

**Low oxygen brewing (LOB) -tekniikan käyttäminen oluen
valmistusprosessissa ja sen vaikutus oluen makuun**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikka

Kevät 2023

Kari Kujansuu

Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä Kari Kujansuu

Työn nimi Low oxygen brewing (LOB) -tekniikan käyttäminen oluen valmistusprosessissa ja sen vaikutus oluen makuun

Ohjaaja Susanna Peltonen

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa kaksi eri oluterää, toinen tavallisen valmistusprosessin tyyliin ja toinen low oxygen brewing (LOB) -tekniikalla. Tavoitteena oli valmistaa olutta, jossa on selkeämpi ja raikkaampi maltaan aromi ja flavori kuin tyyppillisissä oluissa. Opinnäytetyö toteutettiin Hämeen ammattikorkeakoulun Visamäen kampuksen opetuspanimolle. Tekniikan tarkoituksena on minimoida kontakti ilman ja siinä olevan hapen kanssa valmistusprosessin eri vaiheissa. Valmistettaessa olutta LOB-tekniikalla pitäisi lopputuotteen aromista ja flavorista tulla maltaisempi ja ulkonäöstä kirkkaampi. Tämä maltainen ja raikas aromi sekä flavori on peruja modernien panimotekniikoiden käyttämisestä, joissa pyritään juuri eliminoimaan lämpimien ja kylmien olosuhteiden hapettumista.

Matalan happipitoisuuden paneminen minimoi sellaisten mikrobien kasvua, jotka käyttävät ravinnokseen happea. Tämä vaikuttaa positiivisesti makuprofiiliin, sillä se vähentää sellaisten mikrobien määrää, jotka aiheuttavat makuhaittoja ja jotka ovat kontaminantteja. Valmistettavien oluiden tyyli oli lager. Lopuksi näitä kahta tuotetta vertailtiin keskenään ja järjestettiin aistinvaraisen arvioinnin tilaisuus, josta saatiin tämän työn tulokset. Työssä käydään läpi oluen valmistusprosessin tärkeimpiä kohtia, jotka ovat hapen määrän kannalta merkittäviä sekä LOB-tekniikkaa on avattu vielä erikseen omana kohtanaan. Oluen käytännön valmistuksen vaiheet on kuvattu eräkohtaisesti omina kohtinaan ja lopputuotteen analyysit ja johtopäätökset löytyvät työn lopusta.

Lopputuotteita arvioitiin aistinvaraisten menetelmien keinoin. Valmistusprosessin aikana happipitoisuuden mittaaminen epäonnistui happimittarin ollessa käyttökelvoton. Valmistetuista oluteristä analysoitiin ulkonäköä, aromia, flavoria ja suutuntumaa. Lisäksi tehtiin myös kaatokokeita, jolla tutkittiin vaahdon muodostumista. Kaikki tulokset huomioiden, todettiin, että low oxygen brewing (LOB) -tekniikalla valmistettu olut oli aromiltaan ja flavoriltaan maltaisempaa ja makeampaa kuin tavallinen olut. LOB-olut oli hieman sameampaa ja hieman vaaleampaa kuin toisen erän olut ja siinä oli vähemmän hiilihappoja, jonka takia kaatokokeen tulokset olivat paremmat tavallisen oluen kohdalla.

Avainsanat Low oxygen brewing LOB, valmistusprosessi, flavori, aineenvaihdunta, aistinvarainen arviointi

Sivut 40 sivua ja liitteitä 2 sivua

Degree Programme in Biochemistry and Food Engineering

Abstract

Author Kari Kujansuu

Year 2023

Subject Using low oxygen brewing (LOB) technique in brewing process and its effects on the beer flavor

Supervisor Susanna Peltonen

The purpose of the thesis was to produce two different beer batches, one with the typical brewing technique and the other with low oxygen brewing (LOB) technique. The aim was to make beer with a clearer and fresher malt aroma and flavour compared with typical beers. The commissioner of this thesis was the teaching brewery of Häme University of Applied Sciences (HAMK Hämeenlinna University Centre). In general, the LOB technique is designed to minimize contact with air and the oxygen in it at different stages of the brewing process. When brewing beer using LOB, the aroma and the flavor of the finished product should become maltier and the appearance brighter. This malty and fresh aroma and flavor are the roots of modern brewing techniques that aim to eliminate the oxidation of the wort both in warm and cold conditions.

Low oxygen brewing minimizes the growth of certain microbes, which use oxygen as nutrition. This has a positive effect on the flavor, as it reduces the number of microbes that cause taste problems and are contaminants. The beer to be produced was lager. At the final stage, the two products were compared with each other in a tasting session (sensory evaluation). A major part of the results came from the flavor analysis. This thesis contained also the most important aspects of the brewing process, which are important in terms of the amount of oxygen. In addition, the LOB technique as well as the steps in the practical beer production of each batch were described separately in their own parts of the thesis. The analyzes and conclusions of the final products can be found at the end of the thesis.

The final products were evaluated using sensory methods. During the brewing process, measuring dissolved oxygen failed because the dissolved oxygen meter was unusable. This was an unfortunate setback, since to get measurements from the amounts of dissolved oxygen in different parts of the brewing process would have been worth considering. The finished beer batches were analyzed for appearance, aroma, flavor, and texture. In addition, beer pouring tests were also performed to investigate the formation of the foam. Taking all the results into account, it was found that the beer produced using LOB technique had a more malty and sweeter aroma and flavor than the regular beer, the LOB beer being also slightly cloudier and paler. It also had less carbonation, which on the other hand made the pouring tests results better for the regular beer.

Keywords Low oxygen brewing LOB, brewing technique, flavor, metabolism, sensory evaluation

Pages 40 pages and appendices 2 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Oluen valmistusprosessi	2
2.1	Maltaiden rouhinta	3
2.2	Mäskäys.....	3
2.2.1	Tärkkelyksen hydrolyysi	4
2.2.2	Proteiinien hydrolyysi.....	5
2.2.3	β -glukaanien hydrolyysi	6
2.2.4	Mäskäysmenetelmät.....	7
2.3	Hiiva ja hiivan valinta	8
2.3.1	Panimohiiva.....	9
2.3.2	Hapen vaikutus hiivan toimintaan	10
2.4	Vierteen valmistus	11
2.4.1	Keitto	11
2.4.2	Jäähdytys ja ilmastus.....	12
2.5	Käyminen.....	12
2.5.1	Primäärikäyminen	13
2.5.2	Flavorin muodostus.....	15
2.5.3	Käymishäiriöt.....	16
2.6	Astiointi	17
2.6.1	Jälkikäyminen	18
3	Low oxygen brewing (LOB) -tekniikka	19
4	Työn suoritus	21
4.1	Valmistus.....	22
4.1.1	Tavallinen erä	22
4.1.2	LOB-erä.....	27
4.1.3	Erien pullotus	30
4.1.4	Alkoholipitoisuuksien laskeminen.....	31
4.1.5	Tavallisen erän alkoholipitoisuudet	32
4.1.6	LOB erän alkoholipitoisuudet.....	33
5	Tulokset ja tulosten analysointi.....	33

5.1	Normaali lager.....	34
5.2	LOB-olut	34
5.3	Aistinvaraisen arvioinnin tulokset ja niiden vertailu	35
6	Johtopäätökset ja pohdinta.....	38
	Lähteet.....	40

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Eri kasvien tärkkelysjuvästen liisteröitymislämpötilat (Enari & Mäkinen, 1993, s. 86)	5
Kuva 2. Mäskäyksessä muodostuvien vapaiden aminohappojen määrät (Enari & Mäkinen, 1993, s. 87)	6
Kuva 3. Kolmikeittomäskäysmenetelmän lämpötilakäyrät (Enari & Mäkinen, 1993, s. 89)	8
Kuva 4. Ohjelmoidun infuusiomäskäyksen lämpötilat (Enari & Mäkinen, 1993, s. 91)	8
Kuva 5. Panimohiivan solurakenne (Enari & Mäkinen, 1993, s. 114)	10
Kuva 6. Käymisdiagrammi (Enari & Mäkinen, 1993, s. 150)	15
Kuva 7. Vedellä täyttämisen jälkeen keittokattilasta valittiin mäskäysohjelma.	23
Kuva 8. Siivilöinti ja huuhtelu vaihe käynnissä, mäskiputki nostetaan kerroksittain ylös käyttäen apuna kehikkoa.	24
Kuva 9. Vierteen jäähdyttämistä immersiohauduttimella.	25
Kuva 10. Vierre kanistereissa prosessin primäärikäymisvaiheessa 12 asteisessa viinikaapissa.	26

Kuva 11. Rouhitut maltaat säilöttynä ämpäreihin ja minigrip-pusseihin.....	27
Kuva 12. Käytettävän LOB-laitteiston osat.	27
Kuva 13. Ennen prosessin aloitusta vettä kiehutetaan kattiloissa, jotta happipitoisuus saadaan mahdollisimman lähelle nollaa.	29
Kuva 14. Valmistetut oluet vierekkäin kupeissa. Oikealla oleva LOB-olut on hieman vaaleampaa ja se on sameampaa kuin normaali olut.	35
Kuva 15. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset taulukoituna. Vasemmalla LOB-oluen tulokset ja oikealla tavallisen oluen tulokset.	36
Kuva 16. LOB-oluen arvioinnin tulokset esitettynä pylväskaavion muodossa. Kohdat kulkevat samassa järjestyksessä kuin taulukossa ja pylväsparit ovat aina toistensa vastakohtat (vaalea ja tumma yms.).	36
Kuva 17. NOR-oluen arvioinnin tulokset esitettynä pylväskaavion muodossa. Kohdat kulkevat samassa järjestyksessä kuin taulukossa.	37

Liitteet

Liite 1.	Aistinvaraisen arvioinnin lomake
----------	----------------------------------

1 Johdanto

Low oxygen brewing (LOB) -tekniikan tarkoitus on valmistaa olutta niin, että prosessin aikana happipitoisuus olisi mahdollisimman matala. Näin ollen koko prosessin ajan pitää huolehtia, ettei altistusta liialliselle hapelle tapahdu prosessin aikana, sekä myös siitä, että käytetyn veden happipitoisuus ei ole liian korkea. Pitää kuitenkin muistaa, että oluen käymisprosessi tarvitsee happea onnistuakseen. LOB-tekniikan itu onkin siinä, että matalan happipitoisuuden ylläpitämiseen pitää löytää kultainen keskitie niin ettei pitoisuus ole liian korkea tai liian matala. Tekniikan tavoitteena on valmistaa olutta, jossa on selkeämpi ja raikkaampi maltaan aromi ja flavori kuin tyyppillisissä oluissa. Tämä on myös omassa työssäni tavoitteena, eli saada maltaiset aromit paremmin esiin hyödyntämällä LOB-tekniikkaa. Valmistettavaksi olut tyyppiä olen valinnut lager-tyylisen oluen. Tähän valintaan päädyttiin, koska lagerit ja pilsnerit ovat suositeltuja valmistaa tällä tekniikalla. Makuerot tulevat myös parhaiten esiin tämän tyylistä tuotteista.

Tarkoituksena on siis tutkia LOB-tekniikan vaikutusta oluen makuun vertailemalla kahta samoista aineksista valmistettua olutta, jossa toisessa on käytetty LOB-tekniikkaa valmistusprosessissa ja toisessa ei. Työn lopputuloksena on tarkoitus saada tietoa tämän tekniikan vaikutuksesta lopputulokseen eli itsessään valmiiseen tuotteeseen. Työn tuotteet ovat erittäin alttiita makuvirheille, jonka takia valmistetaan vielä kaksi ns. varaerää, jotta saataisiin vähintään yksi onnistunut tuotos molemmista eristä. Valmistetaan siis kaksi LOB-erää ja kaksi tavallista erää, eli neljä erää kokonaisuudessaan. Erien valmistuttua lopuksi suoritetaan vertaileva makutesti, jonka tarkoituksena on verrata ja arvioida näiden kahden tuotteen makua ja eroavaisuuksia.

Työ toteutetaan Hämeen Ammattikorkeakoulun Visamäen kampuksen opetuspanimolle. Työkaluina käytetään koulun panimokalustoa ja yllä mainittua LOB-laitteistoa. Kyseistä LOB-laitteistoa ei ole käytetty kertaakaan opetuspanimolla, joten suurin merkitys työstä tulee opetuspanimolle. Lisäksi LOB -tekniikka on kaiken kaikkiaan hyvin vähän käytetty metodi oluen valmistuksessa, joten sen tutkiminen opinnäytetyö aiheena herättää varmasti myös panimoiden mielenkiinnon. Lähden rakentamaan tätä opinnäytetyötä seuraavien tutkimuskysymysten ympärille:

- Mitkä ovat oluen valmistusprosessin vaiheet ja mitkä niistä ovat alttiita hapelle?
- Mitkä ovat keinot happipitoisuuden määrittämiselle ja miten sitä kontrolloidaan?
- Miten low oxygen brewing (LOB) -tekniikalla valmistettu olut eroaa tavanomaisesta oluesta?

Menetelminä on käytetty tiedonhakua, jolla on vastattu ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen. Toiseen ja kolmanteen tutkimuskysymykseen vastaukset saadaan valmistusprosessin seurannasta ja mittauksista sekä vertailevasta makutestistä, joka suoritetaan kohderyhmälle aistinvaraisena arviointina. Valmistusprosessia ja sen vaiheita seurataan tarkoin koko prosessin ajan.

