gel color of pearled barley flours as affected by the degree of pearling. *J Agric Food Chem* 49:331-335.
- Zheng GH, Bhatta RS. 1998. Enzyme-assisted wet-separation of starch from other seed components of hull-less barley. *Cereal Chem* 75:247-250.
- Zheng GH, Rosnagel BG, Tyler RT, Bhatta RS. 2000. Distribution of  $\beta$ -glucan in the grain of hull-less barley. *Cereal Chem* 77:140-144.

## LIITTEET

Liite 1, sivu 1 (2). Näytteiden valmistuksessa ja analysoinnissa käytetyt laitteet ja välineet.

### *Kemikaalit, vesi ja jää*

- Analyyseissä käytetyt laboratoriokemikaalit laadultaan: analyysi tai pro analyysi
- Vesi: milli-Q-water system, Millipore S.A. Molsheim Ranska. TL00104
- Jäämurska: Scotsman AF-10, Frimont S.p.A. Milano Italia. TL00284

### *Pipetit*

Finnpipetit, Labsystems, Helsinki, Suomi

- 5-40 µl. e 577734027650
- 40-200 µl. d 05526
- Digital 200-1000 µl. IV10024
- Digital 200-1000 µl. X10159

### *Vaa'at*

Mettler-Toledo GmbH, Greifensee, Sveitsi

- PG-203-S; max = 210 g, d = 0,001 g. TL00775
- PB3002; max = 3100 g, min = 0,5 g, d = 10 mg, e = 0,1 g. TL00141
- AT200 FACT; max = 205 g, d = 0,1 mg. TL00774
- AT200 FACT; max = 205 g, d = 0,1 mg. TL00045

### *Näytteiden jauhamiseen käytetyt myllyt*

- Kosteudenmääritys mylly: DLFU, nro: 20350548, asetus 0,2 mm, Miag GmbH, Braunschweig Saksa. TL00091
- Laboratoriomylly: FRITSCH, Pulverisette 14, nro: 14.200/116, 0,5 mm seula, Idar-Oberstein Saksa. TL00092
- Hienojauhatusmylly: 100 UPZ-Ib, nro: P2 152108/1, tappilevyt, Hosokawa Alpine AG, Augsburg Saksa. TL00905
- Näytteensyöttölaite hienojauhatusmyllyssä: Retsch DR100, värähtelynopeus 40/min, Retsch GmbH, Haan Saksa.

### *Seulonta ja ilmaluokittelu*

- Seulasarja: 75, 95, 132, 180, 250, 355, 475, 633, 750, 1000 sekä 1250 µm, puukehyksisiä nailonverkkoseuloja
- Seulojen ravistelija: Rüetschi + Co. AG, Suhr Sveitsi. TL00005
- Ilmaluokittelulaitteisto: Minisplit Classifier, British Rema Manufacturing Company Ltd. TL00889
- Partikkelikokoanalysointilaite ja kuivamoduli: Laser diffraction particle size analyser LS230 ja Dry powder module. Coulter Co, Miami USA. TL00807

### *Stereomikroskopiointi*

- Stereomikroskoopi: Olympus BX50F. Olympus Optical Co, Japani. TL00174

Liite 1, sivu 2 (2). Näytteiden valmistuksessa ja analysoinnissa käytetyt laitteet ja välineet

*Beetaglukaanipitoisuuden määrittäminen*

- Keittolevy: Nordica 6514 nro: HW100355
- Sentrifuugi: Megafuge 1.0 Heraeus Instruments, Kendro laboratory products, Osterode Saksa. TL00273
- Lämpölevy-magneettisekoittaja: Heidolph MR2002, Heidolph Instruments GmbH & Co.KG, Schwabach Saksa. TL00254
- Beetaglukaanianalysointilaitteisto: Tecator, Carlsberg System  $\beta$ -GLUCAN 5700 Analyzer, Foss Instruments, Ruotsi. TL00271
- Tiedonkeruu: Powerflex plus- PC, nro: 1358531, Multisync-näyttö sekä IBM-matriisitulostin, nro: 5152004 Japani

*Proteiinienuutto ja luokittelu*

- Proteiinien määrittämissarja: 2- D Quant Kit, lot: 1107-03, expiry: 2008-11. Amersham Biosciences Corp, Piscataway USA
- Mikrosentrifuugiputket: Greiner Bio-One GmbH, Frickenhausen Saksa
- Mikrosentrifuugi: Eppendorf Sentrifuge 5417-C, Eppendorf AG, Hamburg Saksa. TL00275
- Pöytäfuugi: Labnet, Spectrafuge MINI C1301, Korea. TL00244
- Vesihaude; kierrätävä lämmitin: Lauda CS, Lauda Dr. R. Wobser GmbH & Co KG; Lauda, Königshofen Saksa. TL00783 ja TL 00784
- Tasoravistelijä: Desaga CM-9 combi mixer, Wiesloch Saksa. TL00276
- Spektrofotometri: UV-1800 Shimadzu UV Spectrophotometer, Shimadzu Co. Kioto Japani. TL00086
- Kyvetit: Sarstedt AG & Co., Nümbrecht Saksa

