

# BISHOP CITY BREWERY

Prosessi- ja kustannuskartoitus olutpanimon suunnittelun tueksi

Johanna Malmi

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

2017

## BISHOP CITY BREWERY

Prosessi- ja kustannuskartoitus olutpanimon suunnittelun tueksi

Malmi Johanna

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Helmikuu 2017

Ohjaaja: Hannelius, Timo, lehtori, SAMK

Sivumäärä: 61

Asiasanat: mallasohra, panimoteollisuus, energiankulutus, käyttökustannukset

---

### TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkittiin oluen valmistusprosessia ja laadittiin kattava tietopaketti prosessin eri vaiheista. Opinnäytetyö kirjoitettiin sellaisesta näkökulmasta, joka olisi panimon perustamista suunnitteleville tuleville maanviljelijöille mahdollisimman hyödyllinen. Teoriaosuus sisältää prosessin kulun alkaen ohran viljelystä ja päättyen oluen astioimiseen. Ajatus panimon perustamisesta syntyi siitä, että tilalla viljellään ohraa, jonka myyntiarvo rehuviljana on erittäin pieni. Viljelijöiden tavoitteena on parantaa viljelyn kannattavuutta jalostamalla viljaa sellaiseen muotoon, josta saa paremman katteen.

Työssä selvitettiin 1 000 litran panoksen valmistamiseen soveltuvan puoliautomaattisen laitteiston hankintakustannus sekä raamitettiin laitteiston käyttökustannukset energian sekä raaka-aineiden kulutuksen osalta. Automatisoinnin kautta toivottiin helppokäyttöisyyttä, hävikin minimoimista, alhaisia energiakustannuksia sekä tasalaatuista ja jatkuvaa tuotantoa. Slovakialainen alan toimija antoi puoliautomaattisesta panimolaitteistosta noin 196 000 €:n tarjouksen. Yhden panoksen valmistuskustannukseksi muodostui 190 €:a, jolloin yhden olutlitran valmistuskustannus on 0,19 €:a. Työssä tultiin siihen tulokseen, että vuosituotannon tulisi olla 60 000 – 100 000 litraa, jotta toiminta olisi kannattavaa sekä voitaisiin hyödyntää valtion pienpanimoille myöntämät verohelpotukset. Edellytykset panimon perustamiseen maatilalla on valmiina ja panimon toiminta vaikuttaisi kannattavalta, kunhan myyntikanavat saadaan neuvoteltua.

Opinnäytetyön aihe rajattiin prosessin kulun, panimolaitteiston hankkimisen, raaka-aineiden ja energian kulutuksen ympärille. Työssä nostetaan esiin prosessin vaiheet, joissa kuluu eniten energiaa. Työn ulkopuolelle rajattiin asioita kuten tuotantotilan laatuvaatimukset ja rakennustekniset parannukset, tarkemmat hygieniavaatimukset, lupaprosessit, yrityksen perustaminen, markkinoinnin ja viestinnän laatiminen sekä mallastamon perustamiseen liittyvät asiat.

BISHOP CITY BREWERY  
Process and Expense Survey of a Small Scale Brewery

Malmi Johanna  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering  
February 2017  
Supervisor: Hannelius, Timo; Senior Lecturer, SAMK  
Number of pages: 61

Keywords: malting barley, brewery, energy consumption, operational costs

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to study the beer manufacture process, the costs of the process and the costs of manufacturing apparatus. Thesis was an information retrieval from a point of view of a farmer, who wants to set up an own brewery. Theory part includes information of general quality requirements of malt barley and illustration of the whole beer manufacturing process. The idea to set up a brewery arose from the unprofitable prices of crops. The objective was to understand beer processing to consider if refining the crop from grain to beer would make farming barley more profitable.

Also operation costs for energy consumption and raw material's part were included. Convenient batch size was estimated to be 1 000 liters. Company from Slovakia gave an offer of approximately 196 000 € for a semi-automatic apparatus. Cost of one batch was 190 € and cost of one liter was 0,19 €. Production should be between 60 000 to 100 000 liters per year to make brewery profitable and to be able to utilize Finnish governments tax reliefs to breweries. Conditions to set up a brewery to the farm seems viable as long as sales chains are negotiated.

The theme of this thesis was defined around the beer manufacturing process, the costs of the apparatus likewise energy and raw material consumptions. Many important themes had to be left out, such as quality requirements of the facilities, structural improvements of the facilities, hygiene requirements, perform license processes, founding of a company, marketing and communication and requirements to found a Malt-house.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	PIENPANIMOT SUOMESSA.....	9
2.1	Uuden pienpanimon perustamiskohde .....	9
3	OHRA.....	11
3.1	Ohran viljely Suomessa .....	11
3.2	Mallasohran laatuvaatimukset .....	12
3.3	Ohran jyvän koostumus .....	13
4	OLUEN RAAKA-AINEET .....	14
4.1	Vesi .....	14
4.1.1	Veden kovuus .....	14
4.1.2	Veden vaikutus olueen .....	16
4.2	Hiivakanta.....	16
4.3	Humala.....	17
4.4	Mallas.....	19
4.4.1	Maltaiden valmistus.....	19
4.4.2	Mallasanalyysit.....	20
5	VIERTEEN VALMISTUS.....	21
5.1	Rouhiminen.....	22
5.2	Mäskäys .....	23
5.2.1	Beta-glukaanin hydrolyysi.....	24
5.2.2	Proteiinien hydrolyysi .....	24
5.2.3	Tärkkelyksen hydrolyysi .....	24
5.2.4	Infuusiomäskäys .....	26
5.2.5	Keittomäskäys .....	27
5.3	Siivilöinti.....	28
5.4	Keitto.....	28
5.5	Ruvan poisto .....	29
5.6	Jäähdyttäminen .....	29
5.7	Ilmastus .....	29
5.8	Uutesaanto ja vierteen ominaispaino .....	30
5.9	Oluen analysointi .....	31
6	KÄYMISSPROSESSI.....	32
6.1	Pääkäyminen .....	32
6.2	Jälkikäyminen .....	32

7	OLUEN VIIMEISTELY .....	33
7.1	Suodattaminen.....	33
7.2	Sameus .....	33
7.3	Pastörinti .....	34
7.4	Astioiminen.....	36
8	PROSESSIAUTOMAATIO.....	37
8.1	CIP -pesujärjestelmä .....	38
9	ENERGIAN SÄÄSTÖ OLUEN VALMISTUS PROSESSISSA.....	39
9.1	Hönkälämmönvaihdin ja höyryn komprimointi.....	40
9.2	Esimerkkitapaus .....	40
10	PANIMOIDEN JÄTTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN JA YMPÄRISTÖASIAT .	41
10.1	Mäskin jatkohyödyntäminen.....	41
10.2	Ylijäämähiivan jatkohyödyntäminen .....	43
10.3	Ruvan käyttömahdollisuudet sekä piimaajäte.....	43
10.4	Panimon jätevedet.....	44
10.5	Panimoiden ympäristöasioiden kehitys.....	45
11	AINE- JA ENERGIATASE .....	47
11.1	Ainetase.....	47
11.2	Energiatase .....	48
12	KUSTANNUSLASKELMA .....	52
12.1	Tarjous slovakialaiselta panimoalan toimijalta.....	52
12.2	Tarjous Tšekkiläiseltä alan toimijalta .....	54
12.3	1000 litran panoksen valmistuskustannus.....	55
12.4	Vuosittainen kate .....	56
12.5	Kustannukset ja takaisinmaksuaika hakelämmityksen kuumavesikierron liittämiseksi tuotantolaitteiston kuumavesivaraajaan .....	57
13	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	60
	LÄHTEET.....	62

## OLUTSANASTOA

ALE	Yleisnimitys pintahiivaoluille. Ale nimitys kattaa alleen useita alatyylejä, kuten bitter ale, brown ale ja mild ale.
DOLLY	Dolly -rullakko on metallinen neliönmallinen taso esimerkiksi tölkkisalkkujen liikutteluun. Dollyt kuuluvat Ekopullo ry:n hallinnoimaan palautusjärjestelmään.
FLAVOUR	Oluen maun, tuoksun ja suutuntuman yhdistelmä. Käytetään usein oluen maistelun ja arvioinnin yhteydessä.
EBU	European Bitternes Unit, Euroopassa oluen katkeroainepitoisuus ilmoitetaan EBU -yksikköinä. Suomessa keskioluen katkeroainepitoisuus on yleensä 15-20 EBUa.
EBC	European Brewery Convension, Euroopassa käytetään EBC yksiköitä oluen värin arviointiin. Vaaleat lagerit ovat usein alle kymmenen EBC:tä, kun tummat portterit ja stoutit saattavat olla satoja EBC:tä.
KEG, KEGI	Oluttynnyri, jonka tilavuus voi vaihdella viidestä litrasta monen sadan litran tynnyriin. Nykyisin kegit ovat pääsääntöisesti tehty ruostumattomasta teräksestä, alumiinista tai muovista.
KÄYMINEN	Hiivan anaerobisen aineenvaihdunnan seurauksena vierteessä oleva sokeri muuttuu etanoliksi ja hiilidioksidiksi. Käyminen jaetaan pää- ja jälkikäymiseen.
LAGER	Yleisnimitys pohjahiivaoluille, joiden jälkikäymisaika on pintahiivaoluita pidempi.
PIENPANIMO	Suomen lainsäädännön mukaan kalenterivuonna pienpanimo voi tuottaa korkeintaan 10 miljoonaa litraa eli 100 000 hehtolitraa olutta. Pienpanimoille on säädetty verohelpotuksia toiminnan mahdollistamiseksi.
UUTE	Neste, johon maltaista ja humalasta on liuennut ts. uuttunut komponentteja.
VIERRE	Mäskäyksen tuloksena syntynyt sokeripitoinen neste. Keittämisen sekä jäädyttämisen jälkeen vierteeseen lisätään hiivaa, jonka jälkeen alkaa vierteen käyminen olueksi. (Korpinen & Nikulainen 2014, 35 - 37.)

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön kirjoittajan perheen omistuksessa on viljatila. Tilan isäntä on jäämässä pian eläkkeelle, jolloin opinnäytetyön kirjoittaja sisaruksineen ovat jatkamassa tilan toimintaa yhtymän muodossa. Pohdinnan alla on ollut pitkään, miten tilalla tuotettu vilja voitaisiin jalostaa pidemmälle ja näin saada siitä korkeamman yksikköhinnan muina tuotteina. Aikaisemmin vilja on myyty siemenviljaksi, mutta koska siemenviljavarastoja on pienennetty, on vilja viime vuosina myyty rehuviljaksi. Samalla kuljetuskustannukset ovat nousseet, sillä rehuvilja on toimitettu kauemmaksi kuin aiemmin siemenvilja.

Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto ry:n nettisivukirjoituksen mukaan Suomen maatiloilla viljelijän keskimääräinen tuntipalkka on vain 39 % viljelijälle kuuluvasta tuntipalkasta ja pääoman korosta. Keskimäärin viljelijän tuntipalkka jää tällöin alle 5,90 euron. (MTK:n www-sivut 2017.) Lisäksi luonnonvarakeskus ennustaa keskimääräisen korvauksen putoavan vielä tästä. Viljatioilla tilanne on ollut viime vuosina kaikista haastavin ja luonnonvarakeskus kirjoittaa vain muutamien tuhansien eurojen vuosittaisista tuloista viljelijöiden kohdalla. Ahdinkoa aiheuttavat muun muassa tuottajahintojen putoaminen sekä korkeat tuotantokustannukset. (Luonnonvarakeskuksen www-sivut 2017.) Monella maatilallisella onkin maatalouden ohessa jokin muu tulonlähde.

Maatilamme jatkoa suunnittelevat sisarukset pohtivat maanviljelyn jatkamisen kannattavuutta. Tuottajahintojen alhainen taso on synnyttänyt idean panimon perustamisesta. Tällöin itse kasvatettua ohraa saataisiin jatkojalostettua ja näin viljelyn kannattavuutta parannettua. Panimon perustamista suunnittelevien sisarusten ajatuksena on, että panimotoiminnan aloittamisvaiheessa mallastettu ohra hankitaan ulkopuoliselta taholta. Kun toiminta saadaan käyntiin, voidaan siirtyä mallastamaan omaa ohraa panimon raaka-aineeksi. Tavoitteena on hankkia puoliautomaticoitu panimolaitteisto. Automaatiolla haetaan muun muassa helppokäyttöisyyttä, hävikin minimoimista, alhaisia energiakustannuksia sekä tasalaatuista ja jatkuvaa tuotantoa. Opinnäytetyön nimi ”Bishop City Brewery” on panimon työnimi, liittyen sukutilan historiaan. Tätä historiaa suunnitellaan käytettäväksi myös panimon markkinoinnin ja imagon luomisessa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on edistää tiedonhankintaa, jonka pohjalta ratkaistaan jatketaanko panimon perustamisen suunnittelua. Tarkoituksena on tutustua oluen valmistukseen prosessina ja raamittaa panimolaitteiston mitoitusta, laitteisto- ja käyttökustannuksia. Pohdinnan alla on lisäksi, onko mahdollista saada energiakuluihin säästöjä, jos oluen valmistusprosessissa tarvittavaa lämpöä tuotetaan tilalla jo olevalla hakepolttimella.

Opinnäytetyön aihe on rajattu prosessin kulun, panimolaitteiston hankkimisen, raaka-aineiden ja energian kulutuksen ympärille. Työn ulkopuolelle rajattuja asioita ovat esimerkiksi tuotantotilan laatuvaatimukset ja rakennustekniset parannukset, tarkemmat hygieniavaatimukset, lupaprosessit, yrityksen perustaminen, markkinoinnin ja viestinnän laatiminen sekä mallastamon perustamiseen liittyvät asiat. Lopullista toimintasuunnitelmaa tai yrityssuunnitelmaa panimolle ei ole vielä tehty. Asiaan liittyen tehdään vielä kartoituksia ja tämä opinnäytetyö vastaa osaltaan tähän taustatiedon hankintaan.



## 2 PIENPANIMOT SUOMESSA

Suomen ensimmäinen teollinen panimo, Stora Bryggeriet, perustettiin Helsinkiin vuonna 1756. Tänä päivänä toimivista suurpanimoista Sinebrychoff sekä Hartwall perustettiin 1836 ja Olvi 1878. Suomessa oli 1800 -luvulla toistasataa teollista panimoa, mutta kieltolaki karsi panimoita ja vuonna 1920 oli niitä jäljellä enää 26. Kolmen suuren panimon lisäksi olutta tuotettiin 1990 -luvulle siirryttäessä vain Pirkanmaan Uudessa Panimossa, nykyään nimeltään Nokian Panimo. (Korpinen & Nikulainen 2014, 16.)

Pienpanimoita Suomeen on alkanut nousta taas 1990 -luvun alusta lähtien. Viime vuosina pienpanimoita on syntynyt tiiviiseen tahtiin. Pienpanimoksi luokiteltu panimo voi lainsäädännön mukaan tuottaa kalenterivuodessa korkeintaan 100 000 hehtolitraa olutta. Pienpanimoille on säädetty verohelpotus, jonka mukaan nämä saavat alkoholiveron perusverosta alennusta porrastetusti. Porrastus on rakennettu tuotantolitrojen mukaan, jolloin yli 100 000 hehtolitran vuosituotannosta maksetaan verot täysimääräisinä. Monet pienpanimot ovat samalla panimoravintoloita, jolloin koko tuotanto tai osa siitä myydään suoraan panimoravintolasta käsin. (Korpinen & Nikulainen 2014, 16 - 17.) Osa pienpanimoista valmistaa oluiden lisäksi sahtia, siidereitä, long drink- tai virvoitusjuomia. Tyypillisesti pienpanimot ovat perheyriyksiä tai oluiden harrastajien yhteistyönä perustamia panimoita. Pienpanimossa saattaa työskennellä vain yksi työntekijä tai panimon koosta riippuen, joissakin kymmeniä työntekijöitä. (Pienpanimoliiton www-sivut 2017.)

Panimoalalla on tapahtunut 40 %:n vähennys työllisyydessä vuodesta 2003 vuoteen 2015 (Panimoliiton www-sivut 2017.). Muutosta voidaan selittää ainakin isompien panimoiden kohdalla automatisoinnin lisäämisellä. Pienpanimoiden kohdalla puhutaan usein käsityöoluista.

### 2.1 Uuden pienpanimon perustamiskohde

Malmin tila on sukupolvelta toiselle siirtynyt sukutila, joka sijaitsee aivan Kokemäen keskustassa. Tilaa pitää talon isäntä Tapio Malmi, joka on pian siirtymässä eläkkeelle.

Perheen lapset ovat perustamassa yhtymää, jonka nimissä he aikovat jatkaa maatilantoimintaa. Tänä päivänä tilalla viljellään ohraa, kauraa ja syysvehnää. Maatilaan kuuluu noin 40 hehtaaria peltoa ja 120 hehtaaria metsää. Pihapiirissä on päärakennus, vanha kivinavetta, luhtirivi, aitta, verstaas, vanha kanala, vanha saunarakennus, kuivuri ja varastointihalli. Vanhin osa päärakennuksesta on vanha pappila, joka on rakennettu 1750 -luvulla ja 1850 -luvulla siirretty osaksi Malmin tilan päärakennusta.

Maatilalla on lämmitysjärjestelmä, jossa on kiinteän polttoaineen poltin. Pannussa poltetaan haketta, joka saadaan omasta metsästä. Hakejärjestelmän nimellisteho on 120 kW, lisäksi samaan järjestelmään on liitetty 60 kW puupannu. Puupannu on rakennettu ennen hakepannua, jolloin ajateltiin puupannulla lämmittämisen riittävään lämmittämiseen päärakennusta. Tämä osoittautui kuitenkin niin työllistäväksi, että päädyttiin investoimaan lisäksi hakepannuun sekä liittämään verstaas lämmityksen piiriin. Hake- ja puupannu on yhdistetty järjestelmän 3500 litran vesivaraajaan. Vesivaraaja on yhdistetty verstaas sekä päärakennuksen patteriverkostoon. Hakelämmitysjärjestelmän suunnitteluvaiheessa on laskettu, että päärakennuksen maksimilämmitystarve on 44 kW ja verstaas maksimilämmitystarve on 28 kW. Yhteenlaskettu lämpöhäviö lämpökanaaleissa on 3,5 kW. Laskennallisesti lämpötarve on tällöin maksimissaan 75,5 kW.