Happipitoisuuden seurantaan käytetään siihen tarkoitettua mittaria, jotta saadaan selvitettyä tuotteen happipitoisuus eri prosessin vaiheissa. Happipitoisuuden mittaukseen tarkoitettu mittari oli kuitenkin käyttökelvottomassa kunnossa. Tämän jälkeen pohdittiin muun muassa liuenneen hapen titrimetristä määrittämistä, mutta menetelmä osoittautui liian vaativaksi. Päädyttiin siihen, että työn lopputulosta arvioidaan vain aistinvaraisen arvioinnin voimin.

Vertailevaa makutestiä varten kutsuttiin koolle aistinvaraisen arvioinnin tilaisuus. Tätä varten on luotu aistinvaraisen arvioinnin lomake, jotta kohderyhmän olisi helpompi vertailla arvioitavia tuotteita ja sitä kautta saadaan mahdollisimman paljon tutkimuksen kannalta tärkeää tietoa. Arvioinnin tulokset on analysoitu kohdassa 5 Tulokset ja tulosten analysointi.

2 Oluen valmistusprosessi

Opinnäytetyön tässä osassa käydään läpi oluen valmistusprosessia. Kuitenkaan valmistusprosessin kaikkia vaiheita ei käydä läpi, vaan ainoastaan ne joihin hapen määrällä saattaa olla merkittävä vaikutus.

Koko oluen valmistusprosessin ajan taustalla vaikuttaa redox-reaktiot eli hapetus-pelkistysreaktiot. Ne alkavat raaka-aineiden keräämisestä (ohra ja humala) ja jatkuvat aina siihen asti, kun itsessään olut on kulutettu. Redox-reaktiot, jotka tapahtuvat aivan prosessin

alussa (mm. vierteen valmistus) ovat aivan yhtä tärkeitä kuin ne, jotka tapahtuvat prosessin lopussa. Redox-reaktioita tapahtuu myös käymisen aikana, mutta ne ovat vahvasti sidonnaisia hiivan aineenvaihduntaan. (Fix, 1989, s. 126)

2.1 Maltaiden rouhinta

Käytettävät maltaat rouhitaan ennen mäsäyksen aloittamista. Tämä tehdään siksi, jotta entsyymaattiset reaktiot ja uutto olisivat mahdollisimman tehokkaita. Nykyään käytetään enimmäkseen märkärouhintaa, mutta aikasemmin valssimyllyllä maltaan kuivana rouhiminen oli yleisempää. Maltaiden rouhinta edistää ja nopeuttaa uuttumista ja on prosessin kannalta välttämätöntä. Kun mäsätään, maltaista uutetaan entsyymit jotka sitten hydrolysoituvat liukenemattomaan substraattiinsa. Uuttuminen ja hydrolyysi ovat tehokkaimmillaan silloin, kun mallas on jauhettu hienojakoiseksi. Näin ollen hienoksi jauhettu mallas sitoo itseensä myös paljon nestettä. Osana prosessia vierre erotetaan liukenemattomista aineista (ravasta) uuden sukupolven mäsäsuotimessa tai perinteisessä siiviläammeessa. Uutteen pesemiseksi pois ravasta tarvitaan usein suuria määriä vettä. Jauhatusaste riippuu käytettävästä makean vierteen erotusmenetelmästä. Tämän takia onkin tärkeää että rouhiminen säädetään prosessin kannalta optimaaliseksi niin, ettei esimerkiksi liian hieno jauho hidasta siivilöintiä. Tällöin myös itsessään vettä menee vähemmän, ja uute saadaan erotettua ravasta paremmin. Jotta saadaan hyvä uutensaanto, rouheen on oltava niin hienoa että tähän pystytään, muttei kuitenkaan niin hienoa että siiviläammetyöskentely hidastuu liikaa. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 83 & 96.)

Jauhatusprosessi on erittäin altis hapelle, eli valmistaessa olutta low oxygen brewing menetelmällä pitää huolehtia siitä, ettei etenkään rouhituiden maltaiden säilytysastioihin pääse suuria määriä happea. Tämän vuoksi suositellaan käytettävän ilmatiiviitä astioita.

2.2 Mäsäys

Itämisen aikana alkaneet entsyymaattiset hajoamisreaktiot jatkuvat mäsäyksen aikana. Mäsäyksessä hyväksi käytettävien hydrolyyttisten entsyymien tehtävä on endospermin vararavinnon hajottaminen, ja se jatkaa toimintaansa koko mäsäysprosessin ajan.

Entsyymien toimintaa tulee säätää niin, että saavutetaan haluttu hydrolyysiaste. Tähän käytettävää menetelmää kutsutaan lämpötila-aika ohjelmaksi. Prosessin aikana tärkeimmät entsyymaattiset reaktiot ovat proteiinien, tärkkelyksen ja β -glukaanien hajoaminen yhdisteiksi, jotka liukenevat vierteeseen. Vierre on käymiskelpoinen sokeriliuos, joka syntyy mäsikäysprosessissa. Entsyymien, jotka osallistuvat näihin reaktioihin, optimilämpötilat ja optimi-pH-arvot ovat mäsikäyksen ohjauksen kannalta tärkeitä. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 84)

Kaikkiin entsyymireaktioihin vaikuttaa oleellisesti pH, niin myös mäsikäykseen. pH on normaalisti mallasvierteessä on 5,7 – 5,8 luokkaa. Mäskin pH:ta voidaan myös säätää happoa lisäämällä 5,2 – 5,3 kohdille, jonka seurauksena saavutetaan seuraavia etuja: sokeroitumisajan lyheneminen, käymisasteen nouseminen, vapaan aminotyypin nouseminen, uutensaannon paraneminen, vierteen värin vaaleneminen ja polyfenolipitoisuuden nouseminen. Yllämainitut vaikutukset ovat seurauksia siitä, että alennettu pH on edukkaampi proteolyttisille entsyymeille ja amylaaseille. Ainoa haitallinen mainituista vaikutuksista on polyfenolipitoisuuden nousu, ja se johtuu polyfenolien paremmasta uuttumisesta alhaisessa pH-arvossa. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 88)

2.2.1 Tärkkelyksen hydrolyysi

Ohran endospermissä tärkkelys on järjestäytynyt tärkkelysjyväsiin. Sitä esiintyy kiteisenä amyloosina (n. 20 %) ja amylopektiininä (n. 80 %). Jyvästen kiinteä ja kiteinen rakenne on kestävä amylaasien toimintaa vastaan. Kun tärkkelystä kuumennetaan, amylopektiini turpoo ja muodostaa geelin, joka on altis amylaasien hydrolyyttiselle toiminnalle. Tätä reaktiota kutsutaan tärkkelyksen liisteröitymiseksi. Mallasta käytettäessä raaka-aineena tärkkelyksen liisteröityminen tapahtuu tavallisimmin mäsikäysprosessissa. Tämä siksi, koska tärkkelyksen rakenne on jo idätyksen aikana osittain hajonnut. Liisteröitymistä tapahtuu, kun kuumennetaan jauhettu vilja pienen mallasmäärän (α -amylaasi) kanssa erikseen ennen kuin se lisätään mäsikäykseen. Eri kasveilla on erikokoisia ja rakenteeltaan erilaisia tärkkelysjyväsiä, jonka takia myöskin liisteröitymislämpötilat ovat erilaisia.

Kuva 1. Eri kasvien tärkkelysjyvästen liisteröitymislämpötilat (Enari & Mäkinen, 1993, s. 86)

Tärkkelyslaji	Liisteröitymislämpötila °C
Peruna	55-60
Vehnä	60-85
Maissi	65-75
Ohra	60-80
Riisi	80-85

Jo liisteröitynyt tärkkelys hajoaa α - ja β -amylaasin vaikutuksesta, jonka seurauksena täydellisen sokeroitumisen tuloksena on maltoosi. Amyloosi on suoraketjuinen glukoosipolymeeri, jonka β -amylaasi itsessään voi hajottaa maltoosiksi. Amylopektiinin α -1,6-sidokset pysäyttävät β -amylaasin toiminnan, jonka seurauksena syntyy rajadekstriinejä. α -amylaasi hydrolysoi α -1,4-sidoksia myös ketjun keskeltä ja avaa näin uusia ketjunpäitä β -amylaasille. Nämä kaksi amylaasia hydrolysoivat amylopektiinin varsin pitkälle, mutta eivät kuitenkaan täydellisesti. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 85)

Tavoitteena mäsäysprosessissa ei kuitenkaan ole tärkkelyksen täydellinen hydrolyysi. Jotta oluesta tulee täyteläinen, valmistuvaan vierteeseen halutaan myös dekstriinejä. Mainittujen amylaasien toiminnan suhdetta voidaan säätää lämpötilan avulla. β -amylaasin optimilämpötila on 62 – 65 °C. Jos lämpötilan nostaa nopeasti ohi tämän optimin (esim. 70 °C), tulee α -amylaasi toimimaan olosuhteissa, joissa β -amylaasi on jo inaktivoitu. Tässä tilanteessa muodostuu paljon dekstriinejä, joilla ei ole enää kykyä hajota edelleen käymiskelpoisiksi sokereiksi. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 86)

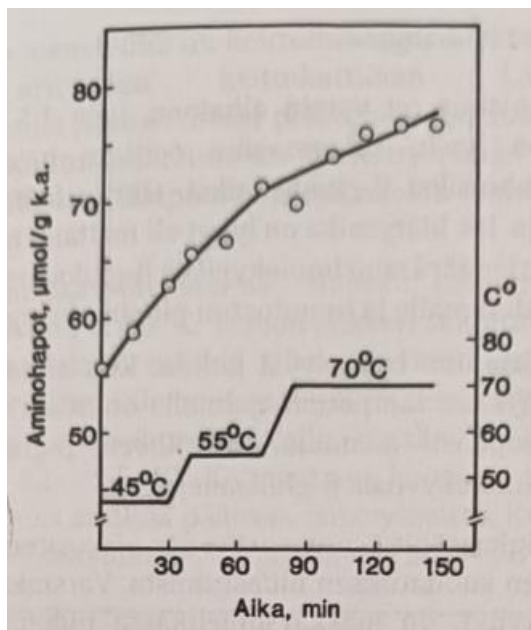
2.2.2 Proteiinien hydrolyysi

Ohrassa olevien proteiinien hajoaminen liukoisiksi yhdisteiksi, peptideiksi ja aminohapoiksi alkaa jo mallastuksessa, mutta jatkuu vielä myös mäsäyksen aikana. Proteolyysin merkitys on ratkaiseva vierteeseen joutuvien hajoamistuotteiden määrän kannalta. Proteolyysi tapahtuu mallastuksessa, jonka takia mäsäysvaiheessa on suhteellisen pieniä mahdollisuuksia vaikuttaa proteolyysiin. Noin 8 % kaikista ohran proteiinien aminohapoista on jo vapautunut mallastuksessa, eli voimme todeta, että maltaiden vapaa aminohappopitoisuus on suhteellisen korkea. Aminohappojen määrä kasvaa 40 - 60 %

mäskäyksen aikana. Näistä aminohapoista suurin osa vapautuu peptideistä, jotka ovat jo mallastuksen aikana muodostuneet. Mäskäyksen jälkeen valtaosa ohran proteiineista on edelleen liukenemattomassa muodossa ravassa eli mäskäysjätteessä.

Proteinaasien lämpötilan kestävyys on melko alhainen, jonka seurauksena ne tuhoutuvat jo mäskäyksen ensimmäisissä vaiheissa. Suurin osa aminohapoista (~ 80 %) vapautuu karboksipeptidaasien toimesta. Tämän kaltaiset entsyymit sietävät varsin hyvin korkeita lämpötiloja ja toimivat vielä 70 °C lämpötilassa. Vapaana olevien aminohappojen muodostuminen jatkuu näin koko mäskäysprosessin ajan. (Enari & Mäkinen, 1993, ss. 86-87)

Kuva 2. Mäskäyksessä muodostuvien vapaiden aminohappojen määrät (Enari & Mäkinen, 1993, s. 87)



2.2.3 β -glukaanien hydrolyysi

β -glukaanipitoisuus ohrassa on varsin alhainen, vain 1,5 – 2,5 % sen kuivapainosta. Mallastus vaiheessa tämä jyvän rakenneaine osittain hajoaa endo- β -glukanaasin vaikutuksesta vesiliukoiseksi β -glukaaneiksi. Idätyksessä muodostuu liukoisia β -glukaaneja. Idätysajan ollessa liian lyhyt (maltaiden möyhentyminen huono), on muodostunut paljon

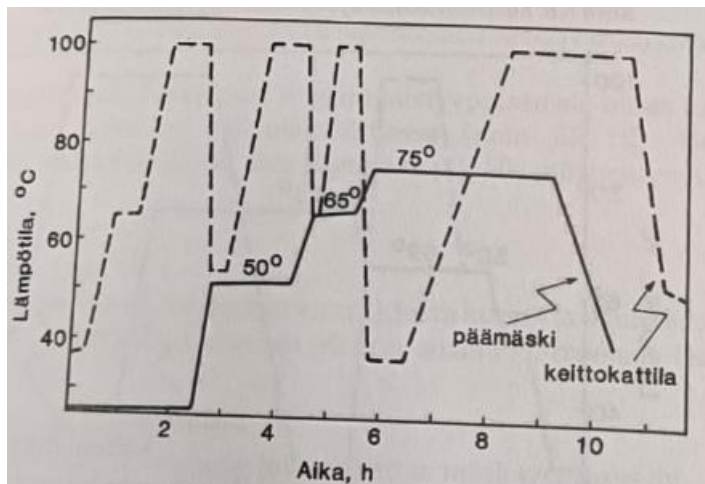
suurimolekyylisiä β -glukaaneja. Idätyksen jatkuessa myös hydrolyysi etenee pidemmälle, jonka seurauksena puolestaan muodostuu pienimolekyylisiä β -glukaaneja.