*Typpipitoisuuden analysointi*

- Magneettisekoittaja: BIBBY Stuart Scientific, Magnetic stirrer SM8, Stuart Scientific Ltd., Staffordshire UK
- pH-mittari: WTW, pH-meter 526, Wissenschaftlich – Technische Werkstätten, Weilheim Saksa
- Kjeldahl-laitteisto: FOSS Analytical AB, Höganäs Ruotsi
  - Kjeltech 2300 Analyzer Unit, TL00241
  - Tecator 2020 Digester, TL00101
  - Exhaust system 1030 Scrubber Unit, TL00100

*Kosteuspitoisuuden määrittäminen*

- Kannelliset kosteusmaljat: ruostumaton teräs, d = 66 ja h = 20 mm.
- Lämpökaappi, 131 °C: Salvis-thermocenter. TL00263
- Eksikkaatorit: 768 Glaswerk Wertheim GmbH, Wertheim am Main Saksa

*Tuhkapitoisuuden määrittäminen*

- Lämpökaappi: Heraeus FB 420, W.C. Heraeus Hanau, Metzinger Saksa. TL00059
- Posliiniupokkaita 79MF/7, Haldenwanger AG, Berlin Saksa
- Muhveliuuni: Naber 11, nro: 81497, Nabertherm GmbH, Lilienthal Saksa
- Eksikkaatorit: 768 Glaswerk Wertheim GmbH, Wertheim am Main Saksa.

Liite 2. Pitoisuuksien määrittämissä käytetyt laskukaavat.

a) *Kosteus- ja tuhkapitoisuus (%) kuiva-aineesta*

$$K / T = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad [ 1 ]$$

jossa,

K/T = näytteen kosteus- / tuhkapitoisuus prosentteina

m<sub>1</sub> = näytteen massa ennen käsittelyä (g)

m<sub>2</sub> = näytteen massa käsittelyn jälkeen (g)

b) *Typpipitoisuus (%) kuiva-aineesta*

$$N = \frac{14,01 \frac{g}{mol} \cdot c \cdot V}{m} \cdot \frac{100}{100 - K} \quad [ 2 ]$$

jossa,

N = näytteen liukoinen typpipitoisuus (mg/ml)

c = titrausliuoksen konsentraatio (0,1 M)

V = titrauksessa kuluneen liuoksen tilavuus (ml)

m = näytemäärä (g)

K = kosteuspitoisuus (%)

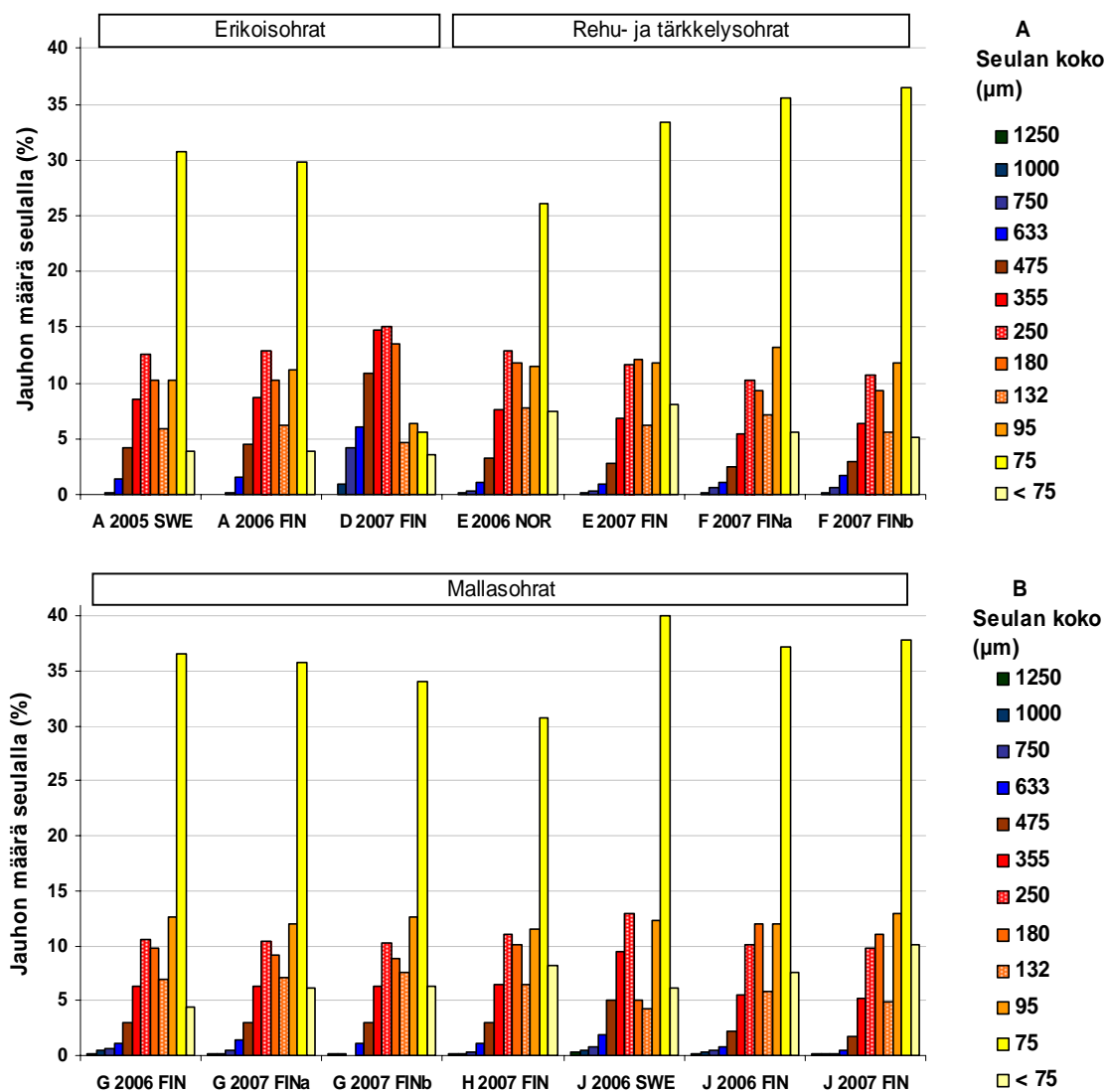
*Proteiinipitoisuus kuiva-ainetta kohden (%) lasketaan kaavalla*

