

Hanna Pöntynen

# Raaka-aineiden vaikutus oluen laatuun

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Bio- ja elintarviketekniikka  
Insinöörityö  
31.5.2012

Tekijä Otsikko	Hanna Pöntynen Raaka-aineiden vaikutus oluen laatuun
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liite 31.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	tuotantopainotteinen
Ohjaaja	lehtori Carola Fortelius
<p>Oluen pääraaka-aineiden maltaan, veden, humalan ja hiivan laadut ovat merkittäviä tekijöitä sekä oluen valmistusprosessin että valmiin tuotteen onnistumisen kannalta. Tässä insinööriyössä oli tarkoitus perehtyä siihen, miten raaka-aineiden laatu vaikuttaa olueen ja olutprosessiin.</p> <p>Oluen valmistus alkaa mallasohran oikeaoppisesta viljelystä. Ohra puidaan varovasti pellolta, josta se siirtyy mallastamoon. Mallastuksessa ohran jyvät liotetaan kosteuden lisäämiseksi idätystä varten. Idätyksessä mallas möyhentyy ja siinä muodostuu mäsikäyksen kannalta tärkeitä entsyymejä. Mallastuksen lopussa jyvät kuivataan säilyvyyden ja jauhautuvuuden takaamiseksi.</p> <p>Mallastuksen jälkeen alkaa vierteen valmistus maltaan jauhatuksella. Jauhettu mallas mäsätään, eli sekoitetaan veden kanssa mäsikattilaan. Mallas-vesiseos kuumennetaan vaiheittain, jotta eri entsyymeille saadaan optimaalinen toimintalämpötila ja hiilihydraatit hydrolysoituvat käymiskelpoisiksi sokereiksi.</p> <p>Mäsikäyksen jälkeen vierre erotetaan mäsikistä ja keitetään keittokattilassa, jossa humala lisätään vierteeseen. Vierre steriloidaan keittämällä, jotta käymisen aikana välttyttäisiin vieraiden mikrobien kasvulta. Keiton jälkeen vierteestä erotetaan rupa ja vierre jäädytetään käymisastiaan, johon lisätään hiiva. Pää- ja varastokäyminen kestää noin kaksi viikkoa, jonka jälkeen olut voidaan kirkastaa ja pullottaa.</p> <p>Oluen laadun kannalta mallastuksen täytyy onnistua moitteettomasti, veden täytyy olla erittäin hyvälaatuisia ja mielellään pehmeää. Humalalla on tärkeä merkitys oluen raikkaan maun ja säilyvyyden kannalta. Hiiva on oluen valmistuksen kannalta hyvin tärkeä raaka-aine, sen ansiosta käymisessä muodostuu etanolia ja hiilidioksidia sekä hiiva muodostaa olueen sille tyypillisen flavorin.</p>	
Avainsanat	Oluen raaka-aine, mallas, hiiva, humala, olutprosessi

Author Title	Hanna Pöntynen The Effects of Raw Materials to the Quality of Beer
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendice May 31, 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	Product Orientated Training Programme
Instructor(s)	Carola Fortelius, Lecturer
<p>The quality of the main raw materials of beer: malt, water, hops and yeast, are important issues for both the manufacturing of beer and the successfulness of the finished product. The aim of this final engineering project was to study the impact of these raw materials on the quality of beer and the beer-making process.</p> <p>The manufacturing of beer begins with the approved cultivation method of malted barley. Barley is harvested in the field and is then moved to the malt house. In malting the barley grains are soaked to increase the moisture content for germination. During germination the malt loosens up and it forms important enzymes for mashing. At the end of malting the grains are dried in order to preserve and guarantee their grind-ability.</p> <p>The production of wort begins after the malting by malt milling. The milled malt is mashed or mixed with water in the mashing container. The malt-aqueous mixture is heated gradually in order to ensure different enzymes with their optimum operating temperature and to ensure that the carbohydrates are able to hydrolyze into fermentable sugars.</p> <p>After mashing the wort is separated from the mash and cooked in a kettle, in which hops is added to the wort. The wort is sterilized by boiling it, in order to prevent the growth of foreign microorganisms during fermentation. After boiling, the remnants of hops are centrifuged away and the wort is then cooled in a fermentation dish, into which yeast can then be added. The main fermentation process takes about two weeks, after which the beer can be brightened and bottled.</p> <p>The quality of the beer depends on the malting succeeding meticulously, the water must be very good quality and preferably soft. Hops have an important role in maintaining the fresh taste of the beer and its preservation, as well as, forming a specific flavor when an aromatic hops is added.</p> <p>Yeast is an essential ingredient in the process of beer making. As a result of adding yeast, ethanol and carbon dioxide are produced during fermentation, and the yeast forms the characteristic flavor to the beer.</p>	
Keywords	The raw material of beer, malt, yeast, hops, beer process

## Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Oluen valmistusprosessi	2
2.1	Mallastus	2
2.2	Jauhatus	3
2.2.1	Kuivarouhe- eli valssimyllyt	3
2.2.2	Vasarmylly	5
2.2.3	Märkärouhemylly	5
2.3	Mäskäys	6
	Mäskäysmenetelmät	7
2.4	Vierteen erotus mäskistä	11
2.5	Vierteen keitto	14
2.6	Vierteen selkeytys	14
2.7	Vierteen jäädytys	15
2.8	Käyminen	16
2.9	Suodatus	16
2.10	Pullotus	16
3	Raaka-aineiden laatu	17
3.1	Mallasohran ja maltaan laatuvaatimukset	17
3.1.1	Mallasohra	18
3.1.2	Mallas	19
3.2	Panimovesi	22
3.2.1	Raakavesi	22
3.2.2	Raakaveden puhdistus	23
3.2.3	Panimoveden laatuvaatimukset	25
3.3	Humalat	27
3.3.1	Humalakävyt	27
3.3.2	Humalan katkeroaineet	28
3.3.3	Humalapulverit ja humalarakeet	29
3.3.4	Isomeroidut humalauutteet	30
3.4	Hiiva	30
3.4.1	Hiivojen ryhmittely	31
3.4.2	Panimohiivan ravintovaatimukset	32

3.4.3	Panimohiivan happivaatimukset	34
3.4.4	Panimohiivan suhtautuminen lämpötilaan ja happamuuteen	34
3.4.5	Panimohiivan flokkuloituminen	34
4	Yhteenveto	36
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1. Sosiaali- ja terveysministeriön asettamat laatuvaatimukset talous- ja juomavedelle	

## **1 Johdanto**

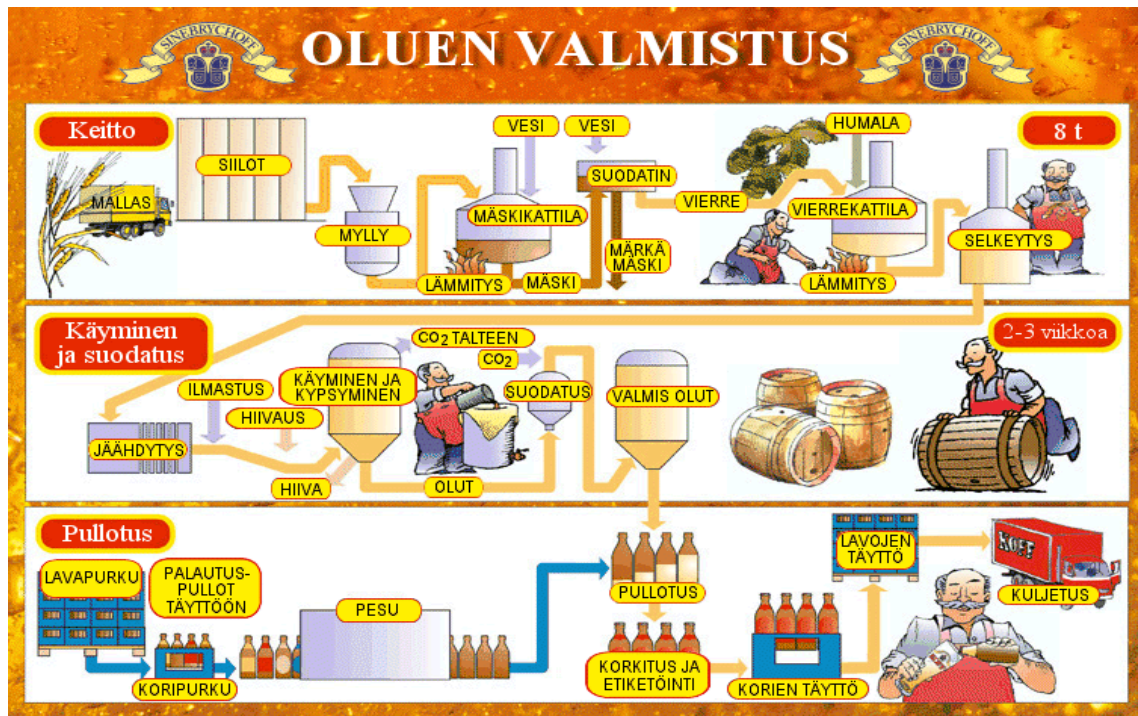
Olut on suosittu ja tunnettu alkoholijuoma kaikkialla maailmassa. Oluen valmistus on tunnettu jo noin 6000 vuotta, joten prosessi on vanha. Tieteen ja tekniikan kehittyessä on oluen valmistuskin kehittynyt ja laadunvarmistamiseksi on oluen raaka-aineille laadittu laatuvaatimukset.

Tässä työssä käsitellään oluen valmistusprosessiin vaikuttavia raaka-ainetekijöitä sekä raaka-aineiden laadun vaikutusta valmiiseen olueen. Alkuun esitellään oluen valmistusprosessi, jonka tunteminen on hyödyllistä, kun puhutaan raaka-aineiden laadun vaikutuksesta tiettyyn prosessivaiheeseen tai -menetelmään.

Lopuksi käydään läpi oluen pääraaka-aineiden valmistusvaiheet, laatuvaatimukset ja niiden merkitys oluen valmistuksessa.

## 2 Oluen valmistusprosessi

Oluen valmistus muodostuu mallastuksesta, vierteen keitosta, käymisestä ja kirkastuksesta ja pullotuksesta. Prosessissa on käytössä useita erilaisia yksikköoperaatioita, joita esitellään tässä luvussa. Kuvassa 1 on oluen valmistusprosessi lyhyesti kuvin havainnollistettuna.



Kuva 1. Sinebrychoffilla oluen valmistusprosessi alkaa maltaan toimituksesta ja päättyy valmiin oluen kuljetukseen jälleenmyyjille. (Sinebrychoff 2012)

### 2.1 Mallastus

Ohrasta valmistettu mallas kuuluu oluen valmistuksen pääraaka-aineisiin. Ohraa käytetään yleisesti maailmalla oluen valmistukseen, koska sen viljely on mahdollista eri leveysasteilla, joten ohran viljely on levinnyt ympäri maailmaa. Ohra on hyvin soveltuva valinta mallastukseen muihin viljalajeihin verrattuna, koska ohran kuori ei irtoa puinnissa. Jyvän kuori suojaa mallastuksen aikana itua vahingoittumiselta, samoin idätyksessä käännettäessä ja siirrettäessä jyviä. Mallastuksen aikana ohrassa muodostuu mäsäyksessä tarvittavia entsyymejä. Mallastuksen vaiheet ovat liotus, itäminen ja kuivaus. (Enari & Mäkinen 1993: 9, 16; Harrison 2009: 23–33; Quality factors in malting barley 2012)

Liotuksessa ohran kosteus nostetaan riittävän korkeaksi, jotta itäminen olisi mahdollista. Liotus vaatii useita vedenvaihtokertoja ja ilmastusta, koska ohra käyttää hapen nopeasti hengitykseensä. Kun juuri-idut tulevat näkyviin ohra on valmista idätykseen.

Idätys on tärkeä vaihe mallastuksen kannalta, koska silloin muodostuu hydrolyyttisiä entsyymejä ja mallas möyhentyy eli muuttuu helposti jauhautuvaksi.