Mäskäysprosessin aikana β -glukaanien hydrolyysi jatkuu. Endo- β -glukanaasin ollessa varsin lämpöherkkä mäskäyksen lämpötilaohjelman merkitys nousee suureksi. Mäskäyslämpötilan noustessa nopeasti 60 asteeseen, β -glukanaasi inaktivoituu ja vierteeseen jää suurimolekyylisiä β -glukaaneja. Vierteen suuri β -glukaanipitoisuus nostaa sen viskositeettia, josta aiheutuu sekä siivilöinnin että suodatuksen hidastumista. Etenkin käytettäessä mallasta, joka on alimöyhentynyt, on mäskäysohjelmassa pidennettävä aikaa alhaisessa lämpötilassa (<50 °C). β -glukaanipitoisuus riippuu paljolti ohralajikkeesta ja kasvuolosuhteista. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 88)

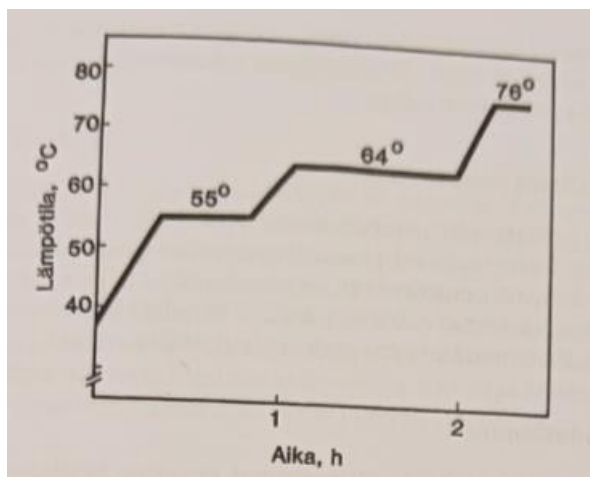
2.2.4 Mäskäysmenetelmät

Entsymaattisia reaktioita mäskäysprosessin aikana säädetään lämpötila-aikaohjelman avulla. Lämpötilan säätämisen mukaan on nimetty erilaisia mäskäysmenetelmiä. Näitä ovat: keittomäskäys (kolmikeittomäskäys) ja infuusiomäskäys. Keittomäskäys on vanhin käytetty mäskäysmenetelmä, jossa osa mäskestä siirretään mäskäyskattilasta erityiseen keittokattilaan. Lämpötilan annetaan nousta kiehumispisteeseen, jonka jälkeen mäski palautetaan päämäskiin. Näin ollen päämäskin lämpötila nousee. Keittomäskäyksen aikana osa entsyymeistä tuhoutuu mäskiä keittäessä. Tässä kohtaa entsyymiaktiivisuuden ollessa alhainen myös edukkuus on heikompa. Keiton aikana tapahtuu myös tärkkelyksen liisteröitymistä, joka on edukasta, jos maltaiden möyhentyminen on huono. Mäskin keittäminen vaikuttaa myös merkittävästi valmistettavan oluen makuun, sillä keittäessä mäskiä ennen ravan erottamista siitä liukenee yhdisteitä, jotka infuusiomäskäyksessä jäävät mäskäysjätteen sekaan. Infuusiomäskäystä vakio­lämpötilassa käytetään mm. englantilaistyyppisen ale-oluen valmistuksessa ja siinä nimensä mukaisesti mäskätään vakio­lämpötilassa (noin 65 °C). Tämä suhteellisen yksinkertainen menetelmä edellyttää, että prosessissa käytetään pitkälle möyhentynyttä mallasta. (Enari & Mäkinen, 1993, ss. 89-91)

Kuva 3. Kolmikeittomäskäysmenetelmän lämpötiläkäyrät (Enari & Mäkinen, 1993, s. 89)



Kuva 4. Ohjelmoidun infuusiomäskäyksen lämpötilat (Enari & Mäkinen, 1993, s. 91)



2.3 Hiiva ja hiivan valinta

Hiivan valinnassa on otettava huomioon, että olut tulee käymään normaalia alemmissa happipitoisuuksissa. Jotkin hiivat tarvitsevat kuitenkin käymiseen happea. Ennen käymistä vierteen joukkoon tässäkin tapauksessa sekoitetaan happea sisältävää ilmaa. Lisäksi pitää valita hiiva, joka on tyypillinen valmistettavalle lager tyylliselle oluelle. Tämän työn hiivaksi valikoitui Saflager S-23. Hiiva on oleellinen osa oluen käymisprosessia. Käymisprosessin aikana hiiva käyttää ravinnokseen käymiskelpoisia sokereita muuntaen ne alkoholiksi ja hiilidioksidiksi. Vierteen käymiskelpoiset sokerit saadaan maltaista mäskäysprosessissa.

Erilaiset hiivat tuovat olueen erilaisia flavoreita, jotka saattavat välillä yllättää. Yllä mainitut seikat tekevät hiivasta yhden tärkeimmistä raaka-aineista oluen valmistuksessa. (Daniels, 1996, s. 111)

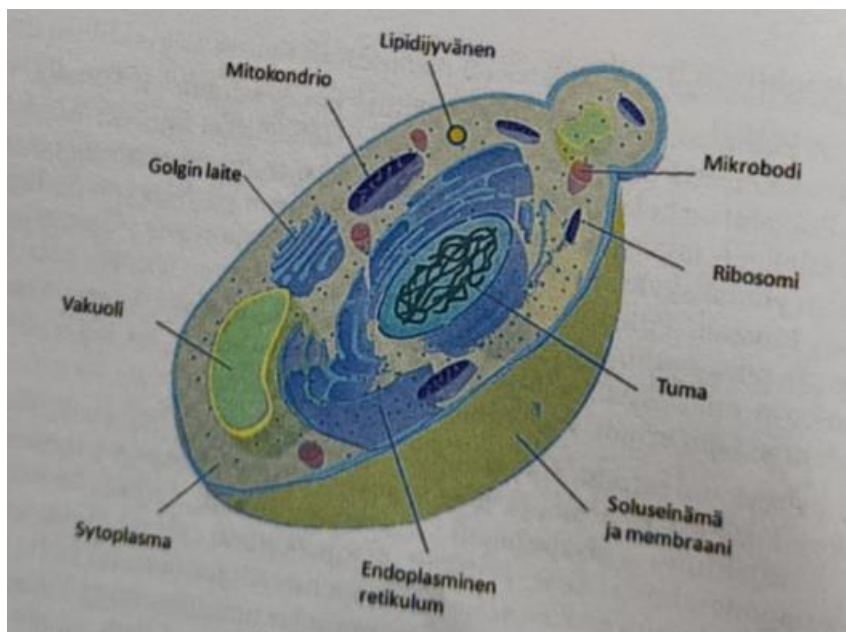
2.3.1 Panimohiiva

Hiivat ovat yksisoluisina eläviä mikroskooppisen pieniä kasveja, jotka kasvitieteellisesti luetaan kuuluviksi sieniin. Ne ovat yksisoluisia sieniä, jotka elävät sokeripitoisissa alustoissa. Ottamatta huomioon muutamaa poikkeusta, hiivat lisääntyvät kasvullisesti (vegetatiivisesti) kuroutumalla. Tämä tarkoittaa sitä, että solusta pullistuu uusi solu, joka hiljalleen kasvaa emosolun kokoiseksi, jonka jälkeen solu useimmiten irtautuu emosolusta. Hiivat lisääntyvät generatiivisesti (suvullisesti). Ne lisääntyvät siten, että kahdesta vanhemmasta tulleet itiöt (askosporit) yhtyvät (kopuloivat) keskenään ja syntyy tsygootti, joka on saanut perintötekijänsä molemmilta vanhemmiltaan. Itiöt luokitellaan haploideiksi eli niiden kromosomiluku on yksinkertainen tsygootin ollessa diploidi. Diploidin kromosomisto puolestaan on kaksinkertainen.

Oluen valmistuksessa käytettävät panimohiivat kuuluvat *Saccharomyces*-sukuun, joka on yli 10 lajin suku. Panimohiivat ovat lajiltaan joko pintahiivoja tai pohjahiivoja. Pintahiivojen tieteellinen nimi on *Saccharomyces cerevisiae* ja pohjahiivojen *Saccharomyces pastorianus*. Pohjahiivat tunnetaan myös toisella lajinimellä *Saccharomyces carlsbergensis*. Alla olevassa kuvassa on esitetty hiivasolu halkileikattuna. Solun ympärillä on soluseinä, jonka pinnalla näkyy kuroutuma-arpia. Soluseinä koostuu proteiineista ja polysakkarideista. Sisäpuolelta seinään rajoittuu solukalvo (solumembraani), joka koostuu erilaisista lipoproteiineista. Membraanin tehtävänä on säätää, mitä ravinteita pääsee soluun ja mitä metaboliatuotteita sieltä kuljetetaan ulos. Solukalvon sisällä on sytoplasma, joka on runsaasti proteiineja ja entsyymejä sisältävä kolloidinen liuos. Sytoplasmassa sijaitsee suurin osa entsyymeistä, minkä lisäksi siellä sijaitsee solulle tärkeät komponentit eli mitokondriot ja solutuma. Mitokondrioon on sitoutunut hengitysentsyymisysteemi ja solutumassa sijaitsee perinnöllisyyttä säätelevät kromosomit. Solutuman tumakalvo erottaa tuman sytoplasmasta.

Sytoplasma pitää sisällään myös solun vararavinnon. Vararavintoa ovat mm. kolloidisesti tai muuten liuenneet hiilihydraatit, polymetafosfaattijyvät ja lipidijyvät. Solun sisällöstä ison osan täyttävät vakuolit, eli nestemäisten aineiden täyttämät pallomaiset tilat. Vakuolien merkitys solulle on osittain tuntematon, mutta oletetaan, että entsyymit hajottavat niistä sellaisia metaboliatuotteita, joita ei tarvita sillä hetkellä aineenvaihdunnassa. Ribosomien tehtävä on osallistua solun proteiinisynteesiin. (Enari & Mäkinen, 1993, ss.112-114)

Kuva 5. Panimohiivan solurakenne (Enari & Mäkinen, 1993, s. 114)



2.3.2 Hapen vaikutus hiivan toimintaan

Erilaiset mikrobit tarvitsevat eri verran happea riippuen niiden elinympäristöstä. Nämä mikrobit jaetaan neljään ryhmään: aerobit, anaerobit, fakultatiivit ja mikroaerofiilit. Aerobit vaativat ehdottomasti happea, anaerobit elävät ja lisääntyvät ilman happea, fakultatiivit elävät ja lisääntyvät oli happi läsnä tai ei ja mikroaerofiilit vaativat pienen määrän happea pystyäkseen lisääntymään.