$$P = N \times 6,25$$

c) *Hionta-aste (%) tuorepainosta*

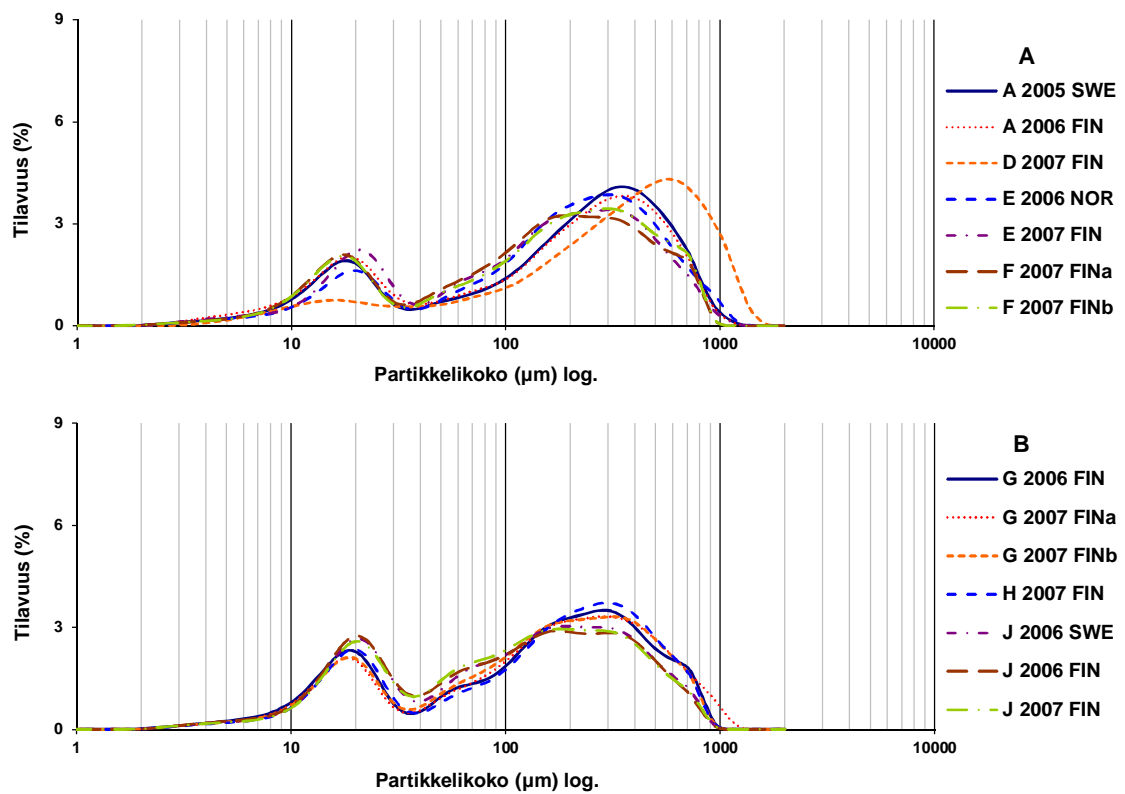
$$\text{Hionta - aste (\%)} = \frac{(\text{hiomattomien} - \text{hiottujen}) \text{ jyvien massa (g)}}{(\text{hiomattomien}) \text{ jyvien massa (g)}} \times 100 \quad [ 3 ]$$

Liite 3, sivu 1 (2). Kokojvājauhojen seula-analyysit ja partikkelikokojakaumat.



**Kuva 1.** Erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden hienojauhatusmyllyllä jauhetun jauhon seula-analyysi, kahden näytteen keskiarvona.