Käytäntö on osoittanut, että hakejärjestelmä toimii talvisinkin puoliteholla. Keväisin lämmöntarve vähenee niin paljon, että hakekattilaa ei enää kannata käyttää. Se on liian tehokas tuottamaan pientä lämpöä, jolloin se alkaa hikoilla ja pelkona on ruosteen muodostuminen. Keväällä ja syksyllä siis käytetäänkin puupannua tuottamaan tarvittu lämpö. Lämmitysjärjestelmässä on riittävästi tehoja, jotta kyseistä järjestelmää voisi hyödyntää panimon tarvitseman lämmön tuotantoon. Tällöin saavutettaisiin mahdollisesti säästöjä panimon sähkön kulutuksessa.

### 3 OHRA

Oluen valmistuksessa yleisimmin käytetty vilja on ohra. Se on laajalle levinnyt vilja ja sitä voidaan viljellä eri maanosissa. Lisäksi on etua, että ohraa puitaessa sen kuori ei irtoa, jolloin kuori suojaa itua eri mallastusvaiheiden aikana. Siivilöimisvaiheessa kuorista ja muusta kiinteästä materiaalista muodostuu suodattava kerros, joka kirkastaa vierrettä. Ohran tähkän muoto vaihtelee kaksitahoisista tähkistä monitahoisiin tähkiin, jotka jaetaan vielä nelitahoisiin ja kuusitahoisiin tähkiin. (Enari & Mäkinen 2014, 15.)

Kaksitahoisessa tähkässä jyvät kasvavat rinnakkain, tähkä on tavallaan litteä. Kaksitahoisen ohran jyvät soveltuvat paremmin oluen tuottamiseen, sillä ne kasvavat tasakokoisiksi sekä kookkaiksi. Näissä on myös yleisesti matalampi proteiinipitoisuus, jota pidetään suotuisana ominaisuutena oluen valmistuksessa. (Enari & Mäkinen 2014, 15.)

Monitahoisilla ohrilla kasvukausi on yleensä kaksitahoista ohraa lyhyempi, jolloin ne kasvavat nopeasti. Tämä aiheuttaa korkeaa proteiinipitoisuutta sekä aktiivista entsyymaattista aktiivisuutta. Monitahoiset ohrat soveltuvatkin entsyymimaltaan valmistukseen. (Enari & Mäkinen 2014, 15.)

#### 3.1 Ohran viljely Suomessa

Ohra on eniten viljelty vilja Suomessa. Viljelystä ohrasta viidesosa on mallasohraa ja loput rehuohraa. Suomi on omavarainen mallasohran suhteen ja sitä myös viedään ulkomaille. (Enari & Mäkinen 2014, 15.)

Suomessa viljellään pääsääntöisesti monitahoista ohraa, kaksitahoista ohraa viljellään lähinnä vain oluen valmistukseen. Kaikki Suomessa viljeltävä ohra on kevätohraa, sillä syysohra ei kestä Suomen talviolosuhteita. Pohjois-Suomessa viljellään aikaisin valmistuvia kevätohralajikkeita ja Etelä-Suomessa myöhään valmistuvia kevätohralajikkeita. Euroopassa viljellään myös syysohraa mallastusta varten, mutta yleisesti

syysohraa pidetään huonompana vaihtoehtona mallastukseen kuin kevätohraa. (Enari & Mäkinen 2014, 15.)

Mallasohran viljely perustuu viljelysopimukseen. Sopimuksia tehdään vain hyväksytyistä mallasohralajikkeista, joiden lukumäärä on viime vuosina noussut huomattavasti. Mallastamoille lajikkeiden lukumäärän kasvu aiheuttaa ongelmia, sillä eri lajikkeita ei saa sekoittaa, vaan ne on käsiteltävä erikseen mallastamossa. (Enari & Mäkinen 2014, 16.)

### 3.2 Mallasohran laatuvaatimukset

Viljalle on asetettu laatuvaatimuksia, jotka perustuvat siihen että maltaista on saatava hyvä vierre ja sen tulee sisältää kaikki käymiselle tarpeelliset komponentit, joista tärkkelys on tärkein. Tärkkelys muodostuu kahdesta komponentista, amyloosista ja amylopektiinistä. (Enari & Mäkinen 2014, 19.) Muita tärkeitä komponentteja ovat maltaiden amylaasit, jotka ovat entsyymejä ja jotka hajottavat tärkkelyksen mäskäyksessä. Aminohappoja, joita saadaan proteiinien hajotessa, tulee vierteessä olla myös riittävästi. Myös peptidejä syntyy proteiinien hajotessa. Peptidejä tarvitaan vaahdon muodostuksessa. Peptidit ovat myös osittain haitallisia, sillä ne saattavat samentaa valmista olutta säilytyksen aikana. (Enari & Mäkinen 2014, 21.)

Mallasohran optimiproteiinipitoisuus on 10,5 %, sillä mitä enemmän jyvässä on proteiinia, sitä vähemmän siinä on tärkkelystä. Liika proteiini aiheuttaa myös ongelmia säilyvyyteen sekä makuun. Mallasohran kosteus saa olla maksimissaan 13,5 %, lajikepuhtauden on oltava vähintään 95 % ja ohran on oltava homevapaata. Homekontaminaatiot alentavat ohran itävyyttä ja homeet aiheuttavat ylikuohuntaa. (Enari & Mäkinen 2014, 21.)

Muita laatuvaatimuksia ovat 95 %:n itävyys. Itämättömät jyvät alkavat homehtua mallastuksen yhteydessä ja ne voivat pilata koko erän. Maltaiden tulee olla myös rakenteeltaan terveitä. Haljenneita jyviä esiintyy ohran kasvurytmin ja sääolosuhteiden yh-

teensopimattomuudesta. Haljenneiden jyvien määrän yläraja on 5 %. Haljenneissa jyvissä saattaa tapahtua mallastuksen aikana voimakasta bakteerien kasvua. (Enari & Mäkinen 2014, 21.)

### 3.3 Ohran jyvän koostumus

Jyvä koostuu kahdesta pääosasta: embryosta ja endospermistä. Embryo kehittyy itämisen aikana uudeksi ohrakasviksi, siitä kehittyy ensimmäiset lehtien sekä juurten alkiot. Endospermi on siemenen vararavintoa sisältävä osa, jonka suurin osa on tärkkelysendospermi. Itämisen aikana endospermissä ei tapahdu proteiinisynteesiä eikä hengitystä. Jyvän sisältämät ainesosat on esitelty alla olevassa taulukossa (1). (Enari & Mäkinen 2014, 18.)

Taulukko 1 Ohran jyvän koostumus.

Kosteus	12 - 15 %
Tärkkelys	60 - 70 %
Proteiinit	10 - 15 %
Selluloosa	4 - 6 %
Pentosaanit	5 - 10 %
Rasva	2 - 3 %

Lisäksi ohrassa on pienempiä määriä muita aineita, kuten  $\beta$ -glukaania, polyfenoleja, lipidejä, nukleinihappoja ja mineraaliaineita. Puintivaiheessa jyvän kosteus on noin 20 % ja kuivausvaiheen jälkeen alle 13,5 %. Jos kosteus on tätä korkeampi, syntyy säilytyksen aikainen homehtumisriski. Säilytyksen aikana kosteus jyvässä saattaa kuitenkin hieman nousta. (Enari & Mäkinen 2014, 18 - 19.)

## 4 OLUEN RAAKA-AINEET

Oluen valmistuksen pääraaka-aineet ovat: vesi, hiiva, humala ja maltaat. Reseptejä oluen valmistukseen löytyy paljon kirjallisuudesta sekä nykyisin myös Internetistä. Oluen ominaisuudet riippuvat muun muassa raaka-aineiden määrästä ja laadusta, reseptistä, hiivakannasta, veden kovuudesta, maltaiden kuivaus/paahtoasteesta, humalalajikkeista, mäsäysprosessin lämpötila-aikasuhteesta sekä happamuusasteesta, joka vaikuttaa hivenaineiden, sokereiden ja proteiinien määrään. (Puukka 2015, 8.)

### 4.1 Vesi

Raakavesi on vettä, joka puhdistetaan juomavedeksi vesilaitoksilla. Suomessa käytetään raakavetenä sekä pintavettä, eli joista tai järvistä pumpattua vettä, että pohjavettä. Pintaveden laatu vaihtelee paikkakunnittain sekä eri vuodenaikoina. Pohjaveden laatu pysyy pääsääntöisesti kaikilta ominaisuuksiltaan tasalaatuisena. Veden laatu on olennaista, sillä vahvimmissakin oluissa vettä on noin 90 %. (Enari & Mäkinen 2014, 54.)

Panimoveden laatuvaatimukset ovat seuraavat: Nitriittejä ( $\text{NO}_2^-$ ), ammoniakkia ( $\text{NH}_3$ ) tai klooria ( $\text{Cl}^-$ ) panimovedessä ei saa olla. Nitraatteja ( $\text{NO}_3^-$ ) vesi saa sisältää alle 50 mg/l, rautaa (Fe) tai mangaania (Mn) alle 0,5 mg/l ja kaliumia (K) alle 10 mg/l. Suuremmat kaliumpitoisuudet ovat vaaraksi hiivan toiminnalle. Veden sisältämät hajut ja maut voidaan pyrkiä poistamaan aktiivihiihliuodattimella. (Sysilä 1994, 55 - 56.)

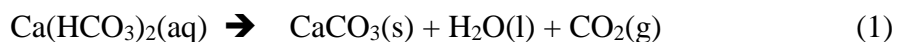
#### 4.1.1 Veden kovuus

Eurooppalaiset panimot käyttävät saksalaista kovuusasteikkoa. Alla olevassa taulukossa (2) on esitetty saksalainen kovuusasteikko, jossa on kuusi eri kovuusastetta. (Sysilä 1995, 54.)

Taulukko 2 Veden kovuusasteikko.

0 - 4 °dH	<b>Erittäin pehmeä</b>
4 - 8 °dH	<b>Pehmeä</b>
8 - 12 °dH	<b>Keskikova</b>
12 - 18 °dH	<b>Verraten kova</b>
18 - 30 °dH	<b>Kova</b>
yli 30 °dH	<b>Erittäin kova</b>

Veden kovuuden yhteydessä voidaan puhua ohimenevästä tai pysyvästä veden kovuudesta. Ohimenevää kovuuutta voidaan poistaa esimerkiksi keittämällä, ks. reaktioyhtälö (1) alla. Ohimenevää karbonaattikovuutta luonnehditaan karbonaatti-ionien ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ja vetykarbonaatti-ionien ( $\text{HCO}_3^-$ ) konsentraatiolla. Karbonaattikovuus kasvattaa veden pH:ta, joka voi nostaa mäsikin pH:n niin korkeaksi, ettei se enää ole suotuisa hydrolyyttisten entsyymien toiminnalle. Lisäksi alkalinen vesi liuottaa jyvän kuoresta kitkerän makuista yhdisteitä. (Sysilä 1994, 54.) Käsite kokonaisalkaliniteetti määrittelee veden vetykarbonaatti-, karbonaatti- ja hydroksidi-ionien yhteismäärän (Jyväskylän yliopiston www-sivut 2017).



Pysyvää kovuuutta luonnehditaan kalsium- ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ja magnesium-ionien ( $\text{Mg}^{2+}$ ) konsentraatiolla. Pysyvää kovuuutta ei voida poistaa keittämällä. Oluen valmistuksen kannalta vedessä tulisi olla riittävä kalsium-ionikonsentraatio, sillä kalsium-ioni laskee veden pH:ta alueelle 5,0 - 5,3, joka on suotuisa ympäristö hydrolyyttisten entsyymien toiminnalle. Kalsium edistää myös ruvan muodostumista keiton aikana sekä sitoo käymisessä syntyviä haitallisia hiivan aineenvaihduntatuotteita. Liian korkea kalsium-ionikonsentraatio heikentää humalan katkeroaineiden uuttumista vierteeseen keittämisen aikana. Kalsium-ionikonsentraatiota voidaan kasvattaa lisäämällä veteen kipsiä ( $\text{CaSO}_4$ ) tai kalsiumkloridia ( $\text{CaCl}_2$ ). Tietysti on huomioitava, että samalla lisätään veden sulfaatti- ja kloridi-ionikonsentraatiota. Kloridi-ioneilla on suotuisa vaikutus oluen täyteläisyyteen; lisäksi ne parantavat oluen säilyvyyttä. Sulfaatti-ionit saattavat muodostaa oluessa rikkiyhdisteitä. Toisin sanoen, sulfaatti- sekä kloridi-ionien lisäyksen

kanssa kannattaa olla varovainen, sillä näillä on vaikutusta oluen luonteeseen. (Sysilä 1994, 54 - 55.)

#### 4.1.2 Veden vaikutus olueen

Veden kemiallisella koostumuksella on merkitystä sille, minkä tyyppistä olutta halutaan valmistaa. Vaaleiden lagereiden valmistuksessa käytetään erittäin pehmeää vettä. Tummiin lagereiden sekä pintahiivaoluiden, kuten ale, portteri ja stout tyylisten oluiden valmistuksessa käytetään keskikovaa tai kovaa vettä. Tietyn oluttyypin flavourprofiilia ei saavuteta, ellei käytetä myös oikean koostumuksen omaavaa vettä valmistuksessa. Tämä on yksi tekijä, joka selittää miksi tietyillä alueilla valmistetaan tietyn tyyllisiä oluita. Tästä esimerkkinä Tšekin Pilsen, jossa valmistetaan vaaleita Lagereita, sillä alueella on käytössä pehmeää vettä. Lontoon seudulla valmistetaan paljon Stout- tyyllisiä oluita suhteellisen kovasta vedestä. (Sysilä 1994, 56.)

Edullista on, jos kotikunnan vesi on pehmeää, sillä sitä voidaan kovettaa käsittelemällä kalsiumsulfaatilla ( $\text{CaSO}_4$ ), magnesiumsulfaatilla ( $\text{MgSO}_4$ ) tai kalsiumkloridilla ( $\text{CaCl}_2$ ). Sen sijaan kovan veden pehmentäminen on vaikeaa. Kunnan vesilaitokselta saa yksityiskohtaista tietoa oman alueensa talousveden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. (Sysilä 1994, 56 - 57.)

#### 4.2 Hiivakanta

Olutlaatuja voidaan jakaa käytetyn hiivakannan mukaan. Pohja- ja pintahiivat ovat kulttuurihiivoja eli laboratoriossa kasvatettuja hiivoja. Ennen hiivojen löytämistä eli 1800 -luvulle asti oluen panossa käytettiin vain villihiivoja, jotka ovat luonnon omia pinnoilla ja ilmassa olevia hiivasoluja. Alkeellisimmillaan hiivakantoja voidaan käyttää niin, että kuoritaan oluen valmistuksessa syntyvä vaahto ja lisätään se uuden olutvierteen joukkoon. Näin olutta voi tehdä ”juuresta”, kuten leipääkin saatetaan valmistaa. (Lehtinen 2014, 34.) Kulttuurihiivat ovat villihiivoista valittuja kantoja, joiden ominaisuuksia sekä puhtautta pyritään ylläpitämään (Sysilä 1994, 75).



Pohja- ja pintahiivat käyvät eri lämpötiloissa sekä käyttäytyvät eritavoin. Pohjahiivan käydessä tankissa on oltava säädettävä jäähdytys, tai on muuten varmistuttava riittävän viileästä lämpötilasta. Pohjahiiva toimii parhaiten huoneen lämpöä matalammassa, 10 - 15 °C:een lämpötilassa. Maultaan pohjahiivaoluet ovat usein ”puhtaita” ja yksinkertaisia, jolloin ne ovat myös herkempiä makuvirheille. Kasvunsa loppuvaiheessa pohjahiivat pääsääntöisesti vajoamaan astian pohjalle. Maailmanlaajuisesti pohjahiivaoluita tuotetaan enemmän kuin pintahiivaoluita. (Puukka 2015, 9.)

Pintahiivaoluita tuotetaan useammin pienpanimoissa kuin pohjahiivaoluita. Pintahiivaoluet nousemaan vierteen pinnalle kasvunsa loppuvaiheessa. (Puukka 2015, 9.) Pintahiivaoluita käytetään korkeammassa lämpötilassa kuin pohjahiivaoluita. Käymislämpötila on 18 - 25 °C:tta, jossa pintahiiva tuottaa ale-tyyppisiä flavouraineita, kuten estereitä ja sikuna-alkoholeja (Sysilä 1994, 75.).

Kulttuurihiivojen lisäksi voidaan käyttää villihiivoja, jotka kasvavat luonnossa vapaasti. Villihiivat tarttuvat avoimessa säiliössä olevan oluen pintaan ja käymisprosessi alkaa spontaanisti. Käymisprosessi saattaa kestää huomattavasti pidempään kuin kulttuurihiivoja käytettäessä. (Puukka 2015, 9.) On olemassa myös puolivillihiivoja, jolloin käytetään tiettyjä villihiivakantoja. Yleensä villihiivoja käytetään esimerkiksi Lambicien tai tammitynnyreissä kypsytettävien oluiden valmistuksessa. (Lehtinen 2014, 36.)

Pinta-, pohja- ja villihiiva otsikoiden alla on paljon erilaisia hiivatyyppisiä, jotka ovat usein nimetty oluttyypin mukaan jonka valmistuksessa sitä käytetään. Näistä esimerkkejä ovat belgialaisen alen hiiva, vehnäoluthiiva ja saksalainen Lager -hiiva. Käytystä hiivatyyppistä tulee sille ominaisia aromeja olueen. (Lehtinen 2014, 36.)

### 4.3 Humala

Humala on monivuotinen ja ruohovartinen köynnöskasvi. Oluen valmistuksessa humalasta hyödynnetään vain kävyt eli emikukinnot. Humalan käpy koostuu kannasta,

keskusvarresta, terälehdistä, kukinnosta, siemenistä ja lupuliinin jyivistä. Humalan olueen vaikuttavat aineet ovat lupuliinin jyvissä. Näistä syntyy muun muassa ominainen aromi ja väri olueen. Riippuen lajikkeesta humala sopii katkerohumalaksi tai aromihumalaksi, katkero- ja aromihumalat lisätään vierteeseen keiton eri vaiheissa. Humalalla on myös tärkeä säilyvyyttä lisäävä tehtävä, sillä ne vähentävät tehokkaasti bakteerien kasvua. (Sysilä 1994, 47.)

Humalaa kasvatetaan paljon Saksassa, Tšekeissä, Yhdysvalloissa, Kiinassa ja Englannissa. Humalalajikkeet tarvitsevat tietyn määrän valoa kukkiakseen, joten Suomessa humalan kaupallinen kasvattaminen on ollut ongelmallista. Humalan ominaisuudet riippuvat muun muassa sääolosuhteista sekä kasvialueesta. Alueittain jaoteltuna saksalaiset ja Tšekkiläiset humalat ovat kukkamaisia ja ruohomaisia, Yhdysvalloissa kasvatetut humalat ovat sitruksisia ja mäntymäisiä sekä Englannissa kasvatetun humalan aromit ovat maanläheisiä ja katkeria. (Lehtinen 2014, s. 33.)

Humalan sadonkorjuun jälkeen humalan kävyt kuivataan ja paalataan. Ennen panimolle toimitettiin paalattuna humalaa, mutta nykyisin humalatuotteet on jalostettu paremmin säilyviksi humalavalmisteiksi, kuten uutteiksi, jauheiksi tai puristeiksi. (Enari & Mäkinen 2014, 68 - 69.)

Katkerohumaloiksi luokitellaan humalat, jotka sisältävät paljon  $\alpha$ -happoja. Katkerohumalat antavat oluelle tyypillisen katkeran maun, ne lisätään keiton alkuvaiheessa. Humalalajikkeet, joissa on paljon eteerisiä öljyjä, luokitellaan aromihumaloiksi. Aromihumalat antavat oluelle makua ja tuoksua, esimerkiksi sitrusmaista tai mäntymäistä aromia. Aromiaineet sisältyvät humalaöljyyn, joka on hyvin helposti haihtuva muun muassa ketoneiden, estereiden, ja hiilivetyjen seos. Aromihumalat lisätään vierteeseen aivan keiton loppuvaiheessa tai jopa sen jälkeen, jotta aromit eivät haihtuisi. (Sysilä 1994, 47.)

#### 4.4 Mallas

Maltaat ovat pääsääntöisesti ohran idätettyjä jyviä, joista on poistettu ituosa. Mallastuksessa endospermin aineet hajotetaan vierteeseen liukenevaan muotoon eli jyvään muodostuu entsyymejä, jotka pilkkovat hiilihydraatteja ja proteiineja mäsäyksen aikana sekä niissä oleva tärkkelys alkaa muuttua käymiskelpoisiksi sokereiksi. Jyviä idätetään muutamista päivistä viikkoon. Mitä pidempi idätys, sitä enemmän jyvään syntyy entsyymejä. (Enari & Mäkinen 2014, 22 - 23.)

##### 4.4.1 Maltaiden valmistus

Maltaiden valmistusta oluen panoa varten kutsutaan mallastukseksi. Mallastukseen liittyy oma erikoisosaamisensa, jonka vaiheet ovat liotus, idättäminen sekä kuivaus. Mallastamoita Suomessa tällä hetkellä on vain kaksi; Viking Malt Lahdessa ja Laihian mallastamo. (Olutliiton www-sivut 2017.)

Mallastuksen ensimmäinen vaihe on liotus, jonka tarkoituksena on nostaa ohran kosteus 43 - 45 %:iin. Ohran itäminen vaatii vähintään 37 %:n kosteuden. Liotusveden lämpötila pidetään 11 - 15 °C:ssa, sillä veden imeytyminen riippuu veden lämpötilasta sekä jyvän koosta. Jos vesi on liian lämmintä saattaa imeytyminen olla liian voimakasta, joka saattaa johtaa hapen puutteeseen jyvässä. Liotuksen aikana vettä vaihdetaan sekä ilmastetaan. (Enari & Mäkinen 2014, 23.)

Mallastuksen toinen vaihe on itäminen, jolloin endospermin vararavinteet (tärkkelys ja proteiini) hydrolysoituvat. Vararavinteet sekä soluaineen tuottamiseen tarvittavat entsyymit kulkeutuvat embryoon. Jyviin kasvavat pienet juuri-idut. (Enari & Mäkinen 2014, 24.) Itämisen alettua jyvät siirretään jatkamaan itämistä mallastusmenetelmästä riippuen joko lattialle lattiamallastamoissa tai laareihin laarimallastamoissa (Sysilä 1994, 35).

Viimeisessä vaiheessa eli kuivauksessa maltaan kosteus alenee 3,5 - 5,0 %:iin, itäminen loppuu ja mallas muutetaan helposti säilyvään ja jauhautuvaan muotoon. Kuivauksen alkulämpötila on 40 - 50 °C. Loppulämpötila riippuu mallastyypistä. Entsyymimaltaan kuivauksen loppulämpötila esimerkiksi on 50 °C. Pilsnermaltailla loppulämpötila on 70 - 90 °C. Karamellimaltaiden lämpötila nostetaan 60 - 75 °C:seen, pidetään 30 - 45 minuutin tauko, jonka jälkeen lämpötila nostetaan 150 °C:seen. Tummiin maltojen valmistuksessa maltoja kuumennetaan paahtorummussa 200 - 225 °C:ssa. Kuivaus- tai paahtolämpötila vaikuttaa maltaan väriin sekä makuun. Lämpötilan noustessa maltaan väri tummenee. Käytetty kuivauslämpötila määrittää siis minkä tyyppinen mallas syntyy. Pitkä kuivausaika vaikuttaa entsyymien määrään alentavasti. (Enari & Mäkinen 2014, 29.)

#### 4.4.2 Mallasanalyysit

Mallastamot tekevät mallasanalyysijä, jotka voidaan jakaa kolmeen tyyliin analyysiin; ulkonäköanalyysiin, mekaanisiin ja kemiallisiin analyysiin. Maltojen ulkonäköanalyysi perustuu jyvän puhtauden, koon, tasakokoisuuden, väri, maun ja hajun arviointiin. Mallas ei saa sisältää roskia, sen pitää olla tasalaatuista, homeesta vapaata, raikkaan makuista ja hajuista. (Enari & Mäkinen 2014, 46.)

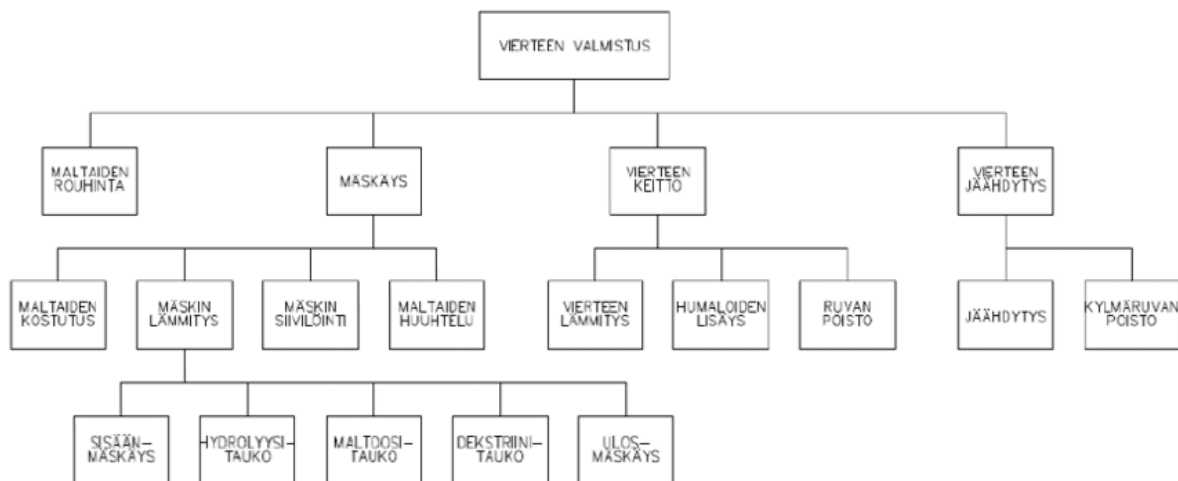
Mekaanisia analyysijä ovat tuhannen jyvän paino, lehti-idun pituus ja leikkauskoe. Näillä kokeilla seurataan lähinnä itämisen etenemistä. (Enari & Mäkinen 2014, 47.)

Parhaiten tietoa maltojen laadusta saadaan laboratorioanalyysillä. Maltoille tehdään esimerkiksi seuraavien suureiden määrittämiseksi kemiallisia analyysijä:

- Kosteus
  - Uutepitoisuus
  - Uute-ero
  - Proteiinipitoisuus
  - Liukoinen tyyppi ja vapaa aminotyyppipitoisuus
  - Vierteren viskositeetti
  - Vierteren  $\beta$ -glukaani pitoisuus
  - Vierteren kirkkaus
  - Suodatusaika
  - PH
  - Sokeroitumisaika
  - $\alpha$ -amylaasi pitoisuus
  - Diastaattinen voima
- (Enari & Mäkinen 2014, 48.)

## 5 VIERTEEN VALMISTUS

Vierteen valmistusprosessi alkaa maltaiden rouhimisella, joka tehostaa uuttua seuraavassa eli mäsikäsvaiheessa. Mäsikäksessä maltaat on sekoitettu veden kanssa sekaisin ja mäsikin lämpötilaa nostetaan valitun aika-lämpötilaohjelman mukaisesti. Mäsikäksessä voidaan pitää sisäänmäsikäys-, hydrolyysi-, maltoosi-, dekstriini- tai ulosmäsikäystauko, riippuen millaista olutta tuotetaan. Mäsikästyylejä on myös erilaisia, kuten infuusiomäsikäys, vaiheinfuusiomäsikäys sekä keittomäsikäys. Mäsikäsohjelman lopuksi mäski siivilöidään, jolloin saadaan kirkas vierre siirrettäväksi keittovaiheeseen. Liukenemattomasta mäsikierroksesta huuhdellaan vierteen joukkoon loput liuenneet aineet. Keittovaiheessa vierre lämmitetään kiehumispisteeseensä ja sitä keitetään valittu aika. Keiton aikana vierre humaloidaan. Keiton lopuksi vierteestä poistetaan humalan kiinteitä osia sekä saostuneita proteiineja eli rupaa. Seuraavaksi vierre jäähdytetään tehokkaasti käymislämpötilaan ja tehdään kylmäruvan poisto. Alla olevassa kuvassa (1) havainnollistetaan vierteen valmistusprosessia vaihe vaiheelta (Raatikainen 2016, 9).



Kuva 1 Vierteen valmistusprosessi vaihe vaiheelta.

Seuraavassa kuvassa (2) havainnollistetaan nykyaikaista panimolaitteistoa (Kronesin www-sivut 2016).



Kuva 2 Kronesin panimolaitteisto.

Numerot vastaavat seuraavia komponentteja:

- |                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Kypsytystankit   | 5. Keittokattila ja whirlpool |
| 2. Kylmävesivaraaja | 6. Mäskäyskattila             |
| 3. Käyttöliittymä   | 7. Rouhintamylly              |
| 4. Kuumavesivaraaja | 8. Höyrygeneraattori          |

### 5.1 Rouhiminen

Rouhimiseen tarvitaan tehokas mylly. Myllyjä on erilaisia, kuten kuivarouhemylly, vasaramylly, märkärouhemylly ja kostutusmylly. Nykyään on yleistynyt maltaiden rouhiminen lämpimän veden kanssa, jolloin puhutaan ”märkärouhimisesta”. Kun jyvä rouhitetaan kasvaa maltaan nesteeseen kosketuksissa oleva pinta-ala, jolloin uutto tehostuu mäskäysvaiheessa. Uutesaanto on sitä parempi, mitä hienommaksi maltaat rouhitetaan. Kuitenkin liian hienoksi rouhittaessa vaikeutuu mäskin erotus siivilöintivaiheessa. (Enari & Mäkinen 2014, 83 - 84.) Maltaat tulee rouhia eikä jauhaa, sillä jyvien kuorien tulisi pysyä mahdollisimman ehjinä. Kiinteiden osien, kuten kuorien painuessa pohjalle, ne muodostavat vierteelle suodattavan kerroksen siivilöintivaiheessa. (Sysilä

1994, 59.) Rouhimisaste riippuu vierteen ja mäskin erotusmenetelmästä sekä maltaan laadusta. Esimerkiksi käytettäessä mäskin suodatinta voidaan mallas rouhia pienemmäksi kuin jos käytetään siiviläämettä. (Enari & Mäkinen 2014, 83 - 84.)

Kuivarouhemyllyjä ovat esimerkiksi valssimyllyt, joissa valssit pyörivät vastakkaisiin suuntiin samalla tai eri nopeudella. Jyvät murskautuvat valssien välissä. Vasaramyllyssä maltaat liikkuvat vapaasti myllyn pesässä ja rikkoutuvat vasaroiden iskuista. Alaosassa on seula, jonka kokoa muuttamalla voidaan muuttaa valmiin rouheen kokoa. (Enari & Mäkinen 2014, 96.)

Märkärouhemyllyssä maltaat liotetaan vedessä ensin 20 minuutin ajan. Maltaiden kosteus nousee 30 - 35 %:iin, jolloin myös kuoret pehmenevät. Myllyn päällä on suppilo, jossa liotus tapahtuu. Liotetut maltaat syötetään suppilosta litistysteloille, joukkoon syötetään myös vettä. Pumpun avulla rouhe sekä myllyn huuhteluvesi siirretään mäsikäskattilaan. (Enari & Mäkinen 2014, 99.)

## 5.2 Mäskäys

Mäskäys on uuttoprosessi, joka koostuu veden ja maltaiden lämmittämisestä ja sekoittamisesta kattilassa. Tällöin tärkeät aineet, kuten sokerit, proteiinit, peptidit ja aromiaineet liukenevat veteen. Veden ja maltaiden seosta kutsutaan mäskiksi. (Puukka 2015, 12.) Sopiva aika-lämpötilaohjelma saa aikaan proteiinien ja tärkkelyksen hajoamisen hiivalle käytettäviksi sokereiksi. Samalla tapahtuu entsymaattisia reaktioita. Tietyissä lämpötiloissa entsyymit ovat aktiivisimmillaan ja näihin lämpötiloihin perustuu aika-lämpötilaohjelman rakentaminen. Alla olevassa taulukossa (3) näkyvät tärkeimmät proteiineja pilkkovat entsyymit sekä niiden optimitoimintaympäristö. (Enari & Mäkinen 2014, 84 - 85.)

Taulukko 3 Tärkeimmät proteiineja pilkkovat entsyymit.

Entsyymi	Optimitoimintalämpötila, °C	pH
β-glukanaasi	30	4,7 - 5,0
Hapan proteinaasi	45 - 55	3,9 - 6,0
Karboksipeptidaasi	60	4,8 - 5,6

### 5.2.1 Beta-glukaanin hydrolyysi

Beta-glukanaasitauko, eli sisäänmäskäystauko, on 30 °C:ssa, jolloin osa beta-glukaanista hydrolysoituu. Korkea beta-glukaanipitoisuus mäskäysvaiheessa on huono asia, sillä se nostaa vierteen viskositeettia. Tauolla vaikutetaan helpottavasti tulevaan siivilöimisvaiheeseen. Beta-glukaanin hydrolyysistä vastaa beta-glukanaasientsyymi, joka ei siedä yli 30°C:een lämpötilaa. Tauon kesto on 0-45 minuuttia (Sysilä 1994, 65-66.)

### 5.2.2 Proteiinien hydrolyysi

Proteiinien hajoaminen vesiliukoiseksi tapahtuu osittain mallastuksen sekä osittain mäskäyksen aikana. Proteiinien hydrolyysistä vastaavat peptidaasi- sekä proteinaasientsyymit. Peptidaaseista kaikista tärkein, eli karboksipeptidaasi, toimii jopa 70 °C:een lämpötilassa eli lähes koko mäskäyksen ajan. Proteinaasi -entsyymi sen sijaan toimii vielä 50 °C:ssa, mutta tuhoutuu nopeasti lämpötilan kohotessa. Mäskäysohjelma laaditaan yleensä niin, että 50 °C:ssa pidetään vähintään 30 minuutin tauko ennen tärkkelyksen hydrolyysiin siirtymistä. Proteiinien hydrolyysissä syntyy aminohappoja, joiden oikea suhde vierteen sokereiden määrään takaa terveen hiivapopulaation kehittymisen. (Sysilä 1994, 63.)

### 5.2.3 Tärkkelyksen hydrolyysi

Tärkkelyksen hydrolyysissä pitkät ja ketjumaiset tärkkelysmolekyylit pilkkoutuvat käymiskelpoisiksi sekä -kelvottomiksi sokereiksi. Vierteen sokerit ovat siis tärkkelyksen hydrolyysituotteita. (Sysilä 1994, 61.) Alla olevassa taulukossa (4) näkyy α- ja β-amylaasin optimitoimintaympäristö (Enari & Mäkinen 2014, 85).



Taulukko 4 Tärkeimmät tärkkelystä pilkkovat entsyymit.

Entsyymi	Optimitoimintalämpötila, °C	pH
$\beta$ -amylaasi	62 - 65	5,5
$\alpha$ -amylaasi	72 - 75	5,7

Alfa- ja beta-amylaasit pilkkovat tärkkelysketjun glukoosimolekyylien välisiä sidoksia, mutta eri tavoin. Jos olueen halutaan mahdollisimman paljon alkoholia, on toimitava molemmille entsyymeille suotuisalla lämpötila-alueella. Taukoa 62 - 65 °C:een lämpötilassa kutsutaan maltoositauoksi ja se kestää 0 - 120 minuuttia riippuen, mitä olutta valmistetaan. Alfa- ja beta-amylaasin yhteistoiminnan tuloksena tärkkelys hydrolysoituu mahdollisimman pitkälle. (Sysilä 1994, 63.)

Kun olueen halutaan jättää käymiskelvottomia sokereita, eli dekstriinejä, voidaan esimerkiksi toimia vain  $\alpha$ -amylaasin optimilämpötila-alueella. Tässä lämpötilassa  $\beta$ -amylaasi on tuhoutunut. Alfa-amylaasi katkaisee osan glukoosimolekyylien välisistä sidoksista, jolloin olueen syntyy käymiskelpoisia sekä -kelvottomia sokereita. Sokerit, jotka eivät käy alkoholiksi, antavat oluen maulle pyöreyttä ja täyteläisyyttä. Riippuen missä lämpötilassa toimitaan ja miten pitkä maltoositauko pidetään, määrää oluen sokerikoostumusta sekä käymisastetta. (Sysilä 1994, 63.)

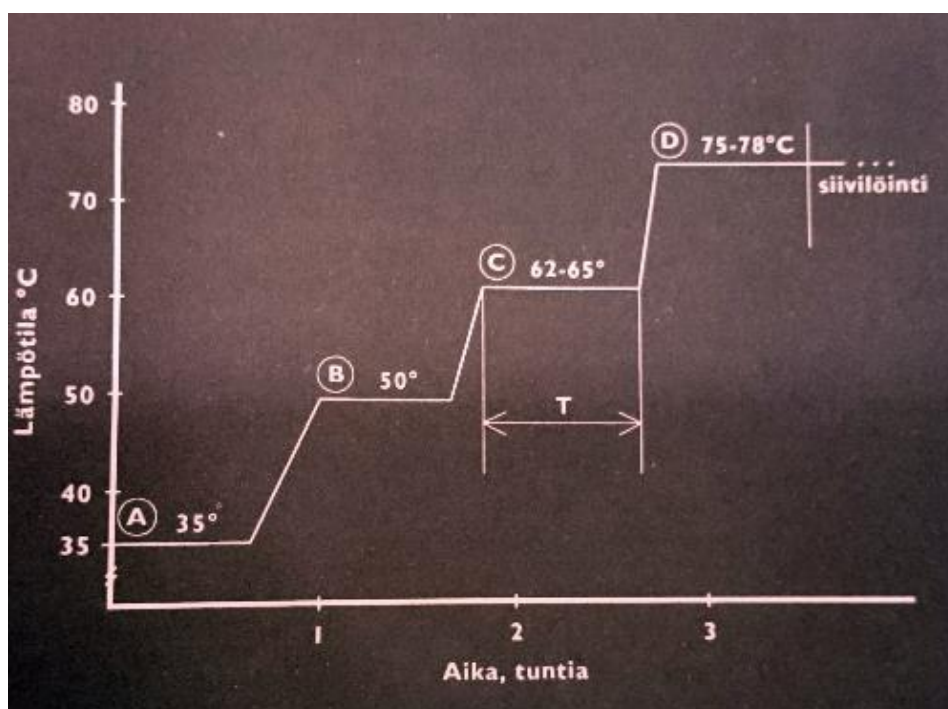
Tauko 72 - 75 °C:een lämpötilassa on nimeltään dekstriinitauko, mutta koska se on mäskäyksen viimeinen vaihe, sitä kutsutaan myös ulosmäskäystauoksi. Sen kesto riippuu maltoositauon pituudesta, ja on välillä 0-150 minuuttia. Dekstriinitauon aikana muodostuu dekstriinejä, ellei hydrolyysi ole maltoositauon aikana edennyt jo riittävän pitkälle. (Sysilä 1994, 67.)

Mäskin lämpötilan nostaminen 75 - 78°C:seen on tarpeen, sillä sokerit ovat siinä lämpötilassa juoksevimmassa muodossa. Tämä helpottaa siivilöintiä sekä parantaa uute-saantoa. Lisäksi tässä lämpötilassa entsyymien toiminta loppuu. (Raatikainen 2016, 11.) Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu infuusiomäskäystä, jossa koko mäskin lämpötilaa nostetaan portaittain, mutta tasaisesti lämmitysjärjestelmän avulla ja mäskäysohjelman mukaisesti. (Raatikainen 2016, 38.)

### 5.2.4 Infuusiomäskäys

Tiettyjen oluiden valmistuksessa käytetään infuusiomäskäystä, jossa koko mäski on koko ajan tasalämpöistä. Mäskin lämpötila nostetaan nopeasti haluttuun lämpötilaan ja pidetään tasaisesti kyseisessä lämpötilassa, kunnes lämpötila nostetaan portaittain seuraavalle tasolle mäskäysohjelman mukaisesti. (Sysilä 1994, 61.) Brittiläisten alejen valmistuksessa tyypillistä on yhden lämpötilan infuusio. Tosin mäskäys yhdessä va-kiolämpötilassa vaatii pitkälle möyhentyntä mallasta, jota briteissä usein käytetäänkin. Käytetty lämpötila on usein 65°C:ta, joka on  $\beta$ -amylaasin optimin yläraja. Tämä on yksinkertaisin mäskäystavoista, eikä vaadi monimutkaista lämpötilakontrollia. (Jär-mälä 1995, 27.)

Alla olevassa kuvassa (3) havainnollistetaan infuusimäskäyksen periaate. Y-akselilla on lämpötilan muutos ja x-akselilla kulunut aika. A:lla merkitty ensimmäinen tauko on sisäänmäskäystauko, joka on samalla  $\beta$ -glukaanin hydrolyysitauko 35°C:ssa. B:llä merkitty tauko on proteiinien hydrolyysitauko 50°C:ssa. C:llä merkitty tauko on maltoositauko 62 - 65°C:ssa sekä D:llä on merkitty dekstriinitauko 75-78°C:ssa. Kokonaimäskäysaika tässä esimerkissä on noin 3,5 tuntia. (Sysilä 1994, 65.)

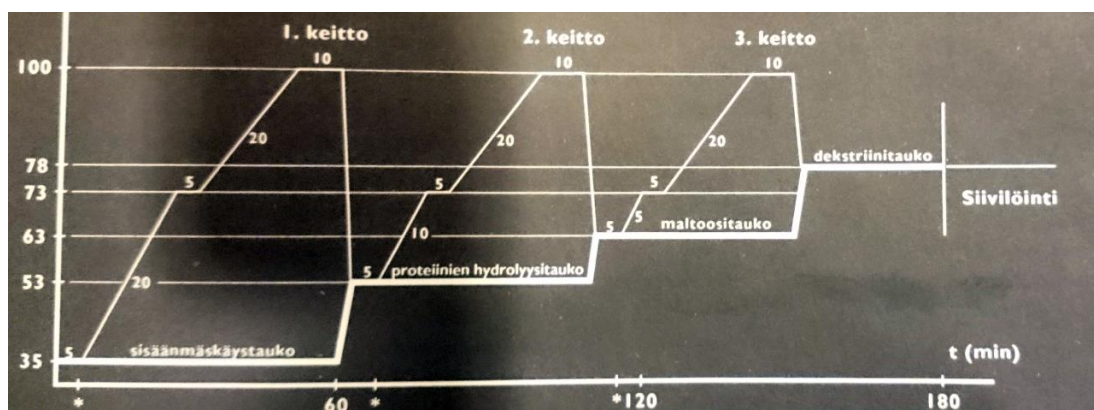


Kuva 3 Infuusiomäskäyksen lämpötilakehitys.

### 5.2.5 Keittomäskäys

Keittomäskäys on vanhin mäskäystapa, se on infuusiomäskäystä hieman työläämpi. Tapaa käytetään pilsnereiden sekä Weizeneiden valmistuksessa. (Järmälä 1995, 27.) Siinä päämäski on mäskäyskattilassa, josta osa pumpataan keitettäväksi keittokattilaan. Murto-osa mäskestä eli ”osamäski” lämmitetään kiehuvaaksi, jonka jälkeen se lisätään takaisin päämäskin joukkoon. Päämäskin lämpötilaa nostetaan portaittain lisäämällä kiehuva osamäskä päämäskin joukkoon. Osamäskin keittoja tehdään mäskäysohjelman mukaisesti. Keittomäskäyksessä syntyy tiettyjä flavouryhdisteitä, joita infuusiomäskäyksessä ei synny. (Sysilä 1994, 61.)

Päämäskin lämpötilan nousua osamäskikeittojen vaikutuksesta havainnollistetaan alla olevassa kuvassa (4). Ensimmäisen keiton aikana päämäskissä pidetään sisäänmäskäystauko, osamäskin lisäämisen yhteydessä päämäskin lämpötila nousee 35 °C:sta 53 °C:seen. Kun suoritetaan toinen osamäskin keitto, päämäskissä on proteiinien hydrolyysitauko. Toisen osamäskin lisäyksen yhteydessä päämäskin lämpötila nousee 53 °C:sta 63 °C:seen. Kolmannen osamäskin keiton aikana päämäskissä pidetään maltoositauko ja osamäskin lisäämisen jälkeen päämäskin lämpötila nousee 78°C:seen. Kokonaismäskäysaika esimerkissä on kolme tuntia. (Sysilä 1994, 65).



Kuva 4 Keittomäskäyksessä päämäskin lämpötilan nostaminen osamäskien avulla.

### 5.3 Siivilöinti

Mäski siivilöidään mäskikattilan siivilämäisen välipohjan läpi tai erillisessä siivilässä. Siivilöintiä ei voida aloittaa ennen kuin kaikki tärkkelys on hydrolysoitunut. Tämä voidaan todentaa joditestillä, jossa pieneen näytteeseen sekoitetaan jodia. Tärkkelys ja jodi reagoivat värjäämällä nesteen. (Sysilä 1994, 66.) Ennen siivilöinnin aloittamista odotetaan noin 15 minuuttia, jotta kiinteistä mäskien osista ehtii laskeutua pohjalle suodattava patja. Lämpötilan nosto 75 - 78°C:seen helpottaa siivilöintiä. Siivilöitymiseen vaikuttaa myös  $\beta$ -glukaanin hydroloitumisaste. (Sysilä 1994, 67.)

Kuoret sekä liukenemattomat osat jäävät siivilän päälle ja toimivat samalla suodattavana kerroksena nesteelle. Siivilöinnissä erotettua nestettä kutsutaan olutvierteeksi. Alkuvierre on sameaa ja se palautetaan mäskikattilaan uudelleen siivilöitäväksi. Kun vierre on kirkasta ja se on erotettu kiinteästä mäskistä, liukenematon mäskikerros huuhdellaan vielä noin 78 °C:lla vedellä. Näin saadaan kiinteistä osista irtoamaan vierteeseen loput liuenneet ainesosat. Siivilöintivaiheessa voidaan käyttää myös mäskisuodatinta, jossa mäski puristetaan kuivaksi. (Sysilä 1994, 67.)

### 5.4 Keitto

Vierre pumpataan mäskikattilasta keittokattilaan, jossa se keitetään sekä maustetaan. Alku- ja keskivaiheilla lisätty katkerohumala tuo olueen katkeruutta sekä säilyvyyttä. Loppuvaiheessa lisätty aromihumala tuo oluen makuun ja tuoksuun aromeja, jotka eivät ehdi haihtua vierteestä. Keittokattilassa vierteen lämpötila nostetaan kiehuvaaksi (102 - 107°C). Kiehuttamista jatketaan noin 1,5 - 2 tuntia. Keittämällä pyritään polyfenolien ja proteiinien muodostamien yhdisteiden saostamiseen, veden sekä haitallisten aineiden haihduttamiseen vierteestä, humalan katkeroaineiden liuottamiseen sekä isomerointiin. Lisäksi entsyymien deaktivoimiseen ja vierteen sterilointiin eli mikrobien tuhoamiseen. Keitossa myös tapahtuu kemiallisia reaktioita, kuten Maillard-reaktio sokereiden ja aminohapojen kesken, näin syntyy flavouraineita. Tehokas kiehuttaminen myös muodostaa proteiinien ja polyfenolien yhdisteiden saostumista tehokkaasti eli muodostuu rupaa. (Sysilä 1994, 67 - 68.)

## 5.5 Ruvan poisto

Keiton aikana syntynyt rupa pitää poistaa vierteestä ennen käymisprosessia. Ruvan poisto tapahtuu yleensä Whirlpool –laitteella, toisin sanoen vierresyklonilla. Rupa voidaan erottaa myös vierreseparaattorilla, suodattamalla tai laskeuttamalla. (Puukka 2015, 14.) Rupa sisältää humalan kiinteitä osia sekä saostuneita proteiineja (Lehtinen 2014, 39).

## 5.6 Jäähdyttäminen

Keittämisen ja ruvan poiston jälkeen vierre jäähdytetään käymislämpötilaansa. Jäähdyttämiseen voidaan käyttää esimerkiksi läpivirtaus- tai uppojäähdytintä. Tehokas jäähdyttäminen säästää aikaa, vähentää kontaminaatoriskiä, estää korkeissa lämpötiloissa viihtyvien bakteereiden toimintaa sekä maksimoi kylmäruvan muodostumista. (Puukka 2015, 14.) Kylmäruvan määrä on suhteellisen pieni, noin 5 - 6 grammaa per hehtolitra. Kylmärupa voidaan poistaa sedimentaation, separaattorin tai piimaasuodatuksen avulla. (Enari & Mäkinen 2014, 110.)

## 5.7 Ilmastus

Jäähdyttämisen jälkeen vierre ilmastetaan, jolloin siihen saadaan sitoutumaan hiivan tarvitsema määrä happea. Kuumaa vierrettä ei ilmasteta, sillä se reagoi mielellään hapen kanssa, jolloin muodostuu oksideja. Siitä syystä kuuman vierteen reagoiminen hapen kanssa on tuhoisaa oluen flavourille. Jäähtyneenä vierrettä voidaan ilmastaa, hapen liukoisuus on myös parempi alhaisissa lämpötiloissa. Paineilma tai happi on suodatettava, jottei vierteeseen joudu haitallisia mikrobeja. (Sysilä 1994, 69.)

## 5.8 Uutesaanto ja vierteen ominaispaino

Uutesaanto on mäskäyksen ja siivilöinnin tuloksena saatu vierteen uutepitoisuus suhteessa käytettyyn mallasmäärään. Mitä korkeampi uutesaanto, sitä tehokkaampi ja taloudellisempi on vierteen valmistusprosessi. Uutesaantoon vaikuttavat käytetty mallassa, mallasrouheen laatu ja karkeus, siivilöintiastian konstruktio, maltaan myöhentyminen ja veden kemialliset ominaisuudet. (Sysilä 1994, 73.)

Vierteen kantavierrevahvuus tarkoittaa vierteen uutepitoisuutta, joka kertoo vierteen liuenneiden aineiden määrän. Vierteen uutepitoisuutta mitataan ominaispainomittarilla tai sakkarometrilla. Ominaispainomittari ilmoittaa vierteen ominaispainon (mg/ml) ja sakkarometri ilmoittaa sokeripitoisuuden painoprosentteina (g/100g). Liuenneista aineista suurin osa on sokereita. (Sysilä 1994, 70.)

Sokeri on tiheämpää kuin vesi ja etanoli sekä hiilidioksidi ovat kevyempiä kuin vesi, joten käymisen edetessä eli hiivojen käyttäessä vierteen sokereita, vierteen tiheys alenee. Ominaispainoa tarkkailemalla voidaan siis seurata käymisen etenemistä. Ominaispainon avulla voi myös karkeasti arvioida valmiin oluen alkoholipitoisuutta tilavuusprosentteina. (Puukka 2015, 10.)

Oluen alkoholipitoisuutta (tilavuusprosenttia) voidaan arvioida seuraavalla kaavalla (2) (Sysilä 1994, 89):

$$NA = 0,126 \times (Aop - Lop) \text{ til-\%} \quad (2)$$

jossa, NA = näennäinen alkoholipitoisuus, til-%

Aop = alkuominaispaino, mg/l

Lop = loppuominaispaino, mg/l

Esimerkiksi mitattaessa vierteen ominaispainoksi aluksi 1040 mg/l ja loppuominaispainoksi käymisen jälkeen 1000 mg/l, on näennäinen alkoholipitoisuus 5 til-%. Kaava ei ota huomioon alkoholin ja hiilidioksidin aiheuttamaa tiheyden muutosta. Tarkasti alkoholipitoisuus voidaan määrittää vain tislamalla (Sysilä 1994, 89).

## 5.9 Oluen analysointi

Valmiista oluesta voidaan mitata alkoholipitoisuus kaasukromatografilla, väri ja kateeroinenpitoisuus spektrofotometrillä ja mikrobit viljelymaljoilla. Väriä voidaan kuvata EBC (European Brewery Convention) -asteikolla. Väriskaalamittarissa numero yksi kuvaa aivan vaaleaa mallasta ja 1500 yksikköä omaavat maltaat ovat mustia. Kateeroinenpitoisuutta voidaan mitata EBU (European Bitterness Unit) -asteikolla. (Puukka 2015, 10.)

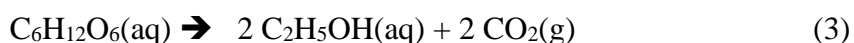
Oluita on erityylisiä, kuten tummia, vaaleita, eri mausteisia, eritavoin käytettyjä sekä humaloituja että eri alkoholipitoisuukseltaan vahvuisia oluita. Bakteerikontaminaatioilta olutta suojaa alhainen pH, humala, matala happipitoisuus, alkoholi sekä hiilidioksidi. Valmistusprosessi vaatii kuitenkin hyvää hygieniaa. Epäonnistuminen oluen tuotannossa liittyy usein prosessivirheeseen, kuten käymiseen tai hapettumiseen liittyvään ongelmaan. (Puukka 2015, 9.)

## 6 KÄYMISPROSESSI

Käymisprosessi voidaan jakaa kahteen vaiheeseen; pääkäymiseen sekä jälkikäymiseen. Pääkäymisen yhteydessä hiiva käyttää vierteen sokerit etanoliksi ja hiilidioksidiksi. Jälkikäymisessä vierre kirkastuu, sen flavour harmonisoituu ja vierre kyllästyy hiilidioksidilla. Jälkikäyminen voidaan tehdä käymistankissa, pulloissa tai tynnyreissä. (Lehtinen 2014, 39 - 40.)

### 6.1 Pääkäyminen

Vierre siirretään käymisastiaan ja siihen lisätään hiivaa. Käytetty hiivakanta antaa oluelle ominaisen makunsa sekä vaikuttaa käymisprosessiin. Kun hiiva on käyttänyt kaiken hapen lisääntyäkseen, alkaa anaerobinen energiantuotanto eli pääkäyminen. Hiiva muodostaa aineenvaihduntatuotteena sokereista etanolia ja hiilidioksidia reaktioyhtälön (3) mukaisesti (Sysilä 1994, 79):



Ylimäärästä hiivaa voidaan ottaa talteen ja käyttää uudelleen. Käymisen loppuvaiheessa hiiva poistuu suspensiosta sakkautuen tankin pohjalle. Sakkautumisominaisuus on tärkeä sekä tunnusomainen piirre eri hiivalaaduille. (Sysilä 1994, 82.)

### 6.2 Jälkikäyminen

Pääkäymisen jälkeen alkaa jälkikäyminen esimerkiksi varastotankeissa. Se voi tapahtua myös tynnyrissä, pulloissa tai samassa tankissa kuin pääkäyminen. (Puukka 2015, 15.) Jos hiivat ovat kuluttaneet vierteen loput käymiskelpoiset sokerit, voidaan tässä vaiheessa vierteeseen lisätä sokeria halutun hiilidioksidipitoisuuden saavuttamiseksi (Sysilä 1994, 91.). Paineen annetaan nousta tankeissa, jolloin osa käymisessä syntyvästä hiilidioksidista imeytyy olueen ja se ei väljähdä. Jälkikäymisen yhteydessä sakka saattaa laskeutua jälkikäymisastian pohjalle, jolloin olut kirkastuu. Kirkastamiseen voidaan käyttää myös keskipakovoimaan perustuvaa separaattoria. (Puukka 2015, 15.)



## 7 OLUEN VIIMEISTELY

Vierre voidaan viimeistellä suodattamalla, stabiloimalla ja pastöroimalla. Eri oluttyylit vaativat erilaisen viimeistelyn. Jos vierteestä ei ole hiivaa poistettu kuin laskeuttamalla, puhutaan suodattamattomasta oluesta. Lager tunnetaan kirkkaana oluena, se suodatetaan aina. Oluen taipuvaisuus samentumiseen kannattaa myös mitata. Pastörintityyleistä tunnelipastörinti on hygieenisempi, mutta laitteisto on kalliimpi ja suurempi kuin levypastörintilaitteisto. Astioinnin yhteydessä on käytettävä ehdottoman tarkkaa hygieniää. Pakkasvaiheessa, jos olueen pääsee villihiivoja tai mikrobeja voi olut pilaantua astiassa. (Lehtinen 2014, 40.)

### 7.1 Suodattaminen

Suodatuksella voidaan poistaa vierteestä loput hiivasolut, mikro-organismit ja partikkelit. Hiivasolut ovat kooltaan 2 - 10  $\mu\text{m}$  ja bakteerit ovat 0,2 – 5  $\mu\text{m}$ . Suotimen pitää siis olla hyvin tiivis. Suodattamiseen voidaan käyttää neljää eri menetelmää: separaattorikirkastus, piimaa-, levy- tai membraanisuodatus. Suurissa panimoissa olut suodatetaan aina. Suodattavuuteen vaikuttavat maltaiden möyhennysaste, maltaan alhainen  $\beta$ -glukaanipitoisuus, mäsäyksen aikainen alhainen pH, pää- ja varastokäymisen onnistuminen, sopivasti flokkuloituva hiiva sekä stabilointi-aika että stabiloinnin onnistuminen. Erityisesti pohjahiivaoluet suodatetaan. Pienpanimot, jotka usein ovat keskittyneet pintahiivaoluihin eli aleihin, voivat jättää oluen myös suodattamatta. (Enari & Mäkinen 2014, 172-173.)

### 7.2 Sameus

Stabiili olut pysyy kirkkaana astioinnin jälkeen. Oluen samentuminen voi olla biologista eli mikrobien aiheuttamaa tai fysikaalis-kemiallista samentumista. Oluen samentuminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta flavourvirheitä. Suurimolekyyliset, maltaasta ja humalasta peräisin olevat yhdisteet ovat vierteessä kolloidisesti liuenneina. Fysikaalis-kemiallinen samennus tarkoittaa muutoksia oluen kolloidiseen rakenteeseen. (Enari & Mäkinen 2014, 167.) Oluen taipuvaisuutta samentumiseen voidaan mitata Chaponin

nefelometrisellä menetelmällä. Siinä tutkittavaa vierrettä tai olutta jäädytetään mitauslaitteen kyvetissä ja mitataan samentuminen ajan funktiona. (Enari & Mäkinen 2014, 169 - 170.)

Toinen samentuvaisuuden mittaamenetelmä on EBC -menetelmä. Menetelmässä samentumista kiihdytetään pitämällä olut erää muutama päivä 40 °C:ssa, jonka jälkeen päivä 0 °C:ssa. Samennusmittarilla voidaan mitata tapahtunut samentuminen. (Enari & Mäkinen 2014, 170.)

On olemassa stabilointiaineita, jotka pilkkovat samentumista aiheuttavia komponentteja. Olut voidaan myös kylmästabiloida, jolloin se jäädytetään -1,5 °C:seen ja pidetään jäädytettynä, kunnes kylmäsamennus on muodostunut. Kylmästabilointi edellyttää, että olut myös suodatetaan kylmänä. (Enari & Mäkinen 2014, 171.)

### 7.3 Pastörinti

Pastöroinnin avulla oluesta hävitetään siinä mahdollisesti olevat tauteja aiheuttavat bakteerit. Pastörinti voidaan tehdä muun muassa oluelle ja viinille sekä meijereissä tätä käytetään yleisesti. Pastörinti on kuumennuskäsittely, joka on saanut nimensä keksijältään Louis Pasteurilta. Oluen pastöroinnissa voidaan käyttää levy- tai tunnelipastörintia. (Enari & Mäkinen 2014, 181.)

Levypastöroinnissa käytetään hyödyksi levylämmönvaihdinta, johon olut suodatuksen jälkeen ohjataan. Levylämmönvaihtimen leveys on noin puoli metriä, korkeus on noin metri ja syvyys riippuvat levyjen määrästä lämmönvaihtimessa. Mitä enemmän levyjä on, sitä suurempi on lämmönvaihtimen kapasiteetti. Levyjen virtauskanavat on rakennettu niin, että virtaava neste on pakotettu muuttamaan suuntaansa virratessaan eteenpäin kanavistossa. Suunnan muutokset aiheuttavat pyörteitä, jotka kiihdyttävät lämmön siirtymistä. Lämmönsiirtimen ensimmäisessä osassa olut esilämmitetään jo pastöroidun oluen vaikutuksesta, jolloin jo pastöroitu olut luovuttaa lämpöä eli jäähtyy. Toisessa osassa oluen lämpötila nostetaan pastörintilämpötilaan ja pidetään siinä tar-

vittava aika. Riittävä lämpötila ja aika riippuvat toisistaan ja muodostavat pastörintiyksikön, PY. Yksi pastörintiyksikkö tarkoittaa oluen pitämistä yhden minuutin ajan 60 °C:ssa. Kun aika pidetään vakiona, pastörintiyksikkö riippuu lämpötilasta taulukon (5) mukaisesti. (Enari & Mäkinen 2014, 182.)

Taulukko 5 Pastörintiyksikön muutos, kun lämpötila muuttuu ja aika on vakio (1 min).

°C	PY
60	1,0
62	1,9
64	3,8
66	7,3
68	14,0
70	27,25

Oluen steriloitumiseen tarvitaan 5,6 PY:tä, jolloin oluen tulisi olla 60 °C:ssa 5,6 minuuttia. Yleisesti käytetäänkin korkeampia lämpötiloja, kuten 70 °C:tta, jolloin riittävä aika on  $5,6/27,25 = 0,2055$  minuuttia eli 12 sekuntia. Viimeisessä vaiheessa olut jäähdytetään 3 °C:seen, jos se johdetaan pastöroinnin jälkeen painetankkiin. Pullotettaessa olut suoraan pastöroinnin jälkeen, riittää lämpötilan laskeminen 15 °C:seen. Jos prosessissa pääsee vapautumaan hiilidioksidia, saattaa se aiheuttaa häiriötä oluen kolloidiseen tasapainotilaan. Nestepaine onkin pidettävä yli hiilidioksidin kyllästyspaineen, joka riippuu lämpötilasta sekä oluen hiilidioksidipitoisuudesta. Kuitenkin nestepaine tulisi olla vähintään 10,5 baria. (Enari & Mäkinen 2014, 182.)

Tunnelipastöroinnissa täytetyt ja suljetut pullot tai tölkit kulkevat tunnelin läpi, jossa niiden lämpötila nostetaan vesisuihkuilla pastörintilämpötilaan ja pidetään siinä riittävä aika. Laitteisto on aika kallis, iso sekä oluen flavour heikkenee tunnelipastöroinnissa. (Enari & Mäkinen 2014, 182.)

Pulloja on myös lämmitettävä sekä jäähdytettävä hitaasti, etteivät ne rikkoudu. Lasi-pullo kestää 2 - 3 °C asteen lämpötilan muutoksen minuutissa. Myös paine voi särkeä pullon tai sulkimen, jos pullo on täytetty hyvin täyteen. Pullojen kaulassa olevan kaasun paine nousee lämpötilaa nostettaessa. Kun pastöroidaan 65 °C:ssa olutta, jonka

hiilidioksidipitoisuus on 0,45 p-%, pullon sisäinen paine riippuu kaasuja sisältävästä kaulaosasta seuraavan taulukon (6) mukaisesti. (Enari & Mäkinen 2014, 182.)

Taulukko 6 Pullon sisäinen paine riippuu kaasun tilasta pullon sisällä.

Tila, %	Sisäinen paine, bar
5,0	3,75
4,0	4,65
3,0	6,75
2,5	9,65

Lasipullo kestää painetta 12 baria, mutta suljin kestää vain 7 baria. Tällöin pullon täytön yhteydessä pullon kaulaan pitäisi jättää tilaa kaasuille 3 % koko pullon tilavuudesta. Kun olutta pastöroidaan pulloissa tai tölkeissä, oluen väri tummenee ja sen flavour muuttuu ”leipämäiseksi” eli hapettuneeksi. Oluen muutokset ovat sitä suuremmat, mitä enemmän astiassa on happea. (Enari & Mäkinen 2014, 182.)

#### 7.4 Astioiminen

Olut astioidaan yleensä pulloihin, tölkkeihin, kegeihin tai suurtankkeihin. Tämä vaihe on usein automatisoitu tehokkuus- sekä hygieniasyistä. (Puukka 2015, 16.) Astioinnin yhteydessä astiointierän tiedot kerätään muun muassa viranomaisia, tilastointia ja kirjjanpitoa varten sekä erilaisten laatumittareiden laatimiseksi. Suomessa on tehokas uudelleen täytettävien pullojen ja pakkausten hallintajärjestelmä. Uudellentäytettävät olutpullot, korit, dollyt, kennot ja kuormalavat kuuluvat Ekopullo ry:n hallinnoimaan palautusjärjestelmään. Palpa Oy hallinnoi pantillisten kertapakkausten palautusjärjestelmää. (Enari & Mäkinen 2014, 185.)

## 8 PROSESSIAUTOMAATIO

Panimoprosessi on muuttunut viime vuosina automatisoidummaksi. Käsiyöammatista on syntynyt teollisuusprosessi. Prosessin osien mekanisointi on johtanut automaation asteittaiseen kasvuun tuotannossa. Tänä päivänä täydellinen automaatio on mahdollista raaka-aineväaraostoista tuoteväaraostoon ja kuorman keräilyyn asti. Automaatiolla voidaan saavuttaa tasainen ja hyvä laatu, alhaiset työvoimakustannukset, alhaiset hävikit, alhaiset energiakustannukset sekä miellyttävämmät työolosuhteet. (Enari & Mäkinen 2014, 207.)

Vierteen valmistusprosessi maltaan käsittelystä vierrelinjojen pesuun voidaan automatisoida. Ongelmia saattaa tosin aiheuttaa raaka-aineiden laadun vaihtelut. Oppivat järjestelmät eli neuroverkot pystyvät huomioimaan tietyissä rajoissa näitäkin muuttuvia tekijöitä. (Enari & Mäkinen 2014, 208.)

Automatisoitu käyminen perustuu käymisen aikana tehtäviin mittauksiin. Helposti mitattavia suureita ovat lämpötila, paine, virtausnopeus, kantavierre ja alkoholin määrä. Jos hiiva sekä vierteen ominaisuudet ovat tasalaatuisia, niin näiden mittausten pohjalta tehtävät säädöt ovat riittäviä. Hiivasolumäärän sekä elävien että kuolleiden solujen mittaamiseen on olemassa online -mittareita, jolloin hiivan annostelukin voidaan vaikeoida. Oppivien järjestelmien avulla voidaan tarkastella trendejä ja opettaa järjestelmiä huomioimaan analyysijä sekä muuttuvia prosessiparametreja. (Enari & Mäkinen 2014, 208.)

Oluen viimeistelyn eli suodatuksen, stabiloinnin ja pastöroinnin automatisointiin vaaditaan muun muassa virtaus-, massavirta-, johtokyky-, sameus-, pH-, paine-, alkoholi-, kantavierremittareita. Nämä ovat saatavissa, joten automatisointi on näihinkin vaiheisiin mahdollista. Tuotteen siirtoon liittyy tyypillisiä ”on/ei” -toimintoja, joita ovat esimerkiksi pumppujen päällekytkeminen, venttiilien avaaminen ja tarkistuksia loogisessa järjestyksessä. Integroiduilla automaatiojärjestelmillä voidaan hallita panimokokonaisuuksia ja niihin voidaan liittää reseptikäsittelyä, säätöjen optimointia, oppivia järjestelmiä, prosessimonitointia, ja -analysointia sekä tuotantokirjanpitoa. (Enari & Mäkinen 2014, 207 - 208.)

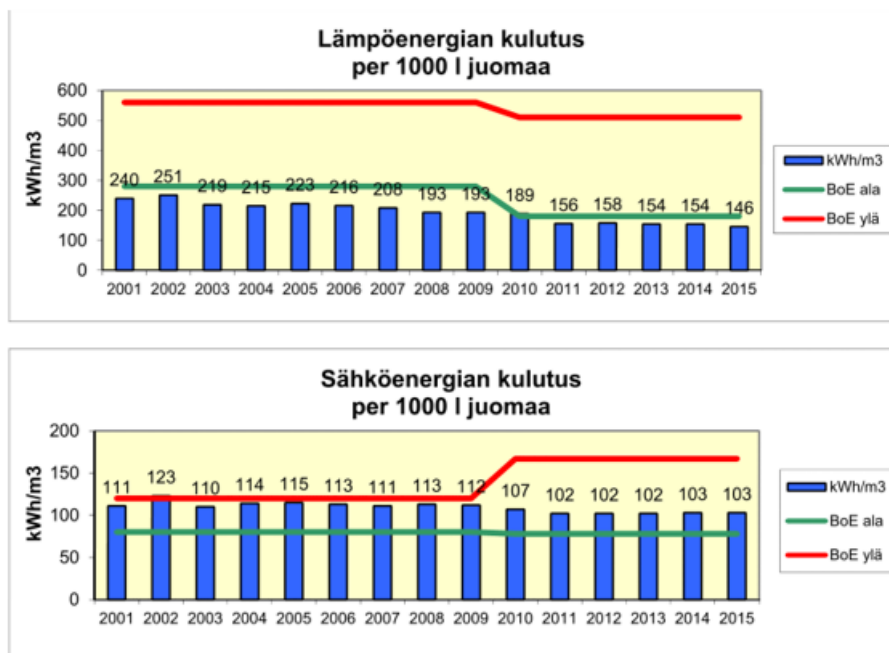
## 8.1 CIP -pesujärjestelmä

CIP on lyhenne Clean in Place -termistä. Kyseessä on teollisuudessa käytetty automatisoitu ja tietokoneohjattu järjestelmä, jonka avulla voidaan puhdistaa koko tuotantolinjasto. (Kiiski 2007, 8.) Menetelmässä pesuliuosta kierrätetään pestävän kohteen ja pesuliuossäiliön välillä pumpun avulla. Putkien, lämmönvaihtimien, venttiilien ja pumppujen puhdistamisessa olennaista on pesuliuoksen virtausnopeus. Tankkien puhdistuksessa mekaanista vaikutusta saadaan lisättyä suuttimien, pesupallojen tai pyörivien pesupäiden avulla. (Enari & Mäkinen 2014, 220.)

## 9 ENERGIAN SÄÄSTÖ OLUEN VALMISTUS PROSESSISSA

Panimoprosesseista eniten energiaa vaatii vierteen jäähdyttäminen nopeasti. Lämpöenergiaa voi pyrkiä ottamaan talteen, jolloin se voidaan käyttää esimerkiksi tuotantotilan lämmittämiseen tai mäsäysvaiheeseen. Kun vierrettä jäähdytetään kylmällä vedellä, saattaa lämpöä vastaanottava vesi lämmitä 78 - 82 °C:seen. Lämpöenergiaa kuluttaa mäsäys, vierteen keitto sekä pastörinti. Energiaa voi pyrkiä säästämään esimerkiksi optimoimalla mäsäys- sekä keittoaikaa. (Enari & Mäkinen 2014, 107.)

Panimoliitto julkaisee Suomen panimoalan ympäristötaseen avainlukuja, joista voidaan havaita energian kulutuksen tasaista laskua vuodesta 2001 vuoteen 2015. Vuonna 2015 valmistettaessa 1000 litraa panimoiden tuotteita kulutettiin keskimäärin 146 kWh lämpöenergiaa. Sähköenergiaa kului 1000 litran valmistamiseen keskimäärin 103 kWh. Alla on havainnollistava kuva (5). (Panimoliiton www-sivut 2017.) BoE arvot ovat Eurooppalaisen panimoalan etujärjestön ”The Brewers of Europe”:n suositusarvoja. Voidaan huomata että suomalaiset arvot (siniset palkit) ovat kilpailukykyisiä verrattuna Euroopan suositusarvoihin. (Enari & Mäkinen 2014, 263.)



Kuva 5 Energian kulutus panimoalan juomien valmistuksessa.

## 9.1 Hönkälämmönvaihdin ja höyryn komprimointi

Panimoalalla on etsitty energian säästämismahdollisuuksia. Jossakin panimoissa on otettu käyttöön esimerkiksi hönkälämmönvaihtimia, joka asennetaan keittokattilan päälle. Lämmönvaihtimella otetaan talteen höyrystyvistä vedestä energiaa. Usein kyseessä on putkilämmönvaihdin, johon höyry ohjataan venttiilein. Mitä ilmattomampaa höyry on, sitä tehokkaammin lämmönvaihdin toimii. Parhaiten hönkälämmönvaihdin toimii keittäessä miedolla ylipaineella, jolloin veden haihtuminen lämmönvaihtimeen samalla tasaa painetta. Lämmönvaihtimella voidaan tuottaa 78 – 82 °C:sta vettä. Hönkä voidaan lauhduttaa myös kuumalla vedellä, joka lämpenee 95 – 97 °C:seen. Lauhduttamisen jälkeen se varastoidaan lämpöakkuun. (Enari & Mäkinen 2014, 108.)

Toinen vaihtoehto hönkälämmönvaihtimelle on höyryn komprimointi. Tällöin syntynyt höyry paineistetaan kompressorilla ja syötetään mäskäys- ja keittokattilan lämpövaippoihin. Tämä kuluttaa sähköenergiaa, säästää kuitenkin lämpöenergiaa. (Enari & Mäkinen 2014, 109.)

## 9.2 Esimerkkitapaus

Sinebrychoffilla on keskitytty energiatehokkuuden parantamiseen. Siellä on muun muassa siirretty lämmön talteenottoon jätevesistä sekä ammoniakkikierrosta, jota käytetään olutvierteen jäähdyttämiseen. Lämpöpumput keräävät talteen lämpöenergiaa, joka ohjataan ilmanvaihtoon, patteriverkoston ja olutvierteen lämmitykseen. Sinebrychoffilla on myös modernisoitu ilmanvaihtojärjestelmä energiatehokkuutta silmällä pitäen, lisäksi on siirrytty LED-valaistukseen sekä keskitettyyn valaistukseen. Lisäksi prosessissa syntyvä hiilidioksidi kierrätetään puhdistuksen jälkeen. Sinebrychoff on sitoutunut Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimukseen, jossa tavoitteena on parantaa energiatehokkuutta 9 %:ia vuoden 2005 tasosta. (Sinebrychoffin [www-sivut](http://www.sinebrychoff.com) 2016.)



## 10 PANIMOIDEN JÄTTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN JA YMPÄRISTÖASIAT

### 10.1 Mäskin jatkohyödyntäminen

Vierteestä erotettu mäski voidaan hyödyntää esimerkiksi kotieläintiloilla rehuna. Kokemäen kaupungin sisällä on monia kotieläintiloja, jonka lisäksi niitä löytyy riittävästi lähikunnista. Mäski voidaan toimittaa tiloille käsittelemättömänä, jos se saadaan rehuna käyttöön suhteellisen nopeasti. Tosin kesäisin, kun karja on laidunruokinnassa, mäskin käyttötarve rehuna on vähäistä. Mäski toimitetaan tiloille esimerkiksi traktorin lavalla, joko omasta toimesta tai sitten vastaanottavan tilan pitäjä hakee mäskin. On molemmin puoleinen etu saada mäski jatkokäyttöön. Mäskiä ei mielellään myydä, sillä on parempi, että sille on jatkuvasti sijoituspaikka. Ainakin alkuvaiheessa mäskiä ei synny säännöllisesti tiettyä määrää vaan oluen valmistuksen aloittaminen tulee aloittaa harkiten ja sen mukaan miten olutta saadaan markkinoitua eteenpäin. Mäskin vastaanottava osapuoli maksaa rahtikustannukset. Kuljetuskustannusten vuoksi paras tapa on tehdä yhteistyötä mahdollisimman lähellä sijaitsevien tilojen kanssa.

Enari ja Mäkinen (2014, 258) kirjoittaa, että Mäskin säilyvyyttä rajoittaa korkea kosteuspitoisuus sekä proteiini- ja sokeripitoisuus. Märkämäskistä voidaan tehdä myös säilörehua ja säilöä se siiloihin. Voihappokäymistä estetään esimerkiksi lisäämällä suola-, fosfori-, maito- tai muurahaishappoa. Maitohappobakteerien puhtasviljelmää lisäämällä saadaan hyvänlaatuista mäskirehua. Mäskin ravintoarvo on suhteellisen korkea, mutta tarvittaessa rehuarvoa voidaan kasvattaa lisäämällä joukkoon jotakin muuta rehua tai viljaa. Pääosa maltaan ravintoarvoina tärkeistä komponenteista jää talteen. (Enari & Mäkinen 2014, 258.)

Pienistä panimoista märkämäskiä toimitetaan leipomoihin, joissa mäskistä voidaan leipoa leipää tai sämpylöitä (Lehtinen 2014, 39). Mäskistä voidaan myös erottaa proteiini, josta voidaan valmistaa erilaisia ihmisravinnoksi kelpaavia konsentraatteja. Vastaavia tuotteita valmistetaan paljon soijasta. Taulukossa (7) on esitetty märkämäskin, soijan ja FAO-standardiproteiinin ihmiselle välttämättömien aminohappojen prosentiosuuksia. (Enari & Mäkinen 2014, 259.)

Taulukko 7 Proteiinin aminohappo-osuus prosentteina märkämässä, soijassa ja FAO -proteiinistandardin mukaisesti. (Enari & Mäkinen 2014, 258.)

<b>Aminohappo</b>	<b>Märkämäski, %</b>	<b>Soija, %</b>	<b>FAO-standardi, %</b>
<b>Isoleusiini</b>	5,4	5,8	4,2
<b>Leusiini</b>	8,3	7,8	4,8
<b>Lysiini</b>	3,2	5,8	4,2
<b>Metioniini</b>	1,2	1,2	2,2
<b>Fenyyialaniini</b>	4,7	5,5	2,8
<b>Treoniini</b>	3,2	3,6	2,8
<b>Tryptofaani</b>	1,3	1,4	1,4
<b>Valiini</b>	5,4	5,2	4,2

FAO (Food and Agriculture organization) on lyhenne yhdistyneiden kansakuntien elintarvike- ja maatalousjärjestön nimestä. Järjestö on julkistanut standardin, jolla voidaan arvioida proteiinien laatua. Tästä syntyi teollisuuden käyttämä proteiinistandardi, joka perustuu proteiinien riittävään aminohapposisältöön sekä ihmiskehon kykyyn hajottaa proteiineja. (Elintarvike- ja maatalousjärjestön www-sivut 2017.) Taulukosta nähdään, että lysiinin sekä metioniinin pitoisuus on hieman niukka. Enari & Mäkinen (2014, 259) myös toteavat, että suuri osa vesiliukoisista vitamiineista liukenee vierteen.

Mielenkiintoinen uusi tapa hyödyntää märkämäskiä on tehdä siitä biokaasua liikennepolttoaineeksi. Helsingin Sanomat julkaisivat artikkelin, jossa kerrotaan yksittäisen pienpanimon toimittavan määskijätteen biokaasulaitokselle. Kyseinen pienpanimo tuottaa vuosittain olutta 65 000 litraa ja määskijätettä panimossa syntyy 30 tonnia. Tästä määrästä saadaan tuotettua 6000 m<sup>3</sup> metaania, jonka energiasisältö on 60 MWh. Laita ja Ylä-Tuuhonen kirjoittavat nettiartikkelissaan, että hyvälaatuisesta biojätteestä saattaa tulevaisuudessa olla kilpailua. (Laita & Ylä-Tuuhonen 2014.)

Jos mäskeille ei löydy sijoituspaikkaa, niin osa mäskeistä voidaan myös levittää pelloille. Talvella syntynyttä märkämäskiä voidaan varastoida ja ennen pellon muokkausta keväällä levittää se pelloille. Ei myöskään haittaa vaikka mäski jäätyisi varastoinnin aikana, sillä sulamisen jälkeen sen voidaan levittää. Eikä mäsken ominaisuudet lannoitemateriaalina huonone jäätymisestä.

## 10.2 Ylijäämähiivan jatkohyödyntäminen

Ylijäämä hiivaa syntyy pää- sekä jälkikäymisessä, näissä prosessivaiheissa hiiva kolminkertaistuu. Enimmäkseen hiiva kerätään talteen ja osa ylijäämähiivasta voidaan käyttää tulevissa vierre-erissä. Viemärissä hiivaliete kuormittaa jätevedettä. (Enari & Mäkinen 2014, 257.)

Ylijäämähiivan kuiva-ainepitoisuus on keskimäärin 8 - 14 prosenttia ja se säilyy huonosti. Kuivaaminen kuluttaa paljon energiaa, joten sitä ei usein enää tehdä. Hiivaa voidaan käyttää rehuna sellaisenaan tai yhdistämällä jonkun toisen rehun sekaan. Hiivan käyttöä ihmisravintona rajoittaa sen sisältämä nukleiinihappo, joka ihmiskehossa muuttuu virtsahapoksi saattaen kiteytyä niveliin. Hiivasta voidaan kuitenkin valmistaa kuivahiiva tai hiivauutteita ihmisravinnoksi. Elintarvike- ja lääketieteellisuuden tarpeisiin hiivasta voidaan erottaa entsyymejä tai hienokemikaaleja. (Enari & Mäkinen 2014, 260 - 261.)

## 10.3 Ruvan käyttömahdollisuudet sekä piimaajäte

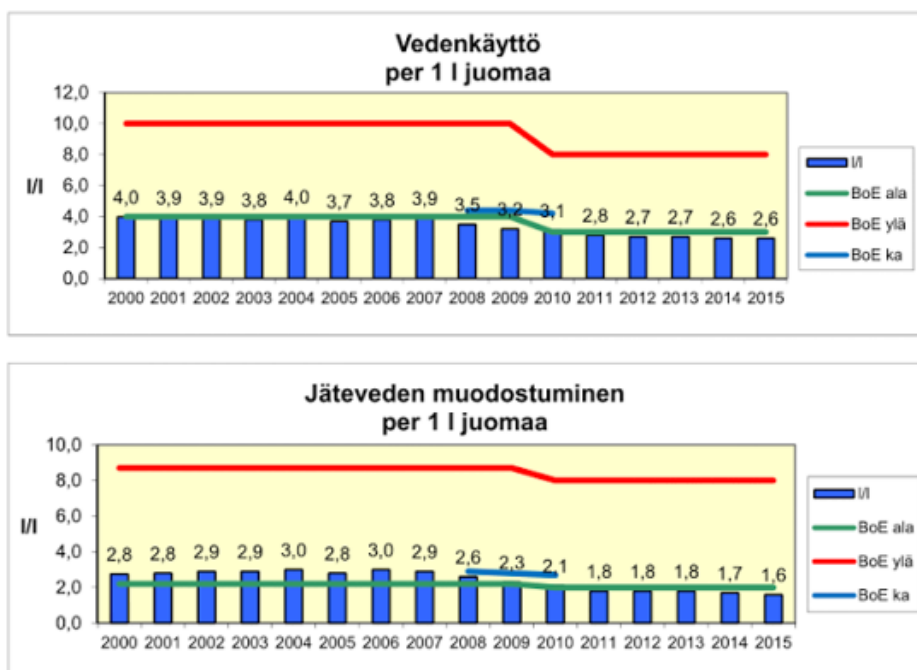
Vierteen keitossa syntyneitä kiinteitä jätteitä kutsutaan ruvaksi. Rupaa voidaan ottaa talteen ja lisätä uuteen mäskierään, jolloin ruvan sisältämä uute sekä humalan  $\alpha$ -hapot saadaan käyttöön. Ruvan kiinteät osat poistuvat mäskämäskin poistamisen yhteydessä. (Enari & Mäkinen 2014, 261.)

Enari & Mäkinen (2014, 257 - 258) kirjoittavat, että suomalaiset panimot kuluttavat piimaata noin 700 tonnia vuodessa. Se on iso kustannuserä, joten piimaan regenerointia suunnitellaan, mutta sitä ei ole vielä saatu taloudellisesti kannattavaksi.

Piimaa on ongelmallinen jäte kaatopaikoilla, mutta sitä voidaan käyttää viherrakentamisessa, maisemoinnissa tai mädättämissä kuohkeuttamaan mädätysaumoja (Enari & Mäkinen 2014, 261). Muut syntyvät jätteet, kuten energia-, pakkaus- tai biojäte lajitellaan ja toimitetaan asianmukaisesti hyötykäyttöön.

## 10.4 Panimon jätevedet

Ennen yhden olutlitran tuottamiseen tarvittiin kymmenen litraa talousvettä. Vesimäärä kului muun muassa oluen valmistamisen lisäksi laitteistojen sekä välineiden puhdistamiseen, jäädyttämiseen sekä höyryn valmistamiseen. Nykyään käytetty vesimäärä on noin 3,5 litraa yhtä olutlitraa kohden tai jopa tätäkin vähemmän. Panimon jätevedet sisältävät esimerkiksi kiintoaineita, fosforia sekä typpeä. Hiiva sisältää runsaasti fosforia sekä jotkin pesuaineet sisältävät fosfaatteja. Typpeä on maltojen sekä hiivan proteiineissa sekä niiden pilkkoutumistuotteissa. (Enari & Mäkinen 2014, 252 - 253.) Veden käytön muuttumista havainnollistetaan alla olevassa kuvassa (6). Veden käyttö on vähentynyt oluen valmistuksessa sekä jätevesien määrän muodostuminen on laskenut vuodesta 2000 vuoteen 2015. Vuonna 2015 käytettiin Suomessa olutlitran valmistuksessa keskimäärin 2,6 litraa vettä. Olutlitran valmistuksesta muodostui 1,6 litraa jätevesiä. (Panimoliiton www-sivut 2017.)



Kuva 6 Veden käyttö oluen valmistuksessa.

Jätevesien määrää pyritään vähentämään erilaisin toimenpitein. Esimerkiksi jäädytysvesiä voidaan käyttää uudelleen, kun joskus aikoinaan jäädytysvedet laskettiin suoraan viemäriin. CIP -pesujärjestelmä myös vähentää pesuvesien määrää huomattavasti. Pesujärjestelmä on tehokas, jolloin vettä sekä aikaa säästyy. Pesujärjestelmän

viimeiset huuhteluvedet voidaan käyttää seuraavan pesun esihuuhteluvesinä. (Enari & Mäkinen 2014, 255.)

## 10.5 Panimoiden ympäristöasioiden kehitys

Ympäristöasioiden huomioiminen kuuluu tänä päivänä jokaisen yrityksen yritys vastuuseen. Ympäristökuormituksen vähentämisellä saadaan samalla myös taloudellista hyötyä, kun onnistutaan vähentämään energiatarvetta, veden kulutusta, lisäämään kiertystä, estämään hävikkiä sekä jätemääriä. (Enari & Mäkinen 2014, 251.)

Panimoliiton julkaiseman ympäristötaseen mukaan panimoalan ympäristökuormitus on merkittävästi laskenut. Alla olevaan taulukkoon on koottu ympäristötaseen avainlukemia. Niistä on nähtävissä ympäristökuormituksen pieneneminen monella osa-alueella vuodesta 2001 vuoteen 2010. Samantapainen kehitys on jatkunut myös vuoden 2010 jälkeen. (Panimoliiton www-sivut 2017.)

Taulukko 8 Panimoliiton julkaiseman ympäristötaseen eri osa-alueiden muutos vuoden 2001 ja 2010 välillä.

### Ympäristötaseen avainluvut

	2001	2010	Muutos
			%
Lämpö kWh/1000 litraa juomaa	240	189	-21
Sähkö kWh/1000 litraa juomaa	111	107	-3,6
Vedenkäyttö litraa per 1 litra juomaa	3,9	3,1	-21
Jätevesi litraa per 1litra juomaa	2,8	2,1	-25
Jäteveden orgaaninen kuorma COD, kg/1000 litraa	8,2	5,7	-30
Kaatopaikkajäte kg/1000 litraa	4,4	0,4	-91
Energiajäte polttoon kg/1000 l	4,4*	1,2	-73
Hiilidioksidipäästöt kg/1000 l (Valmistus, energiantuotanto, kuljetus)	172	142	-17

\* luku vuodelta 2002

Mielenkiintoinen muutos viime vuosikymmenen aikana on tapahtunut kiertopullon ja tölkkien kohdalla, sillä kiertopullon osuus on laskenut yli 70 %:sta alle 10 %:iin ja tölkin osuus on kasvanut hieman alle 10 %:sta lähes 80 %:iin Astiaoluen osuus on laskenut 20 %:sta 10 %:iin. (Enari & Mäkinen 2014, 63.)

## 11 AINE- JA ENERGIATASE

Aine- ja energiataseet laaditaan panoskohtaisesti eli määritetään kuluva aine- sekä energiamäärä yhtä tuotantoerää kohden. Näin osataan varautua raaka-aine- sekä energiatarpeisiin, tämä saattaa myös helpottaa laitteiston mitoittamisen suunnittelua. Oletetaan, että kyseessä on stationääritila, jossa materiaalivirta sisään on materiaalivirta ulos. Lähdetään liikkeelle siitä, että yhdestä panoksesta syntyy 1000 litraa eli 1 m<sup>3</sup> vierrettä.

### 11.1 Ainetase

Valmiin oluen etanolipitoisuus on noin 5 tilavuusprosenttia. Etanolin tiheyden ollessa pienempi kuin veden ( $\rho = 789 \text{ g/l}$ ), on etanolin osuus vienteessä 39,45 g/l. Painoprosentteina tämä vastaa  $(39,45/1000 \cdot 100) \text{ g/l}$  eli 3,9 painoprosenttia. Karkeasti voidaan todeta, että yhdessä kuutiossa olutta on 40 kilogrammaa etanolia.

Käymisprosessissa sokeri käy etanoliksi ja hiilidioksidiksi seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti. Mallisokerina käytetään glukoosia.



Glukoosin moolimassa on  $M_{\text{glu}} = 180,1 \text{ g/mol}$  ja etanolin moolimassa on  $M_{\text{et}} = 46,0 \text{ g/mol}$ . Kuutiossa olutta on 40 kg etanolia eli  $m_{\text{et}} = 40\,000 \text{ g}$ .

Massan, moolimassan ja ainemäärän välillä on seuraavan kaavan (4) mukainen yhteys.

$$n = m/M \tag{4}$$

Kaavan avulla voidaan laskea, että etanolin ainemäärä on  $n_{\text{et}} = 869,57 \text{ mol}$ . Yllä olevan reaktioyhtälön mukaisesti 1 mooli glukoosia tuottaa käymisessä 2 moolia etanolia. Jolloin glukoosin ainemäärä on puolet etanolin vastaavasta eli  $n_{\text{glu}} = 434,79 \text{ mol}$ .

Eli kaavan avulla voidaan todeta, että kun halutaan tuottaa 1 m<sup>3</sup> vierrettä, jossa on 40 kg etanolia, tarvitaan noin 78 kg sokereita.

Enari ja Mäkinen (2014, 18) toteavat kirjassaan että maltaassa on 60–70 painoprosenttia tärkkelystä. Näistä sokereista noin 90 prosenttia käy etanoliksi, jolloin maltaan kuiva-aineesta noin 59 painoprosenttia käy etanoliksi. Valmistettaessa 1 m<sup>3</sup> vierrettä, tarvitaan 78 kg sokereita. Nämä sokerit saadaan noin 132 kg:sta mallasta. Tosin käytännössä mallasta on käytettävä hieman runsaammin, kuin mitä teoreettisesti on laskettu, jotta voidaan varmistua riittävästä tärkkelysmäärästä vierteessä.

Sadasta kilosta mallasta, syntyy 110 - 130 kiloa märkää mäskiä, jonka kuiva-ainepitoisuus on 20 - 30 kiloa. Märkämäskin kosteus on 70 - 80 %. (Enari & Mäkinen 2014, 256.) Jolloin käytettäessä 132 kiloa mallasta syntyy märkää mäskiä noin 158 kiloa, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 40 kiloa. Liukenematon jae pestään, jotta loputkin liuenneet aineet saadaan vierteen joukkoon. Talousvettä oluen valmistukseen kuluu 1200 litraa (Bon sähköposti 21.11.2016).

## 11.2 Energiatase

Energiataseen tarkoituksena on arvioida prosessin aikaista energian kulutusta, jotta osataan varautua energiatarpeeseen. Määritetään panoskohtaisesti prosessin merkittävimpien energiankulutusvaiheisiin liittyvä kulutus, kun vierrettä tuotetaan 1m<sup>3</sup>. Kaavalla (5) voidaan laskea tehty työ, kun tiedetään laitteen käyttämä teho sekä aika, joka työhön kuluu. Tässä tapauksessa työllä ymmärretään sähkötyötä, eli sähköenergian kulutusta.

$$\Delta W = P\Delta t \quad (5)$$

Jossa,  $\Delta W$  = tehty työ (J tai Ws)

$P$  = teho (W)

$\Delta t$  = työhön kulunut aika (s)

Kaavalla (6) voidaan laskea prosessissa siirtyvä lämpöenergia.

$$\Delta Q = cm\Delta t \quad (6)$$



jossa,  $\Delta Q$  = aineeseen tai aineesta siirtyvä lämpömäärä (J)

$c$  = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg<sup>0</sup>C)

$m$  = aineen massa (kg)

$\Delta t$  = aineen lämpötilan muutos (<sup>0</sup>C)

Vierteen sokeripitoisuus on noin 10 painoprosenttia. Termodynaamisilta ominaisuuksiltaan vierre vastaa hyvin vettä, jonka ominaislämpökapasiteetti on 4,2 kJ/kg<sup>0</sup>C. Mosen Asadi (2005, 40) kirjoittaa, että 10 painoprosenttisen sokeri-vesiliuoksen ominaislämpökapasiteetti 20 <sup>0</sup>C:ssa on 3,95 kJ/kg<sup>0</sup>C ja 100 <sup>0</sup>C:ssa on 4,01 kJ/kg<sup>0</sup>C. Täten opinnäytetyön energiatasetelaskelmissa käytetään vierteen ominaislämpökapasiteetin arvona 4,0 kJ/kg<sup>0</sup>C.

Kaavalla (7) voidaan laskea pumppauksen vaatima sähköteho:

$$P = q_v \Delta p / \eta \quad (7)$$

Jossa,  $P$  = teho (W)

$q_v$  = tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta p$  = paine-ero (Pa)

$\eta$  = hyötysuhde

Maltaiden rouhinnassa sähkön kulutus riippuu myllyn tehosta ja siitä miten kauan maltaita rouhitaan. Rouhintamyllyn tehon ollessa 1,5 kW ja rouhinnan kestäessä 44 minuuttia, energian kulutus on kaavan (5) mukaan :

$$\Delta W = 1.5 \text{ kW} \times 0.73 \text{ h} = 1.1 \text{ kWh}$$

Mäskäyksessä mäskin lämpötila nostetaan portaittain 5 <sup>0</sup>C:sta 70 <sup>0</sup>C:seen eli lämpötilaero on 65 <sup>0</sup>C. Mäskin ominaislämpökapasiteetti on 4,0 kJ/(kg<sup>0</sup>C) ja mäskin massa on 1200 kg. Kaavan (6) avulla voidaan laskea, että energiaa tarvitaan:

$$\Delta Q = 4.0 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \times 1200 \text{ kg} \times 65 \text{ } ^\circ\text{C} = 312\,000 \text{ kJ} = 87 \text{ kWh}$$

Lämmön nostamisen jälkeen lämmön ylläpito vaatii vain hukkalämmön verran lisää lämpöenergiaa kattilaan. Mäskäyskattila on suljettu sekä hyvin eristetty, jolloin hukkalämmön osuus on niin pieni, ettei sitä huomioida tässä.

Mäskikattilassa kierrätetään mäskiä mäskäyksen ajan. Pumpun tulisi olla tehokas, sillä kiinteä aines muodostaa mäskäyskattilan välipohjan päälle suodattavan patjan, jonka lisäksi kiertoon saattaa päästä myös kiinteitä aineita. Nämä nostavat pumpun tehon tarvetta. Pumppu, jonka teho on 3 kW kuluttaa energiaa 3,5 tunnin mäskäyksen aikana 10,5 kWh energiaa.

Mäskäyksen jälkeen vierre pumpataan keittokattilaan. Vierteen tilavuusvirta on 100 l/min eli  $0,00167 \text{ m}^3/\text{s}$ , paine-ero on 3 baria eli 300 000 Pa ja pumpun hyötysuhde on 70 %. Tämän siirtopumppauksen energian tarve on kaavan (7) mukaan:

$$P = (0,00167 \text{ m}^3/\text{s} * 300\,000 \text{ Pa}) / 0,7 = 716 \text{ W}$$

Siirtopumppaus kestää noin 10 minuuttia, jolloin vaaditaan energiaa:

$$\Delta W_{el} = 0,167 \text{ h} * 0,72 \text{ kW} = 0,12 \text{ kWh}$$

Keitossa vierteen lämpötila nostetaan  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ :sta  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ :seen ja pidetään siinä muutamman tunnin ajan. Lämpötilaero on  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Keittokattilan ollessa suljettu sekä hyvin eristetty, kuluu lämpötilan nostamisen jälkeen vain lämpöhukan verran energiaa. Lämpöhukka tässä yhteydessä on hyvin pieni, jolloin sitä ei huomioida tässä työssä. Lämmön nostamiseen kuluu energiaa noin 47 kWh.

Vierteen jäähdytys kuluttaa paljon energiaa. Jäähdytys pitää tehdä nopeasti, jottei vierteen lämpötila ole pitkään bakteereiden kasvulle otollisessa lämpötilassa. Jäähdytys voidaan toteuttaa esimerkiksi lämmönvaihtimen avulla, jolloin vierre pumpataan lämmönvaihtimen läpi käymistankkiin. Järjestelmään tarvitaan oma kylmäkierto sekä kylmäkone. Lämpötilaero on  $95 \text{ }^\circ\text{C}$ , ominaislämpökapasiteetti on  $4,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  ja vierteen massa on 1200 kg. Tällöin siirretään vierteestä pois lämpömäärä:

$$\Delta Q = 4,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 1200 \text{ kg} \times 95 \text{ }^\circ\text{C} = 456 \text{ MJ} = 127 \text{ kWh}$$

Pastöroinnin yhteydessä oluen lämpötila tulee vielä nostaa muutamaksi minuutiksi 70 °C:seen. Tämä voidaan tehdä kun olut on jo pulloitettu, jolloin oluen voidaan antaa jäähtyä rauhassa suljetuissa pulloissa. Lämpötilaero on 60 °C, ominaislämpökapasiteetti on 4,0 kJ/kg<sup>0</sup>C ja oluen massa on 1200 kg. Energiaa pastörointiin kuluu 80 kWh. Alla oleva taulukko (9) havainnollistaa eri prosessivaiheisiin tarvittavaa energiamäärää. Taulukossa ei ole huomioitu kaikkia energiaa kuluttavia tekijöitä, mutta merkityksellisimmät prosessivaiheet on siitä nähtävissä.

Taulukko 9 Energian kulutus oluen valmistuksen eri prosessivaiheissa.

<b>Tapahtuma</b>	<b>Energiankulutus, kWh</b>	<b>Kustannus, €</b>
Rouhinta	1,1	0,18
Mäskäys	86,7	13,87
Mäskäyskattilan kierrätyspumppu	9	1,44
Keitto	46,7	7,47
Jäähdytys	127	20,32
Pastörointi	80	12,80
<b>Yhteensä</b>	<b>350,5</b>	<b>56,08</b>

Tuloksiin vaikuttavat vielä laitteistojen hyötysuhteet, erityisesti jäähdytyslaitteistossa. Tuloksista voidaan nähdä, että vierteen jäähdyttämisessä tarvitaan eniten energiaa. Laskujen pohjalta nähdään myös, että siirtopumppauksiin kuluva energia on vähäinen. Samoin rouhinnassa kulunut sähköenergia ei ole merkittävä.

Jos kaikki edellä mainitut prosessivaiheet toteutetaan sähköllä, on yhden panoksen valmistumiseen vaadittava sähköenergia yhteensä noin 350 kWh, mikä vastaa rahassa noin 56 euroa. Laskelmissa on oletettu sähköenergian yksikköhinnaksi 0,16€/kWh, joka perustuu Kokemäen Sähkön kausisähkön hinnoitteluun. Summassa on otettu huomioon kaikki sähkön hintaan vaikuttavat tekijät, kuten sähkön perusmaksu, energiama-  
maksu, sähkön siirron perusmaksu, siirron energiama-  
maksu, energiavero sekä arvonli-  
sävero.

## 12 KUSTANNUSLASKELMA

Tässä kustannuslaskelmassa käsitellään panimolaitteiston hankintakuluja kahden tarjouksen perusteella. Lisäksi arvioidaan yhteen tuotantoerään kohdistuvat kulut, vuositista katetta sekä hakelämmityksen kuumavesikierron liittämisen kuluja.

Laitteistoista, raaka-aineista sekä hakelämmityksen kuumavesikierron liittämiskuluista voi yritys vähentää arvolisäveron osuuden.

### 12.1 Tarjous slovakialaiselta panimoalan toimijalta

Slovakialainen alan yritys ja on toiminut vuodesta 1995 toimittain ympäri maailmaa panimolaitteistoja sekä oheistarvikkeita, että raaka-aineita panimoille. Yritys toimittaa panimolaitteistoja avaimet käteen periaatteella, jolloin hintaan kuuluu laitteiston asennus, käyttöönotto, 21 päivän pituinen koulutus, 12 kuukauden takuu sekä aloituspakkaus sisältäen mallasta, humalaa sekä hiivaa. He valmistavat erilaisia panimolaitteistoja, joiden koot vaihtelevat 200 litrasta 50 000 litraan per panos. (Techimpexin www-sivut 2017.)

Tarjous 1000 litran panoksia valmistavasta laitteistosta on 196 320 €. Lisäksi kuljetus kohteeseen maksaa 6 000 €. Panimolaitos vaatii 156 m<sup>2</sup> lattiatilaa sekä katon tulee olla 3,3 m korkea. Kattiloissa sekä tankeissa on kaksikerroksinen teräsvaippa sekä eristys. Mäskäys- ja keittokattilan vaipassa on sähkövastukset. (Bon sähköposti 21.11.2016.) Laitteistotarjous on suomennettu taulukkoon (10).

Taulukko 10 Laitteisto 1000 litran panoksen valmistukseen

<b>1000 litraa</b>		
	<b>1 kpl</b>	<b>Yhteensä</b>
Rouhintamylly 250 kg/h		1 750 €
Mäskäyskattila		7 900 €
Keittokattila		7 900 €
Whirlpool		6 900 €
Kuumavesivaraaja		4 200 €
Vierteen valmistuksen automatisointi		5 900 €
Käyttöliittymä		4 700 €
Käymistankki 2000 litraa, 9 kpl	9 900 €	89 100 €
Käymistankin lämpötilan säätö	360 €	3 240 €
Tankki (kirkastus, hiilihapotus, astioiminen), 2 kpl	5 140 €	10 280 €
Viimeistelytankin lämpötilan säätö	200 €	400 €
Laitteisto hiivan keräämiseen ja varastointiin		2 850 €
Laitteisto puhdistukseen ja desinfiointiin		4 200 €
Siirtopumput vierteen siirtoon		800 €
Piimaasuodatin		9 200 €
Puoliautomaattilaitteisto kegien pesuun, desinfiointiin, täyttöön		9 900 €
Jäähdytyslaitteisto		18 100 €
Laitteiston asennus, 12-14 päivää		6 000 €
Koulutus laitteistoon käyttöön, 21 päivää		3 000 €
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>196 320 €</b>

Muita slovakialaisen yrittäjän tarjoamia laitteistokokoja löytyy alla olevasta taulukosta (11) (Bon sähköposti 21.11.2016).

Taulukko 11 Erikokoisten laitteistojen hankintahintoja

Laitteiston mitoitus	Tuotanto			
	päivässä	viikossa	vuodessa	kustannus
<b>200 litraa</b>	200 l	1 200 l	60 000 l	84 120 €
<b>300 litraa</b>	300 l	1 800 l	90 000 l	105 500 €
<b>500 litraa</b>	500 l	3 000 l	150 000 l	122 740 €
<b>1000 litraa</b>	1000 l	6 000 l	300 000 l	196 320 €

Laitteistoissa on CE-merkintä (Conformity Certified) eli tuote täyttää EU:n direktiivien vaatimukset. Lisäksi laitteille on haettu ISO -järjestelmän laatusertifikaatti. Yllä

lueteltuihin laitteistoihin kuuluu kegien käsittelylaitteisto. Näiden laitteisto-osien lisäksi heidän kauttaan on mahdollista tilata välineet sekä laitteet veden puhdistukseen, pastörintiin, pullotuslinjastoon sekä etiketöintilaitteisto. (Bon sähköposti 21.11.2016.)

Laitteistot on tarkoitettu jatkuvaan käyttöön eli panos voidaan valmistaa kuusi kertaa viikossa tai esimerkiksi kahdesti päivässä. Tästä syystä laitteistoihin kuului monia kypsytystankkeja. Tällöin vuosituotanto kasvaa samalla suureksi. Tietysti olutta voi tuottaa myyntikanavien mukaisesti tätä harvemmin. Laitteistoihin on lisättävissä höyrygeneraattori sekä höyrylämmitys mäskäys- ja keittokattilaan. Meidän tapauksesamme tämä ei ole tarpeellista, sillä tarkoituksena olisi liittää hakepolttimella lämmitetty kuumavesikierto tankkien vaippaan. Tämä pitäisi teknisesti olla mahdollista, sillä höyrykierron lisääminen laitteiston kattiloihin on mahdollistettu.

## 12.2 Tarjous Tšekkiläiseltä alan toimijalta

Tšekkiläinen toimija myy laitteistoja sekä modernisoi jo olemassa olevia laitteistoja, että tarjoaa konsultaatiopalveluita. He ovat myyneet osaamistaan laajasti ympäri Eurooppaa. Saatu tarjous koskee laitteistoa, jolla voidaan valmistaa 300 - 1200 litraa vierrettä päivässä. Vuodessa laitteistolla voidaan tuottaa 45 000 litraa pintahiivoilla käytettyä olutta ja 27 000 litraa pohjahiivalla käytettyä olutta. Laitteiston kustannus on 168 158 €. Hintaan ei sisälly asennuskuluja, toimituskuluja, käyttöönottokuluja eikä veroja. (Chech Mini Breweriesin www-sivut 2016.)

Panimolaitos vaati 34 - 50 m<sup>2</sup> lattiatilaa sekä katon tulee olla 2,6 m korkea. Kattiloissa sekä tankeissa on kaksikerroksinen teräsvaippa sekä eristys. Mäskäys- ja keittokattilan vaipassa on sähkövastukset. Toimittaja suosittelee lisäkustannuksesta asennettavaa höyrygeneraattoria, jolloin kattiloiden vaipassa saadaan kiertämään höyry. Laitteiston kustannuserittely on suomennettu taulukkoon (12). (Chech Mini Breweriesin www-sivut 2016.)

Taulukko 12 Laitteisto 300 – 1200 litran panoksen valmistukseen

<b>300 – 1200 litraa, 27 000 – 45 000 litraa vuodessa</b>	
Oluen valmistus:	
300-1200 l päivässä	
A = 34-50m <sup>2</sup> H = 2,6 m	
Rouhintamyly	3 048 €
Vierteen valmistuskalusto (mäski-, keittokattila, jne)	69 096 €
Sähkövastuksilla toimiva höyrygeneraattori	6 396 €
Kuumavesivaraaja, 600 l	6 205 €
Käymistankki 600 l	9 214 €
Jälkikäymistankki 600 l x3 (1 kpl = 9214€)	27 642 €
Tankki oluen viimeistelyyn: kirkastaminen, hiilihapottaminen, astioiminen	7 894 €
Jäähdytysjärjestelmä	9 111 €
Kylmävesivaraaja 1000 l	4 419 €
CIP –järjestelmä	3 775 €
Paineilmakompressori 8m <sup>3</sup> /h	3 259 €
Yleisiä tarvikkeita sekä asennusmateriaali	14 599 €
Projektin dokumentointi ja suunnittelu	3 500 €
<b>Yhteensä</b>	<b>168 158 €</b>

### 12.3 1000 litran panoksen valmistuskustannus

Edellä on todettu, että jos kaikki prosessivaiheet toteutetaan sähköllä, on yhden panoksen valmistamiseen vaadittava sähköenergia yhteensä noin 350 kWh. Euromääräisenä kustannuksena se tarkoittaa noin 56 €:a. Alla olevasta taulukosta (13) nähdään, että panoskohtaisesti raaka-ainekustannus on 132 €. Yhteensä panoksen kustannukseksi muodostuu noin 188 €:a, joka vastaa 0,19 €:a olutilitraa kohden.

Taulukko 13 1000 litran panokseen liittyvät raaka-ainekulut.

<b>Raaka-aine</b>	<b>Määrä</b>	<b>Hinta, €</b>
Mallas	132 kg	86
Katkerohumala	0,5 kg	5,75
Aromihumala	0,5 kg	7,75
Hiiiva	1 kg	30
Vesi	1,2 m <sup>3</sup>	~ 2
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>131,50</b>

Vielä voidaan todeta, että jos 1m<sup>3</sup> olutta valmistetaan kaksi kertaa viikossa eli tuotanto olisi noin 100 000 litraa vuodessa. Oluen valmistuksen energia- ja raaka-ainekulut olisivat vuositasolla 19 600 €. Lisäksi päivinä jolloin panimo ei valmista olutta vaan on ”standstill” tilassa, Microbrewery BlonderBeer Type N (D) 1000 l Compact laitteisto kuluttaa sähköä 40 - 54 kWh päivässä (Bon sähköposti 21.11.2016). Vuositasolla käyttökustannukset näillä tiedoin ovat jopa 21 855 €.

#### 12.4 Vuosittainen kate

Kyseessä oleviin laitteistoihin ei kuulu pullotus/tölkityslaitteistoa eikä etiketöintilaitteistoa, joten pohditaan panimolle jäävää katetta kegien myymisen näkökulmasta. Oletetaan kegeissä oluen myyntihinnan olevan 2,5 €/litra. Hävikkiä syntyy noin 2 %, jonka lisäksi kuluja syntyy olutlitran tuottamisesta 0.19 €/litra ja kuljetuskustannukset ovat 0,05 €/litra. Näiden lisäksi valtio perii valmisteveroa 1,69 €/litra (verohallinnon www-sivut 2017).

Näin ollen kustannukset valmistettaessa 100 000 litraa ovat:

Hävikin jälkeen:  $100\,000\text{ l} \cdot 0,98\% = 98\,000\text{ litraa}$

Valmistuskustannukset:  $100\,000\text{ l} \cdot 0,19\text{€}/\text{l} = 19\,000\text{ €}$

Kuljetuskustannukset:  $98\,000\text{ l} \cdot 0,05\text{€}/\text{l} = 4\,900\text{ €}$

Valmistevero:  $98\,000\text{ l} \cdot 1,69\text{€}/\text{l} = 165\,620\text{ €}$

Yhteensä: 189 520 €

Myynnistä saatava:  $98\,000\text{ l} \cdot 2,5\text{€} = 245\,000\text{ €}$



Kate: 245 000 € - 189 520 € = 55 480 €

Taulukosta (14) nähdään katteen kehittyminen suhteessa litramääräiseen vuosituotantoon.

Taulukko 14 Katteen kehittyminen suhteessa vuosituotantoon.

Vuosituotanto litraa	Todellinen tuotanto Hävikki 2%	Valmistuskustannus, € 0,19€/l	Kuljetuskultannus, € 0,05€/l	Valmistevero, € 1,69€/l	Myyntisaatava, € 2,5€/l	Kate, €
100 000	98000	19000	4900	165620	245000	55480
80 000	78400	14896	3920	132496	196000	44688
60 000	58800	11172	2940	99372	147000	33516
40 000	39200	7448	1960	66248	98000	22344
30 000	29400	5586	1470	49686	73500	16758
20 000	19600	3724	980	33124	49000	11172
10 000	9800	1862	490	16562	24500	5586

On huomioitava, että aiemmin mainittujen kulujen lisäksi kustannuksia tulee pesujärjestelmien käyttämästä sähköstä sekä vedestä, käytetyistä pesu- että desinfiointiaineista, astiointilaitteistosta sekä piimaasuodattimesta. Näiden kulujen arvioiminen on tässä vaiheessa vaikeaa, mutta nämä kulut eivät nosta kokonaiskulua huomattavasti. Jolloin laskettu, suuntaa-antava arvio vuotuisista käyttökustannuksista on riittävä. Vuosikatteella lyhennetään pankkilainaa ja maksetaan lainan korkoja. Työvoimakustannukset on suunniteltu pidettävän matalana, sillä ulkopuolista työvoimaa ei tarvitse ainakaan alkuvaiheessa palkata. Kun yritys on saanut myyntikanavia auki ja toiminta pyörii vakaasti, voi toiminnasta yrittäjät nostaa myös palkkaa.

#### 12.5 Kustannukset ja takaisinmaksuaika hakelämmityksen kuumavesikierron liittämiseksi tuotantolaitteiston kuumavesivaraajaan

Selvyyden vuoksi tuotantotilan kuumavesivaraajaa kutsutaan tästä eteenpäin lämpöakuksi. Hakekattilan kuumavesikierto voidaan liittää panimotilan lämpöakkuun, jolloin akun lämpötilaa nostettaisiin myös hakelämmityksen avulla, eikä ainoastaan sähkövastuksilla. Kuumaa vettä tuotantotiloissa tarvitaan, sillä sen avulla voidaan lämmittää tuotantotilaa, lisäksi kuumaa vettä voidaan käyttää laitteistojen sekä mäskin pesuun. Lisäksi lämpökusta voidaan ohjata kuumavesikierto sähkövastusten tueksi mäs-käys- ja keittokattilan vaippaan.

Verstaassa sijaitsevalta 3500 litran kuumavesivaraajalta liitetään kuumavesikierto tuotantotilan lämpöakkuun 100 metrin mittaisen lämpökanaalin avulla. Lämpöakkuun asennetaan anturi, joka pysäyttää tai hidastaa vesikierron, kun lämpötila lämpöakussa nousee yli asetetun arvon. Sama anturi nopeuttaa vesikiertoa, kun lämpöakun lämpötila laskee asetetun lämpötilan alapuolelle. Hakepannussa on automatisoitu järjestelmä, joka vesikierron viilentymisestä tai lämpenemisestä johtuen kasvattaa vai vähentää palotapahtumaa. Järjestelmä siis säätelee hakepannulta lähtevän veden lämpötilaa lisäämällä hapen ja hakkeen määrää pannussa. Tällöin lämpöakun anturin aiheuttama reaktio vaikuttaa hakepannun lämmöntuotantoon lisäävästi tai vähentäen lämmöntuotantoa.

Suunnitelluissa panimotiloissa ei ole tällä hetkellä juoksevaa talousvettä. Panimotiloihin täytyy liittää talousvesi verstaalta, jolloin talousvesi sekä kuumavesikierto tulisivat saman eristetyn putken sisään ja samaan lämpökanaalikaivantoon. Kaivanto pitää siis kaivaa joka tapauksessa, mutta eristetyn putken kustannus kaksinkertaistuu, kun siinä kulkee talousveden lisäksi kuuman veden meno- sekä paluuputki. Toisin sanoen kaivannon, eristetyn putken sekä putkien liitäntöjen kustannuksista puolet kohdistuvat kuumavesikierrolle ja puolet talousveden liittämiseen.

Neliputkinen Uponor Ecoflex Quattro soveltuu lämmitysveden ja käyttöveden johtamiseen tuotantotilaan. Virtausputkista kaksi on tarkoitettu käyttövedelle ja toiset kaksi lämpöjohtokäyttöön. Eristetyn putken kokonaishalkaisija on 175 mm ja putken kustannus 91,08 €/metri. (Taloon Yhtiöiden www-sivut 2016.) Putken kokonaiskustannus on 9108 €:a, kun välimatka on 100 m. Puolet tästä kustannuksesta voidaan ajatella kohdistuvan talousveden liittämiseen verstaalta tuotantotilaan ja puolet kuumalle vesikierrolle. Kuumavesikierrolle kohdistuu putkikustannuksia 4 554 €. Tähän lisäksi putkimiehen palkka, noin 800€ sekä puolet lämpökanaalin kaivamisen kustannuksista noin 800 euroa. Yhteiskustannukset ovat 6154 €:a.

Aikaisemmin on todettu, että valmistettaessa 1000 litran panosta, mäskäyksen, keiton ja pastöroinnin yhteenlaskettu kulu lämmöntuottamiseen sähköllä on noin 34 €. Näiden toimintojen lisäksi vettä käytetään pesuihin sekä tilan lämmitykseen. Jos tarvitusta

lämmöstä arviolta 40 %:ia voidaan saada tuotettua hakepolttimen kuumavesikierron avulla, on panoskohtainen säästö 14 €/a. Jos tuotetaan kaksi 1000 litran panosta viikossa, vuosittainen säästö on noin 1 450 €. Liittämiskustannuksen ollessa 6154 €, takaisinmaksuajaksi muodostuu alle 4,5 vuotta.

### 13 JOHTOPÄÄTÖKSET

Oluen valmistus on monivaiheinen biotekninen ja -kemiallinen prosessi monine lainalaisuuksineen, joka vaatii paljon tietoa, taitoja ja tekniikkaa. Tämän opinnäytetyön laatimisen myötä kirjoittaja onnistui laatimaan hyvän tietopaketin oluen valmistuksen laajasta teoriasta. Työstä tuli hyvä peruspaketti, johon on tulevaisuudessa tarpeen tullen helppo palata.

Opinnäytetyössä onnistuttiin raamittamaan laitteiston investointikustannuksia. Slovakialainen Techimpex breweries & microbreweries vaikutti toimijana luotettavammalta kuin Chech Mini Breweries, joiden hinnasta puuttui arvio asennus-, toimitus- sekä käyttöönottokuluista. Lisäksi Tšekkiläisen toimittajan vierteen valmistuskalusto sekä käymistankit vaikuttivat perusteettomasti kalliimmilta. Techimpex breweries & microbreweries antoi tarjouksessaan hintoja myös eri kokoisille laitteistoilleen. Heidän lähettämänsä informaatio antoi hyvin suuntaa puoliautomaattilaitteiston hinnan muodostumiselle.

Laitteiston kokoa lähdettiin mitoittamaan sen oletuksen pohjalta, että 1 m<sup>3</sup> valmista olutta on sopiva panoskoko. Microbrewery BlonderBeer Type N (D) 1000 l Compact -laitteistolla voidaan valmistaa 1000 litran panoksia ja jopa 300 000 litraa olutta vuodessa. Techimpex breweries & microbreweries antoi laitteistosta 196 320 €:n tarjouksen. Opinnäytetyössä tehtyjen laskelmien mukaan, oluen vuosituotannon sekä vuosittaisen myynnin tulisi yltää vähintään 60 000 litraan, jotta toiminta olisi kannattavaa. Tällä myynnillä saavutetaan noin 44 000 €:n kate tuotantokustannusten jälkeen. Tuotannon ei kuitenkaan tulisi ylittää 100 000 litraa vuodessa, jotta voidaan hyötyä valtion myöntämistä verohelpotuksista pienpanimoille. Pyrittäessä 60 000 - 100 000 litran vuosituotantoon, on mahdollista käyttää myös 300 - 500 litran panoskoon laitteistoa. Pienempi laitteisto käyttää vähemmän energiaa ja raaka-aineita, vaatii vähemmän lattiapinta-alaa, on investointina halvempi sekä sillä voidaan valmistaa pienempiä erikoiseriä olutta markkinoille. Jatkotutkimuksena pitäisi kilpailuttaa eri valmistajien 300 - 500 litran laitteistoja, jotta voidaan varmistua optimaalisesta laitteistokoosta.

Panoskohtainen kustannus raaka-aineiden ja energiakulutuksen osalta vaikutti kohtuulliselta. Panoksen ollessa 1000 litraa, sen valmistuskulut ovat noin 190 euroa ja

0,19 €:a olutlitraa kohden. Näihin kustannuksiin ei sisälly pullotusta, tölkitystä tai etiketöintiä vaan oluen astioiminen kegeihin.

Opinnäytetyössä pohdittiin myös hakelämmityksen kuumavesikierron liittämistä tuotantotilan lämpöakkuun ja todettiin se kannattavaksi. Liittämisen takaisinmaksuaika on alle viisi vuotta ja koska panimotiloissa kuluu paljon lämpöä sekä kuumaa vettä, liittämällä saavutetaan säästöjä.

Edellytykset panimon perustamiseen maatilalla on valmiina. Tehtyjen laskelmien pohjalta näyttäisi, että panimon toiminta olisi kannattavaa, kunhan myyntikanavat saadaan neuvoteltua. Seuraava vaihe on vaadittavien lupien kartoittaminen sekä rakennusteknisten parannusten suunnitteleminen määräysten mukaisiksi. Lisäksi tavoitteena on mallastaa viljelty ohra oman panimon raaka-aineeksi, jatkotutkimuksena tulisi selvittää mallastamon vaatimat resurssit muun muassa tilojen, laitteistojen ja investointien osalta.

## LÄHTEET

Bon, A. Brewery BlonderBeer. Type D (N) 1000 l -offer. Vastaanottaja: malmi.johanna@gmail.com. Lähetetty 21.11.2016 klo 12.04.23. Viitattu 26.1.2017.

Czech Mini Breweriesin www-sivut. 21.11.2016. [www.czechminibreweries.com](http://www.czechminibreweries.com)

Elintarvike- ja maatalousjärjestön www-sivut. Viitattu 25.1.2017. [www.fao.org](http://www.fao.org)

Enari, T-M & Mäkinen, V. 2014. Panimotekniikka. 3. uud. p. Espoo: Oy Panimolaboratorio-Bryggerilaboratorium Ab.

Jyväskylän yliopiston www-sivut. Viitattu 17.1.2017. <http://jyu.fi>

Järmälä, A. 1995. Kotipanimomestarin käsikirja. Järmälä.

Kiiski, Markku. 2007. Energiatehokkuus panimon tuotantoprosessissa. AMK-opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu.

Korppinen, S ja Nikulainen, H. 2014. Suomalaiset pienpanimot. Kirjakaari.

Kronesin www-sivut. Viitattu 2.1.2017. <http://www.krones.com>

Laita S. & Ylä-Tuuhonen M. 2014. Pienpanimon mäskistä tehty biokaasu näyttää mal-  
lia miljoonahyötyjen kehittämiseen. Viitattu 30.1.2017. [www.hs.fi](http://www.hs.fi)

Lehtinen, A. 2014. Yks olut. Helsinki: Werner Söderström Oy.

Luonnonvarakeskuksen www-sivut. Viitattu 30.1.2017. <http://www.luke.fi>

Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK ry:n www-sivut. Viitattu 30.1.2017. <http://www.mtk.fi>

Mosen, A. 2005. Beet-Sugar Handbook. John Wiley & Sons, inc.

Olutliiton www-sivut. Viitattu 17.1.2017. <http://olutliitto.fi>

Panimoliiton www-sivut. Viitattu 12.1.2017. <http://www.panimoliitto.fi>

Pienpanimoliiton www-sivut. Viitattu 16.1.2017. <http://pienpanimoliitto.fi>

Puukka, Juha. 2015. Pienpanimon käyttöönotto. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Raatikainen, Karri. 2016. Vierteen valmistuksen automatisointi. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Sinebrychoffin www-sivut. Viitattu 21.12.2016. <http://www.sinebrychoff.fi>

Sysilä, I. 1995. Ohrapellosta etiketin taakse. 2. p. Helsinki: Limes ry.

Taloon Yhtiöt Oyn www-sivut. Viitattu 11.1.2017. <http://www.taloon.com>

Techimpexin www-sivut. Viitattu 26.1.2017. [www.techimpex.sk/en](http://www.techimpex.sk/en)

Verohallinnon www-sivut. Viitattu 1.2.2017. [www.vero.fi](http://www.vero.fi)