Panimohiivat ovat fakultatiiveja. Hapen ollessa läsnä, hiiva käyttää sitä solun hengitykseen pilkkoen silloin sokerin täydellisesti. Tämän seurauksena energia-aineenvaihdunnan lopputuloksena syntyy vettä ja hiilidioksidia. Voimakkaan kasvun syynä on runsas määrä

käytettävää energiaa. Jos happea puolestaan ei ole, hiiva fermentoi eli käyttää sokerit tuottaen etanolia ja hiilidioksidia. Tällöin kasvu on vähäistä johtuen etanolimolekyylin käyttämättä jääneestä energiasta. Hapettomat olosuhteet ovat välttämättömät, jos halutaan saada alkoholia muodostumaan, kun taas kasvun kannalta hapelliset olosuhteet ovat eduksi. Hiiva vaatii hapen läsnäolon eräiden solumembraanin komponenttien, eli tyydyttämättömien rasvahappojen ja sterolien synteesiin. Jos hiiva ei saa happea kasvun aikana riittävästi, rakentuu sen solumembraani puutteellisesti tai aiheuttaa sen muodostumatta jäämisen. Tästä syystä vierre ilmastetaan ennen hiivausta, koska tällä tavalla saadaan hyvään käymiseen riittävä hiivan kasvu. Panimohiivat muodostavat alkoholia myös hapen ollessa läsnä, vaikkakin tehokkaimillaan alkoholin muodostuminen on anaerobisissa olosuhteissa. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 116)

2.4 Vierteen valmistus

Hiiva tarvitsee hyvän ravinteikkaan pohjan lisääntyäkseen ja kasvaakseen. Vierteen valmistuksen tärkein tehtävä onkin tuottaa hiivaa varten riittävän hyvä ravintoliuos. Vierteen tulee sisältää hiivan tarvitsemia typpi- ja muita ravinteita sekä riittävästi käymiskelpoisia sokereita alkoholikäymistä varten. Myös halutun flavorin saavuttaminen käymisessä vaatii sen, että vierteen koostumus on oikea. Kaikkia vierteen hiilihydraatteja ei kuitenkaan haluta käyttää loppuun asti alkoholeiksi. Oluen perinteinen suutuntuma edellyttää, että olueen jää käymiskelvottomia dekstriinejä. Pääraaka-aineena vierteen valmistuksessa on tietenkin mallas sekä myös mahdolliset muut hiilihydraattilähteet. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 76)

2.4.1 Keitto

Mäskäysprosessin jälkeen suodatettu vierre keitetään vierrekattilassa, joka on hyvin samantyyppinen mäskäyskattilan kanssa. Kuumennus tapahtuu yleisimmin epäsuorana ja järjestettynä joko ulkoisen kuumennuskierron tai höyryvaipan avulla. Kiehumisen voimakkuus on keitossa tärkeää. Voimakas kiehuminen edesauttaa tehokasta proteiini-polyfenoli-kompleksien saostumista, joka antaa eväät parempaan oluen säilyvyyteen. Keittoajan pituus on yleensä 1,5 – 2 h ja haihtuminen noin 10 – 15 %. Humalat lisätään keiton aikana ja lisäysaika vaihtelee oluttyyppien mukaan. Esimerkkinä, tyypillisesti humalaa

lisätään kolmessa yhtä suuressa erässä alussa, 30 min ja 60 min keiton jälkeen. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 105-106)

Keittoprosessin aikana ei erityisesti tarvitse kiinnittää huomiota kontaktiin ilman (hapen) kanssa. Keittoprosessissa itsessään haihtuu paljon happea, joten on tärkeää, että hapella on riittävästi haihtumistilaa. Tästä syystä keittoastian olisi hyvä olla tilava.

2.4.2 Jäähdytys ja ilmastus

Yleisin ja yksinkertaisin tapa ottaa talteen energiaa on vierteen jäähdytys. Tavoitteena on jäähdyttää vierre käymislämpötilaan. Yleisimmin jäähdytys tapahtuu levylämmönvaihtimella. Pienempää oluterää valmistaessa voi myös käyttää mm. immersiohaudutinta.

Jäähdytysprosessin aikana saostuu vielä ns. kylmärupa, jonka määrä kuitenkin on pieni, noin 5 – 6 g/hl. Osassa panimoista kylmärupa poistetaan sedimentaation, separaattorin tai piimaasuodatuksen avulla. Jäähdytyksen jälkeen tapahtuu vierteen ilmastus. Pointtina on vierteen kyllästäminen ilman avulla, jolloin siihen liukenee hiivan edellyttämä happimäärä. Jos vierteen ilmastaa liian kuumana, se johtaa hapettumisreaktioihin, joilla on huonontava vaikutus oluen lopulliseen flavoriin. Tämän takia on hyvä huolehtia, että vierre on varmasti tarpeeksi jäähtynyt. Happi myös liukenee vierteeseen paremmin, kun sen lämpötila on matala, esim. 5 °C vierteeseen liukenee happea 7 mg/l. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 110)

2.5 Käyminen

Käymisprosessit voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: alkuvaiheeseen, soluhengitykseen ja käymiseen. Tämä päävaiheisiin jako on jonkin verran satunnainen, koska nämä vaiheet voivat mennä päällekkäin aika ajoin. Kuitenkin hiivan toiminnot ovat erilaisia jokaisessa kolmessa vaiheessa, joka tekee vaiheisiin jaosta käsitteellisesti järkevää. (Fix, 1989, s. 161)

Lämpötilan hallinta on äärimmäisen tärkeää käymisprosessin kulun kannalta. Optimaalinen käymislämpötila vaihtelee olut-tyyleittäin. Käymisprosessissa muodostuu myös flavoreja erinäisistä komponenteista, joita käymisen aikana syntyy. Hapen rooli on merkittävä käymisprosessin alkuvaiheilla, sillä hiiva saadaan aktivoitumaan hapen avulla. Tässä

kappaleessa käydään läpi primäärikäymistä, flavorin muodostumista ja mahdollisia käymisen aikana syntyviä virhemakuja. (Ramirez & Maciejowski, 2012, s. 325; Speidel, 2018, s. 4)

2.5.1 Primäärikäyminen

Vierre pitää sisällään runsaasti käymiskelpoisia sokereita, maltoosia, glukoosia ja maltotriooseja. Hiivan tehtävänä on pilkkoa nämä pääkäymisen aikana alkoholiksi, hiilidioksidiksi ja osittain vedeksi. Pohjahiivakäymiselle oleellinen piirre on enintään 16 asteen käymislämpötila. Pintahiivakäymiselle lämpötila on 18 – 25 astetta, joka on huomattavasti korkeampi lämpötila.

Kirkastettu vierre jäädytetään ennen käymistä 8-14 °C:een eli muutaman asteen käymislämpötilaa matalammaksi. Tämän jälkeen vierreeseen ”pulputetaan” ilmaa tai happea. Kuten aiemmin mainittu, alkoholikäyminen on luonteeltaan anaerobinen prosessi. Kuitenkin, jotta käyminen lähtisi alkuun halutulla nopeudella, pitää hiivan ensin lisääntyä jonkin verran. Primäärikäymisen alkuvaiheet täten keskittyvät hiivan kasvattamiseen. Vierreeseen pulputettu happi kuitenkin loppuu suhteellisen nopeasti, minkä jälkeen varsinainen alkoholikäyminen alkaa. Hapen loputtua myös hiivan lisääntyminen pysähtyy, mutta tähän vaikuttaa myös hiilidioksidin ja alkoholin inhiboiva vaikutus. Kuten näemme, on hapen merkitys käymisprosessin alkuvaiheilla suuri.

Hiivalla on käymistankissa alkuvaiheissa lepovaihe, joka kestää muutamia tunteja. Tänä aikana hiiva sopeutuu tankin olosuhteisiin. 12 – 24 tunnin kuluttua hiivauksesta alkaa näkyä ensimmäisiä merkkejä käymisestä. Tällöin käyvän vierreeseen yläpintaan ilmestyy pieniä kuplia, joka tarkoittaa, että vierre on kyllästynyt hiilidioksidilla. Pinnalle alkaa muodostumaan tasainen, valkoinen ja pienikuplainen vahtokerros. Käyvän vierreeseen lämpötila alkaa hitaasti kohoamaan johtuen hiivan kiihtyvistä aineenvaihdunnasta. Hiivan metabolian ja hiilidioksidin kyllästymisen tuloksena myös vierreeseen pH laskee.

Kun hiivauksesta on kulunut kaksi vuorokautta, alkaa 1 – 2 päivää kestävä ”matalan vaahdon” vaihe. Yllä mainittu aika koskee lähinnä pohjahiivakäymistä ja normaalivahvuisten oluiden käymisprosessia. Pinnan vahtokerros tihenee ja kasvaa johtuen hiilidioksidin

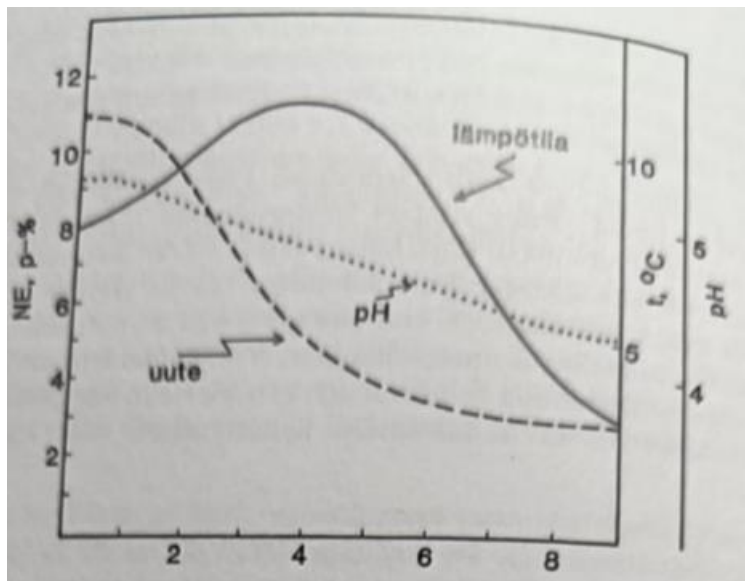
kiihtyvästä muodostumisesta. Se muuttuu myös samalla kirjavaksi, koska siihen saostuu vierteen ainesosia. Käyvän vierteen pH:n laskiessa humalassa olevien hartsien liukenevuus huononee ja niitä erkanee vaahtoon. Samalla saostuu tanniini-proteiini-partikkeleita. Uutepitoisuus laskee näennäisesti 0,4-1,0 p-% vuorokaudessa.

Käymisprosessi jatkuu n. 3 päivää kestäväällä ”korkean vaahton” vaiheella. Tässä vaiheessa hiivan aineenvaihdunta on kiihkeimmillään ja käymisnopeus korkeimmillaan. Vaahdosta voi muodostua jopa 30 cm korkeita harjanteita ja väriltään vaahto on ruskeaa. Tässä vaiheessa syntyy runsaasti lämpöä, jonka seurauksena tankkia on jäähdytettävä. Uutepitoisuus laskee näennäisesti jopa 2,0 p-% vuorokaudessa sekä pH laskee arvoon 4,1-4,4.

Viimeinen vaihe ns. primäärikäymisvaiheessa on ”peitteen muodostuksen” vaihe, joka kestää 1-3 vuorokautta. Nuoroluen pinnalle syntyy tummanruskea kerros vaahton komponenteista, koska hiilidioksidin muodostus heikkenee, jonka seurauksena vaahto painuu kasaan. Tämä vaaleahko, kiinteä ja paksu peite on merkki onnistuneesta ja hyvin edistyneestä käymisestä sekä myös hyvistä raaka-aineista. Uutepitoisuus laskee tässä kohtaa enää 1,0-1,5 p-% ja pH ei enää muutu.

Primäärikäymisvaihe on päättynyt. Sen kokonaiskesto kaikkine vaiheineen on noin 7-9 vrk. Käymisprosessin aikana voi käydä poikkeuksia, jonka takia käymisajat voivat vaihdella. Näennäinen uutepitoisuus on n. 3 p-%. Alla olevasta käymisdiagrammista voi vielä katsoa, miten uutepitoisuus alenee sekä pH ja lämpötila muuttuu käymisajan funktiona. (Enari & Mäkinen, 1993, ss. 148-149; Speidel, 2018, s. 4)

Kuva 6. Käymisdiagrammi (Enari & Mäkinen, 1993, s. 150)



2.5.2 Flavorin muodostus

Hiivan osuus on huomattavan suuri kun puhutaan oluen flavorin muodostumisesta. Flavori tarkoittaa oluen makua ja aromia. Merkittävä osa näistä flavoriyhdisteistä syntyy käymisprosessissa. Flavoriyhdisteet ovat ns. haihtuvia, ja ne ryhmitellään niiden rakenteen ja kemiallisen luonteen mukaan. Ryhmittely tapahtuu seuraavanlaisesti: hapot ($R-CH_2-COOH$), alkoholit ($R-CH_2-OH$), esterit ($R-CH_2-O-CO-CH_2-R_1$), rikkiyhdisteet ($R-S-R_1$) ja karbonyyliyhdisteet ($R-C=O-R_1$). Näissä yleiskaavoissa R merkitsee jotain hiilivetyradikaalia. Esterit puolestaan tarkoittaa alkoholien ja happojen välisiä kondensaatiotuotteita.

Hiivalla on ratkaiseva osuus näiden yhdisteiden syntymiseen, määrään ja laatuun, mutta myös vierteen käymisolosuhteilla ja koostumuksella on paljon merkitystä. Autolyysi tarkoittaa hajoamistapahtumaa, joka seuraa, jos hiiva jostain syystä kuolee käymisen aikana. Se saa aikaan yhdisteitä, jotka vaikuttavat epäedukkaasti valmistuvan oluen flavoriin. Eri hiivakannat tuottavat erilaisia ja toisistaan poikkeavia määriä erilaisia flavoriyhdisteitä. Suotavaa on, että valitaan sellainen hiivakanta, joka tuottaa oluen flavoriin harmonisen yhdistelmän useista eri aineista. Epäonnistunut flavori tarkoittaa sitä, että joitakin yhdisteitä on oluessa niin paljon tai toisaalta niin vähän, ettei olut saavuta sille asetettua määränpäättä eli poikkeaa tavoitteesta. (Enari & Mäkinen, 1993, ss. 120-121)

Sikuna-alkoholeiksi sanotaan etanolin ohella oluessa esiintyviä alkoholeja. Etanoliin verrattuna määrät ovat kuitenkin yleensä pieniä. Ne ovat ei-toivottuja yhdisteitä oluessa, sillä runsaat määrät sitä muodostaa olueen muovimaisen/liuotinmaisen flavorin. Ne ovat myös voimakkaan hajuisia ja makuisia yhdisteitä. Vaikka ne ovatkin suurissa määrin ei-toivottuja, ovat ne silti yksi ryhmä oluen tärkeistä flavoriyhdisteistä. Oluessa esiintyviä sikuna-alkoholin muotoja on isoamyylialkoholi, isobutanoli, fenyylietyylialkoholi ja propanoli.