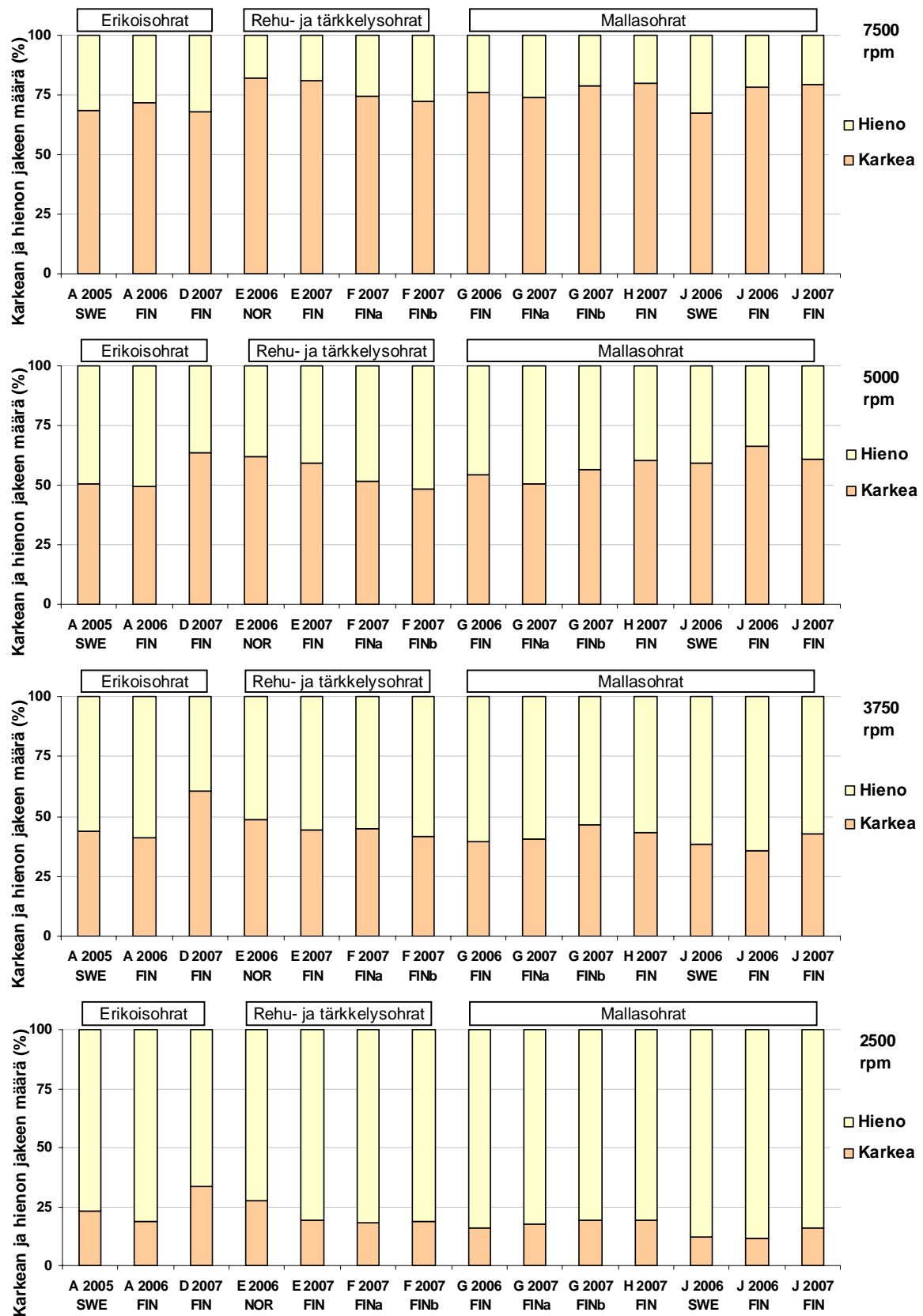
Liite 3, sivu 2 (2). Kokojvājauhojen seula-analyysit ja partikkelikokojakaumat.



**Kuva 2.** Erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohra- (B) tyyppisten lajikkeiden hienojauhatusmyllyllä jauhettujen kokojvājauhojen tilavuudellinen (%) partikkelikokoanalyysi, kahden näytteen keskiarvona.