Kuivauksen tarkoitus on lopettaa itäminen ja saada mallas säilyväksi ja jauhautuvaan muotoon. Kuivauksessa maltaan kosteus lasketaan hyvin matalaksi kuumen ilmavirran avulla. Kuivauksen aikana tapahtuu kemiallisia reaktioita, joiden aikana muodostuu maltaalle ominaisia flavoryyhdisteitä ja väriaineita. Maillard-reaktiot ovat tyypillisiä kuivauksen aikana tapahtuvia reaktioita. Eri mallastyypit kuivataan omilla menetelmillään. Yleensä valmiit maltaat tuodaan mallastamolta panimoon, jossa ne säilytetään kosteutta eristävissä metallisissa tai betonisissa siloissa. (Enari & Mäkinen 1993: 16–22, 87; Harrison 2009: 23–33; Quality factors in malting barley 2012)

## 2.2 Jauhatus

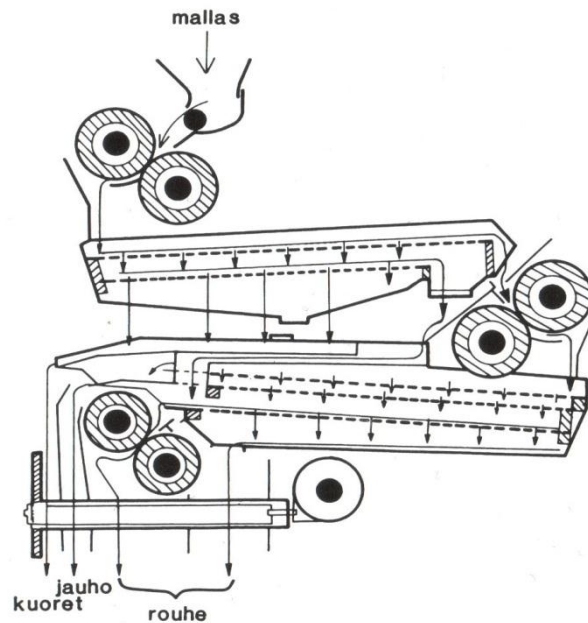
Ennen mäskäystä maltaat rouhitaan. Mäskäyksen tarkoitus on uuttaa maltaista entsyymejä, jotka hydrolysoivat liukenemattomia substraattejaan käymiskelpoisiksi sokeiksi. Jauhetun maltaan karkeus vaikuttaa uutesaantoon ja entsyymien hydrolysointikykyyn; mitä hienojakoisempi jauhatustulos, sitä parempi uutesaanto. Jauhatusmenetelmä riippuu käytettävästä vierteenerotusmenetelmästä. Siiviläammetta (katso luku 2.4) käytettäessä vierteen erotus perustuu maltaiden kuorista muodostuvaan suodattavaan kerrokseen, joten mallasta ei tule jauhaa liian hienoksi. Kun vierteen erotukseen käytetään mäskisuodatinta tai Meura 2001:tä, voidaan mallas jauhaa huomattavasti hienommaksi. Jauhatus voi tapahtua valssi-, vasara- tai märkärouhemyllyillä. (Enari & Mäkinen 1993: 75–76, 87; Eneje ym. 2001: 723–727; Harrison 2009: 23–33)

### 2.2.1 Kuivarouhe- eli valssimyllyt

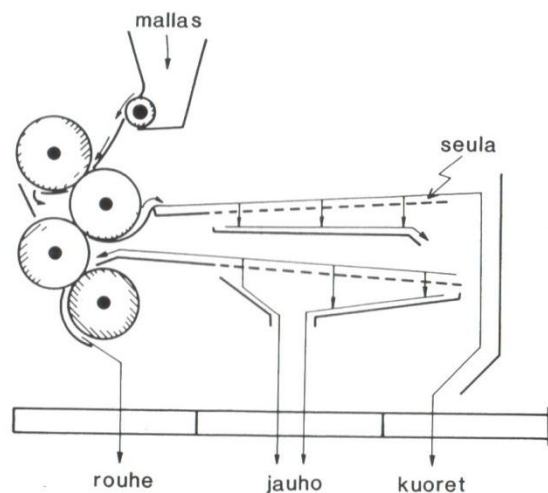
Kuivarouhemyllyt ovat useita valssipareja sisältäviä valssimyllyjä (kuva 1 ja 2), joissa mallas rouhitaan joko kuivana tai kostutettuna. Valssit ovat pituussuunnassa rihlattuja ja valssit pyörivät pareihinsa nähden vastakkaisiin suuntiin. Valssien avulla mallasjyvät murtuvat ja niiden sisältö puristuu ulos ja hienontuu. Valssien etäisyydellä voidaan sää-



tää jauhatusastetta, johon vaikuttaa myös maltaan möyhentyminen. Jos valssimyllyä käytetään siiviläammeen kanssa, on kannattavaa kosteuttaa maltaita pinnasta. Kosteus estää maltaan kuorta rikkoutumasta yhtä paljon kuin kuivana rouhittaessa, näin saadaan suurempi kuoritolavuus siiviläammeessa. Suurempi kuoritolavuus nopeuttaa siivilöintiä ja parantaa uutesaantoa. Kosteutta voi säätää höyryllä tai vedellä ennen jauhatusa, mutta on huomioitava, että jyvän sisäosat eivät saa kostua. (Enari & Mäkinen 1993: 88)



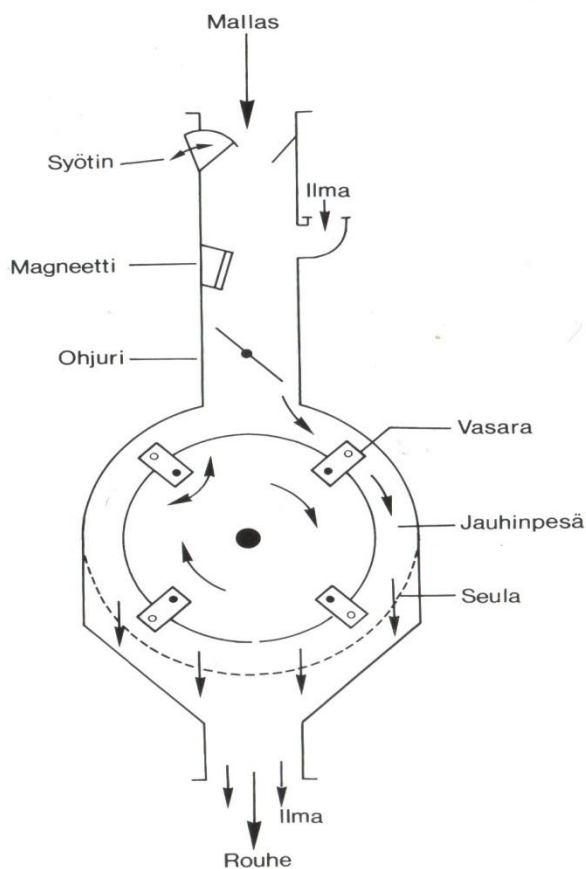
Kuva 2. Kuusivalssimyllyssä on kolme vastakkaisiin suuntiin pyörivää valssiparia. (Enari & Mäkinen 1993: 89)



Kuva 3. Nelivalssimyllyssä on kaksi valssiparia, joiden väliä voidaan säätää halutun jauhatusuloksen ja maltaan jyväkoon mukaan. (Enari & Mäkinen 1993: 88)

### 2.2.2 Vasaramylly

Vasaramylly on valssimyllyyn verrattuna edullinen ja yksinkertainen. Vasaramyllyn toiminta perustuu vasaroiden iskulla rikkoutuviin jyviin, jotka liikkuvat vapaasti myllyn pesässä. Vasaroiden kehänopeus on 75–100 m/s. Vasaramyllyn jauhatustulos on hienojakoista, joten se soveltuu käytettäväksi vierteen erotukseen vain mäskinsuodatinta käytettäessä, koska siiviläammeessa mallasrouheen on oltava karkeampaa. (Enari & Mäkinen 1993: 88)

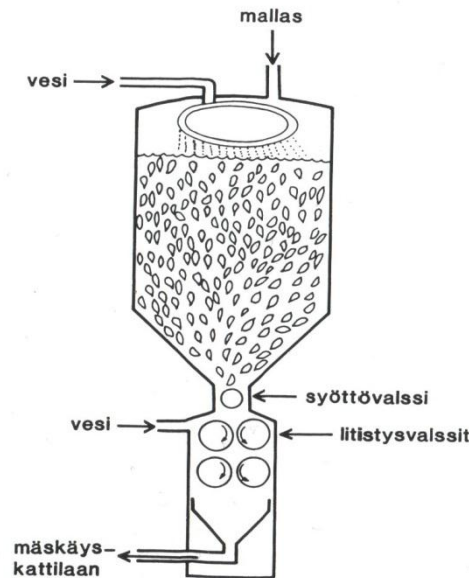


Kuva 4. Vasaramyllyyn mallasjyvät syötetään yläkautta. Jyvät kulkevat paineilman ja ohjurin avulla jauhinpesään, jossa ne kulkevat vapaasti kunnes rikkoutuvat vasaroiden iskusta. Seula on pesän alaosassa, josta riittävästi jauhautunut mallas ohjataan edelleen mäskikattilaan. (Enari & Mäkinen 1993: 88, 90)

### 2.2.3 Märkärouhemylly

Märkärouhemyllyn käyttö soveltuu hyvin siiviläammeen kanssa käytettäväksi. Mäskisuodatinta käytettäessä märkärouhinnan jauhatustulos on liian karkeaa. Märkärouhinnassa mallasta liuotetaan ennen rouhintaa vedessä myllyn päällä olevassa suppi-

lossa (kuva 4). Kostutuksen tarkoitus on pehmentää jyviä ja nostaa niiden kosteus 30–35 %:iin. Suppilon jälkeen mallasjyvät syötetään vedenlisäyksen kera rouhittavaksi valsseihin, joissa rouhinta tapahtuu. Myllystä rouhe pumpataan mäskikattilaan, jonne pumpataan myös myllyn huuhteluvesi. (Enari & Mäkinen 1993: 90–91)



Kuva 5. Märkärouhemyllyyn syötetään vettä maltaan kanssa samanaikaisesti. Maltaat siirtyvät kosteina syöttövalssille, jonka jälkeen maltaat rouhitaan litistysvalsseissa vesilisäyksen kera. Karkea mallasrouhe syötetään mäskikattilaan. (Enari & Mäkinen 1993: 90–91)

### 2.3 Mäskäys

Mäskäyksessä mallas-vesiseosta (mahdollisesti myös mallas-vesi-tärkkelysseosta) kuumennetaan asteittain tai keittämällä riippuen käytettävästä mäskäysmenetelmästä. Mäskäyksessä tärkkelysketjuja pilkkoutuu käymiskelpoisiksi sokereiksi entsyymien avulla. Asteittain tapahtuvassa kuumennuksessa pyritään saavuttamaan hydrolyyttisten entsyymien optimi-lämpötilat. Tärkeintä entsyymaattisissa reaktioissa on saada  $\beta$ -glukaanit ja tärkkelys käymiskelpoisiksi vierteeseen liukeneviksi sokereiksi sekä proteiinit liukenevaan muotoon. Lämpötila-aika säädetään niin, että saavutetaan toivottu hydrolysointitulos. Happamuuden säätöön käytetään rikkihappoa. Mäskäyksessä tärkeimmät entsyymit optimaalisten lämpötilojen ja pH-arvojen kera näkyvät taulukossa 1. (Brandam ym. 2003: 43–52; Durand ym. 2009: 1127–1140; Enari & Mäkinen 1993: 77; Eneje ym. 2001: 723–727; Järmälä 2012; Salmi 2002: 20–22; Stenholm 1997: 8–9)

Taulukko 1. Mäskäyksessä tärkeimmät entsyymit aktivoituvat parhaiten tietyssä pH- ja lämpötilayhdistelmässä. (Enari & Mäkinen 1993: 77)

Entsyymi	Optimi-lämpötila °C	Optimi pH
$\alpha$ -amylaasi	72–75	5,7
$\beta$ -amylaasi	62–65	5,5
Hapan proteinaasi	45–55	3,9–6,0
Karboksipeptidaasi	60	4,8–5,6
$\beta$ -glukanaasi	30	4,7–5,0

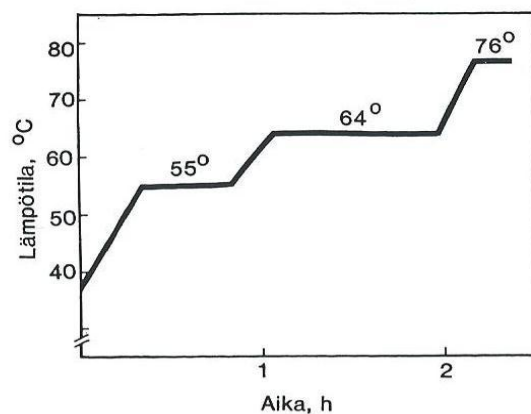
Mäskäyksen entsyymireaktioihin vaikuttavat lämpötila sekä pH. Normaalisti vierteen pH on 5,7–5,8. Mäskäyksessä pH säädetään välille 5,2–5,3 lisäämällä happoa. Säättämällä pH:ta lyhennetään sokeroitumisaikaa, nostetaan käymisastetta ja ammonium-peräisen typen määrää. Myös uutensaanto paranee ja vierteen väri vaalenee. Hapon lisäys vähentää oluen valmistuksessa ei-toivottujen polyfenolien pitoisuutta. Polyfenolit ovat useamman kuin yhden fenoliryhmän sisältäviä kasviperäisiä yhdisteitä, jotka voidaan jakaa hydrolysoitaviin tanniineihin ja fenyylipropanoideihin (Wikipedia 29.4.2012). Polyfenolit liukenevat huonosti alhaisemmassa pH:ssa. Alennetun pH:n vaikutukset johtuvat suurimmaksi osin pH:n vaikutuksesta amylaaseille ja proteolyttisille entsyymeille. (Enari & Mäkinen 1993: 80; Eneje ym. 2001: 723–727; Järmälä: Mäskäys; Tse ym. 2003: 3–12)

### Mäskäysmenetelmät

Mäskäysmenetelmät jaetaan keittomäskäykseen ja infuusiomäskäykseen. Infuusiomäskäystä voi toteuttaa ohjelmoidusti, jolloin lämpötilaa nostetaan portaittain (kuva 5) tai vakiolämpötilassa. Keittomäskäysmenetelmät voivat olla kolmi-, kaksi- tai yksikeittomäskäyksiä. Keittomäskäysmenetelmät on kehitetty ennen lämpötilojen säädön teknistä hallitsemista, joten ne ovat energiatehokkuudeltaan epäedullisia. (Enari & Mäkinen 1993: 81–83; Eneje ym. 2001: 723–727; Harrison 2009: 23–33; Järmälä 2012)

### Vaiheinfuusiomäskäys

Ohjelmoidussa infuusiomäskäyksessä lämpötilaa nostetaan vaiheittain haluttuihin lukemiin, joissa lämpötilaa pidetään tietyn ajan. Ensimmäisessä vaiheessa, sisäänmäskäyksessä, lämpötila on 30 – 40 °C ja hydrolysoiva entsyymi on  $\beta$ -glukanaasi.  $\beta$ -glukanaasi pilkkoo maltaan  $\beta$ -glukanaa pienimolekyylisemmiksi yhdisteiksi. Seuraavassa vaiheessa lämpötilaa pidetään 50 – 55 asteessa. Tässä lämpötilassa hydrolysoituu proteiineja, puhutaan siis proteolyysitauosta. Pisin tauko mäskäyksessä pidetään noin 62 – 65 asteen lämpötilassa, jolloin mäskäyksessä toivottu sokeroituminen tapahtuu. Kyseessä on sokeroitumistauko, jossa  $\beta$ -amylaasin toiminta on aktiivisimmillaan ja syntyy eniten käymiskelpoisia sokereita. Lopuksi lämpötila nostetaan 75 – 78 asteeseen ennen mäs-kin erottamista vierteestä. Infuusiomäskäyksen lämpötilaprofiiliin näkee kuvasta 5. (Enari & Mäkinen 1993: 83; Järmälä 29.2.2012)