Kuten aiemmin jo mainittu, esterit ovat happojen ja alkoholien välisiä kondensatiotuotteita. Esterit tuovat oluen flavoriin hyviä piirteitä ja täyteläisyyttä ja on muutenkin toivottu flavoriyhdiste. Rasvahapot ja esterit muodostuvat hiivan aineenvaihdunnassa. Etanoli tai vesi vaihtoehtoisesti hajottaa asyyli-CoA:n, jolloin esteri tai rasvahappo vapautuu.

Tunnetuimpia ja yleisimpiä visenaalisia diketoneja oluessa on diasetyyli ja 2,3-pentaanidioni. Aldehydien kanssa niistä koostuu ns. karbonyyliyhdisteiden ryhmä. Suurissa määrin ne muodostavat olueen voimakkaan flavorin. Hiivan ollessa käymisliuoksessa siinä ei esiinny merkittävästi diasetyyliä. Jos hiiva poistetaan käymisliuoksesta, siinä mahdollisesti oleva α -asetomaitohappo muuttuu diasetyyliksi ja olueen tulee voimakas flavori.

Asetaldehydi (CH_3CHO) on karbonyyliyhdiste sekä alkoholikäymisen välituote. Sitä esiintyy oluessa aina jonkin verran ja puutteellisesti varastoidussa oluessa sen pitoisuus voi kohota yli makukynnyskonsentraation, eli se voi olla helposti huomattavissa maistamisen yhteydessä. Suuri asetaldehydinin määrä tuo olueen ruohomaisen flavorin. Diasetyylin ja asetaldehydinin sanotaan olevan oluen maun kypsyyden mitta. (Ramirez & Maciejowski, 2012, ss. 326-327; Enari & Mäkinen, 1993, ss. 136-140)

2.5.3 Käymishäiriöt

Tavallisimmin esiintyviä häiriöitä käymisessä on keskeneräinen käyminen ja hidas alkuunlähtö. Keskeneräisessä käymisessä ongelmat yleensä johtuvat vierteen poikkeavasta sokerikoostumuksesta. α -amylaasi hajottaa melkein yksin tärkkelyksen mäsikäslämpötilan ollessa korkea, jolloin vierteen maltoosipitoisuus jää alhaiseksi ja maltoosia isompien oligosakkaridien osuus vierteessä kasvaa. Tämän seurauksena käyminen hidastuu tai jopa

pysähtyy kokonaan, sillä hiiva kuluttaa laiskasti oligosakkarideja (maltrioosi) ja myös helposti fermentoituvat glukoosi, sokeri ja maltoosi loppuvat jo varhaisessa vaiheessa. Myös sinkin puute saattaa aiheuttaa keskeneräisen käymisen, koska sen puutteen seurauksena asetaldehydi ei pelkisty etanoliksi. Lisäksi käyminen saattaa keskeytyä polysakkaridien vaikutuksesta. Polysakkarideja esiintyy ohran kuorella ja ne aiheuttavat hiivan ennenaikaista flokkuloitumista, jonka takia käyminen voi suoraan keskeytyä.

Hidas alkuunlähtö saattaa johtua hiivan huonokuntoisuudesta, sen vähäisestä määrästä tai liian alhaisesta happipitoisuudesta. Etenkin LOB-tekniikalla valmistettaessa tämä on todella vartenotettava riski, kuitenkin puhutaan valmistustekniikasta, jonka tarkoitus on minimoida hapen määrä prosessin eri vaiheissa. Happea ollessa niukasti saatavilla, niin välttämättömiä uusia lipidiyhdisteitä ei syntetisoidu. Tässä tapauksessa uudet solut joutuvat käyttämään vanhojen solujen lipidivarastoja, jolloin hiivamassan lipidivarasto köyhtyy. Ennen pitkää päädytään tilanteeseen, että uuden solumassan kasvua ei tapahdu ollenkaan. Alunperin hiivamassan lipidivaraston ollessa niukka, kasvu pysähtyy jo varhaisessa vaiheessa hapettomissa olosuhteissa, jonka seurauksena käyminenkin hidastuu. Myös äkilliset lämpötilan muutokset saattavat aiheuttaa vaikeuksia alkuunlähdössä.

Käymisen hidastuminen saattaa myös aiheutua vierteen aminohappopitoisuuden mataluudesta. Aminohappopitoisuus muotoutuu maltaan proteolyysiasteen ja proteiinikonsentraation mukaan. Tähän voi kuitenkin vaikuttaa hyvin rajatusti mäsikäysmenetelmän valinnan avulla. Liian matala aminotyypin määrä saattaa vaikuttaa oluen flavoriin ja aiheuttaa flavorivirheitä mm. korkeasta diasetyylipitoisuudesta johtuvat flavorivirheet. (Enari & Mäkinen, 1993, ss. 141-142)

2.6 Astiointi

Astioinnilla tarkoitetaan tölkkien, tynnyrien, suurtankkien ja pullojen täyttööä valmistuneella oluella. Astiointi-erän tiedot kerätään automaattisesti tai manuaalisesti erilaisten tiedonkeruumenetelmien ja laitteistojen avulla. Kyseisiä tietoja tarvitaan viranomaisia varten, erilaisien tuotanto- ja laatumittareiden laskemiseen, kirjanpitoon ja tilastointiin. Tuotannossa käytettäviin ohjelmistoihin tehdään ja tallennetaan raportteja ja yhteenvetoja

mm. vaihtajoista, tuotantoajoista, häiriöistä, ruuhkista ja virtausnopeuksista. Lisäksi tietoa saadaan myös täyttölinjan mittauksista mittauslaitteiden välityksellä. Näitä ovat mm. happi- ja johtokyky mittaukset. Hapen määrän mittaaminen on tässä kohtaa tärkeää, koska hapettuneen oluen säilyvyys on huono. Hapettuminen aiheuttaa oluessa myös makuvirheitä, kuten leipämäisyyttä ja pahvimaisuutta. (Enari & Mäkinen, 1993, s. 184)

2.6.1 Jälkikäyminen

Primäärikäymisen eli pääkäymisen jälkeen on aika siirtää olut seuraavaan astiaan jälkikäymistä varten. Oluen kypsyminen tapahtuu jälkikäymisvaiheessa. Astioina käytetään tyypillisesti pulloja, mutta vaihtoehtoisesti voi käyttää paineastioita, tölkkejä tai muita käymisastioita. Ennen jälkikäymisprosessiin siirtämistä lisätään olueen jälkikäymissokeri loppukäymisen tehostamiseksi. Jälkikäymisen kolme tärkeintä päämäärää maun kypsymisen lisäksi on oluen kyllästäminen hiilidioksidilla ja oluen kirkastaminen. Kirkastuminen on seuraamus suurmolekyylisten yhdisteiden saostumisesta. Polyfenolien ja proteiinien väliset yhdisteet aiheuttavat samennusta. Niiden liukoisuus kuitenkin olueen on sitä pienempi, mitä matalampi lämpötila on.

Vierteen uutepitoisuudesta pääkäymisen jälkeen on jäljellä vielä 10 % käymiskelpoisista sokereista. Kantavierreväkevyyden ollessa 12,5 p-% ja loppukäymisasteen ollessa 81 %, vastaa pääkäymisen käymisaste 68-71%, joka puolestaan vastaa uutepitoisuuden arvoja 3,6 – 4,0 p-%. Tavallisesti maltoosi käy loppuun pääkäymisvaiheessa. Näin ollen jälkikäyminen pitää sisällään lopun maltotriosisin fermentointia. Hiivakannan ollessa ns. hidas maltotriosisin käyttäjä, hidastaa se uutepitoisuuden laskua jälkikäymisessä, mikä ei ole toivottavaa. Jälkikäyminen on myös matalassa lämpötilassa usein hidasta.

Lämpötila vaikuttaa suuresti kun puhutaan hiilidioksidin liukenemisestä olueen. Samoin tavoin kuin muutkin kaasut myös hiilidioksidi liukenee sitä paremmin nesteeseen mitä matalampi lämpötila on. Tämän takia on edukasta pudottaa lämpötila jälkikäymisvaiheessa mahdollisimman matalaksi. Hiilidioksidi tunnetusti liukenee paremmin etanoliin kuin veteen, kuten myös useat muutkin kaasut. Tämän takia hiilidioksidin liukoisuus olueen kasvaa alkoholipitoisuuden kasvaessa.

Oluen maun kypsyminen jälkikäymisvaiheessa on moniosainen tapahtumasarja, jonka kaikkia yksityiskohtia ei olla tähän päivään mennessä selvitetty. Primäärikäymisen jälkeen oluen flavori voisi kuvailla sanoilla kitkerä ja keskeneräinen. Tästä huolimatta kuitenkin primäärikäymisen osuus on merkittävä oluen lopullisen flavorin kannalta. Jälkikäyminen pehmentää ja kypsentää oluen flavoria, mutta jos pääkäymisen aikana syntyy makuvirhe, ei sitä pysty korjaamaan jälkikäymisellä. Oluen flavorin kypsymiseen vaikuttavat erilaiset fysikaaliset tapahtumat, mutta myös ennen kaikkea kemialliset ja biokemialliset reaktiot. Hyvänä esimerkkinä fysikaalisesta tapahtumasta on pH:n muutokset. Happamuuden kasvaessa eli pH:n laskiessa useita kitkeränmakuisia yhdisteitä saostuu. Puolestaan hyvä esimerkki kemiallisista ja biokemiallisista reaktioista on pienmolekyylisten yhdisteiden polymeroituminen. (Enari & Mäkinen, 1993, ss. 155-157)

3 Low oxygen brewing (LOB) -tekniikka

LOB-tekniikan tavoite on valmistaa olutta, jossa on selkeämpi ja raikkaampi maltaan aromi ja flavori, kuin tavallisesti valmistetussa oluessa. Matala happipitoisuus minimoi kasvun sellaisilta mikrobeilta, jotka käyttävät ravinnokseen happea. Tämä vaikuttaa positiivisesti makuprofiiliin sekä samalla estää tiettyjen kontaminanttien kasvun, jonka seurauksena olut säilyy pidempään ennen pilaantumista. Lisäksi se vähentää riskejä makuhaitoille, jotka johtuvat hapettumisesta. Tavoitteena siis on minimoida hapen määrä tuotteen valmistamisen aikana etenkin rouhinta-, mäskäys-, keitto-, siivilöinti ja huuhtelu- sekä jäähdytysprosesseissa. Veteen, vierteeseen tai itsessään olueen liuennut happi on osoitus siitä, kuinka hyvin tavoitteessa on onnistuttu. Kun minimoidaan hapen kulutus, olut ja oluesta esiin tulevat maut säilyvät paremmin. Tämä tarkoittaa sitä, että se on pidempään juomakelpoista ja näin ollen myös pidempään myyntikelpoista.

Kun mäskätään matalahappipitoisella vedellä yhdistettynä vähäiseen kontaktiin ilman kanssa, maltaan makujen säilyvyys myöhemmissä vaiheissa ja itsessään oluessa on otettava huomioon. Tämän takia onkin tärkeää valita oluttyyli, josta nämä maltaan piirteet nousevat hyvin esiin, koska kuten aiemmin mainittu, menetelmän on tarkoitus korostaa maltaan makua ja aromeja. LOB-tekniikka on siis sopiva mallaspohjaisille oluille, joissa käytetään vähemmän humalaa. Näistä hyviä esimerkkejä ovat vehnäolut, lager ja pilsner.

Mitä matalampi happipitoisuus, sitä parempi on makujen säilyvyys. Valmistuksessa käytettävä vesi voi olla alkuun erittäin happipitoista eli kylläistä. Veteen liuennutta happea voidaan vähentää kiehumisella, jonka seurauksena voidaan puolestaan vähentää hapen määrää mäsäämisen aikana. LOB-tekniikan toimivuuden kannalta onkin siis erittäin tärkeää, että valmistuksessa käytettävää vettä keitetään ennen prosessin aloittamista. Happea vähenee kiehumisen aikana, koska se vaikuttaa veden kykyyn sitoa happea ja mitä korkeampi on lämpötila, sitä vähempi on liukenemisprosentti. Happipitoisuus ei kuitenkaan saa laskea liian matalaksi tai olemattomaksi, sillä käymisprosessin aikana on hapen olemassaolo olennaista ja tärkeää hiivan toiminnan kannalta. (Speidel, 2018, s. 3; Peda.net, n.d.)