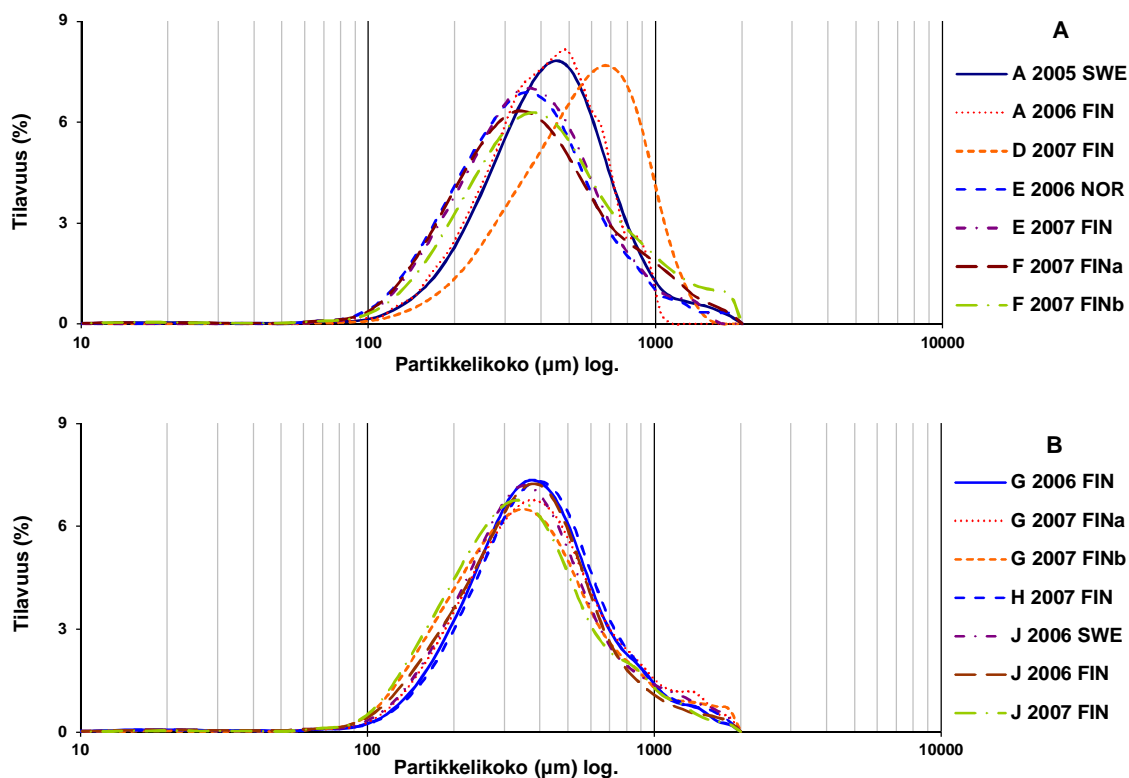


Liite 4. Kokojyväjauhoista luokiteltujen karkeiden ja hienojen jakeiden osuudet.

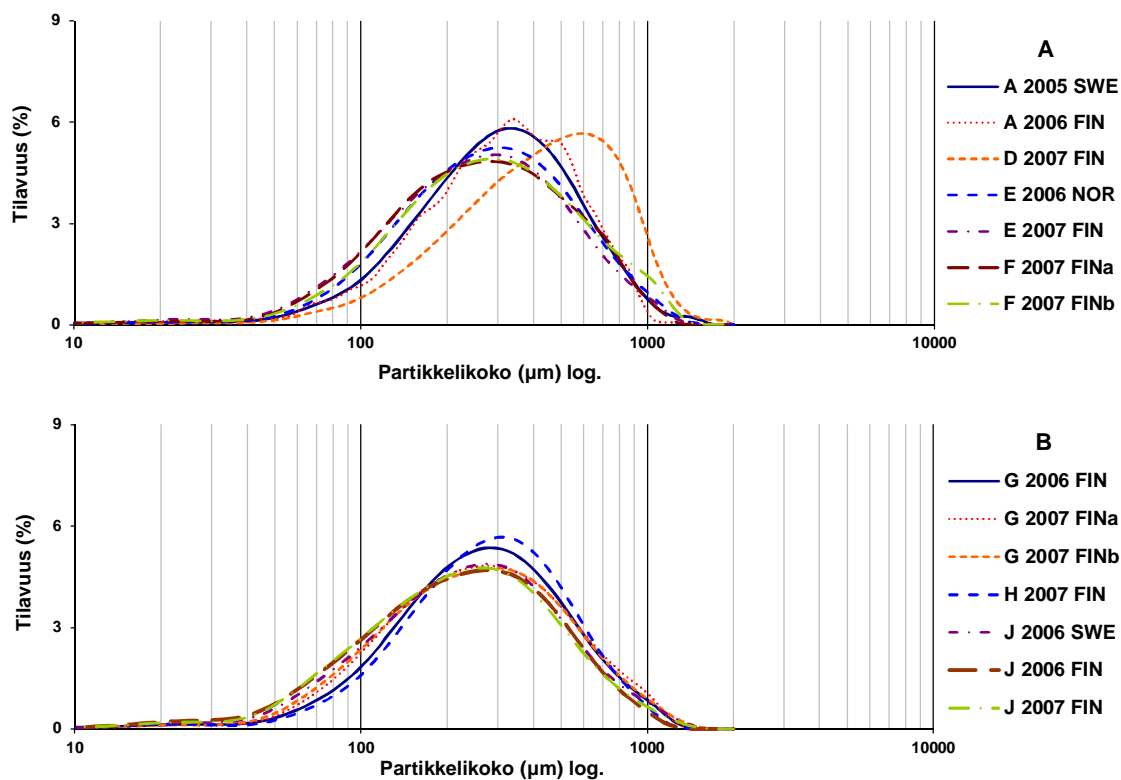


**Kuva 1.** Hienojauhatusmyllyllä jauhettujen jauhojen jakautuminen hienoon ja karkeaan jakeeseen, kun kokojyväjauhoa ilmaluokiteltiin neljällä eri roottorin pyörimisnopeudella (2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm).