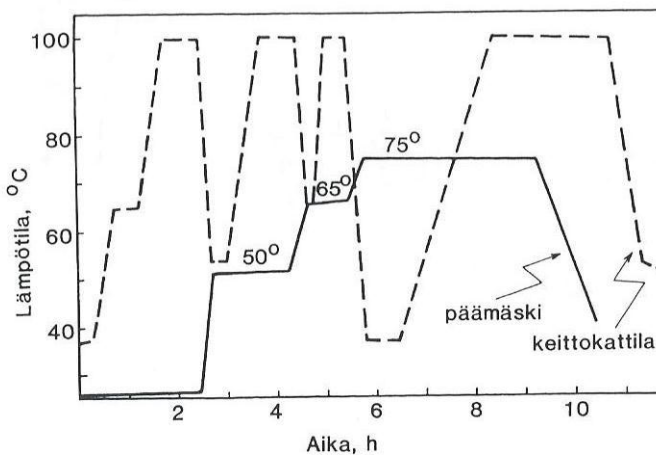
Kuva 6. Infuusiomäskäyksen lämpötilaprofiili, jossa ensimmäinen lämpötilannosto aktivoi beta-glukaanin toimintaa. Ensimmäinen tauko profilissa on optimaalinen proteolyttisille entsyymeille. Toista taukoa kutsutaan sokeroitumistauoksi, jossa muodostuu käymiskelpoisia sokereita. (Enari & Mäkinen 1993: 83)

### Keittomäskäysmenetelmät

Vanhimmat mäskäysmenetelmät ovat keittomäskäyksiä. Koska menetelmät on kehitetty ennen lämpötilansäädön teknistä hallitsemista, menetelmällä säädetään lämpötilaa säätämällä kiehuvan ja viileämmän mäsikin tilavuutta. Keittomäskäysmenetelmissä käytetään mäsikattilan lisäksi erillistä mäsikin keittokattilaa, johon osa mäsikistä siirretään ja kuumennetaan kiehumispisteeseen. (Enari & Mäkinen 1993: 81; Järmälä 29.2.2012)

### Kolmikeittomäskäys

Kolmikeittomäskäys aloitetaan sisäänmäskäyksellä 35 °C lämpötilassa. Sisäänmäskäyksen jälkeen sekoitus lopetetaan ja mäskin annetaan laskeutua kymmenen minuuttia, jonka jälkeen paksua mäskiä siirretään keitettäväksi. Keittoon siirretty mäski kuumennetaan kiehuvaksi ja siirretään takaisin mäskikattilaan 35-asteisen mäskin joukkoon. Tällöin mäskin lämpötilaksi saadaan proteolyysille ominainen lämpötila 50 – 55 °C. Seuraavassa vaiheessa paksua mäskiä siirretään jälleen keitettäväksi, kiehuva mäski siirretään takaisin mäskikattilaan, jonka kokonaislämpötilaksi saadaan amylaaseille optimaalinen lämpötila 62 – 65 °C. Kolmannessa keitossa kuumennetaan päällimmäistä mäskiä, ohutmäskiä. Kun viimeinen keittomäski palautetaan mäskikattilaan, saadaan mäskäyksen loppulämpötilaksi 75 – 78 °C. (Enari & Mäkinen 1993: 81)

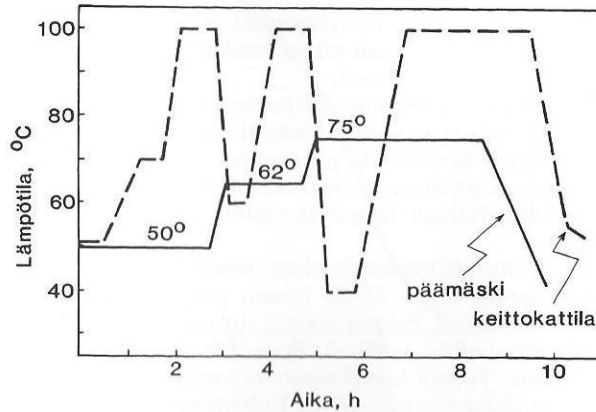


Kuva 7. Kolmikeittomäskäyksen lämpötiläkäyrässä yhtenäinen käyrä kuvaa mäskikattilan lämpötilaa, sekä katkoviivalla merkitty käyrä mäskinkeiton lämpötilaa. (Enari & Mäkinen 1993: 81)

### Kaksikeittomäskäys

Kaksikeittomäskäyksessä  $\beta$ -glukanaasitauko jää pois ja sisäänmäskäys tapahtuu 55 °C:een lämpötilassa. Mäskäyksen ensimmäinen vaihe on tällöin proteolyysitauko aluksi sekoittaen. Sekoituksen loputtua annetaan paksun mäskin laskeutua, minkä jälkeen sitä siirretään mäskin keittokattilaan ja kuumennetaan noin 70 °C:seen, jossa lämpötila pidetään noin puoli tuntia. Seuraavaksi keittomäskin lämpötila nostetaan kiehuvaksi ja mäski siirretään takaisin mäskikattilaan. Päämäskin lämpötila nousee näin 62 °C:seen, jossa mäskiä pidetään kaksi tuntia. Vaikutusajan kuluessa otetaan mäskin pinnalta

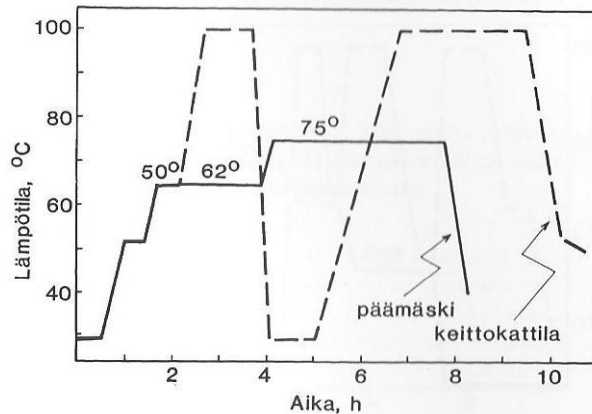
ohutmäskiä, joka kuumennetaan kiehuvaksi mäskinkeittokattilassa. Kiehuva ohutmäski palautetaan mäskikattilaan, johon saadaan 75 °C:n lämpötila, jossa mäskiä pidetään kolme tuntia ennen vierteen erotusta. Kaksikeittomäskäyksen lämpötilakäyrä on nähtävissä kuvasta 7. (Järmälä 29.2.2012)



Kuva 8. Kaksikeittomäskäyksen lämpötiläkäyrästä näkee, kuinka päämäskin lämpötilat pidetään ensin 50 °C:ssa, sitten 62 °C:ssa ja viimeisenä pisimpään 75 °C:ssa. (Enari & Mäkinen 1993: 82)

### *Yksikeittomäskäys*

Yksikeittomäskäyksessä mukana on  $\beta$ -glukanaasitauko, joka kaksikeittomäskäyksessä jää pois. Sisäänmäskäys alkaa 35 °C:lla, taukoa pidetään puoli tuntia  $\beta$ -glukanaasin toiminnan vuoksi. Lämpötila nostetaan joko kuumalla vedellä tai ulkopuolisella lämmityksellä 50 °C:seen. Proteolyysitaukoa pidetään 20 minuuttia. Edelleen lämpötilaa nostetaan vedellä tai lämmityksellä 62 °C:seen, jossa sokeroitumistaukoa pidetään kaksi tuntia. Kuten kolmi- ja kaksikeittomäskäyksissä sokeroitumistauon aikana otetaan ohutmäskiä erilliseen mäskinkeittokattilaan, jossa mäski kuumennetaan kiehuvaksi. Kiehuva ohutmäski palautetaan mäskikattilaan, jonka lämpötilaksi saadaan 75 astetta ja jossa mäskiä pidetään kolme tuntia. (Enari & Mäkinen 1993: 82; Järmälä 2012)



Kuva 9. Yksikeittomäskäyksen lämpötilakäyrästä voi nähdä, että erillisessä keittokattilassa kuumennetaan ainoastaan kerran mäskiä, muuten lämpötilavaihtelut toteutetaan kuumen veden lisäyksellä tai mäskikattilan ulkopuolisella lämmityksellä. (Enari & Mäkinen 1993: 82)

## 2.4 Vierteen erotus mäskistä

Liukenematon mäskäysjäte, jota kutsutaan ravaksi tai mäskiksi, erotetaan vierteestä erilaisin menetelmin. Perinteisesti siiviläamme on ollut yleisin vierteen erotusmenetelmä. Siiviläamme rinnalla myös mäskin suodatus on yleistynyt. Mahdollisia menetelmiä vierteen erotukseen mäskistä ovat siiviläamme, mäskinsuodatin, strainmaster- laite sekä Meura 2001 -mäskinsuodatin. Tässä luvussa esitellään erilaiset vierteenerotusmenetelmät, jotka määräytyvät panimoilla usein sen mukaan, millainen maltaanjauhatusmenetelmä on käytössä.

### *Siiviläamme*

Siiviläammetta käytetään yhdessä karkean jauhatustuloksen antavien myllytyyppien kanssa; esimerkiksi märkärouhemyllyä käytettäessä siiviläamme on paras vaihtoehto mäskin erotukseen. Siiviläamme koostuu rei'itetystä välipohjasta, pöyhimislaitteesta ja ravanpoistoruuvista. Välipohja voi olla pronssista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettu levy, joka on jaettu segmentteihin. Levyssä on 0,7 – 1,0 mm leveitä ja 20 – 50 mm pitkiä koloja, joiden päälle muodostetaan maltaiden kuorista suodattava kerros.

Siiviläammeeseen mäski siirretään kuumana mäskikattilasta. Kun lämpötilan pitää siivilöinnin aikana korkeana (75 – 78 °C), saadaan siivilöinti suoritettua nopeammin. Koska siiviläammeen pohjalle on saatava maltaiden kuorikerros suodattavuuden varmistami-



seksi, seisotetaan mäskiä 10 – 30 minuuttia ennen vierteen erotusta. Laajemmalla siiviläammeella voidaan nopeuttaa siivilöintiä, joka kestää noin kaksi tuntia.

Siivilöinnin alussa vierre on sameaa, joten vierrettä palautetaan ammeeseen, kunnes vierre on riittävän kirkasta. Suodatuskakkua pöyhitään pöyhimislaitteella suodatusvasituksen noustessa liian suureksi. Pöyhimislaitteessa on kaksi tai neljä pystysuoraa terää vaakasuorassa palkissa.

Suodatuskakku huuhdellaan suihkuttamalla kuumalla vedellä. Uutesaannosta saadaan sen parempi, mitä paremmin mäski huuhdellaan. Uutesaanto voidaan laskea kaavalla: 
$$\text{Uutesaanto} = (\text{vierteen tilavuus (hl)} * 0,96 * (\text{uutepitoisuus g / 100 ml})) / \text{mallasmäärä (kg)}.$$
 (Enari & Mäkinen 1993: 93–94; Harrison 2009: 23–33)

### *Strainmaster*

Strainmaster on menetelmänä samantyyppinen kuin siiviläamme, erona siiviläammeeseen on laitteen ulkomuoto. Strainmaster on suorakaiteenmuotoinen amme, jonka pohja on kartiomainen. Strainmasterilla siivilöinti sujuu nopeammin kuin siiviläammeella, koska laitteessa on enemmän siiviläpintaa. Lisäsiivilöintipintaa laitteeseen tuo siiviläammeen välipohjan korvaaminen putkilla, joissa on samankaltaisia rakoja kuin siiviläammeen välipohjassa. Toimintaperiaate on samanlainen kuin siiviläammetta käytettäessä. (Enari & Mäkinen 1993: 95)

### *Mäskisuodatin*

Mäskisuodatin koostuu kehikkojoukosta, jossa jokaisen kehikon molemmilla puolilla on reikälevyt, jotka on peitetty suodatinkankaalla. Kehikot kiristetään yhteen suodatintelineissä. Kankaiden materiaaleina käytetään polypropeenaa. Nykyään suodattimen purkamisen ja kokoamisen ovat mekanisoituja.

Mäskin suodatus aloitetaan steriloidulla suodin pumppaamalla se täyteen 80-asteista vettä. Suodin täyttyy mäskillä ennen vierteen johtamista vierrekattilaan. Lopuksi suodin huuhdellaan kuumalla vedellä. Suodatusaika on lähellä siiviläammesuodatusta. Mäskisuodattimen etuja siiviläammeeseen käyttöön verrattuna ovat parempi uutesaanto ja

mahdollisuus käyttää hienommaksi jauhettua mallasta, jolloin heikommin möyhentyneestä maltaasta saadaan parempi uutesaanto. (Enari & Mäkinen 1993: 94)

#### *Meura 2001 -mäskisuodatin*

Meura-suodatin on vuonna 1988 käyttöönotettu täysin automatisoitu vierteenerotusmenetelmä. Suodatin koostuu membraaneilla kahteen osaan jaetuista moduuleista. Erikoiskumista valmistetun membraanin ja kehyksen välissä on polypropeeninen suodatinkangas.