Happi voi reagoida monien vierteessä esiintyvien yhdisteiden kanssa, mukaan lukien maltaan aromia esiintuovien mallasfenoleiden kanssa. Nämä yhdisteet pitävät hallussaan raikkaita ja miellyttäviä makuja ja aromeja, mutta liiallisen hapen määrän takia ne nopeasti polymeroituvat katkeran makuisiksi polyfenoleiksi ja tanniineiksi. Kupari, rauta, sinkki ja mangaani kiihdyttävät mallasyhdisteiden hapettumista, joten olisi hyvä, jos niitä ei juurikaan olisi oluen valmistusprosessin aikana. (Germanbrewing.net, 2016)

On erittäin tärkeää ottaa huomioon, että kontrolloimalla liuenneen hapen määrää vierteen keiton aikana ja itsessään valmiissa oluessa on kriittistä valmistusprosessin aikana syntyneiden makujen ja aromien säilömistä varten. Oluessa esiintyvä raikas, maltainen flavori on peruja moderneista panimotekniikoista, joissa eliminoidaan lämpimien ja kylmien olosuhteiden hapettumista. Lämpimiksi olosuhteiksi voidaan lukea mäsäys ja keitto ja kylmiksi olosuhteiksi puolestaan jäähdytys. Mäsäyksen aikana liuenneen hapen kontrollointi on hyvinkin oleellista maltaan aromien ja makujen säilömistä kannalta. On myös tärkeää, että liuenneen hapen kontrollointia jatketaan myös eteenpäin seuraaviin vaiheisiin, sillä se on avaintekijä valmistusprosessin aikana syntyvien makujen säilyvyyteen aina lopputuotteeseen asti. Tämä osoittaa sen, kuinka tärkeää liuenneen hapen määrää on kontrolloida lämpimissä ja kylmissä olosuhteissa, etenkin valmistaessa matalahappipitoista olutta. (The Modern Brewhouse, 2022)

Liuenneen hapen määrää pystyy mittaamaan erilaisilla mittareilla. Markkinoilla on paljon erilaisia happimittareita, joiden avulla voi seurata happipitoisuutta valmistusprosessin eri vaiheissa. Lisäksi happipitoisuuden voi määrittää ilman mittareita hyödyntäen laboratorioanalyseja. Yksi käytetty menetelmä on Winklerin menetelmä eli liuenneen hapen titrimetrinen määrittäminen. (Edu.fi, n.d.)

4 Työn suoritus

Tavoitteena oli valmistaa samalla reseptillä ja kahdella eri menetelmällä neljä erää olutta, eli siis kaksi tavallista erää ja kaksi LOB-erää. Oluen reseptiksi valittiin perus lager-resepti, jossa käytettiin useaa eri mallasta. Valinta oli helppo, sillä tämän tyyllisestä oluesta tulee hyvin oluen kokonaisflavori esiin mikä helpottaa eroavaisuuksien vertailua aistinvaraisessa arvioinnissa.

Resepti:

- 23 l vettä + muu vesi (huuhtelu)
- 3 kg Viking Pilsner-mallasta
- 0,5 kg Weyermann carapils-mallasta
- 1,25 kg Viking Vienna-mallasta
- 0,25 kg Viking Caramel 300-mallasta
- 40 g Tettnanger – 2021 humalaa
- paketti Saflager S-23-hiivaa

Mäskäys ajat ja lämpötilat:

- 60 °C mäskäyksen aloitus
- 63 °C 40 min ajan
- 73 °C 20 min ajan
- 78 °C 10 min ajan
- Kiehuminen 60 min ajan

Humalan lisäys:

- 30 g Tettnanger-humalaa 50 minuuttia ennen kiehumisen loppumista
- Loput 10 g 10 minuuttia ennen kiehumisen loppumista.

Käyminen 12 °C huoneenlämmössä

Käyminen 2-3 päivää yllä mainitussa lämpötilassa, jonka jälkeen jälkikäyminen 3-4 viikkoa jääkaapissa noin viidessä asteessa.

4.1 Valmistus

Valmistuskohdassa kuvaan kummankin keittopäivän tapahtumien etenemistä. Oluet keitettiin eri päivinä, ensiksi tavalliset erät ja sitten LOB-erät. Tässä taustalla ajatuksena, että parempi ensiksi keittää tavallinen erä, jotta olisi sitten enemmän kokemusta, kun mennään vaativampaan päin. Etenkin LOB-tekniikan valmistusprosessin vaiheissa piti olla äärimmäisen tarkkana siitä, ettei mäski pääse altistumaan liialle hapelle.

4.1.1 Tavallinen erä

Ensimmäisten erien valmistus aloitettiin maltaiden punnitsemisella ja rouhimisella. Kaikki neljä mallasta rouhittiin käsikäyttöisellä valssimyllyllä. Molempiin eriin rouhittiin omat maltaansa, astioina käytettiin ämpäreitä ja minigrip-pusseja. Kaikkia maltaita rouhittiin reseptin mukainen määrä. Alkuun valssimyllyn välit piti säätää oikein niin että se juuri ja juuri rikkoo maltaan kuoren. Rouhimisen jälkeen maltaat vietiin varastoon säilöön ilmatiiviissä astioissa (ämpärit, minigrip-pussit).

Valmistusprosessi aloitettiin pesemällä braumaister keittokattila ja kaikki tarvittavat osat happamalla pesuaineella. Pesujen jälkeen varmistettiin puhtaus ottamalla luminometri näytteet. Kun pesut saatiin suoritettua, aloitettiin valmistusprosessi.

Kuva 7. Vedellä täyttämisen jälkeen keittokattilasta valittiin mäsikäysohjelma.



Ensiksi molemmat keittokattilat (3 ja 1) täytettiin puhtaalla vedellä, jonka jälkeen lämmön annettiin kohota mäsikäys lämpötilaan (60 astetta). Tämän jälkeen asennettiin mäsikiputki ja siivilät, jonka jälkeen lisättiin maltaat mäsikiputkeen. Koska maltaita tuli paljon ja kaikki niistä jäi pinnalle, sai apuna käyttää puista sekoitussauvaa. Tämän jälkeen alkoi mäsikäysprosessi, joka eteni seuraavalla tavalla:

- 60 °C mäsikäyksen aloitus
- 63 °C 40 min ajan
- 73 °C 20 min ajan
- 78 °C 10 min ajan

Mäsikäysprosessin loputtua suoritettiin siivilöinti ja huuhtelu. Mäsikiputki nostettiin kerroksittain ylös keittokattilasta käyttäen apuna tähän tarkoitettuja työkaluja. Nostojen välissä huuhdellaan mäsikiputki 80 °C vedellä, jotta saatiin mäsikistä kaikki mahdollinen hyöty, eli maltaan maku ja siitä irtoavat sokerit sekä ravinteet, irti. Tämän jälkeen odotettiin,

että kaikki huuhtelussa käytetty vesi valuu itse kattilaan, jonka jälkeen mäskiputki nostetaan kokonaan pois. Tässä vaiheessa piti noudattaa suurta varovaisuutta, sillä helposti noston epäonnistuttua maltaat pääsevät valahtamaan vierteen sekaan, jonka seurauksena ne pitää siivilöidä pois. Itse kuitenkin säästyin tältä. Tämän jälkeen aloitettiin kiehuttamisvaihe.

Kuva 8. Siivilöinti ja huuhtelu vaihe käynnissä, mäskiputki nostetaan kerroksittain ylös käyttäen apuna kehikkoa.



Kiehumisen kestää 60 minuutin ajan, jonka aikana lisätään humala 50 minuuttia ennen kiehumisen loppumista ja 10 minuuttia ennen kiehumisen loppumista. Kiehumisen jälkeen vierteen annetaan jäähtyä ennen käymisastioihin valuttamista. Humalan lisäyksessä apuna käytettiin humalaputkia ja humalasukkia.

Jäähdyttäminen tapahtui vierteen immersiohauduttimella. Haudutinta käytettiin niin pitkään, että molempien kattiloiden vierre oli 20 °C. Immersiohauduttimen molempiin päihin asetettiin letku, joista toinen toi kylmää vettä hauduttimeen ja toinen letku poisti kiertävän veden viemäriin. Samalla kun vierteitä jäähdytettiin, pestiin käymisastiat, eli kaksi 12 l kanisteria käyttäen star san desinfiointiainetta. Tämä siksi, ettei käymisen aikana synny virhemakuja kanisterin pinnalla olevista mikrobeista. Sama käsittely tehtiin myös kanisterien hanoille sekä ilmalukoille.

Kuva 9. Vierteen jäähdyttämistä immersiohauduttimella.



Vierteen jäähdytyä alettiin valmistautua astiointiin. Kattiloista valutettiin vierrettä hieman kumpaankin desinfioituun kanisteriin ja sitä pyöriteltiin siellä hetki. Näin saadaan kanisteriin ensikosketus vierteestä ja mahdolliset desinfiointiainejäämät pois. Tässä kohtaa otettiin myös ensimmäiset ominaispainonäytteet, joiden tulokset olivat seuraavanlaiset:

- Kattila 3. 1,042
- Kattila 1. 1,050

Tämän jälkeen alettiin täyttää kanistereita. Molemmat kanisterit täytettiin siten, että kannen ja vierteen väliin jäi tyhjää tilaa, jotta vierteellä olisi tarpeeksi käymistilaa. Täyttämisen jälkeen lisättiin molempiin kanistereihin hiiva, jonka jälkeen ne laitettiin käymään 12 asteiseen viinikaappiin, joka oli valitun hiivan optimaalinen käymislämpö. Primäärikäymisaika oli 3-4 päivää, mutta astioimaan (pullottamaan) päästiin vasta muutaman päivän jälkeen käymisen loputtua. Tämän ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa itse lopputuotteeseen.

Kuva 10. Vierre kanistereissa prosessin primäärikäymisvaiheessa 12 asteisessa viinikaapissa.



Perinteisesti valmistunutta vierrettä maistettiin molemmista kattiloista. Kattilan 3 vierre oli maultaan makeahko ja maltaisen makuinen, kun taas kattilan 1 vierre oli maultaan laimeampi ja siitä erottui selkeä humalan maku. Lisäksi kattilan 1 vierre oli väriltään myös tummempi. Yksi taustalla vallitsevista syistä valmistuksen aikana oli se, että kattila 1 temppuili ja käynnisti itseään uudelleen prosessin aikana, mikä saattoi vaikuttaa mäsikäslämpötiloihin ja niiden ylläpitoon. Temppuilun seurauksena myös kattilan 1 vierre oli myöhemmin valmis kuin kattilan 3. Tämä tullaan myös huomioimaan kyseisen kattilan lopputuotteen arvioinnissa.

Primäärikäymisen jälkeen mitattiin uudestaan ominaispainonäytteet, jolla varmistetaan tuotteen loppuun käyminen, jottei jälkikäymisen aikana lasipullot pokahtelee. Näytteet otettiin astioista desinfioidulla lapolla. Ominaispainot olivat seuraavanlaiset:

- Kattila 3. 1,014
- Kattila 1. 1,016

4.1.2 LOB-erä

Ensimmäisten erien valmistus aloitettiin maltaiden punnitsemisella ja rouhimisella. Kaikki neljä mallasta rouhittiin käsikäyttöisellä valssimyllyllä. Molempiin eriin rouhittiin omat maltaansa ja astioina käytettiin ämpäreitä sekä minigrip-pusseja. Etenkin LOB-erän suhteen oli tärkeää, että maltaat rouhittiin tasaisella veivauksella ja että ne saatiin mahdollisimman nopeasti pussiin, jotta happi ei vaikuttaisi niihin liikaa.

Kuva 11. Rouhitut maltaat säilöttynä ämpäreihin ja minigrip-pusseihin.



Kuva 12. Käytettävän LOB-laitteiston osat.



Vedessä olevaa liuenneen hapen määrää kontrolloidaan ennen aloittamista keittämällä sitä viisi minuuttia braumaister-keittokattiloissa. Tätä varten keittokattiloihin tehtiin erikseen keitto ohjelma. Suunnitelmana oli, että alun keittämisen jälkeen mitataan happipitoisuus happipitoisuusmittarilla kiehutetusta vedestä, jotta tiedetään, minkälaisista arvoista lähdetään liikkeelle. Toinen mittauskerta olisi suoritettu mäsäys- sekä siivilöinti ja huuhteluprosessin jälkeen. Mittauksien suorittamiseen oli suunniteltu käytettävän Mettler Toledo SevenGo Pro-happimittaria. Työtä aloittaessani huomasin kuitenkin, että laite oli toimintakyvytön. Tämän jälkeen pohdittiin erilaisia menetelmiä liuenneen hapen määrittämiseksi, kuten liuenneen hapen titrimetristä määrittämistä, mutta menetelmät osoittautuivat liian vaativiksi. Lopulta päädyttiin siihen, että työn lopputulosta arvioidaan vain aistinvaraisen arvioinnin voimin. Työn lopputuloksen kannalta tämä oli ikävä takaisku, sillä olisi ollut tärkeää saada tietoa happipitoisuudesta prosessin eri vaiheissa.

Keittopäivänä prosessi aloitettiin samoin tavoin kuin aikaisemmalla erällä, eli puhdistamalla keittokattila ja välineet. Luminometrin annettua hyväksytyt lukemat keittokattilat täytettiin 25 litralla vettä, jota ensin keitettiin 5 min keittokattiloissa, jotta saatiin happipitoisuus lähelle nollaa. Tätä varten kattilaan tehtiin erillinen keitto ohjelma. Keitto ohjelma vaihdettiin mäsäysohjelmaan, joka on identtinen aikaisemmin keitetyn erän kanssa.

Kuva 13. Ennen prosessin aloitusta vettä kiehutetaan kattiloissa, jotta happipitoisuus saadaan mahdollisimman lähelle nollaa.