Liite 5, sivu 1 (2). Kokojyväjauhoista luokiteltujen karkeiden jakeiden partikkelikokojakaumat.

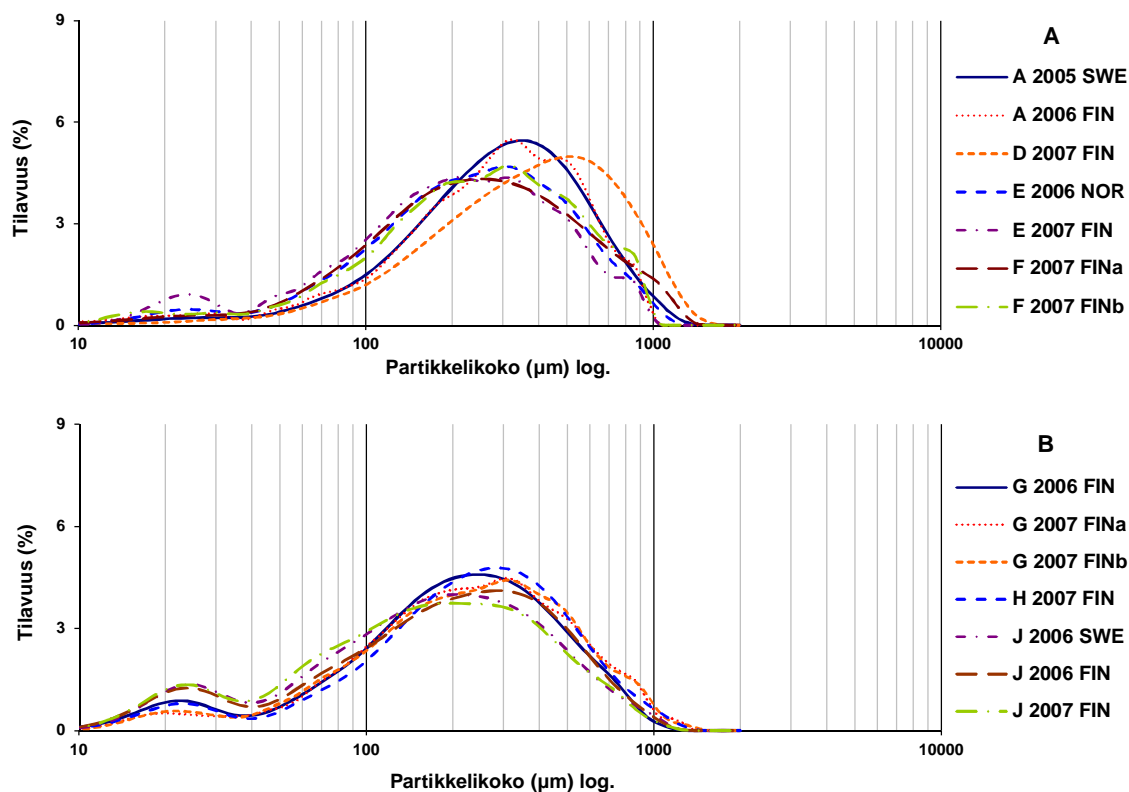


**Kuva 1.** Hienojauhatusmyllyllä jauhetuista jauhoista 2500 rpm roottorinopeudella luokiteltujen erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden karkeiden jakeiden tilavuudelliset partikkelikokojakaumat.

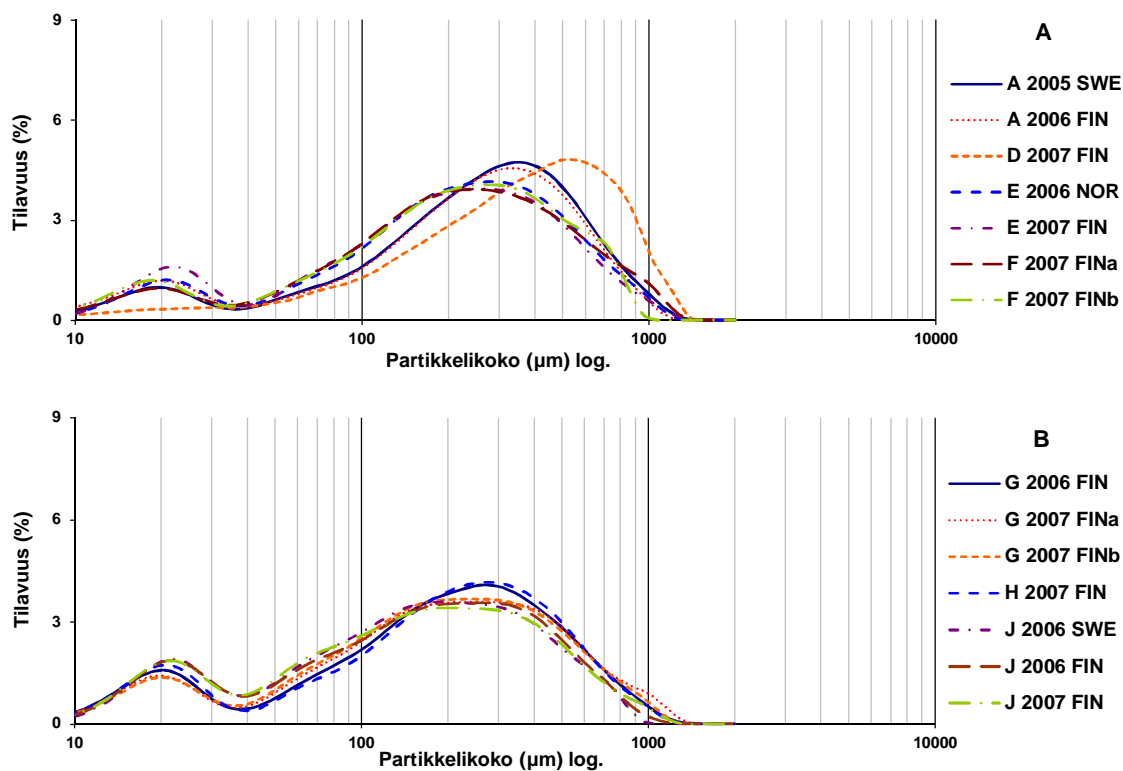


**Kuva 2.** Hienojauhatusmyllyllä jauhetuista jauhoista 3750 rpm roottorinopeudella luokiteltujen erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden karkeiden jakeiden tilavuudelliset partikkelikokojakaumat.

Liite 5, sivu 2 (2). Kokojyväjauhoista luokiteltujen karkeiden jakeiden partikkelikokojakaumat.

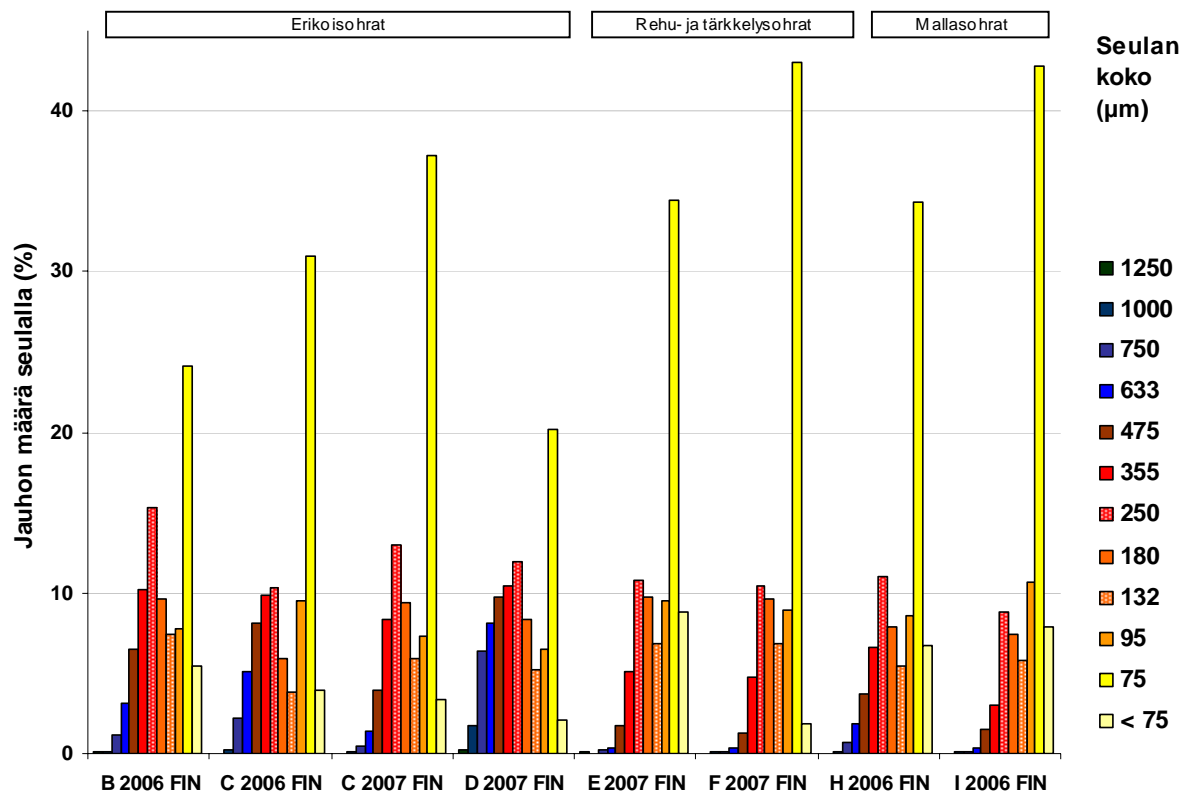


**Kuva 3.** Hienojauhatusmyllyllä jauhetuista jauhoista 5000 rpm roottorinopeudella luokiteltujen erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden karkeiden jakeiden tilavuudelliset partikkelikokojakaumat.