Meura-suodattimella vierteen erotuksessa on kuusi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa mäski syötetään suotimeen alakautta, jolloin muodostuu ohut suodattava kerros suodatinkankaan pintaan. Vierre erottuu valumalla suodattavan kerroksen ja suodatuskankaan läpi. Puristuksessa membraanien väliin syötetään paineilmaa, joka ajaa lopun vierteen suodatinkankaiden läpi. Meuran huuhteluvesi syötetään samasta sisääntulosta kuin mäski. Toisessa puristusvaiheessa huuhtelun jälkeen membraanien väliin ajetaan paineilmaa kovemalla paineella kuin ensimmäisessä puristuksessa. Viimeisessä vaiheessa suodin avataan ja mäski poistetaan. Mäski pudotetaan suotimen alapuolella olevaan kartioon, josta se ruuvilla ohjaten syötetään mäskisiiloihin.

Meura 2001 vaatii hienoksi jauhetun maltaan, joten sen kanssa käytetään vasaramyllyä. Meura 2001:tä käytettäessä tarvittava huuhteluveden määrä on pienempi kuin siivilöidessä, joten mäski on kuivempaa. Suodatin on myös hieman siiviläamme- ja mäskisuodatusmenetelmää nopeampi ja uutesaanto on parempi. Mäskisuodatin 2001 toimii täysin automaattisesti ja vierteestä saadaan hyvin kirkasta muihin menetelmiin verrattuna. Kuvassa 10 on esitetty Meura 2001 ulkopuolelta levyt suljettuna. (Enari & Mäkinen 1993: 95–97)



Kuva 10. Meura 2001:een mäski ja huuhteluvesi syötetään alakautta. Vierre poistuu paineilman avulla ylhäällä näkyvästä putkesta vierrekattilaan. (www.wallart.fr 2012)

## 2.5 Vierteen keitto

Suodatettu vierre on makeaa mäsikäyksen jäljiltä. Vierrekattilassa vierre keitetään ja siihen lisätään humala oluttyypistä riippuvana ajankohtana. Keitossa saadaan mäsikäysprosessi päättymään entsyymien denaturoitessa. Tärkeintä keitossa on saada aikaan voimakas kiehuminen, jolloin proteiinien ja polyfenolien yhdisteet saostuvat, humalan katkeroaineet liukenevat, vierre steriloituu ja oluesta saadaan hyvin säilyvää.

Keitossa tapahtuu useita kemiallisia reaktioita. Näitä reaktioita ovat entsyymien denaturoituminen, proteiinien koaguloituminen, Maillard-reaktiot sekä dimetyylisulfidin muodostuminen. Tavallisesti keittoaika on 1,5 – 2 tuntia ja haihtuminen 5 – 10 %. Valmis keitto johdetaan joko ruvanpoiston välisäiliöön tai vierresykloniin. (Caporale & Monteleone 2004: 271–278; Enari 1997: 14–17; Enari & Mäkinen 1993: 97–99; Harrison 2009: 23–33; Salmi: 23)

## 2.6 Vierteen selkeytys

Ennen vierteen jäähdystä käymiseen on vierteestä erotettava keitossa muodostunut sakka, rupa. Suurin osa ruvasta on proteiinien ja polyfenolien yhdisteitä. Jos panimossa käytetään käpyhumalaa, on humalajäte erotettava vierteestä humalasiivilän avulla.

Yleisin ruvan erotusmenetelmä on vierresykloni. Vierresykloni on tasapohjainen säiliö, johon vierre johdetaan sivusta. Näin syntyy tangentiaalinen virtaus ja pyörremäinen liike, jolloin rupa muodostaa keon keskelle säiliön pohjaa. Kun rupa on erotettu vierteestä, aloitetaan vierteen jäähdytys käymistankkiin. Jäähdytyksen loputtua rupa kuivataan mäskin mukana tai käytetään mäskäykseen. (Enari & Mäkinen 1993: 86, 99, Harrison 2009: 23–33)

Ruvan poistoon voidaan käyttää myös suljettua saostussäiliötä tai jäähdytyslaivaa, jonka käyttö on harvinaista nykyään sen mikrobiologisen kontaminaatoriskin vuoksi. Jäähdytyslaiva on avoin amme, jonka korkeus on 10 – 20 cm. Vierrettä jäähdytetään ammeessa noin kaksi tuntia, jolloin lämpötila laskee 55 – 60 °C:seen ja kuumarupa laskeutuu ammeen pohjalle. Suljetussa saostussäiliössä ruvan laskeutuminen tapahtuu ajan kanssa säiliössä, jossa vierteen korkeus yhdestä kahteen metriä. Jäähdytyslaivaa ja suljettua saostussäiliötä käytettäessä käytetään usein myös vierreseparaattoria, joka erottaa rupaa tehokkaasti. Myös piimaasuodattimen käyttö ruvan poistoon on mahdollista, mikäli vierteestä halutaan hyvin kirkasta. Jäähdytyslaivaa tai saostussäiliötä käytettäessä rupa joko sekoitetaan mäskäysjätteeseen tai hävitetään. (Enari & Mäkinen 1993: 99, 217)

## 2.7 Vierteen jäähdytys

Vierre jäähdytetään saostussäiliöstä tai jäähdytyslaivasta separaattorin läpi levylämmönvaihtimella käymissäiliöön. Vierresyklonista jäähdytys tapahtuu levylämmönvaihtimen kautta käymiseen. Jäähdytyksessä saostuu vielä niin kutsuttu kylmärupa, jonka määrä on hyvin pieni, 5 – 6 grammaa hehtolitralta kohden. Joskus kylmäruvan poistoon käytetään separaattoria, piimaasuodinta tai sedimentointia. Nykyään jäähdytysentsyymeillä voidaan parantaa kylmäruvan saostumista, jolloin se laskeutuu tankin pohjalle ja poistuu oluesta hiivan talteenoton yhteydessä. Jäähdytyksen yhteydessä vierre ilmastetaan ja hiiva annostellaan vierteeseen. Ilmastaminen tapahtuu kyllästämällä vierre ilmalla, jolloin vierteeseen liukenee happea hiivan tarvitsema määrä. Ilmastamisen on tärkeä tapahtua jäähdytetylle vierteelle, koska kuumen vierteen ilmastaminen johtaa hapettumisreaktioihin, jolloin oluen flavori huononee. Lisäksi hapen liukoisuus on parempi kylmään tuotteeseen. (Enari & Mäkinen 1993: 100; Harrison 2009: 23–33)

## 2.8 Käyminen

Käyminen alkaa, kun vierteeseen on lisätty hiiva ja käymissäiliössä on hiivalle ominaiset kasvuolosuhteet. Tärkeintä on, että ilmastus on suoritettu onnistuneesti ja hygieenisesti, jotta hiiva saa tarvitsemansa hapen pystyäkseen käynnistämään käymisen. Käyminen voidaan jakaa pääkäymiseen ja varastokäymiseen. Pääkäyminen kestää noin viikon ja varastokäyminen viikosta kahteen viikkoa. Pääkäymisen lopussa hiiva otetaan talteen ja vierre jäädytetään. Käymisessä vierteestä syntyy olutta hiivan avulla. Hiivan tehtävä on muuttaa sokerit alkoholiiksi sekä tuottaa muita reaktioita, joissa oluen aromit syntyvät. (Enari 1997: 12–14; Enari & Mäkinen 1993: 137 – 149; Harrison 2009: 23–33; Hartwall 2012)

## 2.9 Suodatus

Oluen suodatusta eli kirkastusta tarvitaan, koska varastoitu olut sisältää hiivasoluja ja saostuneita proteiinien ja polyfenolien yhdisteitä ja on näin ollen sameaa. Suodatus pidentää oluen säilyvyyttä ja ulkonäköä. Suodattavuuteen vaikuttavia merkittävimpiä tekijöitä ovat maltaan möyhentyminen ja alhainen  $\beta$ -glukaanipitoisuus, mäsäyksen alhainen pH, oikein edistynyt käyminen, stabilointiaika- ja käsittely sekä hiivan flokkuloituvuus. (Enari & Mäkinen 1993: 158; Gan ym. 2001)

Suodatusmenetelmiä käytetään usein sarjassa takaamaan mahdollisimman hyvä suodatustulos. Oluen suodatusmenetelmiä ovat separaattorikirkastus, piimaasuodatus, kalvosuodatus sekä levysuodatus. Separaattoreita käytetään oluen esisuodatukseen ennen kalvosuodattimia tai piimaasuodatusta. Levysuodinta käytetään usein varmistamaan hyvä suodatustulos pääsuodatusmenetelmän jälkeen. Pääsuodatusmenetelmä voi olla piimaa- tai kalvosuodatusta. Suodatettua olutta säilytetään painetankeissa ennen pulloitusta. (Enari & Mäkinen 1993: 159–163; Gan ym. 2001)

## 2.10 Pulloitus

Olutta pakataan tölkkeihin, värillisiin lasipulloihin ja ravintola-astioihin. Valmis, suodatettu olut ajetaan painetankeilta pulloitukseen, jossa se pastöroidaan joko levylämmönvaihtimessa tai tunnelipastörintilaitteistossa.

Ennen pullotusta pyritään saamaan oluen happi mahdollisimman alhaiseksi, jotta voidaan välttää hapettumista ja siitä aiheutuvia flavorivirheitä. Pullojen ja tölkkien sulkeamisessa hapen pääsy tuotteeseen estetään paineistamalla astia hiilidioksidilla ennen täyttöä. (Enari & Mäkinen 1993: 169–176)

### 3 Raaka-aineiden laatu

Oluen valmistuksessa raaka-ainelista on yksinkertainen; mallas, vesi, humala ja hiiva. Tuotteen lopputulos riippuu hyvin merkittävästi näiden neljän raaka-aineen laadusta. Mallasohralle, maltaalle, vedelle ja hiivalle on asetettu tiukat laatuvaatimukset, joita tässä luvussa käsitellään. Humalat vaikuttavat valmiin oluen lopputulokseen, joten on tarpeellista esitellä humalan eri käyttötarkoitukset ja merkitys oluen valmistuksessa.

#### 3.1 Mallasohran ja maltaan laatuvaatimukset

Mallasohran ja maltaan välinen ero on mallastusprosessi. Mallasohralta vaaditaan tiukat laatuvaatimukset, jotta saataisiin mahdollisimman hyvää mallasta. Hyvästä ja laadukkaasta maltaasta saadaan ongelmitta sujuva vierteen valmistusprosessi sekä laadukas olut. (Enari & Mäkinen, 1993: 14–16; Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997: 28–37)



Kuva 11. Oluen laadun perustana on hyvälaatuinen mallas, jonka laatuvaatimukset ovat tarkat jo viljelyvaiheessa. (www.sgnieminen.fi 2012)

### 3.1.1 Mallasohra

Korkealaatuisen mallasohran tulisi täyttää ainakin seuraavat kriteerit:

- itävyys vähintään 95 %
- proteiinipitoisuus 11 – 12,5 % kuiva-aineesta
- lajikepuhdasta, vähintään 95 % samaa lajiketta
- kosteuspitoisuus alle 13,5 %
- alle 5 % kuorettomia tai rikkoutuneita jyviä

Vieraita hajuja ja makuja ei saa esiintyä, eikä myöskään homeita tai kemikaaleja.. Jos homeenestoaineita käytetään viljelyssä, saattaa oluen valmistuksessa ilmetä käymisongelmia. Mallasohran tulee olla täysin tuleentuneena korjattua ja varovasti puitua.

Korkeisiin laatuvaatimuksien syynä on tavoite saada hyvä vierre, josta saadaan laadukasta olutta. Vierteelle tärkeät tärkkelyslähteet, proteiinit ja entsyymit saadaan maltaasta. Mäskäyksessä tarvittavat ohran entsyymit muodostuvat itämisen aikana, joten itämisen täytyy olla tehokasta, yli 95 %. Itämättömät jyvät homehtuvat helposti maltauksen aikana, joten ne voivat pilata koko mallaserän. (Enari & Mäkinen, 1993: 14–16; Navarro ym. 2009; 623–629; Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997: 28–37)

Proteiinien tehtävä on saada vierteeseen aminohappoja ja peptidejä. Peptidejä tarvitaan oluen vaahdon muodostumiseen, toisaalta liiat peptidit voivat aiheuttaa sameuden muodostumista valmiin oluen säilytyksessä. Ohran proteiinipitoisuuden tulee kohtuullinen, koska proteiinin suuri määrä on pois tärkkelyksen määrästä. Käymiskelpoisten sokereiden saanti vähenee, mikäli proteiinipitoisuus kasvaa. Liallinen ohran proteiinimäärä vaikuttaa myös valmiin oluen makuun. Proteiinit ovat sopivina määrinä hyödyllisiä maltaassa, siksi vaatimustaso on niin tarkka kuin 11 – 12,5 %. (Enari & Mäkinen, 1993: 14–16; Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997: 28–37)

Lajittelulla varmistetaan, että jyvät ovat kooltaan tasasuuria ja jätteiden eli kuorettonien tai rikkoutuneiden jyvien määrä pysyy alle 5 %:n. Jos jyvät ovat erikokoisia, mallas möyhentyy epätasaisesti ja todennäköisesti valmistusprosessissa ilmenee ongelmia. (Enari & Mäkinen, 1993: 14–16; Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997: 28–37)

### 3.1.2 Mallas

Maltaan analysointia varten tehdään koemäskäykset laboratoriossa. Laboratoriomäskäyksen ei vastaa prosessiolosuhteita, mutta näin saaduista vierteistä voidaan ennustaa entsyymiaktiivisuuksia sekä tulevia uutesaantoja. Maltaan tärkein laatuksiteeri on möyhentyminen, jota vaaditaan valmistusprosessin sujuvuuden takia. Möyhentyminen tarkoittaa sitä, kuinka paljon mallasjyvän rakenne on hajonnut itämisen aikana.