Keittämisen jälkeen jäähdytettiin vesi käyttäen apuna kelluvaa kantta (floating lid), jonka jälkeen aloitettiin mäskäys. Kelluvan kannen tehtävä on minimoida nesteen kontakti huoneilmassa olevan hapen kanssa. Maltaat lisätään mallasputkeen pitäen sitä samalla ylhäällä niin, että alhaalla oleva suodatinlevy peittyy vedellä. Näin vältettiin tarve sekoittaa, jonka mukana olisi sekoittunut varmasti happea joukkoon. Tämän jälkeen mallasputki laskettiin hitaasti takaisin paikalleen ja asetettiin loput laitteiston osat paikalleen. Koko mäskäyksen ajan pidetään kelluvaa kantta kattilan päällä. Mäskäys saatiin suoritettua ilman viivästyksiä ja molemmat kattilat toimivat virheettömästi.

Mäskäyksen päätyttyä suoritettiin siivilöinti ja huuhtelu samoin tavoin kuin tavallisen erän kanssa, toki nopeammin, jotta saatiin vältettyä liika kontakti ilman kanssa. Tämän jälkeen aloitettiin 60 minuutin kiehattaminen. Kiehattamisprosessi suoritettiin samalla tavalla kuin aiemmin ja humalat lisättiin 30 g:n ja 10 g:n erissä 50 ja 10 minuuttia ennen kiehumisen loppumista.

Vierteen jäähdyttäminen suoritettiin immersiohauduttimella, tällä kertaa erona, että kelluva kansi laitettiin hauduttimen yläosan päälle. Vierteet olivat noin 25 asteisia, kun jäähdytys lopetettiin. Prosessissa valmistunut vierre valutettiin desinfiointuihin kanistereihin. Tässä

kohtaa tärkeää oli heilutella keittokattilaa samalla kun vierrettä valutettiin. Tämä siksi, että vierteen sekaan saatiin happea, sillä käytettävä hiiva ei käy ilman hapen läsnäoloa. Valutuksen jälkeen kanistereihin lisättiin hiiva ja ne asetettiin käymään 12 asteiseen viinikaappiin. Tässä kohtaa mittasin ominaispainot, jotka olivat seuraavanlaiset:

- Kattila 3. 1,050
- Kattila 4. 1,055

Vierteet sekä 3. että 4. kattilasta oli maultaan melkein identtiset. Makumaailma oli maltainen ja makeahko sekä väriltään vierre oli vaaleahkoa. Kun vertaa aikaisemmin keitettyyn erään oli näiden maku mielestäni enemmän maltainen ja makea. Eli ainakin tämän perusteella voidaan jo alustavasti todeta, että matalahappipitoinen mäsäys tuo paremmin esiin maltaan makua vierteessä. Toki lopputuotteeseen asti on vielä matkaa ja makumaailma tulee varmasti muuttumaan.

Primäärikäymisen jälkeen mitattiin jälleen ominaispainonäytteet, jolla varmistetaan tuotteen loppuun käyminen. Näytteet otettiin astioista desinfioidulla lapolla. Ominaispainot olivat seuraavanlaiset:

- Kattila 3. 1,020
- Kattila 1. 1,020

4.1.3 Erien pullotus

Kun ensimmäinen käymisprosessi oli valmis ja ominaispainot kohdillaan oli aika pullottaa tuotteet. Pullotusprosessi aloitettiin pesemällä riittävä määrä pulloja pulloharjoilla, jonka jälkeen ne pestiin pullopesurilla käyttäen star san-desinfiointiainetta. Pesun ja desinfioinnin jälkeen pulloet jätettiin ylösalaisin astiaan, jossa oli pohjalla yllä mainittua desinfiointiainetta. Näin pulloet pysyivät puhtaina täyttämiseen asti. Myös pullotuksessa käytettävät korkit laitettiin star san-liuokseen samasta syystä kuin pulloet. Ennen pullottamisen aloittamista

valmistettiin jälkikäymissokeriliuos (dekstroosi), jota lisättiin 50 g per 10 l. Dekstroosi liuotettiin kiehuvaan veteen ja sen annettiin jäähtyä, jonka jälkeen sitä kaadettiin kanistereihin. Näin dekstroosi sekoittuu paremmin ja varmistaa sen, että jokaiseen pulloon tulee jälkikäymissokeria.

4.1.4 Alkoholipitoisuuksien laskeminen

Oluterien alkoholipitoisuuksien laskemiseen käytettiin seuraavia kaavoja:

$$ABW = \frac{(\text{Original Gravity} - \text{Final Gravity}) * 1.05 \text{ g}}{\text{Final Gravity}}$$

$$ABV = ABW / 0.79$$

ABW (Alcohol by weight) tarkoittaa alkoholin määrää perustuen painoon. Original Gravity (OG) tarkoittaa ominaispainoa ennen hiivan lisäämistä vierteeseen ja Final Gravity (FG) puolestaan ominaispainoa primäärikäymisen jälkeen. Ominaispaino on pienempi primäärikäymisen jälkeen sen takia, koska hiiva on tässä vaiheessa kuluttanut pois suuren osan käymiskelpoisista sokereista. 1.05 grammaa on jäljelle jääneen alkoholin määrä jokaista poistuvaa hiilidioksidigrammaa kohden.

Kun alkoholin määrä perustuen painoon on laskettu, voidaan laskea alkoholin määrä perustuen tilavuuteen eli ABV (Alcohol by volume). Tämä lasketaan jakamalla ABW etyylialkoholin tiheydellä, joka on 789,00 kg/m³ eli 0,7894 g/cm³. (Brewgr.com, n.d.)

4.1.5 Tavallisen erän alkoholipitoisuudet

Kattila 3

$$ABW = \frac{(1.042 - 1.014) * 1.05 \text{ g}}{1.014}$$

$$= 0.0289$$

$$2,9 \%$$

$$ABV = 0.0289 / 0.79 = 0.0365$$

$$= 3,7 \%$$

Kattila 1

$$ABW = \frac{(1.050 - 1.016) * 1.05 \text{ g}}{1.016}$$

$$= 0.0351$$

$$3,5 \%$$

$$ABV = 0.0351 / 0.79 = 0.04443$$

$$= 4,4 \%$$

4.1.6 LOB erän alkoholipitoisuudet

Kattila 3

$$ABW = \frac{(1.050 - 1.020) * 1.05 \text{ g}}{1.020}$$

$$= 0.0308$$

$$3,1 \%$$

$$ABV = 0.0308 / 0.79 = 0.0389$$

$$= 3,9 \%$$

Kattila 4

$$ABW = \frac{(1.045 - 1.020) * 1.05 \text{ g}}{1.020}$$

$$= 0.0257$$

$$2,6 \%$$

$$ABV = 0.0257 / 0.79 = 0.0325$$

$$= 3,3 \%$$

5 Tulokset ja tulosten analysointi

Valmiista oluista tehtiin niiden valmistuttua aistinvaraisia arviointeja, sillä onhan se tämän työn tulosten tarkastelun päämenetelmä. Aistinvaraisen arvioinnin tilaisuus järjestetään 12.5.2023 ja sitä ennen suoritin omat aistinvaraiset analyysini. Seuraavissa kohdissa käydään läpi kummankin oluterän aistinvaraisia yksityiskohtia sekä vertaillaan niitä. Kuten aiemmin

todettu, prosessin eri vaiheiden happipitoisuuksia ei saatu mitattua. Onneksi kuitenkin lopputuotteiden mausta pystyy päättämään, onko lienneen hapen määrällä ollut vaikutusta kokonaisflavoriin.

5.1 Normaali lager

Olueen on muodostunut jälkikäymisvaiheessa mukavasti hiilidioksidia ja lasiin kaadettaessa pintaan muodostuu luontevasti kerros vaahtoa. Olut on tyyliltään vaalea ja väriltään kuparinruskea ja kirkas. Aromi on maltainen ja vähän paahteinen. Flavori on alkuun hedelmäinen, jonka jälkeen tulee maltaisia ja paahteisia makuja esiin. Olut on myös hiukan kuiva eikä niinkään makea ja maku on hiukan pistävä. Suutuntuma on puhdas ja hiilihappoinen, juuri sellainen kun perinteisen oluen suutuntuma on. Viskositeetiltan olut on ohutta ja helposti juotavaa sekä olut on täyteläinen.

5.2 LOB-olut

Olueen on muodostunut hyvin hiilidioksidia ja pintaan muodostuu vaahtoa, toki hiukan vähemmän kuin toisen oluterän kohdalla. Hiilidioksidia on vähemmän kuin vertailtavassa erässä. Olut on tyyliltään vaalea ja myös väriltään kuparin ruskea. Se on väriltään hieman vaaleampi kuin normaali olut, mutta hieman sameampaa. Aromi on maltaisempi eikä niin paahteinen. Alkumaku on hedelmäinen, josta pikkuhiljaa siirrytään maltaisiin makuihin. Myös jälkimaku on maltainen. Olut on pääpiirteiltään hedelmäinen ja maltainen, mikä voisi osaltaan viitata siihen, että LOB-tekniikan käytöllä on hyötyä etenkin maltaisten makujen esiin tuomisessa. Olut on suutuntumaltaan raikas ja pehmeä, mutta ei ole niin hiilihappoinen. Viskositeetiltan tämäkin olut on ohutta ja helposti juotavaa. Tämä olut on myös hieman makeampi kuin yllä oleva, joka puolestaan on hiukan kuivempi. Täyteläisyydessä normaali olut vie voiton, tämä on pikkuisen laimeampi.

Kuva 14. Valmistetut oluet vierekkäin kupeissa. Oikealla oleva LOB-olut on hieman vaaleampaa ja se on sameampaa kuin normaali olut.



5.3 Aistinvaraisen arvioinnin tulokset ja niiden vertailu

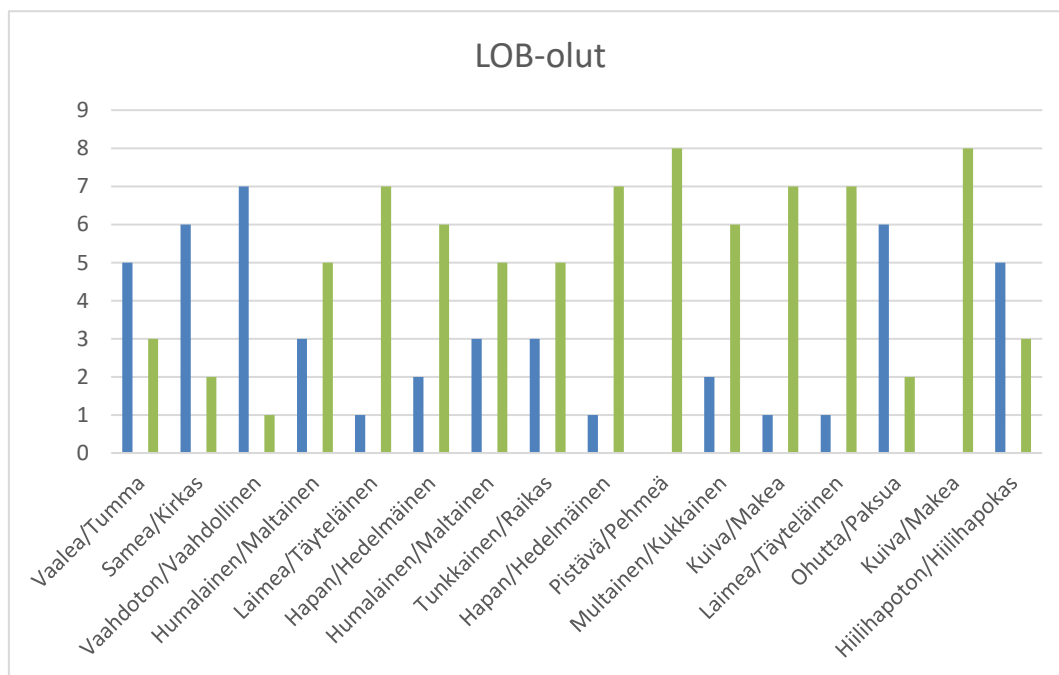
Arviointitilaisuuden aikana huomattiin, että toinen valmistetuista LOB-eristä sisälsi makuvirheen. Maku oli tunkkainen ja olut oli ulkonäöltään todella sameaa. Makuvirheen sisältämät pullot siirrettiin sivuun. Makuvirhe on syntynyt luultavasti käymisprosessin aikana, sillä kuitenkin koko prosessi oli muuten tehty tismalleen samalla tavalla molempien erien kohdalla. Toinen LOB-erä oli kuitenkin virheetön. Arvioinnin ajan oluilla oli tunnisteet LOB (low oxygen brewing) ja NOR (normaali valmistustekniikka) valmistustavan mukaan.

Tulokset on esitetty alla olevien taulukon ja kahden pylväskaavion muodossa. Taulukossa on esitettyä kaikki aistinvaraisesta arvioinnista saatu data ja ne on eritelty valmistustekniikan mukaan LOB ja NOR otsikoiden alle. Tämän jälkeen taulukosta tehtiin molemmille oluille omat pylväskaaviot, jotta tuloksia olisi mahdollisimman helppo vertailla. Vastauksia saatiin yhteensä kahdeksalta arvioijalta.