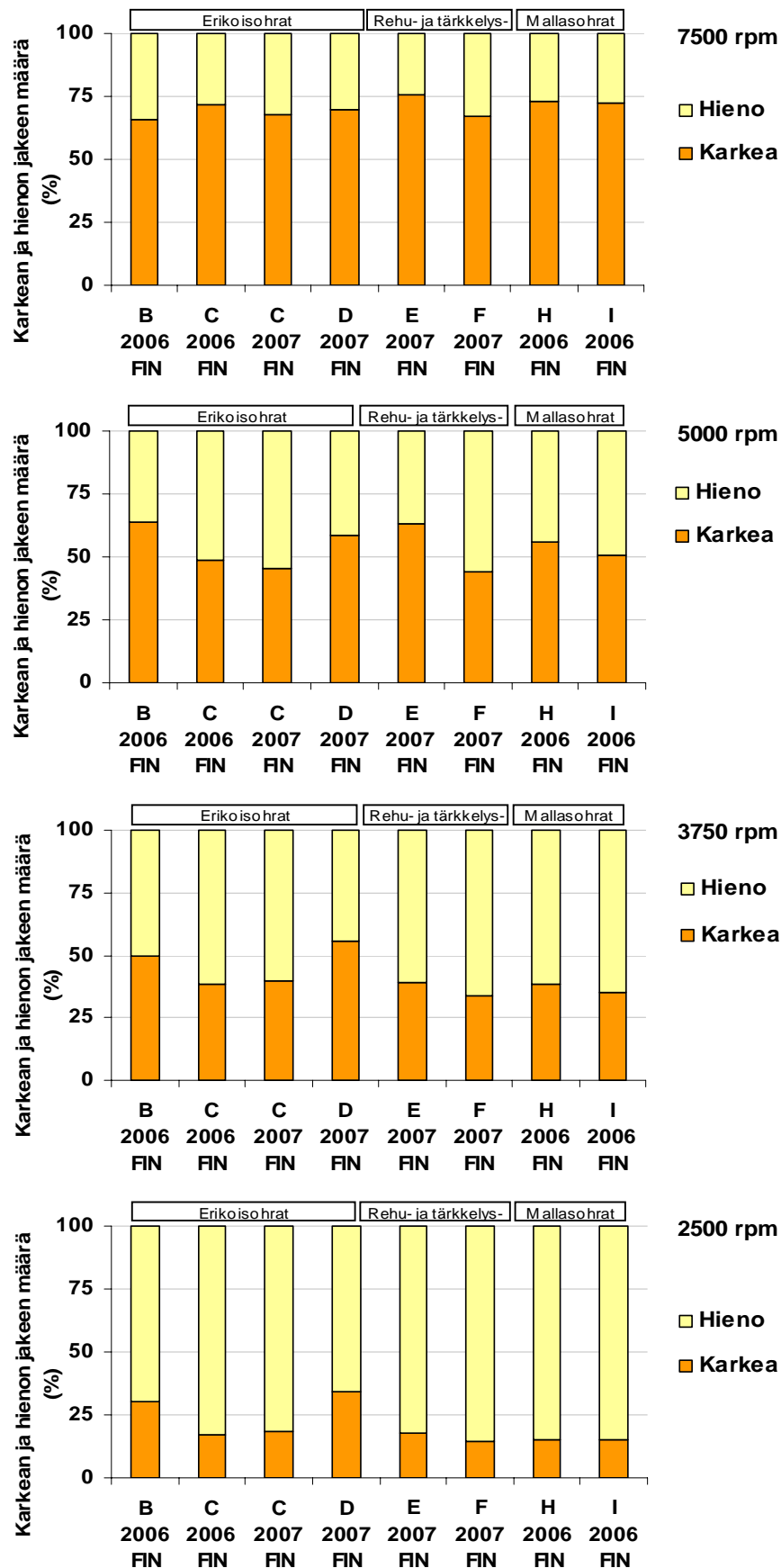
**Kuva 4.** Hienojauhatusmyllyllä jauhetuista jauhoista 7500 rpm roottorinopeudella luokiteltujen erikoisohra-, tärkkelysohra- ja rehuohra- (A) sekä mallasohratyyppisten (B) lajikkeiden karkeiden jakeiden tilavuudelliset partikkelikokojakaumat.

## Liite 6. Hiotuista jyvistä jauhattujen jauhojen seula-analyysit.



**Kuva 1.** Hiottujen, 15–20 %, jyvien hienojauhatusmyllyllä jauhetun jauhon partikkeli-kokojakauma seulasarjalla analysoituna. Tulos on kahden seulonnan keskiarvo.

## Liite 7. Hioutuista jyvistä jauhettujen jauhojen ilmauokittelut.



**Kuva 1.** Hiottujen jyvien kokojyväjauhojen jakautuminen ilmauokittelussa karkeaan ja hienoon jakeeseen neljällä eri roottorinopeudella: 2500, 3750, 5000 ja 7500 rpm.