Maltaita analysoidaan mekaanisesti, kemiallisesti sekä aistinvaraisesti. Maltaan aistinvaraiseen arviointiin kuuluu värin, maun ja hajun arviointi. Hajun ja maun tulee olla raikas ja homeeton. Mekaanisiin analyyseihin kuuluu tuhannen jyvän punnitseminen, lehti-idun pituus ja leikkauskoe. Tuhannen jyvän paino antaa viitteellisen arvon yhden jyvän painosta, joten menetelmän avulla voidaan arvioida vaikka mäskäykseen käytettävien jyvien määrän. Lehti-idun pituuden mittaamisella voidaan arvioida jyvien itämisen etenemistä mallastusprosessin aikana. (Aittomäki ym. 2002: 80–81; Enari & Mäkinen, 1993: 14–16; Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997: 28–37)



Kuva 12. Suomessa käytetyin mallaslaatu on kuvassa näkyvä pilsnermallas. (www.durstmalz.com 2012)



Mekaanisia analyyseja käytetään laboratoriomäskäysten lisäksi maltaan möyhentymisen arvioimiseen. Yksinkertaisin mekaaninen menetelmä on jyvien pureskelu; nykyaikaiset menetelmät perustuvat kuitenkin jyvien murskaamiseen tai lävistämiseen tarvittavan voiman mittaamiseen. Jyvän hajoaminen mitataan prosentteina jyvän kokonaispainosta. Valmistusprosessin ohjaamisessa tärkeä seikka on maltaan homogeenisuus, joka määritetään värjäämällä huonosti myöhentyneet jyvät fluoresoivalla väriaineella tai metyyleenisinisellä. Visuaalisella arvioinnilla värjäyksen jälkeen voidaan määrittellä huonosti möyhentyneiden jyvien osuus.

Maltaan tärkeimpiin analyyseihin lukeutuu uutepitoisuus, joka on taloudellisesti hyvin merkittävä tekijä. Kemiallisiin analyyseihin kuuluvat mittaukset näkyvät taulukosta 2, jossa on lueteltuna Suomessa eniten käytetyn pilsnermaltaan ohjeelliset analyysiarvot. Taulukossa esitettyjen analyysien lisäksi kemiallisiin analyyseihin kuuluu proteiinipitoisuus, pH, vierteen kirkkauden määrittäminen, sekä suodatusajan määrittäminen. (Aittomäki ym. 2002: 80–81; Enari & Mäkinen 1993: 38–42, Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997)

Taulukko 2. Suomessa käytetyimmän pilsnermaltaan ohjeellisia analyysiarvoja, eri mallastyypeille on omat ohjeensa.

<b>Analyysi</b>	<b>Ohjearvo</b>	<b>Analyysi</b>	<b>Ohjearvo</b>
Kosteus	alle 5 %	Väri	3 – 4 °EBC
Uutepitoisuus	yli 79 %	Sokeroitumisaika	alle 15 min
Uute-ero	1,0 – 2,0 %	$\alpha$ -amylaasi	yli 35 DU
Friabiliteetti	78 – 85 %	Diastaattinen voima	yli 200 W.K
Liukoinen typpi	yli 0,55 %	Viskositeetti	alle 1,6 cP
Vapaa aminotyyppi	yli 120 mg/100 g	$\beta$ -glukaani	alle 250 mg/l

Maltaan kosteus on tärkeää pitää alhaisena, vaatimusten mukaan alle 5 %:n. Matalalla kosteusprosentilla varmistetaan maltaan hyvä jauhautuvuus ja säilyvyys. Uutepitoisuus määritetään maltaasta tehdystä jauhosta. Näin määritetään suurin mahdollinen uutepi-

toisuus, mikä maltaasta voidaan saada. Uutesaanto jää käytännössä aina alle uutepitoisuuden. Uute-erolla tarkoitetaan jauho- ja rouhemäskäyksistä saatujen uutepitoisuuksien eroa, jolla ilmaistaan maltaan möyhentymisen riittävyttä.

Maltaan kokonaistyyppipitoisuutta pidetään tärkeänä laatukriteerinä. Typpipitoisuus ilmaistaan proteiinipitoisuutena, joka on 6,25 x kokonaistyyppipitoisuus. Liukoisen typen määrittelyllä saadaan arvio hiivan käytettävissä olevista aminohapoista ja peptideistä. Liukoinen tyyppi voidaan ilmaista prosentteina maltaiden kokonaistypenmäärästä (Kolbach-luku) tai prosentteina maltaiden uutepitoisuudesta, joka antaa vierteen käymisen kannalta tärkeämmän lukeman kuin Kolbach-luku. Paras kuva käymiskelpoisista aminohapoista saadaan vapaan aminotypen määrittelyllä. (Aittomäki ym. 2002: 80–81; Enari & Mäkinen 1993: 38–42, Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997)

Vierteen viskositeetin määrittelyssä pyritään mahdollisimman alhaiseen viskositeettiin, jotta välttyttäisiin vierteen siivilöinti- ja oluen suodatusongelmilta. Myös korkea  $\beta$ -glukaanin määrä aiheuttaa vaikeuksia vierteen siivilöinnissä sekä oluen suodatuksessa. Korkea  $\beta$ -glukaanipitoisuus on merkki maltaan huonosta möyhentymisestä.

Vierteen väri riippuu mallastyypistä ja muodostuu pääosin keiton aikana sekä riippuu käytössä olevista mäskäys- ja keittoprosesseista. Laboratoriovierteen värin perusteella ei siis saada kovin havainnollista arvioita valmistettavan vierteen väristä. Vierteen kirkkaus on mittari hyvästä maltaasta, vaikka se ei esitäkään kovin suurta roolia vierteen laadunvalvonnassa. Vierteen suodattavuudelle asetettu laatuvaatimus on alle tunnissa tapahtuva siivilöinti. Laboratoriomittakaavassa olosuhteet ovat kuitenkin todellisuudesta niin paljon poikkeavat, että tarkempaa mittausta ei kannata suorittaa. Vierteen pH vaikuttaa uutesaantoon. Alhainen pH antaa paremman uutesaannon kuin korkea, joten pH on merkittävä laatukriteeri. pH:ta lasketaan usein hapon avulla mäskäyksen sekä keiton aikana. Laboratoriomäskäyksestä määritetyn sokeroitumisajan perusteella saadaan arvio  $\alpha$ -amylaasiaktiivisuudesta, joka on tärkeä ominaisuus vierteelle varsinkin raakaviljoja käytettäessä. Diastaattisella voimalla kuvataan  $\beta$ -amylaasiaktiivisuutta. (Enari & Mäkinen 1993: 38–42, Quality factors in malting barley 2012; Stenholm 1997: 12–18)

Taulukko 3. Erityyppisistä maltaista saadaan huomattavan erivärisiä vierteitä. Jos halutaan tummaa olutta, korvataan osa maltaista tummemmilla maltailla. (Enari & Mäkinen, 1993: 39)

<b>Mallastyppi</b>	<b>°EBC</b>
Pilsnermallas	3 - 4
Wienermallas	5 - 8
Münchnermallas	8 - 25
Karamellimallas	80 - 100
Värimallas	800 - 2500

### 3.2 Panimovesi

Panimoveden laatu on merkittävän tärkeä tekijä oluen valmistuksessa. Veden tulee täyttää hyvän raakaveden laatuksiteerit. Suomessa oluen valmistuksessa pyritään käyttämään pehmeää vettä, jota lager-oluen valmistus vaatii.

#### 3.2.1 Raakavesi

Vesilaitoksien raaka-aineena käyttämä vesi, raakavesi, on joko pintavettä tai pohjavettä. Pohjaveden tai tekopohjaveden osuus on vesilaitosten tuottamasta vedenkulutuksesta 58 % ja pintaveden 39 % (Korkeala 2007: 381–383). Pohjavedet ovat yleensä laadultaan pintavesiä parempia ja pysyvät ominaisuuksiltaan muuttumattomana eri vuodenaikoina. Pohjavesien ongelmana voi joillakin alueilla olla radon-, fluoridi-, arseeni-, rauta- ja mangaaniesiintymät. Pintavesien laatu vaihtelee paikkakunnittain ja vuodenaikojen mukaan. Pintavedet voivat olla joko järvi- tai jokivesiä. Jokivesi on usein laadultaan heikompaa kuin järvivesi, koska sen sameus ja värillisyydet ovat järvivesiä voimakkaampia, myös bakteeripitoisuus ja liuenneiden aineiden määrä ovat suurempia kuin järvivedessä. Järvivesien ongelmana ovat suuremmat leväkasvustot kuin jokivesissä. Pintavesistä talousvettä valmistavat laitokset Suomessa käsittelevät veden täydellisesti kemiallisella käsittelyllä. (Enari & Mäkinen 1993: 46; Korkeala 2007: 381–383; Suomen ympäristökeskus 2012)

### 3.2.2 Raakaveden puhdistus

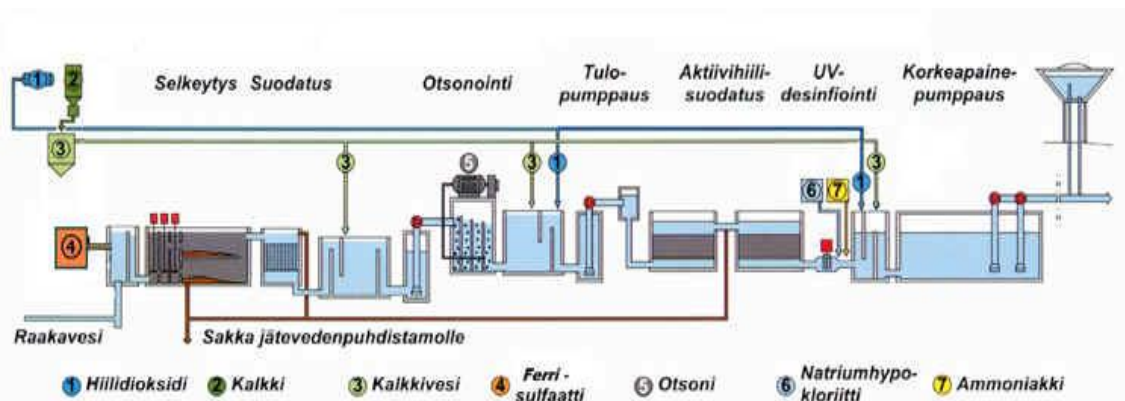
Raakavesi sisältää epäpuhtauksia, jotka poistetaan puhdistusprosessissa. Tyypillisiä epäpuhtauksia ovat humus, savikolloidit sekä elollinen aines. Humus on tyypillistä järvisä esiintyvien luonnon hajoamistuotteiden välituotteita. Pääosin humusaineet ovat vedessä negatiivisesti varautuneina kolloidisina partikkeleina. Humusaineet sitovat veden elektrolyyttejä, esimerkiksi rauta- ja mangaani-ioneja. Humusaineiden merkittävin haitta on värillisuus, lisäksi ne aiheuttavat makuvirheitä ja samentumista sekä lisäävät hapen kulutusta. Savikolloidit ovat negatiivisesti varautuneita mineraalikolloideja. Myös savikolloidit aiheuttavat samentuvuutta ja makuvirheitä. Savikolloidien määrät vaihtelevat vuodenaikojen, sateiden sekä virtausolosuhteiden mukaan. Talvisin savikolloideja ilmenee melko vähän. Savikolloidien kemialliset pääkomponentit ovat piidioksidi ja alumiinitrioksidi. Elollinen aines muodostuu lähinnä planktonlevistä ja levien muodostamista toksiineista, joita muodostuu vesistöjen rehevöitymisen yhteydessä. Elollinen aines aiheuttaa suodattimien tukkeutumista. Monet levälajit aiheuttavat lisäksi voimakkaita makuvirheitä. (Enari & Mäkinen 1993: 46–47; Korkeala 2007: 381–383; Suomen ympäristökeskus 2012)

Raakaveden puhdistusprosessi koostuu koagulaatiosta, flokkauksesta, selkeytyksestä, suodatuksesta, neutraloinnista, raudan ja mangaanin poistosta ja desinfioinnista.

Koagulaatioita ja flokkausta käytetään veden kolloidisten epäpuhtauksien poistamiseen. Koagulaatiossa kolloidisten aineiden partikkelien sähkövaraukseen vaikutetaan, jolloin partikkelit yhdistyvät ja niiden koko kasvaa. Koagulaatio saadaan aikaan kemiallisilla yhdisteillä, esimerkiksi käyttämällä alumiinisulfaattia, ferrikloridia tai kahdenarvoista rautasulfaattia. Näitä suoloja käytettäessä joudutaan säätämään pH:ta alkalisesti reagoivilla kemikaaleilla, koska alumiinisulfaatin hydrolyysissä vapautuu rikkihappoa ja ferrikloridi hydrolysoituu suolahapoksi. Alkalointiin käytetään sammutettua kalkkia, soodaa tai lipeää. Koagulaatiossa pH on merkittävä tekijä, koska optimialueen ulkopuolella flokkaus- ja suodatustulokset huononevat. (Enari & Mäkinen 1993: 46–47; Korkeala 2007: 381–383; Suomen ympäristökeskus 2012)

Flokkaus on mekaaninen toimenpide, jossa vesi saatetaan pyörivään liikkeeseen sekoittimien avulla, jolloin stabiloitumattomat hiukkaset kasautuvat helposti erotettaviksi flokkeiksi. Selkeytyksessä flokkauksen aikana saostuneet partikkelit sedimentoidaan selkeytysaltaissa. Suodatuksessa veden epäpuhtaudet poistetaan, tavallinen suodatusjärjestelmä on hiekkasuodatusmenetelmä. Neutralointi tapahtuu ennen suodatusta, mutta suodatuksen aikana pH laskee, joten tarvitaan jälkialkalointia. Hapan vesi neutraloidaan kalsiumyhdisteillä tai lipeällä ja emäksinen rikki- tai suolahapolla.

Edellä mainitut prosessit poistavat vedestä rauta- ja mangaanijäämiä melko hyvin. Jossain alueilla jätteitä on enemmän, jolloin rauta ja mangaani poistetaan sakkauttamalla. Sakkautuksessa 2-arvoiset ionit hapetetaan, jolloin muodostuu vaikealiukoisia suoloja, jotka on kohtuullisen helppo erottaa vedestä suodattamalla. Hapettimena voidaan käyttää esimerkiksi klooria, kaliumpermanganaattia tai otsonia. Otsoni on nykyään paljon käytetty menetelmä, koska rauta- ja mangaanijäämien hapetuksen lisäksi se tuhoaa mikrobeja ja poistaa vedestä värillisiä yhdisteitä sekä hajun ja maun pilaajia. Otsonoinnin jälkeen vesi johdetaan läpi aktiivihiilisuodattimesta, johon loput epäpuhtaudet jäävät. Aktiivihiilisuodatusta seuraa vielä veden desinfiointi, joka tapahtuu nykyään yleensä ultraviolettivalon avulla. Muita veden desinfiointimenetelmiä ovat UV-steriloinnin lisäksi otsonointi, ultrasuodatus ja klooraus. (Enari & Mäkinen 1993: 46–51; Korkeala 2007: 381–383; Suomen ympäristökeskus 2012)



Kuva 13. Raakaveden puhdistusprosessi sisältää useita yksikköoperaatioita. (Helsingin vesi 2012)

### 3.2.3 Panimoveden laatuvaatimukset

Panimovedelle on asetettu tiukat laatuvaatimukset, jotka ovat samat kuin hyvälle juomavedelle asetetut vaatimukset (liite 1). Veden tulee olla juomaveden tavoin hajutonta, väritöntä ja mautonta. Muiden käyttövesien tapaan panimovesi on laimea liuos eri ioneja sekä liuennaita kaasuja kuten happea, typpeä ja hiilidioksidia.

Panimovesien laatua valvotaan laboratorioteknisesti, ja laatua voidaan myös tarpeen mukaan muuttaa halutun oluttyypin mukaan. Esimerkkinä perinteisesti Suomessa valmistettavat vaaleat lager-oluet on pantu pehmeään veteen ja brittiläistyyppiset ale-oluet vaativat kovempaa vettä. Panimoveden kovuus johtuu vedessä olevista kalsium- ja magnesiumsuoloista. Niin kutsuttu karbonaattikovuus syntyy vetykarbonaateista, ja se poistuu keittämällä. Karbonaatit saostuvat huonosti liukenevina suoloina, jolloin ne erottuvat ruvan mukana vierteestä. Muut kalsiumin ja magnesiumin suolat, kuten sulfaatit, nitraatit ja kloridit, aiheuttavat pysyvää veden kovuutta, jota voidaan ehkäistä kalkin lisäämisellä veteen. Jos kovuus on suurta, voidaan kalkin lisäksi veteen lisätä soodaa.

Tehokkain veden kovuuden poistaja on ioninvaihdin, jossa vesi johdetaan ioninvaihtomassan läpi niin sanotussa pehmennyssuotimessa. Pehmennyssuotimen läpi on ensin juoksetettu natriumkloridiliuosta. Kun kova vesi virtaa suotimelle, vaihtuvat kalsium- ja magnesiumionit natriumioneihin. Kun ioninvaihtimesta loppuvat natriumionit, se elvytetään natriumkloridiliuoksella. Veden kovuus ilmoitetaan kovuusasteina °dH, 1 °dH vastaa 10 mg:aa litrassa kalsiumoksidia (CaO). Taulukossa 4 ilmaistaan veden kovuus dH-asteikolla. (Enari & Mäkinen 1993: 46–51; Veden puhdistus 2012; Salmi 2002: 17)

Taulukko 4. Veden kovuus ilmoitetaan kovuusasteina, jossa 1 °dH = 10 mg/l CaO. (Enari & Mäkinen 1993: 55)

0 – 4 °dH	erittäin pehmeä vesi	12 – 18 °dH	verraten kova vesi
4 – 8 °dH	pehmeä vesi	18 – 30 °dH	kova vesi
8 – 12 °dH	keskikova vesi	yli 30 °dH	erittäin kova vesi

Hyvän panimoveden koostumukselle on esitetty omat ohjearvonsa. Hyvältä panimoveden laatuvaatimukset ovat seuraavat:

- Ammoniakittomuus ja nitriittittömyys, koska ammoniakki ja nitriitti ovat merkkejä haitallisesta bakteeritoiminnasta.
- Nitraattipitoisuus saa olla korkeintaan 50 mg/l. Yli 50 mg:n pitoisuudet litraa kohden ovat haitallisia hiivalle ja käyminen hidastuu.
- Orgaanisen aineksen määrä mitataan kaliumpermanganaattikulutuksena, joka saa pohjavesissä olla maksimissaan 10 mg/l ja pintavesissä 20 mg/l.
- Kloridit ovat edullisia kohtuullisina määrinä. Kloridit antavat oluelle täyteläisen maun ja parantavat kylmästabiloitumista. Maksimimäärä klorideja on 300 mg/l, koska suuremmista määristä aiheutuu käymisvaikeuksia.
- Kloori aiheuttaa olueen ummehtunutta makua, joten sitä vesi ei saa sisältää.
- Sulfaattia panimovedessä tulee olla mahdollisimman vähän.
- Silikaatteja saa esiintyä korkeintaan 40 mg/l.
- Liika kalium on myrkyllistä hiivalle, maksimimäärä on 10 mg/l.
- Natriumin maksimimäärä on 300 mg/l.
- Raudan ja mangaanin pitoisuuksien on oltava hyvin alhaisia, alle 0,5 mg/l, koska suuremmat määrät haittaavat hiivan toimintaa.
- Panimovesi ei saa sisältää vapaata hiilidioksidia lainkaan, koska se aiheuttaa korroosiota. Sidotun hiilidioksidin määrän tulee myös olla alhainen.
- Panimovesi on kovuudeltaan hyvää juomavettä pehmeämpää, paitsi tummien oluiden valmistuksessa veden kovuus saattaa olla yli 30 °dH. (Enari & Mäkinen 1993: 55–56)

### 3.3 Humalat

Humalaa käytetään oluessa antamaan oluella tyypillinen raikkaan katkera maku sekä humalan aromi. Humalalla on myös merkittävä osuus oluen säilymiseen ja vaahdon muodostukseen. Humalaa viljellään Euroopassa ja Amerikassa. Euroopassa humalasta käytetään pääosin hedelmöittymät emikukat. Sadonkorjuun jälkeen humalakävyt kuivataan ja paalataan. Humalasta saadaan erilaisia valmisteita, kuten uutteen, jauheita ja puristeita, jotka ovat luonnonhumalaa paremmin säilyviä ja helpommin käsiteltäviä. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 60–61; Patzak ym. 2010: 136–145; Salmi 2002: 18–19)

#### 3.3.1 Humalakävyt

Humalaa voidaan arvioida ulkoisten ominaisuuksien perusteella. Ulkoisen arvioinnin merkitys on kuitenkin vähentynyt kemiallisten analyysimenetelmien myötä. Ulkoisista ominaisuuksista väriin, hajuun sekä siementen ja lehtien määrään tulee kiinnittää huomiota. Väriin tulee olla vihreä tai vihertävän keltainen, hajun taas humalalle ominaisen kirpeä. Ruskea tai punertava väri sekä tunkkainen, rikkimäinen haju ovat merkkejä käsittelyvirheistä tai huonosta humalalaadusta. Siementen osuus ei saa olla yli 3 % humalan painosta, eikä lehtien ja varsien osuus saa olla yli 6 % humalapaalin painosta.

Humalakävyssä eli humalan emikukinnossa on neljä osaa: varsi, terälehdet, siemenet ja lupuliinijyvät. Kaikki olueen vaikuttavat aineet löytyvät lupuliinijyväsistä, jotka ovat pieniä kullankeltaisia jyväsiä humalan emikukinnossa. Lupuliinijyvät koostuvat katkeroina, ja niiden ympärillä on vahamainen kalvo, joka hapettuu ja tummenee humalan vanhetessa. Luonnon humala sisältää 3 – 12 % katkeruuden tuovaa  $\alpha$ -happoa. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 60–61; Patzak ym. 2010: 136–145; Salmi 2002: 18–19)





Kuva 14. *Humulus lupulus lupuloides* eli humalakasvi, jonka olueen vaikuttavat katkeroaineet ovat lupuliiniyhdyksissä kukinnon terälehtien suojassa. (Kuva: www.flickr.com 2012)

### 3.3.2 Humalan katkeroaineet

Humalan katkeroaineet antavat oluelle raikkaan katkeran maun ja lisäksi ne sisältävät bakteerien kasvua estäviä yhdisteitä ja näin estävät patogeenisten bakteerien leviämisen oluessa. Humalan katkeroaineet jaetaan kokonaishartseihin, pehmeisiin hartseihin, koviin hartseihin sekä  $\alpha$ -happoihin ja  $\beta$ -happoihin. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 60–61; Patzak ym. 2010: 136–145; Salmi 2002:18–19)

Humalan painosta noin 17 % on kokonaishartsia, joka liukenee kylmään metanoliin tai eetteriin. Pehmeitä hartseja on noin 16 % humalan painosta, ja ne liukenevat heksaaniin. Kovia hartseja on noin 1 % tuoreen humalan painosta, vanhassa humalassa on enemmän kovia hartseja, koska niitä muodostuu pehmeiden hartsien hapettumistuotteena. Kovat hartsit eivät liukene, ja siksi ne voivat vaikuttaa oluen katkeroaineiden muodostumiseen.  $\alpha$ -hapot ovat pehmeiden hartsien tärkein osa, niitä on noin 7 % humalan painosta. Tärkeimmät  $\alpha$ -hapot ovat humuloni, kohumuloni ja adhumuloni. Keitossa  $\alpha$ -hapot muuttuvat iso- $\alpha$ -hapoiksi, joista tärkein on isohumuloni, oluen merkittävin katkeroaine.  $\beta$ -hapot ovat myös pehmeitä hartseja. Niitä on noin 5 % humalan painosta ja tärkeimmät niistä ovat lupuloni, kolupuloni ja adlupuloni. Humalaöljyt ovat hiilivetyjen, alkoholien, estereiden ja ketonien seoksia, jotka haihtuvat keiton aikana vierteestä. Humalaöljyä käytetään usein aromihumalana, joten ne lisätään vierteeseen yleensä keiton loppuvaiheessa haihtumisen estämiseksi. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 60–61; Patzak ym. 2010: 136–145; Salmi 2002:18–19)

## Humalauutteet

Humalauutteet ovat hyvin säilyviä ja helposti käytettäviä orgaanisten liuottimien avulla valmistettuja humalavalmisteita. Valmistuksessa humala uutetaan liuottimella, esimerkiksi etanolilla, joka uuton jälkeen haihdutetaan ja humalauute pakataan tölkkeihin tai tynnyreihin. Liuottimen avulla valmistettu uute sisältää 10 – 40 %  $\alpha$ -happoja, liuotinjäämät ovat alle prosentin luokkaa ja ne haihtuvat vierteen keitossa nopeasti.

Myös hiilidioksidiuutteet ovat tärkeitä humalavalmisteita joiden valmistus tapahtuu ilman liuottimia. Hiilidioksidi on saavuttaa kriittisen pisteen 31 °C:een lämpötilassa ja 73,25 baarin paineessa, jolloin hiilidioksidi muuttuu nestemäiseksi ja uuttaminen tapahtuu kuten nestemäisillä liuottimilla. Ylikriittisessä hiilidioksidiuutossa hiilidioksidia pidetään noin 40 – 50 °C:n lämpötilassa ja 150 – 300 baarin paineessa. Näin humalasta uuttuvat  $\alpha$ -hapot ja pehmeät hartsit ja humalaöljyt. Katkeroaineista hapettumistuotteet jäävät pois tuotteesta ja  $\alpha$ -happosaanto on jopa 95 %. Hiilidioksidi poistuu tuotteesta painetta alentamalla, joten liuotinjäämiä hiilidioksidiuutossa ei jää lainkaan. Hiilidioksidiuutteet ovat puhtaita katkeroaineita, joten menetelmää voidaan käyttää myös aromihumalan valmistukseen. Säilyvyys hiilidioksidiuutteilla on myös erittäin hyvä, ne säilyvät korkeissakin lämpötiloissa jopa kuukausia. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 63–64; Patzak ym. 2010: 136–145; M. Stamenic ym. 2010: 125–133; Salmi 2002: 18–19)

### 3.3.3 Humalapulverit ja humalarakeet

Humalapulverit ja rakeet ovat suosittuja valmisteita hyvän säilyvyytensä ja helpon varastoinnin ja käytön ansiosta. Humalan jauhamisen yhteydessä poistetaan lehdet ja varret joukosta, jolloin saadaan rikastettua humalapulveria. Humalapulverista puristetaan humalarakeita, pellettejä, jotka pakataan vakuumpakkauksiin, muovialumiinipakkauksiin tai peltitölkkeihin. Humalarakeita käytetään pääosin aromihumalana. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 64; Patzak ym. 2010: 136–145; Salmi 2002: 18–19)

### 3.3.4 Isomeroidut humalauutteet

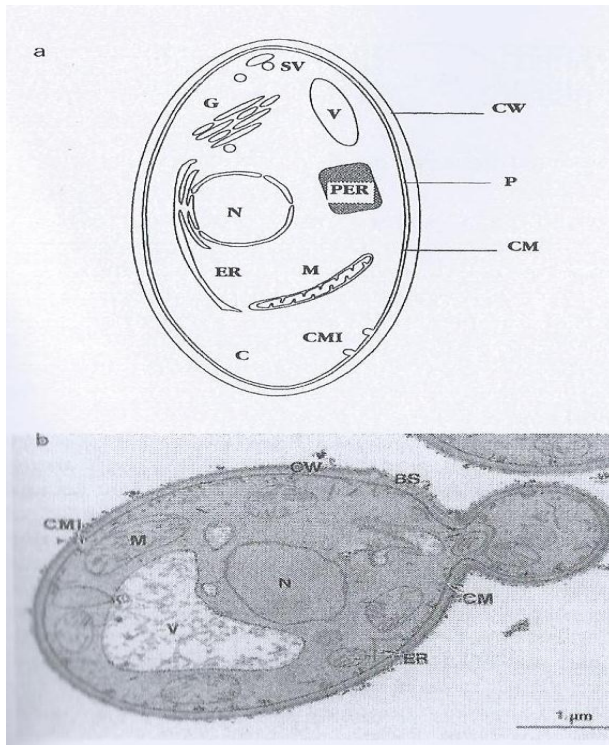
Isomeroituja humalauutteita käytetään usein jälkihumalointiin eli valmiin oluen katkeropitoisuuden nostamiseen. Isomeroidut humalat voidaan lisätä missä tahansa valmistusvaiheessa ennen oluen suodatusta. Isomeroitujen uutteiden käyttö on taloudellisempaa kuin humalan käyttö, koska näin vältetään haihtumistappioilta ja saanto on parempi kuin vierteen keitossa.

Isomeroidut humalat valmistetaan uuttamalla orgaanisiin liuottimiin uutetut  $\alpha$ -hapot emäksiseen vesiliuokseen. Näin puhdistetut  $\alpha$ -hapot tulevat kemiallisesti isomeroituiksi ja saadaan puhdas iso- $\alpha$ -happoliuos, jonka katkeroainepitoisuus tiedetään, ja näin voidaan säätää oluen katkeroainepitoisuus halutuksi ilman vierteen keitossa tapahtuvaa hävikkiä. (Enari 1997: 30–31; Enari & Mäkinen 1993: 65; Patzak ym. 2010: 136–145; Salmi 2002: 18–19)

### 3.4 Hiiva

Panimopohjahiivan tieteellinen nimi on *Saccharomyces cerevisiae*. Myös *Saccharomyces carlsbergensis*, joka *S. cerevisiae*n aiempi nimi, käytetään.

Hiivasolu on proteiineista ja polysakkarideista koostuvan soluseinän ympäröimä. Soluseinässä on nähtävissä jakautumisesta jääneitä kuroutuma-arpia. Lipoproteiineista koostuva solumembraani rajoittuu soluseinään, ja se säätelee soluun kulkeutuvia ja solusta poistuvia metaboliatuotteita. Solumembraanin sisällä oleva sytoplasma on kolloidinen liuos, joka sisältää runsaasti proteiineja ja entsyymejä. Solulle tärkeät mitokondriot ja solutuma sijaitsevat sytoplasmassa. Hengityssentsyymisysteemi on sitoutunut mitokondrioihin ja solutumassa sijaitsevat perinnöllisyyttä säätelevät kromosomit. Tuma erottuu sytoplasmasta tumakalvon avulla. Golgin laite on soluelin, joka osallistuu proteiinien muokkaamiseen. Golgin laite myös kuljettaa aineita solussa paikasta toiseen. Hiivasolun rakennetta on esitetty kuvassa 15, jossa mikroskooppikuvassa on *Candida albicans* -suvun hiivasolu. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 103–104; Salmi 2002: 19; Walker 1998: 19, 284–290)



Kuva 15. Hiivasolu koostuu sytoplasmasta eli solulimasta(C), tumasta (N), vakuolista(V), mitokondriosta(M), lipidijyväsistä(SV), solumembraanista(CM) ja soluseinästä(CW) sekä Golgin laitteesta (G) jossa voi erottaa kuroutuma-arvet (BS). Peroxisomi (P) on kuvassa esiintyvällä *Candida albicans* -suvun hiivoilla erityinen ominaisuus, jota muilla hiivoilla ei ole. (Kuva: Walker 1998:19)

### 3.4.1 Hiivojen ryhmittely

Hiivat jaetaan tieteellisesti itiöllisiin ja itiöttömiin lajeihin. Itiöllisillä hiivalajeilla tavataan sekä suvullista että kasvullista lisääntymistä, kun taas itiöttömillä tavataan vain kasvullista lisääntymistä. Käytännössä, etenkin oluen valmistuksen kannalta tärkeä ryhmäjako on jako villihiivoihin ja kulttuurihiivoihin. Kulttuuri- ja villihiivojen ero on se, että kulttuurihiivat ovat tarkoituksellisesti viljeltyjä ja villihiivat luonnossa vapaasti kasvavia kantoja.

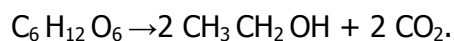
Suurin osa hiivalajeista kuuluu villihiivoihin, ja kulttuurihiivatkin kasvavat luonnossa, joten jako villi- ja kulttuurihiivoihin on melko karkea. Kulttuurihiivoihin kuuluu panimo- hiivoja, viinihiivoja, leipomohiivoja, polttimohiivoja sekä reuhiivoja. Panimoalalla tärkeä jako hiivoilla on jako pohjahiivoihin ja pintahiivoihin. Pintahiivat nousevat mattona käymisastian pinnalle kasvun loppuvaiheessa, kun pohjahiivat sedimentoituvat käymisastian pohjalle.

Oluen valmistuksessa käytetään Euroopassa pääosin pohjahiivoja, mutta pintahiivojakin käytetään. Viini-, polttimo- ja leipomohiivat ovat pintahiivoja, reuhiivat ja villihiivat voivat olla joko pinta- tai pohjahiivoja. Hiivat jaetaan myös happitarpeensa mukaan fermentatiivisiin ja oksidatiivisiin ryhmiin. Fermentatiiviset hiivat pystyvät käyttämään sokereita anaerobisesti, ja oksidatiiviset taas tarvitsevat hapen läsnäolon kasvaakseen. Kulttuurihiivat ovat pääosin fermentatiivisia lukuun ottamatta joitain reuhiivoja, jotka voivat olla myös oksidatiivisia. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 102–103; Salmi 2002: 19; Walker 1998: 284–290)

### 3.4.2 Panimohiivan ravintovaatimukset

Hiiva on toisenvaarainen eliö, eli se tarvitsee hiilen ja energian lähteiksi kasvien syntetisoimia hiiliyhdisteitä. Hiivalle ominaisia kasvualustoja ovat sokeripitoiset alustat, joten erilaiset sokerit ovat sille ominaisia energianlähteitä. Taulukossa 5 esitellään hiivan ravinnoksi kelpaavat ja kelpaamattomat hiilihydraatit. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 105–106; Salmi 2002: 19; Vogel & Todaro 1996: 130, 156; Walker 1998: 284–290)

Alkoholikäymisessä sokerista muodostuu etanolia ja hiilidioksidia seuraavasti:



Rakennekaavan mukaan grammasta glukoosia syntyy 0,51 grammaa etanolia ja 0,49 grammaa hiilidioksidia. Lasketut luvut saatiin seuraavasti:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 1 \text{ g}$$

$$\Rightarrow n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = m / M = 1 \text{ g} / 180,18 \text{ g} / \text{mol} = 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = n(\text{CO}_2) = 2 \cdot 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,0111 \text{ mol}$$

$$\Rightarrow m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = n \cdot M = 0,0111 \text{ mol} \cdot 46,08 \text{ g} / \text{mol} = 0,51 \text{ g}$$

$$\Rightarrow m(\text{CO}_2) = n \cdot M = 0,0111 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g} / \text{mol} = 0,49 \text{ g}$$

Vierteessä on sokereiden lisäksi paljon muita käymiseen vaikuttavia tekijöitä, joten yllä oleva laskutoimitus on spesifinen maksimimäärä, mitä glukoosista voi saada etanolia grammaa kohden. (Aittomäki ym. 2002: 88–89)

Taulukko 5. Panimopohjahiivalle sopivat ja sopimattomat hiilihydraatit. Osa käymiskelvottomista hiilihydraateista hydrolysoidaan mäsäyksessä amylaasi-entsyymien avulla käymiskelpoisiksi sokereiksi. (Enari & Mäkinen: 105)

Käymiskelpoiset hiilihydraatit	Käymiskelvottomat hiilihydraatit
Glukoosi	Pentoosit
Fruktoosi	Laktoosi
Sakkarooosi	Sellobioosi
Maltoosi	Dekstriinit
Maltotriooosi	Tärkkelys
Raffinoosi	Selluloosa

Typen käytön suhteen panimohiiva on vaatimaton organismi, jolle riittää typpiravinnonlähteeksi epäorgaaniset typen lähteet, kuten ammoniakki ja ammoniumsuolat. Epäorgaanisista typpiyhdisteistä typpihapon suolat, kuten nitraatit ja nitriitit ovat hiivan kannalta huonoja, jopa myrkyllisiä. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 105–106; Salmi 2002: 19; Walker 1998: 284–290). Orgaanisten aminien kaltaisia typpiyhdisteitä ei oluessa tulisi esiintyä, koska niiden pitoisuudet viestivät vierteen puutteellisesta hygieniasta (Loret ym. 2005: 519–525)

Fosforia hiiva tarvitsee nukleiinihappojen rakennusaineeksi. Vierteessä onkin paljon fosfaatteja, joita hiiva pystyy hyödyntämään. Hiivan entsyymien rakenteeseen vaikuttavia välttämättömiä metalli-ioneja ovat kalium, magnesium, kalsium ja rauta, joita vierre yleensä sisältää tarpeeksi. Kuparia hiiva vaatisi hiukan, mutta jo pienet määrät ovat myrkyllisiä, joten kuparia ei saa oluessa olla. Vitamiineja hiivan kasvuun tarvitaan vain muutamia, joita vierre sisältää riittävästi. Nämä hiivan tarvitsemat vitamiinit ovat biotiini, pantotenaatti, inositoli ja tiamiini. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 105–106; Jianlong 2002: 847–850; Salmi 2002: 19; Walker 1998: 284–290)

### 3.4.3 Panimohiivan happivaatimukset

Panimohiivat ovat fakultatiivisia mikrobeja, eli ne pystyvät elämään sekä hapettomissa että hapellisissa oloissa. Hapen läsnä ollessa hiiva pilkkoo sokerin täydellisesti tuottaen vettä ja hiilidioksidia kasvun ollessa voimakasta. Jos happea ei ole riittävästi, hiiva tuottaa hiilidioksidia ja alkoholia, mutta kasvu on vähäistä, koska etanolimolekyylisiin jää suuri energiamäärä käyttämättä. Edellä mainittujen hiivan hapenkäyttöön liittyvien seikkojen vuoksi vierre ilmastetaan hiivauksen yhteydessä. Näin hiiva saa happea kasvaakseen, ja hapen loputtua alkaa alkoholin tuottaminen. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 106; Walker 1998: 284–290)

### 3.4.4 Panimohiivan suhtautuminen lämpötilaan ja happamuuteen

Lämpötilan sietonsa suhteen panimohiivat ovat mesofiilejä, joiden kasvun optimilämpötila on 20 – 40 °C. Panimohiivan optimikasvulämpötila on 25 – 30 °C, mutta muiden mesofiilien tavoin se viihtyy laajalla lämpötila-alueella. Hiivojen kasvu tyrehtyy 40 °C:ssa, ja 60 °C:ssa ne kuolevat. Panimopohjahiivat viihtyvät myös alhaisissa lämpötiloissa, joten pohjahiivakäymisissä lämpötila voi olla 10 °C:een paikkeilla. Pintahiivakäymisissä lämpötila on noin 15 °C.

Hiivat sietävät kohtuullisen hyvin happamia olosuhteita, pH 4:ssä hiivojen kasvua esiintyy, pH:n laskiessa alle 4:n pysähtyy hiivan kasvu hiivojen kuitenkin kuolematta. Panimohiivan kasvun kannalta optimaalisin pH-arvo on 5,3, joka onkin vierteen pH käymisen alussa. Käymisen aikana pH laskee yhden yksikön verran. (Enari 1997: 14–20; Salmi 2002: 19; Walker 1998: 284–290)

### 3.4.5 Panimohiivan flokkuloituminen

Flokkuloitumisella tarkoitetaan hiivasolujen kerääntymistä yhteen muodostaen kasautumia, jotka sedimentoituvat tankin pohjalle. Mitä suurempia kasautumia muodostuu, sen nopeammin ne sedimentoituvat. Panimohiivat voidaan jakaa flokkaantumistaipumuksensa mukaisesti neljään ryhmään:

Ryhmä I: Solut pysyvät täysin erillään toisistaan koko käymisen ajan. Tämän ryhmän hiivoja kutsutaan pölyhiivoiksi.

Ryhmä II: Solut keräytyvät hitaasti helposti hajoaviksi pieniksi kasautumiksi.

Ryhmä III: Solut keräytyvät käymisen myöhäisessä vaiheessa tiiviiksi ja vaihtelevan kokoisiksi kasautumiksi.

Ryhmä IV: Solut kerääntyvät jo varhaisessa käymisen vaiheessa tiiviiksi, suuriksi kasautumiksi. Kuroutuminen ei tapahdu enää loppuun asti.

Ryhmien II, III ja IV hiivat ovat flokkuuntuvia, joista kahta ensimmäistä kutsutaan kohdallaisesti flokkuloituvaksi ja ryhmän IV hiivoja voimakkaasti flokkuloituviksi. Pölyhiivan käyttö on vähäistä sen flokkaantumattomuuden vuoksi, koska suodatusongelmat ovat erittäin todennäköisiä, jos hiivaa ei saada poistettua ennen suodatusta. Voimakkaasti flokkuloituva hiiva taas sedimentoituu liian nopeasti tankin pohjalle ja käyminen jää kesken. Flokkaantumista tarkastellessa on siis syytä käyttää kohtuullisesti flokkaantuvaa hiivaa, ryhmän III hiivat ovat helpoiten käsiteltäviä ja poistuvat tankista melko hyvin ennen suodatusta. (Enari 1997: 14–20; Enari & Mäkinen 1993: 107–109; Walker 1998: 284–290)



## 4 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tutustua oluen valmistukseen uudelta näkökannalta, jossa eri prosessivaiheiden kannalta tärkeät raaka-ainetekijät otetaan huomioon. Ensin perehdyttiin oluen valmistukseen prosessina, jotta raaka-aineiden käyttö ja vaikutukset prosessiin olisivat selviä myöhemmin raaka-aineiden laatukriteereitä käsitellessä.

Oluen valmistuksen raaka-aineet ovat mallas, vesi, hiiva ja humala. Oluen valmistus alkaa mallasohran viljelystä, johon on tarkkaan määritetyt säädöksensä, jotta ohra on hyväksyttävää olutmaltaaksi.

Mallastuksessa on kolme vaihetta: liotus idätys ja kuivaus. Liotuksessa maltaan kosteus nostetaan idätystä varten. Idätyksen aikana syntyvät oluen valmistuksen kannalta tärkeät entsyymit, jotka mäsäyksen aikana pilkkovat hiilihydraatteja käymiskelpoisiksi sokereiksi sekä proteiineja liukeneviksi yhdisteiksi. Myös maltaalle tärkeä ominaisuus, möyhentyminen, tapahtuu idätyksen aikana. Kuivauksessa maltaaseen muodostuu mallastyypin mukainen väri ja aromi. Kuivaus lisää maltaan säilyvyyttä sekä jauhautuvuutta. Nykyään mallastus tapahtuu pääosin mallastamoilla, joista maltaat kuljetetaan säiliöautoilla panimoille.

Panimoprosessi alkaa maltaan jauhatuksesta, jonka jälkeen mallasrouhe sekoitetaan veden kanssa mäsäykattilaan. Mäsäys tapahtuu vaiheittain, eri entsyymeille optimaalisissa lämpötiloissa. Onnistunut mäsäys on olutprosessin merkittävimpiä vaiheita ja vaatii erityisesti hyvin möyhentyneen maltaan. Mäsäyksen jälkeen vierre erotetaan mäsäystä siivilöimällä tai suodattamalla. Vierre keitetään mäsäyksen jälkeen keittokattilassa, ja mäski joko kuivataan tai otetaan talteen mäsäysiiloihin. Keitettäessä vierre steriloituu ja siihen lisätään humala. Keiton aikana olueen sameutta aiheuttavat yhdisteet saostuvat. Keiton jälkeen vierre selkeytetään selkeytsaltaissa tai vierresyklonissa. Selkeytyksessä vierteestä erottuu rupa, joka sisältää keiton aikana muodostuneita saostumia, humalajäämiä ja mäskin erotuksessa vierteeseen jäänyttä kiintoainetta.

Selkeytyksen jälkeen vierre jäähdytetään käymistankkiin. Jäähdytyksen yhteydessä vierteeseen lisätään hiiva aseptisissä olosuhteissa. Vierrettä ilmastetaan aluksi hiivan kasvun takaamiseksi. Hiivan käytettyä hapen alkaa varsinainen alkoholikäyminen. Pää-

käyminen kestää vajaan viikon ja varastokäyminen toisen viikon. Käymisen jälkeen olut kirkastetaan suodattamalla, minkä jälkeen olut on valmista pulloitettavaksi.

Olutprosessin onnistuminen vaatii mallastuksen moitteettoman onnistumisen. Möyhtymisen lisäksi idätyksen aikana muodostuvia entsyymejä tulee olla riittävästi. Veden tulee olla vähintään hyvän talousveden tasoista ja pehmeää. Suomessa valmistetaan pääosin lager-oluita, jotka vaativat pehmeää vettä.

Humalan käyttö lisää oluen säilyvyyttä ja tuo siihen raikkaan, oluelle tyypillisen, raikkaan maun ja flavorin. Hiivan on oltava ehdottomasti puhdasta vieraista mikrobeista, jotta mikrobiologisilta kontaminaatioilta vältyttäisiin. Hiivan ansiosta olueen muodostuu oluelle tyypillinen flavori, joka suurimmaksi osaksi muodostuu etanolikäymisen yhteydessä.

## Lähteet

Aittomäki, Esa - Eerikäinen, Tero, Leisola - Matti, Ojamo, Heikki – Suominen, Ilari - Niklas von Weymarn 2002. Bioprosessitekniikka. WSOY. Oppimateriaalit, Helsinki.

Brandama C. - Meyer X.M. - Strehaiano P. - Pingaud H. 2003. An original kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing. *Biochemical Engineering Journal*, Volume 13, 2003.

Caporale, Gabriella & Monteleone, Erminio 2004. Influence of information about manufacturing process on beer acceptability. *Food Quality and Preference*, Volume 15, Issue 3, April 2004.

Diastatic Power. 2012. Verkkodokumentti. American homebrewers Association. <http://wiki.homebrewersassociation.org/DiastaticPower>. Luettu 14.5.2012.

Durand G.A.- Corazza M.L.- Blanco A.M.- Corazza F.C. 2009. Dynamic optimization of the mashing process. *Food Control*, Volume 20, Issue 12, December 2009.

Enari, Tor-Magnus. 1999. *From Beer to Molecular Biology – The Evolution of Industrial Biotechnology*. Fachverlag Hans Carl, Nürnberg.

Enari, T-M.& Mäkinen V. 1993. *Panimotekniikka*. Panimolaboratorio, Espoo.

Eneje L.O.- Obiekezie S.O- Aloh C.U- Agu R.C. 2001. Effect of milling and mashing procedures on millet (*Pennisetum maiwa*) malt wort properties. *Process Biochemistry*, Volume 36, Issues 8–9, March 2001.

Gan Q.- Howell J.A.- Field R.W.- England R.- Bird M.R.- O'Shaughnessy C.L.- MeKechinie M.T. 2001. Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules. *Journal of Membrane Science* 194.

Harrison M.A. 2009. *Beer / Brewing*. *Encyclopedia of Microbiology (Third Edition)*. University of Georgia, Athens, GA, USA.

*Humulus lupulus lupuloides*. 2012. Verkkodokumentti. Kuva humalasta. <http://www.flickr.com/search/?w=all&q=hop+cone&m=text#>. Luettu 25.5.2012.

Jianlong, Wang 2002. Biosorption of copper(II) by chemically modified biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *Process Biochemistry*, Volume 37, Issue 8, March 2002. Tsinghua University, Beijing 100084, PR China.

Järmälä, Ari. 2012. Mäskäys. Verkkodokumentti. Olutliitto. Kotipanimomestarin käsikirja. <http://www.olutliitto.fi/index.php?CategoryId=4&PageId=7>. Luettu 29.2.2012.

Järmälä, Ari 2012. Olutsanastoa. Verkkodokumentti. Olutliitto. Kotipanimomestarin käsikirja. <http://www.pcu.fi/~jarmala/0kksanas.html>. Luettu 14.5.2012.

Korkeala, Hannu 2007. Elintarvikehygieniä. WSOY, Helsinki.

Loret S.- Deloyer P.- Dandrifosse G. 2005. Levels of biogenic amines as a measure of the quality of the beer fermentation process: Data from Belgian samples. *Food Chemistry*, Volume 89 2005.

Mallasohra. 2012. Verkkodokumentti.  
[http://www.sgnieminen.fi/puutarha-ja-maatalaustuotanto/peltoviljely\\_viljalajikkeet](http://www.sgnieminen.fi/puutarha-ja-maatalaustuotanto/peltoviljely_viljalajikkeet).  
Luettu 24.5.2012.

Meura 2001. 2012. Verkkodokumentti.  
<http://www.wallart.fr/en/Brewing-Equipment2/Brewing/Mash-filter/Meura-2001-type-filter-7-tons-pouring-SOLD>. Luettu 31.5.2012.

Navarro, Simon - Vela, Nuria, Perez- Gabriel - Navarro, Gines. 2011. Effect of sterol biosynthesis-inhibiting (SBI) fungicides on the fermentation rate and quality of young ale beer. *Food Chemistry*, Volume 126, Issue 2, 15 May 2011.

Ohrasta oluen synty 2012. Käsikirja mallasohran tuottajille 12.3 2012. Verkkodokumentti. <http://www.agronet.fi/mallasohra/index.html>. Luettu 25.5.2012

Oluen matka pellolta baariin. 2012. Verkkodokumentti.  
[http://www.hartwall.fi/fi/Juomat/Juoman\\_lahteilla/Oluen-matka-pelloilta-baariin/](http://www.hartwall.fi/fi/Juomat/Juoman_lahteilla/Oluen-matka-pelloilta-baariin/). Luettu 9.5.2012.

Oluen valmistus. 2012. Verkkodokumentti.  
<http://www.sinebrychoff.fi/SiteCollectionImages/Olut%20ja%20sen%20tarjoilu%20kuvat/oluenvalmistuskavaio.gif>. Luettu 14.5.2012.

Oluen valmistus. 2012. Verkkodokumentti.  
<http://www.sinebrychoff.fi/juomamme/oluesta/Pages/oluenvalmistus.aspx>. Luettu 14.5.2012.

Patzak, Josef- Nesvadba, Vladimír- Hencychová, Alena- Krofta, Karel. 2010. Assessment of the genetic diversity of wild hops (*Humulus lupulus L.*) in Europe using chemical and molecular analyses. *Biochemical Systematics and Ecology*, Volume 38, Issue 2, April 2010.

Pilsnermallas. 2012. Verkkodokumentti.  
<http://www.durstmalz.com/pilsnermalt.html>. Luettu 24.5.2012.

Polyfenoli. 2012. Verkkodokumentti  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Polyfenoli>. Luettu 29.4.2012.

Q. Gan - J.A. Howell - R.W. Field - R. England - M.R. Bird - C.L. O'Shaughnessy - M.T. MeKecnie, 2001. Beer clarification by microfiltration — product quality control and fractionation of particles and macromolecules. *Journal of Membrane Science*, volume 194, Issue 4.

Quality factors in malting barley. 2012. Brewing and Malting Barley Research Institute. Verkkodokumentti.

<http://www.bmbri.ca/PDF/Quality%20Factors%20in%20Malting%20Barley%20-%20May%202010.pdf>. Luettu 9.5.2012.

Raakavesilähteet. 2012. Verkkodokumentti. Suomen ympäristökeskus.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6738&lan=fi>. Luettu 14.5.2012.

Salmi, Mikko. 2002. *Kippis! Ravintolan olutkäsikirja*. Oy Finn Lectura Ab, Helsinki.

Stenholm, Katharina, 1997. Malt limit dextrinase and its importance in brewing. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo.

Stamenic M. - Zizovic I. - Eggers R. - Jaeger P. - Heinrich H. Rój E. - Ivanovic J. - Skala D. 2010. Swelling of plant material in supercritical carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids* 52 2010.

Tse K.L. - Boswell C.D. - Nienow A.W. - Fryer P.J. 2003. Assessment of the Effects of Agitation on Mashing for Beer Production in a Small Scale Vessel. *Food and Bioproducts Processing*, Volume 81, Issue 1, 2003.

Veden laatuvaatimukset. 2012. Verkkodokumentti.

<http://www.sci.fi/~ehakola/vesi/terveys/terveysr.htm>. Luettu 15.5.2012.

Veden puhdistus. 2012. Verkkodokumentti. Puhtaan veden puhdistus.

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/vedenpuhdistus/vedenpuhdistus.htm>. Luettu 15.5.2012.

Vogel, Henry C. & Todaro, Celeste L. 1996. *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*. Noyes Publications, New Jersey, USA.

Walker, Graeme M, 1998. *Yeast Physiology and Biotechnology*. John Wiley & Sons, West Sussex, England.

## Sosiaali- ja terveysministeriön asettamat laatuvaatimukset talous- ja juomavedelle

Määrät ovat mg / l, ellei toisin mainita.

Ihmisen terveyteen vaikuttavat aineet	Enimmäisarvoja talous- ja juomavedessä		kaivo-vedessä
	STM 74/94	EU:n normi	STM 935/94
Mikrobiologiset vaatimukset:			
Koliformiset bakteerit	1 kpl/100 ml	Ei lainkaan	100 kpl/100 ml
Escheria coli (44 oC, 24 h)	1 kpl/100 ml	Ei lainkaan	1 kpl/100 ml
Fekaaliset streptokokit (37 oC, 48 h)	1 kpl/100 ml		
Kemialliset vaatimukset			
Fluori	1,5 (*	1,5	
Nitraatti	25		
Arsenikki	0,01	0,05	0,01
Kadmium	0,005	0,005	0,005
Lyijy	0,01	0,05	0,01
Kloroformi	0,2 (*		
Elohopea	0,001	0,001	
Mineraaliöljyt	0,05		0,1
Syanidi	0,05	0,05	0,05
Pestidit (torjunta-aineet)	0,0005		
Veden esteettisiin ominaisuuksiin vaikuttavat aineet:			
Alumiini (aiheuttaa samentumaa)	0,2	0,2	0,2
Kloridi (...suolaista makua)	100		100
KMnO <sub>4</sub> -luku (...bakteerikasvua)	12		20
Kupari (...turkoosin värin)	1	3	1
Mangaani (...mustan värin)	0,05	0,05	0,2
Rauta (...punaruskean värin)	0,2	0,2	0,5
Sameus	4 FTU		< 5
Väri	15 mg/1 Pt	20 mg/1 Pt	< 20
Haju ja maku	Ei hajua tai makua		Ei hajua tai makua
Radioaktiiviset aineet			
Radon-222			300 Bq/l
Vesijohtoputken korroosioon vaikuttavat aineet:			
Kloridi (lisää korroosiota)	100		
Sulfaatti (lisää korroosiota)	150	250	
Kalsium (suuri pitoisuus vähentää korroosio	100		
PH (tällä välillä korroosio on pienimmill	6,5 – 9,5	9,5	
Taulukosta puuttuu osa EU:n vedenlaatonormeista.			
*) Noin 1 mg/l –pitoisuuksissa fluori on hyödyksi hampaille.			
**) Syntyy veden desinfiointissa (kloorauksessa)			