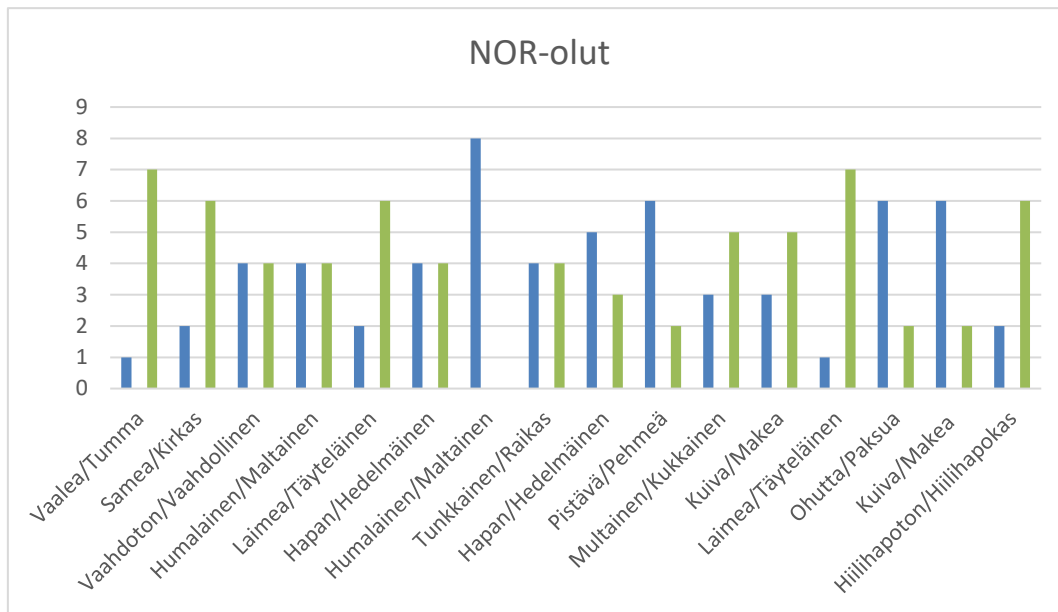
Kuva 15. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset taulukoituna. Vasemmalla LOB-oluen tulokset ja oikealla tavallisen oluen tulokset.

LOB			NOR		
ULKONÄKÖ			ULKONÄKÖ		
Vaalea	5 Tumma	3	Vaalea	1 Tumma	7
Samea	6 Kirkas	2	Samea	2 Kirkas	6
Vaahdoton	7 Vaahdollinen	1	Vaahdoton	4 Vaahdollinen	4
TUOKSU			TUOKSU		
Humalainen	3 Maltainen	5	Humalainen	4 Maltainen	4
Laimea	1 Täyteläinen	7	Laimea	2 Täyteläinen	6
Hapan	2 Hedelmäinen	6	Hapan	4 Hedelmäinen	4
MAKU			MAKU		
Humalainen	3 Maltainen	5	Humalainen	8 Maltainen	0
Tunkkainen	3 Raikas	5	Tunkkainen	4 Raikas	4
Hapan	1 Hedelmäinen	7	Hapan	5 Hedelmäinen	3
Pistävä	0 Pehmeä	8	Pistävä	6 Pehmeä	2
Multainen	2 Kukkainen	6	Multainen	3 Kukkainen	5
Kuiva	1 Makea	7	Kuiva	3 Makea	5
SUUTUNTUMA			SUUTUNTUMA		
Laimea	1 Täyteläinen	7	Laimea	1 Täyteläinen	7
Ohutta	6 Paksua	2	Ohutta	6 Paksua	2
Kuiva	0 Makea	8	Kuiva	6 Makea	2
Hiilihapoton	5 Hiilihapokas	3	Hiilihapoton	2 Hiilihapokas	6

Kuva 16. LOB-oluen arvioinnin tulokset esitettynä pylväskaavion muodossa. Kohdat kulkevat samassa järjestyksessä kuin taulukossa ja pylväsparit ovat aina toistensa vastakohtat (vaalea ja tumma yms.).



Kuva 17. NOR-oluen arvioinnin tulokset esitettynä pylväskaavion muodossa. Kohdat kulkevat samassa järjestyksessä kuin taulukossa.



Kuten taulukosta ja kaavioista näemme, aistinvaraisen arvioinnin tulokset olivat vaihtelevia. Osa arvioijista piti LOB-olutta hieman vaaleampana ja osa oli sitä mieltä, että ne ovat saman sävyisiä. Kaikki olivat samaa mieltä siitä, että LOB-olut oli huomattavasti sameampaa. Suurin osa piti LOB-oluen tuoksua maltaisempana ja pieni osa oli sitä mieltä, että tuoksusta tuli myös humalan vivahteita. Molemmat oluet olivat arvioijien mielestä täyteläisiä.

Flavoriltaan LOB-olutta pidettiin maltaisempana kuin NOR-olutta ja LOB-olut oli myös tuloksien perusteella hieman raikkaampi. Myös humalan vivahteita löydettiin molempien oluiden mausta. LOB-olutta pidettiin selkeästi hedelmäisenä ja pehmeänä, kun taas NOR-olut oli hiukan happamampaa ja pistävämpää. Kukkaisuudessa niukan voiton vei LOB-olut, eli sitä pidettiin hiukan kukkaisempana. Kokonaisuudessaan NOR-olutta pidettiin hiukan kuivempana ja puolestaan LOB-olutta hiukan makeampana.

Suutuntumaltaan molemmat olivat yhtä täyteläisiä ja tekstuuri oli kummassakin ohutta. Myös tässä kohdassa kuivuus ja makeus jakautuu samalla tavalla kuin yllä, eli toinen on kuivempaa ja toinen on makeampaa. LOB-olut oli arvioijien mielestä selkeästi hiilihapottomampaa kuin NOR-olut.

Lomakkeen kysymyskenttien kommenttien ja vertaisarviointien tuloksista voidaan todeta, että LOB-tekniikan käytöllä oluen valmistusprosessissa on vaikutusta oluen kokonaisprofiliin. LOB-olutta pidettiin raikkaampana, hedelmäisenä ja makeampana ja NOR-olutta pidettiin selkeästi kirkkaampana, kuivempana, happamampana ja hedelmäisenä. Suurin osa arvioijista uskoo, että ero johtuu LOB-tekniikan käytöstä.

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli valmistaa olutta, joka on flavoriltaan ja aromiltaan maltaisempaa kuin tavallisin menetelmin valmistettu olut. Lisäksi oluen tuli olla raikas ja ulkonäöltään kirkas. Kuten yllä olevista tuloksista näkee, tavoitteissa onnistuttiin suhteellisen hyvin. LOB-olut oli flavoriltaan ja aromiltaan maltaisempi kuin tavallinen olut sekä väriltään hiukan vaaleampaa. LOB-olut oli kuitenkin hiilihapottomampaa ja sameampaa, joiden ei pitäisi olla kuitenkaan tekniikalle tyypillisiä piirteitä. Tämä voidaan selittää sillä, että LOB-olut laitettiin jääkaappiin jälkikäymään välittömästi pullottamisen jälkeen. Jääkaapin olosuhteet olivat hiivan toiminnan kannalta liian viileät, jonka seurauksena hiiva ei saanut hyödynnettyä kaikkea jälkikäymissokeria hiilidioksidin muodostamiseen. Tilannetta saatiin kuitenkin hiukan pelastettua, kun oluiden annettiin olla viikon verran huoneenlämmössä ennen aistinvaraisen arvioinnin tilaisuutta. Aistinvaraisen arvioinnin aikana huomattiin, että toisessa LOB-erässä oli makuvirhe, olut oli tunkkainen ja todella samea. Todettiin, että käymisprosessin aikana on tapahtunut käymishäiriö, sillä valmistusprosessit olivat tismalleen samanlaiset kummankin LOB-erän kohdalla ja toinen näistä oli kuitenkin virheetön.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että kun valmistettiin olutta low oxygen brewing (LOB) -tekniikalla, oli lopputulos mitä luvattiin. Jos kaipaa olueen raikkaita ja maltaisia aromeja, niin tämä on se tekniikka mitä oluen valmistuksessa kannattaa suosia. Pienessä mittakaavassa kylmien ja lämpimien olosuhteiden hapen määrää on suhteellisen helppo kontrolloida, mutta isommassa mittakaavassa isojen olutvalmistajien tehtaissa pitää prosessia ehkä tarkemmin miettiä. Tärkeintä olisi huolehtia liuenneen hapen määrän mittaamisesta ja ilmatiiviistä mäsäys ja keittoastioista niin ettei olut ole tekemisissä ilman kanssa. Työn jatkokohteita voisi hyvinkin olla menetelmän jalkauttaminen yritykseen joko pienpanimolle tai suuremmalle panimolle. Lisäksi aihetta voisi vielä tarkemmin tutkia liuenneen hapen

näkökulmasta. Menetelmä on osoitettu toimivaksi pienessä mittakaavassa, niin uskoisin että sen jalkauttaminen suurempaan mittakaavaan onnistuisi.

Lähteet

Brewgr.com (n.d.). How to calculate alcohol content.

<https://brewgr.com/calculations/alcohol-content>

Daniels, R (1996). Desingning great beers. Brewers Publications.

Edu.fi (n.d.) Veteen liunneen hapen titrimetrinen määrittys. [Veteen liunneen hapen titrimetrinen määrittys \(edu.fi\)](#)

Fix, G (1989). Principles of brewing science. Brewers Publications.

Germanbrewing.net (2016). Brewing Bavarian Helles.

<http://www.germanbrewing.net/docs/Brewing-Bavarian-Helles.pdf>

Enari, T-M & Mäkinen, V (1993). Panimotekniikka. Grano Oy.

Hornsey, I (1999). *Brewing*. RSC Paperbacks.

Jackson, M (1990). Suuri olut kirja. Gummerus.

Peda.net (n.d.). Vedenlaatumittarit. <https://peda.net/hankkeet/vesiviljely/koulutus/kp/vl/pm>

Ramirez, F & Maciejowski, J (2012). Optimal Beer Fermentation.

<https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2007.tb00292.x>

Speidel (2018). Low oxygen brewing. Deckblatt Bedienungsanleitung Braumeister.

<https://shop.humle.se/shop/11011/files/Braumeister-LOB.pdf>

The Modern Brewhouse (2022). Methods of the modern brewhouse. Notes on dissolved oxygen. <https://www.themodernbrewhouse.com/>

Liite 1. Aistinvaraisen arvioinnin lomake

Nimi: _____

Pvm. _____

Tehtävänäsi on verrata kahta ei tekniikalla valmistettua olutta keskenään. Kummallekin oluelle on oma arviointi asteikko tämän ohjeen alapuolella. Jos et ole täysin varma kumman vaihtoehdon ympyröit, voit myös merkitä vaihtoehtojen väliin rastilla oman mielipiteesi. Jos olet täysin samaa mieltä jommankumman ääripään kanssa, voit suoraan ympyröidä sen. Oluita arvioidaan samaan aikaan, joten niitä voi rinnakkaisarvioida koko maistelutilaisuuden ajan.

Low oxygen brewing (LOB) -tekniikka on oluen valmistamista, jonka tavoitteena minimoida kontakti ilman ja hapen kanssa. Matala happipitoisuus minimoi sellaisten mikrobin kasvun, jotka käyttävät ravinnokseen happea. Tämä vaikuttaa positiivisesti makuprofiiliin, sillä se vähentää sellaisten mikrobin määrää, jotka aiheuttavat makuhaittoja ja jotka ovat kontaminanteja. LOB-tekniikalla valmistetun oluen kokonaisflavorista pitäisi tulla esiin selkeämpi ja raikkaampi maltaan aromi, sekä ulkonäöltään olut on kirkaampaa.

Vertaillessa kahta tuotetta on suositeltavaa huuhdella suu vedellä yhden tuotteen arvioinnin jälkeen. Molemmat mikit on merkitty tunnisteella, jonka voi merkata alla oleviin tuote kohtiin. Vastaathan ystävällisesti jokaiseen kohtaan, jotta arvioinnista saadaan mahdollisimman suuri hyöty.

Hyvää maisteluhetkeä!

Tuote: _____

Ulkonäkö

Vaalea	Tumma
Samea	Kirkas
Vaahdoton	Vaahdollinen

Tuoksu

Humalainen	Maltainen
------------	-----------

Tuote: _____

Ulkonäkö

Vaalea	Tumma
Samea	Kirkas
Vaahdoton	Vaahdollinen

Humalainen	Maltainen
------------	-----------

Laimea	Täyteläinen	Laimea	Täyteläinen
Hapan	Hedelmäinen	Hapan	Hedelmäinen
Maku			
Humalainen	Maltainen	Humalainen	Maltainen
Tunkkainen	Raikas	Tunkkainen	Raikas
Hapan	Hedelmäinen	Hapan	Hedelmäinen
Pistävä	Pehmeä	Pistävä	Pehmeä
Multainen	Kukkainen	Multainen	Kukkainen
Kuiva	Makea	Kuiva	Makea
Suutuntuma			
Laimea	Täyteläinen	Laimea	Täyteläinen
Ohutta	Paksua	Ohutta	Paksua
Kuiva	Makea	Kuiva	Makea
Hiilihapoton	Hiilihapokas	Hiilihapoton	Hiilihapokas

Onko oluissa kokonaisuudessaan sinun mielestäsi merkittävä ero:

Luuletko että ero johtuu LOB- tekniikan käytöstä vai jostain muusta: