

# Laboratorní analýza svrchně kvašeného piva

Bc. Marcela Wolfová

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marcela WOLFOVÁ**  
Osobní číslo: **T11073**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Laboratorní analýza svrchně kvašeného piva**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Charakterizujte pivo
2. Popište technologii výroby svrchně kvašeného piva
3. Zaměřte se na popis mikrobiologie svrchně kvašeného piva
4. Uvedte provozní a laboratorní kontroly v jednotlivých fázích výroby

### II. Praktická část

1. U vybraných vzorků piva provedte analýzu v analyzátoru
2. Chemické rozborů doplňte o výsledky stanovení hořkých látek
3. Získané výsledky vyhodnoťte a stanovte závěry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **BASAŘOVÁ, G., ŠAVEL, J., BASAŘ, P., LEJSEK, T.:** Pivovarství. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. 863 s. ISBN 978-80-7080-734-7
2. **JACKSON, M.:** Encyklopedie piva. Praha: Volvox Globator, 1988. 256s. ISBN 80-85769-37-9
3. **KOSAŘ, K., PROCHÁZKA, S. a kol.:** Technologie výroby piva a sladu. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000. 398 s. ISBN 80-902658-6-3
4. **VELÍŠEK, J.:** Chemie potravin 2. 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002. 228 s. ISBN 80-86659-01-1

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Helena Najmanová, Ph.D.**

Ústav analýzy a chemie potravin


Datum zadání diplomové práce:

**11. února 2014**

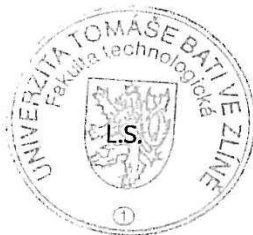
Termín odevzdání diplomové práce:

**2. května 2014**

Ve Zlíně dne 11. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*



  
Ing. Jiří Mlček, Ph.D.

*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 29. 4. 2014

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá laboratorní analýzou svrchně kvašeného piva. Byla vypracována literární rešerše popisující technologický proces výroby svrchně kvašeného piva a mikrobiologii výroby svrchně kvašeného piva. Následuje popis provozních a laboratorních kontrol v jednotlivých fázích výroby svrchně kvašeného piva včetně popisu základních metod používaných při stanovování nejdůležitějších analytických hodnot při výrobě piva.

V experimentální části byly v analyzátoru analyzovány vzorky svrchně kvašeného piva typu Wit a následně byl u těchto vzorků stanoven obsah hořkých látek.

**Klíčová slova:** technologie výroby piva, svrchně kvašené pivo, mikrobiologie, analyzátor, hořké látky

## **ABSTRACT**

This thesis deals with a laboratory analysis of top-fermented beer. The technological process of brewing and microbiology of brewing top-fermented beer were described. Then a description of operation and laboratory controls in separate phases of the production of top-fermented beer follows together with a description of primary methods used in determination of the most important analytical values in brewing.

In the experimental part samples of top-fermented beer of the Wit type were analyzed in an analyser followed by a determination of the contents of bitter substances in the samples.

**Keywords:** technology of brewing, top-fermented beer, microbiology, analyser, bitter substance

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Heleně Najmanové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady v průběhu vypracovávání diplomové práce. Dále děkuji Ing. Vojtěchu Grecmanovi za pomoc při výrobě piva v minipivovaru.

V neposlední řadě děkuji mé rodině za trpělivost a podporu po celou dobu studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>1 CHARAKTERISTIKA PIVA</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.1 HISTORIE VÝROBY .....   | 12        |
| 1.2 ROZDĚLENÍ PIV .....   | 12        |
| <b>2 TECHNOLOGIE VÝROBY SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA</b> .....                    | <b>14</b> |
| 2.1 VÝROBA SLADU.....   | 14        |
| 2.1.1 Suroviny pro výrobu sladu .....                                       | 14        |
| 2.1.2 Máčení.....   | 15        |
| 2.1.3 Klíčení ječmene.....  | 15        |
| 2.1.4 Hvozdění sladu.....   | 15        |
| 2.1.5 Chemické složení sladu .....  | 16        |
| 2.1.5.1 Vlhkost.....  | 16        |
| 2.1.5.2 Škrob .....   | 16        |
| 2.1.5.3 Extraktivnost sladu .....   | 17        |
| 2.1.5.4 Dusíkaté látky sladu .....  | 17        |
| 2.1.5.5 Neškrobové polysacharidy .....                                      | 17        |
| 2.1.5.6 Polyfenolové sloučeniny .....                                       | 18        |
| 2.1.6 Mechanická a fyzikální kritéria sladu .....                           | 18        |
| 2.2 VÝROBA MLADINY .....  | 19        |
| 2.2.1 Šrotování sladu.....  | 19        |
| 2.2.2 Vystírání a rmutování sladu .....                                     | 20        |
| 2.2.3 Scezování sladiny.....  | 21        |
| 2.2.4 Chmelovar .....   | 22        |
| 2.2.4.1 Chmel a jeho chemické složení .....                                 | 23        |
| 2.2.4.2 Chmelové preparáty .....  | 24        |
| 2.3 KVAŠENÍ A DOKVAŠOVÁNÍ PIVA .....  | 25        |
| <b>3 MIKROBIOLOGIE VÝROBY SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA</b> .....                  | <b>27</b> |
| 3.1 PIVOVARSKÉ KVASINKY .....   | 27        |
| 3.1.1 Charakteristika kvasinek .....  | 27        |
| 3.1.2 Chemické složení pivovarských kvasinek.....                           | 28        |
| 3.1.3 Výživa a metabolismus kvasinek .....                                  | 28        |
| 3.1.4 Stresové faktory pivovarských kvasinek.....                           | 29        |
| 3.2 OSTATNÍ MIKROORGANISMY V PIVOVARSKÉ VÝROBĚ.....                         | 30        |
| 3.3 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ A KONTROLA PIVOVARSKÝCH KVASINEK.....                | 31        |
| <b>4 PROVOZNÍ A LABORATORNÍ KONTROLY V JEDNOTLIVÝCH FÁZÍCH VÝROBY</b> ..... | <b>32</b> |
| 4.1 KONTROLA VSTUPNÍCH SUROVIN.....   | 32        |
| 4.1.1 Voda .....  | 32        |
| 4.1.2 Slad.....   | 33        |
| 4.2 KONTROLA PŘI PŘÍPRAVĚ SLADINY .....                                     | 34        |
| 4.2.1 Posouzení vůně, barvy a čirosti kongresní sladiny.....                | 34        |
| 4.2.2 Kontrola pH.....  | 34        |



|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.3     | Kontrola zcukření.....  | 35        |
| 4.3       | KONTROLA PŘI CHMELOVARU .....                                   | 35        |
| 4.4       | HODNOCENÍ HOTOVÉHO PIVA .....                                   | 36        |
| 4.4.1     | Stanovování hořkých látek .....                                 | 36        |
| 4.4.2     | Stanovení alkoholu, zdánlivého a skutečného extraktu .....      | 36        |
| 4.4.2.1   | Popis metody NIR.....   | 38        |
| 4.4.3     | Fyzikálně-chemické a organoleptické vlastnosti piva.....        | 38        |
| 4.5       | POŽADAVKY KONTROLY .....  | 39        |
| <b>II</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                                     | <b>41</b> |
| <b>5</b>  | <b>LABORATORNÍ ANALÝZA SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA TYPU WIT.....</b> | <b>42</b> |
| 5.1       | VÝROBA PIVA V MINIPIVOVARU.....                                 | 42        |
| 5.2       | ANALÝZA VZORKŮ Z JEDNOTLIVÝCH VARŮ V ANALYZÁTORU .....          | 44        |
| 5.2.1     | Princip metody .....  | 44        |
| 5.2.2     | Instrumentace .....   | 45        |
| 5.2.3     | Pracovní postup.....  | 45        |
| 5.3       | STANOVENÍ HOŘKÝCH LÁTEK SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA TYPU WIT.....    | 47        |
| 5.3.1     | Princip metody .....  | 47        |
| 5.3.2     | Instrumentace .....   | 47        |
| 5.3.3     | Pracovní postup.....  | 47        |
| <b>6</b>  | <b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>                                  | <b>49</b> |
|           | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>53</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>                           | <b>54</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>                 | <b>58</b> |
|           | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                                     | <b>59</b> |
|           | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                      | <b>60</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                                       | <b>61</b> |

## ÚVOD

Pivo je jedním z nejstarších a současně cíleně připravovaných nápojů. Rozdílné druhy pív vznikaly již v samém počátku jejich výroby v závislosti na lokalitě, pěstovaných surovinách a klimatických podmínkách. Na světě se dnes vyrábí několik set druhů pív mnoha značek.

V našich zemích se až do poloviny 19. století vařila výhradně svrchně kvašená piva z pšeničných sladů, dokud jejich výrobu téměř vytlačil objev klasického českého ležáku. Svrchně kvašená piva jsou velmi oblíbená ve Velké Británii, Belgii a Německu, u nás je v současné době produkují menší pivovary a minipivovary v omezeném množství. Netradiční chuť svrchně kvašených pív je sice pro běžného spotřebitele nezvyklá, ale právě proto má produkce svrchně kvašených pív nemalý význam pro rozvoj trhu.

Výroba piva prodělala od svého vzniku sice určité změny, ale zachovala svou podstatu. S vývojem lidského poznání se postupně odhalovaly příčiny průběhu jednotlivých článků výrobního procesu a zdokonalovaly se technologie. Důležitým mezníkem v pivovarství, které se do té doby řídilo především empirií, byl návrh základního rozboru piva německým profesorem na pražské technice C. N. Ballingem. Zavedl analýzu piva umožňující zpětně vypočítat původní koncentraci mladiny, množství alkoholu a stupeň prokvašení piva. Postupem doby se analytické metody prohlubovaly a modernizovaly, ale na základech analýzy položené profesorem Ballingem staví dodnes.

Tato diplomová práce obsahuje popis výroby svrchně kvašeného piva včetně mikrobiologie výroby. Zabývá se popisem laboratorních a provozních kontrol, které mají velký význam pro zachování kvality piva. Praktická část je zaměřena na základní laboratorní analýzu svrchně kvašeného piva typu Wit včetně stanovení hořkých látek.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 CHARAKTERISTIKA PIVA

## 1.1 Historie výroby

Sladařství a pivovarnictví má dávný původ ve starověku. Prvenství ve vaření piva se připisuje Babyloňanům do 7. tisíciletí před naším letopočtem. Je také historicky doloženo, že znalost vaření piva byla známa i v Číně, Egyptě, Řecku, v Galii, ale také mezi Slovany, Židy i Germány. Počátky pivovarnictví v Čechách se datují z roku 1088, kdy se v zakládající listině Vyšehradské kapituly objevuje první záznam o chmelu. První pivovary u nás se začaly zakládat ve 14. století a rozkvět pivovarnictví byl zastaven v 17. století v důsledku válečných poměrů<sup>[1]</sup>.

Do rozvoje pivovarnictví významně zasáhl český sládek František Ondřej Poupě. Podle jeho návrhu se začaly stavět a zařizovat sladovny i pivovary a pozvolna zavádět výroba piva spodním kvašením. Významnou osobností v rozvoji pivovarnictví byl K. N. Balling. Vypracoval teorii o vztahu mezi extraktem mladiny a vzniklým alkoholem. Základem této analýzy byla látková bilance přeměny maltózy při kvašení, kdy přibližně ze dvou gramů maltózy kvašením vzniká 1 g ethanolu, téměř 1 g oxidu uhličitého a 0,1 g kvasnic. Základním parametrem složení piva je obsah původního extraktu v % hm., čili koncentrace původní mladiny, vyjádřená jako koncentrace sacharosy. K. N. Balling také zkonstruoval a zdokonalil sacharometr<sup>[1,2,3]</sup>.

V roce 1869 byla v Praze založena první sladovnická škola a v roce 1873 začal vycházet odborný časopis Kvas, který patří mezi nejstarší odborné časopisy. Roku 1887 byl založen výzkumný ústav pivovarnický a pivovary se začaly pozvolna zařizovat novou technologií.

Rozvoj vědy a techniky v 19. století umožnil pochopení základních kvasných dějů a rozvojem přírodních věd získalo pivovarnictví vědecký základ<sup>[1,3]</sup>.

## 1.2 Rozdělení piv

V České republice se piva dělí dle Vyhlášky Ministerstva zemědělství 335/1997 na sedm skupin:

- a) stolní pivo,
- b) výčepní pivo,
- c) ležák,

- d) speciální pivo,
- e) porter,
- f) pivo se sníženým obsahem alkoholu,
- g) nealkoholické pivo,

Pro účely této vyhlášky se rozumí:

- pivem - pěnivý nápoj vyrobený zkvašením mladiny připravené ze sladu, vody, neupraveného chmele, upraveného chmele nebo chmelových produktů, který vedle kvasným procesem vzniklého alkoholu (ethylalkoholu) a oxidu uhličitého obsahuje i určité množství neprokvašeného extraktu; slad lze do výše jedné třetiny hmotnosti celkového extraktu původní mladiny nahradit extraktem, zejména cukru, obilného škrobu, ječmene, pšenice nebo rýže; u piv ochucených může být obsah alkoholu zvýšen přidavkem lihovin nebo ostatních alkoholických nápojů.

- pivem svrchně kvašeným - pivo vyrobené za použití pivovarských kvasinek svrchního kvašení a případně i spontánní mikroflóry mléčných nebo octových bakterií<sup>[4]</sup>.

Ve světě je produkováno několik set druhů piv mnoha značek. Přestože se dělení druhů piv liší podle jednotlivých autorů, vychází se ze základního dělení na piva typu Ale a ležáky, což přibližně odpovídá dělení na spodně a svrchně kvašená piva<sup>[2,5,6]</sup>.

Svrchně kvašená piva jsou následně rozdělována do skupin:

- piva pšeničná, při jejichž výrobě byla nejméně jedna třetina z celkového extraktu dodána pomocí pšenice či pšeničného sladu,
- piva Ale, charakteristická svým ovocným aroma,
- piva Stout
- piva Porter<sup>[6]</sup>.

## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA

### 2.1 Výroba sladu

Základní surovinou pro výrobu piva je slad, který se vyrábí naklícením a hvozdním sladovnického ječmene, popř. i jiné obiloviny, ve sladovnách.

#### 2.1.1 Suroviny pro výrobu sladu

Pro výrobu sladu se pěstují vybrané odrůdy jarního ječmene, které byly pro pivovarnictví zvláště vyšlechtěny. Podle vhodnosti pro sladařský průmysl jsou odrůdy sladovnického ječmene zařazeny do tří skupin – výběrová, standardní a nestandardní. Pro účely sladařského průmyslu se využívá ječné zrnko (obilka), které se skládá z obalových částí pluch a plušek, zárodku (klíčku, embrya), z něhož při klíčení vycházejí podněty k aktivaci enzymů v celém zrnku, a z endospermu, který zaujímá největší část obilky. Je hlavním zdrojem zásobních sacharidů, bílkovin a dalších složek, nutných při vytváření charakteristických vlastností sladu<sup>[7,8]</sup>.



Obr. č. 1: Zrna sladovnického ječmene<sup>[8]</sup>

Podle způsobu výroby a vlastností se vyrábí několik druhů sladů, přičemž platí, že pro světlá piva se používají slady plzeňského typu a pro piva tmavá slady mnichovského typu. Další typy sladu (vídeňský, karamelový, barevný atd.) slouží pro zvýraznění určitých kvalitativních a specifických vlastností základních typů světlých a tmavých piv.

Pro výrobu pšeničného sladu se využívají odrůdy pšenice seté. Pšeničný slad zajišťuje určité variace chuťových vjemů, obecně podporuje pěnivost, a proto se může malý přírůstek využít u piv z ječného sladu se špatnou stabilitou pěny<sup>[2]</sup>.

### 2.1.2 Máčení

Po sklizni a následném fyziologickém zrání ječmene dochází k jeho máčení. Cílem máčení je zvýšit řízeným způsobem obsah vody v zrně z 12 až 15% na 42 až 48% pro zahájení enzymatických reakcí a pro klíčení zrna, odstranit nečistoty a ze zrna vyloučit nežádoucí látky. K máčení ječmene se používají tzv. náduvníky, které mají většinou válcový tvar s kónickým dnem, aby se mohl náduvník samočinně vyprázdnit<sup>[1,7,8]</sup>.

V současnosti je nejpoužívanější technologií máčení způsob máčení s provzdušňovacími přestávkami. Máčecí voda se vyměňuje až třikrát a mezi každým napouštěním je přestávka 4 – 6 hodin, aby došlo k dokonalému provzdušnění zrna<sup>[1,7,9]</sup>.

### 2.1.3 Klíčení ječmene

Klíčení je fyziologický proces, při kterém dochází k aktivaci a syntéze enzymů a docílení požadovaného rozluštění zrna. Optimální podmínky pro sladařské klíčení jsou při teplotách 14 – 18°C, ale mohou se lišit podle druhu vyráběného sladu. Klíčení klasickým způsobem probíhá na humnech, což jsou prostorné místnosti s hladkými podlahami a účinným větráním. V současnosti se ale klasické klíčení nahrazuje pneumatickým sladováním, které se dělá na čtyři skupiny – bubnová klíčidla, skříňová klíčidla, šachtová a horizontální klíčidla. Konečným produktem je zelený slad<sup>[7,9,10]</sup>.

### 2.1.4 Hvozdění sladu

Cílem hvozdění je převést zelený slad s vysokým obsahem vody do skladovatelného a stabilního stavu, přičemž se zastaví životní pochody v zrně a vytvoří se charakteristické aromatické a barevné látky. Obsah vody ve sladu by se měl během hvozdění snížit na 4% u světlých sladů a u tmavých sladů na 2%, čehož se dosáhne řízeným sušením. Zároveň se snižováním obsahu vody dochází ke zvětšování objemu a změnám barvy sladu<sup>[1]</sup>.

Zařízení pro sušení se nazývá hvozd a technologie se upravuje podle druhu vyráběného sladu. Zelený slad se nejprve předsušuje pomocí ventilátorů při teplotách do 60°C a dotaovací teploty se pohybují v rozmezí 80 - 105°C<sup>[7]</sup>.

### 2.1.5 Chemické složení sladu

Chemické složení sladu ovlivňuje nejen průběh výroby piva, ale především jeho charakteristické vlastnosti. Sleduje se řada chemických a biochemických kvalitativních znaků sladů, které se stanovují v kongresní sladině.

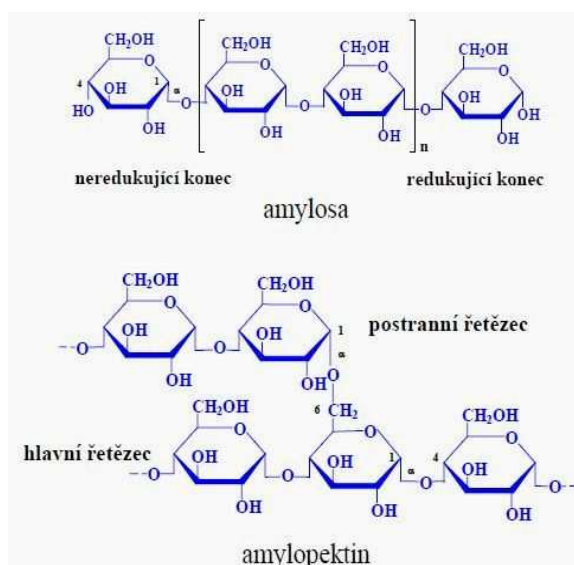
#### 2.1.5.1 Vlhkost

Po odhvozdění se vlhkost sladu v odležaných skladech mírně zvyšuje, neměla by však přesáhnout hodnotu 6%. Vyšší vlhkost zpracovávaného sladu může způsobovat snížení extraktivnosti a potíže při skladování, problémy při kvašení apod.

#### 2.1.5.2 Škrob

Škrob se v endospermu sladu nachází ve škrobových zrnech. Stěny zrn se skládají z neškrobových polysacharidů a proteinů. V optimálně rozluštěných sladech jsou stěny škrobových zrn dokonale degradované, a tím je škrob snáze přístupný pro působení amylytických enzymů<sup>[2]</sup>.

Škrobová zrna tvoří až z 98% čistý škrob, zbytek připadá na proteiny, lipidy, obalové části škrobových zrn a minerální látky. Ve sladu se vyskytují velká škrobová zrna o rozměru 20 – 30  $\mu\text{m}$  a malá škrobová zrna o velikosti 1 - 5  $\mu\text{m}$ . Velká škrobová zrna tvoří asi 10% z celkového počtu zrn, ale 90% hmotnosti škrobu. Protože obsahují méně doprovodných látek než zrna malá, jsou lépe degradovatelná ve varném procesu<sup>[2]</sup>.



Obr. č. 2: Struktura škrobu<sup>[11]</sup>.



Škrob se skládá z amylasy a amylopektinu, základními disacharidy jsou maltosa a isomaltosa. Lineární amylosové a větvené amylopektinové řetězce jsou vzájemně propletené. Vytvářejí svazky nebo micely vázané vodíkovými vazbami, mohou se roztáhnout přes více micel a tím drží škrobová vlákna pohromadě<sup>[11]</sup>.

### **2.1.5.3 Extraktivnost sladu**

Extraktivnost sladu je jedním z nejdůležitějších kritérií sladu. Zahrnuje všechny extraktivní látky, které přejdou do roztoku za podmínek kongresní metody a vyjadřuje se v procentech.

Extraktivnost sladu je závislá na odrůdě ječmene, na obsahu dusíku, podílu pluch, třídění a stupni rozluštění. Ovlivňuje výsledky kvašení, chemické složení hotového piva i jeho organoleptické vlastnosti<sup>[2]</sup>.

### **2.1.5.4 Dusíkaté látky sladu**

Dusíkaté látky představují ve výrobě piva rozmanitý komplex sloučenin, které mají pozitivní i negativní význam v závislosti na svých fyzikálně-chemických vlastnostech. Přispívají k plnosti chuti piva, mají význam pro pěnivost a stabilitu pěny a podílejí se na tvorbě barvy. Nízkomolekulární sloučeniny jsou nezbytné pro množení a metabolismus kvasinek, ale jsou i prekurzory v tvorbě látek typu aldehydů odpovědných za nežádoucí starou chuť piva. Vysokomolekulární látky jsou vedle polyfenolů základní složkou, která se podílí na tvorbě nebiologických zákalů<sup>[1]</sup>.

Nejdůležitější štěpné produkty bílkovin, které se vytvořily ve sladu během klíčení, jsou makropeptidy, polypeptidy, nižší peptidy a aminokyseliny. Dřívější dělení proteinů v ječmeni do čtyř skupin na albuminy, globuliny, prolaminy a gluteliny, je dnes rozšířeno o různé složené komplexní proteiny<sup>[2]</sup>.

### **2.1.5.5 Neškrobové polysacharidy**

Neškrobové polysacharidy tvoří hlavní stavební složku buněčných stěn ječmene. Mezi tyto látky patří zejména arabinoxylany,  $\beta$ -glukany a celulóza. Arabinoxylany mají hlavní řetězec tvořen D-xylanopyranosovými jednotkami vázanými  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) vazbami, přičemž terminální jednotkou je  $\alpha$ -L-arabinofuranosa. Dále mohou obsahovat D-glukosu a někdy další minoritní jednotky.  $\beta$ -glukany jsou tvořeny  $\beta$ -glykosylovými zbytky polymerizovanými  $\beta$ -

(1→3) a  $\beta$ -(1→4) vazbami. Zejména nižší  $\beta$ -glukany nepříznivě ovlivňují v závislosti na své molekulové hmotnosti viskozitu sladiny, mladiny a piva a naopak pozitivně ovlivňují jeho pěnovost a chuťové vlastnosti<sup>[13]</sup>.

Celulosa je obsažena především v pluchách, ve stopách klíčku, oplodí a osemení. Hlavní stavební jednotkou je disacharid cellobiosa. Celulosa tvoří 4 až 7% ječného zrna a je ve vodě nerozpustná. Zároveň je i enzymově obtížně štěpitelná a metabolismu probíhajícího v zrně se nezúčastňuje<sup>[11]</sup>.

#### 2.1.5.6 Polyfenolové sloučeniny

Polyfenoly se nachází především v povrchových částech zrna, nejméně jich je v endospermu. Celkové množství závisí na odrůdě, pěstebním místě a ročníku. Polyfenoly sladu a piva lze rozdělit na dvě hlavní skupiny – fenolové kyseliny a flavonoidy. K fenolovým sloučeninám patří jednoduché fenolové kyseliny zahrnující deriváty kyseliny 4-hydroxybenzoové, skořicové a zejména chlorogenové. Mezi flavonoidy vyskytující se ve sladu se řadí monoglykosidy a diglykosidy anthokyanů a jejich aglykonů anthokyanidinů, katechiny a leukoanthokyanidiny<sup>[9]</sup>. Sladové polyfenoly jsou podstatně méně rozpustné než chmelové, přesto hlavní podíl polyfenolových sloučenin v pivu pochází ze sladu. Zároveň sladové polyfenoly podléhají více oxidačním změnám.

Polyfenoly mají v technologii a kvalitě piva pozitivní i negativní význam. Neoxidované polyfenoly svými antioxidačními vlastnostmi oddalují stárnutí chuti piva a tvorbu nebiologických zákalů a přispívají k plnosti chuti piva. Oxidované a kondenzované formy polyfenolů zvyšují barvu sladiny, mladiny i piva, zhoršují jeho chuťové vlastnosti a přispívají ke tvorbě nebiologických zákalů<sup>[14]</sup>.

#### 2.1.6 Mechanická a fyzikální kritéria sladu

U sladovnického ječmene se posuzuje množství mechanických a fyzikálních vlastností. K nejdůležitějším hodnotám fyziologických kritérií patří klíčivost a klíčivá energie, které udávají podíl zrn schopných vyklíčit za daných podmínek během 3 – 5 dnů. Dalším sledovaným parametrem při výrobě sladu je stanovení rychlosti klíčení, kdy se v průměrně odebraném vzorku vydělí zrna klíčivá od nevyklíčených. Při stanovování po 24, 48 a 72 hodinách po vymočení lze vypočítat rychlost klíčení. Z dalších znaků je to především odrůdová čistota a objemová hmotnost, která souvisí s velikostí, tvarem a hmotností zrna. Křehkost

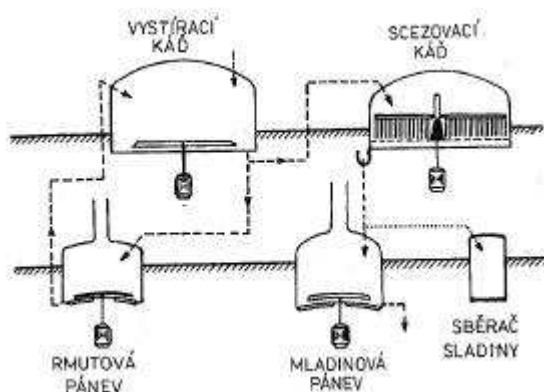
sladu neboli friabilita souvisí s jeho rozluštěním. Dobré rozluštění zrna je charakterizováno měkkým zrnem, které se mezi prsty snadno zlomí a jehož endosperm je moučnatý a suchý<sup>[2,7,9]</sup>.

Tabulka č.1 : Jakostní parametry pro sladovnický ječmen<sup>[15]</sup>

|   |                        |
|---|------------------------|
| vlhkost v %   | nejvýše 15             |
| přepad zrna nad sítím 2,5mm v hm. %                           | nejméně 85             |
| zrnové příměsy sladařsky nevyužitelné v hm. %                 | nejvýše 3              |
| zrnové příměsy částečně sladařsky využitelné v hm. %          | nejvýše 6              |
| neodstranitelná příměs v hm. %                                | nejvýše 1              |
| klíčivost H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> z celkového počtu zrn | nejméně 96             |
| obsah dusíkatých látek v sušině (N x 6,25) v hm. %            | nejméně 10, nejvýše 12 |

## 2.2 Výroba mladiny

Cílem přípravy mladiny je převést do roztoku extraktivní látky sladu a chmele v optimální míře a složení. Jednotlivé úseky výroby mladiny se dělí na mletí sladu, vystírání a rmutování, scezování sladiny, chmelovar a chlazení mladiny.



Obr. 3: Schéma klasické varny<sup>[16]</sup>

### 2.2.1 Šrotování sladu

Mletí sladu je mechanický proces, který má rozdrčením zrna zpřístupnit endosperm pro fyzikálně-chemické a enzymové reakce ve varně a zároveň zachovat celistvost pluch. Jemné rozemletí endospermu je předpokladem pro požadovaný průběh rmutování a vysoký

varní výtěžek. Části sladového zrna jsou nestejně rozluštěné, míra rozluštění klesá od zárodečné části ke špici zrna. Při sladování se nejvíce luští endospermální část a nejméně špičky zrn. V optimálně rozluštěných sladech jsou buněčné stěny škrobových zrn degradované, ale ani tvrdý sklovitý podíl zrn neklade odpor při mletí. Jemnější podíly namleté z dobře rozluštěné části zrna jsou již částečně rozpustné a působením sladových enzymů se v nich ve varném procesu uvolňuje hlavní podíl extraktu sladiny<sup>[1,2]</sup>.

Tabulka č. 2: Sled výrobních operací při výrobě mladiny<sup>[1]</sup>

| Název operace          | Popis činnosti  | Technologické zařízení                            | Získaný produkt                          |
|------------------------|---|---|--|
| čištění sladu          | oddělení mechanických nečistot                              | čistička, odkaménkovač, magnet, aspirace          | vyčištěný slad, odpady                   |
| kondicionování sladu   | zvlhčení pluchy sladového zrna                              | kondicionovací šnek a výdržník                    | zvlhčené sladové zrn                     |
| šrotování              | rozdrcení sladu   | šrotovník   | sladový šrot                             |
| vystírání              | smísení šrotu s vodou                                       | vystírací pánev                                   | vystírka                                 |
| rmutování              | řízený vzestup teploty, působení enzymů                     | vystírací a rmutovací pánev                       | sladové dílo                             |
| scezování              | oddělení extraktivního roztoku od nerozpustných zbytků zrna | scezovací kád' nebo sladínový filtr               | předek                                   |
| vyslazování            | vyloužení mláta horkou vodou                                | scezovací kád' nebo sladínový filtr               | výstřelky, mláto                         |
| chmelovar              | povaření sladiny pohromadě s chmelem                        | mladinová pánev                                   | horká mladina                            |
| odloučení hrubých kalů | oddělení hrubých kalů z mladiny                             | usazovací kád', vířivá kád', odstředivka          | horká mladina, hrubý kal                 |
| chlazení mladiny       | ochlazení mladiny na zákvasnou teplotu                      | deskový chladič mladiny                           | studená mladina                          |
| odloučení jemných kalů | částečné oddělení studených kalů z mladiny                  | usazovací kád', odstředivka, filtr, flotační tank | studená mladina k zakvašení, odpadní kal |

### 2.2.2 Vystírání a rmutování sladu

Při vystírání se smíchává sladový šrot s nálevem varní vody. Výběr surovin a jejich dávkování, způsob vystírání a rmutování jsou prvním předpokladem docílení složení sladiny pro určitý typ piva. Převedení tuhých částí do roztoku pouhým mícháním s vodou je velmi omezené, protože slad obsahuje jen malý podíl ve vodě rozpustných látek, přitom je nutné převést do roztoku maximální množství těchto látek. Množství rozpuštěných látek závisí na sypaní (množství a složení surovin na várku) a na objemu vody v hlavním nálevu. Nálev bývá rozdělen do dvou podílů a teplota voda při vystírání se liší podle kvality rozluštěného

sladu. Pro dobře rozluštěné slady s dekokčním způsobem rmutování se používá voda o teplotě 35 až 38°C a rozemleté části sladového zrna změkknou a částečně se rozpustí. Přídáním druhé části nálevu o teplotě 80°C se zapařováním teplota vystírky zvýší až na 52°C<sup>[2,7,9]</sup>.

**Rmutování** slouží k přípravě sladiny s požadovanou extraktivou skladbou. Dochází k tomu postupným vyhříváním části vystírky na jednotlivé rmutovací teploty, optimální pro činnost různých skupin enzymů, až je dosaženo dokonalého zcukření škrobu. Tento základní postup je možno provádět dekokčním nebo infuzním rmutováním. Oba typy rmutování se od sebe liší nejen technologickým postupem i nárokem na strojní vybavení varny. Společným znakem dekokčních způsobů je pomalé zahřívání dílčích rmutů na cukrotvornou teplotu a následné povaření. Rozlišují se postupy jednormutové, dvourmutové a tří-rmutové. U infuzního způsobu k povaření rmutu nedochází a na rozdíl od dekokčního způsobu rmutování je možno je provádět v jedné vyhřívané nádobě. Infuzní způsob se používá zejména při výrobě svrchně kvašených piv<sup>[9,17]</sup>.



Obr. č. 4: Vystírací kád<sup>[18]</sup>

### 2.2.3 Scezování sladiny

Při scezování dochází k oddělení sladového extraktu – sladiny – od pevného podílu, tj. mláta. Jedná se převážně o fyzikální proces, který probíhá ve dvou fázích, a to scezování předku a vyslazování mláta. V první fázi se nejprve oddělí předek (roztok obsahující extraktivní látky sladu) od zbytků sladového šrotu neboli mláta. Následuje vyluhování extraktu zachyceného v mlátě horkou vodou – vyslazování<sup>[2,7]</sup>.

Zfiltrovaný roztok extraktu při vyslazování se nazývá výstřelek. Teplota vyslazovací vody by se měla pohybovat mezi 75 až 78°C. V závislosti na složení vody stoupá pH výstřelků od 5,8 do 6 i výše. Vyšší pH vody a vysoký obsah uhličitanů podporují vyluhování polypeptidů a hořkých, barevných a vysokomolekulárních dusíkatých látek, což má negativní vliv na kvalitu mladiny a piva<sup>[9]</sup>.

#### 2.2.4 Chmelovar

Sladina získaná scezováním se v mladinové pánvi vaří s přidaným chmelem. Chmel či chmelové přípravky se přidávají postupně, nejčastěji na dvakrát až třikrát, podle kvality a typu výrobku. Proces trvá obvykle 90 – 120 minut a jeho výsledným produktem je horká mladina.

Z technologického pohledu plní chmelovar několik základních funkcí:

- sterilizace mladiny
- inaktivace enzymů a zastavení všech dobíhajících enzymových reakcí ve sladně
- převedení důležitých hořkých chmelových látek do roztoku a jejich izomerace
- přechod chmelových silic odpovědných za chmelové aroma piva do roztoku
- tvorba chuťových a aromatických látek a tvorba reduktorů
- odpar některých těkavých sloučenin odpovědných za nepříznivé sensorické vjemy piva
- koagulace bílkovin, polyfenolů a některých dalších látek za tvorby lomu
- zkoncentrování mladiny na konečnou stupňovitost<sup>[19]</sup>.

Vyrobená mladina se před zakvašením musí zchladit na zákvasnou teplotu, přičemž musí být dodrženy podmínky, aby bylo vyloučeno biologické znečištění mikroorganismy. Nejprve je horká mladina přečerpána do vířivé kádě, kde dochází k usazování hrubých kalů a následně dochází k dochlazení mladiny v deskových protiproudých výměnících tepla. Jakmile teplota mladiny poklesne na 60°C, nastává proces převedení mladiny do kvasných kádí, tzv. spílání. V průtoku se mladina dochladí na zákvasnou teplotu 5 až 7°C. Před zakvašením se mladina ještě sytí za sterilních podmínek kyslíkem, který je nezbytný pro činnost kvasinek. Pro odloučení kalů a zároveň provzdušnění lze použít i flotaci mladiny vzduchem. Vyrobená mladina musí svou koncentrací extraktivních látek odpovídat vyráběnému pivu, tzn. že při výrobě 10% piva musí obsahovat 10 % hm. extraktivních látek<sup>[1]</sup>.

### 2.2.4.1 Chmel a jeho chemické složení

Chmel a chmelové přípravky jsou doposud nezastupitelnou surovinou dávající pivu typickou hořkost a aroma. Botanicky se chmel zařazuje do čeledě konopovitých. Chmelová rostlina je známa ve třech druzích, z nichž první, chmel otáčivý - *humulus lupulus*, zahrnuje poddruh chmel evropský, který se pěstuje v mnoha odrůdách pro pivovarské účely. Chmel je rostlina dvoudomá, ale k vaření piva se používají pouze usušené hlávky samičích rostlin. Hlavními částmi chmelové rostliny jsou kořenová soustava, réva s postranními větvkami a listy s květenstvím, které se v průběhu zrání mění na chmelové hlávky s pravidelnou stavbou pravých a krycích listenů. Na vnitřní straně listenů se při zrání chmele vylučují pryskyřičná zrnka lupulinu obsahující chmelové pryskyřice a silice, které jsou nejcennějšími složkami chmele<sup>[1,2,9,17]</sup>.



Obr. č. 5: Řez chmelové hlávky se zrnky lupulinu<sup>[20]</sup>

Obsah vody v chmelových hlávkách po sklizni bývá 72 až 82 % a sušením se musí snížit na 8 %. Chmel se suší nejčastěji v komorových žaluziových sušárnách, které jsou obdobou tříliskových hvozdů ve sladovnách<sup>[1]</sup>.

Chemické složení chmele je závislé na odrůdě, provenienci, ročníku a způsobu úpravy. Hlavními technologicky významnými složkami chmele ovlivňující průběh výroby i kvalitu piva jsou chmelové pryskyřice, polyfenolické látky a silice<sup>[2,7]</sup>.

#### **Chmelové pryskyřice**

Chmelové pryskyřice tvoří až 30% obsahu chmele. Po izomeraci ve varném procesu jsou odpovědné za intenzitu i charakter hořkosti piva. Pryskyřice jsou tvořeny řadou chemiky

podobných látek, z nichž nejúčinnější je skupina  $\alpha$ -hořkých kyselin, skládající se převážně z humulonu, kohumulonu a adhumulonu. Méně účinné jsou ostatní složky pryskyřic, jako jsou  $\beta$ -hořké kyseliny, nespecifické měkké pryskyřice a tvrdé pryskyřice. Chemicky se jedná o složité organické sloučeniny, které snadno podléhají oxidaci a dalším chemickým přeměnám<sup>[1,7]</sup>.

### ***Polyfenolické látky***

Polyfenolické látky se obecně podílejí na chemickofyzikální stabilitě piva, na formování pěny a na odolnosti proti stárnutí a oxidaci piva. Navíc některé z těchto látek mají silné antioxidační, antikarcinogenní, protimikrobiální, protitrombózní a další vlastnosti, které pozitivně působí na lidské zdraví. Pozitivní vlastnosti ztrácejí chmelové a polyfenolové sloučeniny oxidačními a kondenzačními reakcemi, kdy se vzniklé látky podílejí na tvorbě nebiologických zákalů, tmavší barvě a drsné a staré chuti piva<sup>[2,9,21]</sup>.

Z celkového množství polyfenolů obsažených v mladině jich pouze 20 až 30% pochází z chmele, ostatní pochází ze sladu. Nejvíce zastoupenou skupinu polyfenolových složek chmele v pivu představují flavonoidy, které patří do rozsáhlé skupiny rostlinných fenolů obsahujících v molekule dvě benzenová jádra spojená tříuhlíkatým řetězcem v uspořádání C6 - C3 - C6. Jejich struktura se odvozuje od skeletu heterocyklického flavanu. Majoritními složkami chmele jsou nejčastěji katechin, epikatechin a jejich polymery, dále flavonoly rutin, kvercetin a kempferol<sup>[21]</sup>.

### ***Chmelové silice***

Chmel obsahuje 0,5 až 3,0 % hm. silic. Je to směs několika set látek různého chemického složení, fyzikálních vlastností i aroma, které doposud nebyly zcela identifikovány. Jejich celkové množství a zastoupení jejich jednotlivých složek závisí především na genetických vlastnostech odrůdy, dále na podmínkách pěstování, sklizně a skladování. Chmelové silice se dají rozdělit do tří základních skupin:

- uhlovodíková frakce, zahrnující alifatické uhlovodíky, monoterpeny a seskviterpeny
- kyslíkatá frakce (oxidovaná frakce), která vzniká během zrání, zpracování a skladování chmele
- frakce sirných sloučenin<sup>[22]</sup>.

#### **2.2.4.2 Chmelové preparáty**

V současnosti je velmi rozšířené používání chmelových preparátů, které se dále dělí na:



- přípravky vyrobené mechanickou úpravou hlávkového chmele, především chmelové prášky a pelety,
- přípravky vyrobené extrakcí hlávkového chmele, tzv. chmelové extrakty
- přípravky vyrobené chemickými úpravami, zejména izomerací.

Jednotlivé chmelové preparáty se liší obsahem hořkých kyselin, polyfenolů i silic. Jejich využitelnost je značně ovlivněna podmínkami chmelovaru. V porovnání s klasickým lisovaným chmelem mají chmelové výrobky řadu předností, zejména prodloužení stability chemického složení, snadnější manipulace, nižší nároky na skladovací prostory a vyšší přechod hořkých látek do mladiny<sup>[23]</sup>.

### 2.3 Kvašení a dokvašování piva

Nejdůležitějšími reakcemi hlavního kvašení jsou přeměny zkvasitelných sacharidů glukosy, maltosy a maltotriosy na etanol a oxid uhličitý anaerobním kvašením. Současně se v malé míře tvoří i vedlejší kvasné produkty, alifatické alkoholy, aldehydy, diketony, mastné kyseliny a estery. Všechny tyto látky a jejich vzájemný poměr spoluvytváří chuť a aroma piva<sup>[2]</sup>.

Fermentace mladiny probíhá ve dvou stupních. Nejprve se v řízeném procesu při tzv. hlavním kvašení pomnoží pivovarské kvasinky a zkvasí podstatnou část využitelných látek z mladiny. V závěru této fáze výroby svrchně kvašeného piva se podstatná část kvasnic oddělí vyplavením na hladinu kvasícího média. V druhé fázi se pomalu dokvašuje zbylý extrakt kvasnicemi, které zůstaly ve vzhledu, pivo se číří, sytí oxidem uhličitým a získává rovnováhu sensoricky významných látek. Tato druhá fáze se nazývá dokvašování<sup>[1,2]</sup>.

Technologické postupy hlavního kvašení spodně kvašeného piva se provádějí tradičním stacionárním způsobem nebo novější semikontinuální či kontinuální technologií.

V současnosti převažuje stacionární postup v různých typech velkoobjemových nádob, které jsou umístěny v prostorách zvaných spilka<sup>[24]</sup>.

Hlavní svrchní kvašení se provádí různými postupy a trvá 2 až 8 dní, přičemž dnes probíhá kvašení nejčastěji tradičním způsobem v lahvích nebo tancích. Teploty se při tomto procesu obvykle pohybují mezi 15 až 22°C. Specifické aroma svrchně kvašeného piva se tvoří ve fázi stárnutí piva, kdy dochází ke snížení obsahu aromapozitivních látek. Zároveň probíhá autolýza kvasinek, která při silném uplatnění může dodávat pivu nepříznivé aroma a poslé-

ze hořkou chuť po starých kvasnicích. K zabránění nedostatků piva je nutné vyloučit styk piva s kyslíkem během celého procesu výroby<sup>[25]</sup>.



*Obr. č. 6: Otevřené kvasné kádě<sup>[26]</sup>*

Dokvašování a zrání piva probíhá při nízkých teplotách v ležáckých sklepích, kde pivo zvolna dokvašuje a zraje v uzavřených ležáckých tancích nebo sudech. Během tohoto období se opět odstraňuje řada nežádoucích látek, které se objevují během hlavního kvašení, a zároveň probíhá kvašení zbylých cukrů. Doba ležení je závislá na typu piva. Svrchně kvašené pivo dozrává obvykle jeden týden, výjimečně se může toto období protáhnout až na jeden rok<sup>[7,27]</sup>.

### 3 MIKROBIOLOGIE VÝROBY SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA

#### 3.1 Pivovarské kvasinky

Pivovarské kvasinky jsou v pivovarské mikrobiologické společnosti European Brewery Convention definovány jako kulturní kvasinky používané k produkci spodně nebo svrchně kvašených piv. Pro výrobu svrchně kvašených piv typu Ale, Porter, Stout a dalších se používají svrchní pivovarské kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *cerevisiae*<sup>[1,28]</sup>.

Tabulka č. 3: Taxonomie pivovarských kvasinek<sup>[2]</sup>

|             |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| Kmen        | Ascomycotina                    |
| Podkmen     | Saccharomycotina                |
| Třída       | Saccharomyces                   |
| Řád         | Saccharomycetales               |
| Říše        | Fungi                           |
| Čeleď       | Saccharomycetaceae              |
| Rod         | <i>Saccharomyces</i>            |
| Typový druh | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> |

V provozní praxi se hmota pivovarských kvasinek nazývá kvasnice, pokud se ale jedná o biologické jedince a jejich populace, používá se výrazu kvasinky. Přesně definovaná a druhově zařazená čistá kultura se nazývá kmen. Kmenů u jednoho druhu může existovat velmi mnoho a navzájem se liší původem a technologickými vlastnostmi.

##### 3.1.1 Charakteristika kvasinek

Kvasinky jsou jednobuněčné mikroorganismy. Kvasničná buňka je tvořena cytoplasmou, jádrem a dalšími buněčnými útvary a je obalena cytoplasmatickou membránou polysacharidického typu. Kvasinky se rozmnožují vegetativně pučením a za nepříznivých podmínek pohlavně – sporulací. Tvar a velikost kvasinek souvisí s podmínkami, v nichž se buňky nacházejí. Pivovarské kvasinky mohou být elipsoidního i kulovitěho tvaru s délkou 6 až 10  $\mu\text{m}$  a s šířkou 5 až 8  $\mu\text{m}$ . Některé kmeny vytváří cylindrické až protáhlé buňky, někdy víc než 20  $\mu\text{m}$  dlouhé. Rozměry a tvar buněk určují velikost povrchu, a tím i možnosti transportu a metabolismu kvasničné kultury. Průměrný objem jedné buňky je 175  $\mu\text{m}^3$  a povrch je okolo 150  $\mu\text{m}^2$ . Tomu odpovídá celkový aktivní povrch využitelný pro metabolismus, podle dávky a stupně namnožení to je 200 až 900  $\text{m}^2$  v hektolitrů kvasící mladiny<sup>[9]</sup>.

### 3.1.2 Chemické složení pivovarských kvasinek

V chemické složení pivovarské kvasničné buňky převažuje voda, a to v rozmezí 65 až 85%. Složení sušiny kvasničné buňky je proměnlivé v závislosti na fyziologickém stavu a stáří kultury a mění se i se změnami složení substrátu.

*Tabulka č. 4: Základní složení sušiny pivovarských kvasinek<sup>[2]</sup>*

| Složka              | Obsah (%) |
|---------------------|-----------|
| Sacharidy           | 15 - 37   |
| Dusíkaté látky      | 45 - 60   |
| Lipidy              | 2 - 12    |
| Minerální látky     | 6 - 12    |
| Vitamíny, kofaktory | stopy     |

V sušině pivovarských kvasinek jsou přítomné sacharidy, a to monosacharidy, oligosacharidy, polysacharidy, deriváty i substituované sacharidy. Velký podíl polysacharidů, především mannanu a glukanu, obsahuje buněčná stěna. Ostatní sacharidy jsou přítomné v cytoplasmě, především glykogen a mannan. Svrchní pivovarské kvasinky obsahují zpravidla více glykogenu než spodní kvasinky, mannan je spjat se schopností kvasinek aglutinovat<sup>[2,9,29]</sup>.

Kvasničné buňky obsahují téměř všechny formy dusíkatých látek. Aminokyseliny jsou důležité pro proteosyntézu a metabolismus dalších látek. Významný je obsah peptidu glutathionu, který má velký vliv v redoxním systému kvasinkové buňky. Hlavní část dusíkatých látek sušiny tvoří jednoduché a složené bílkoviny s různými prostetickými skupinami a většinou jsou v buňce přítomny jako apoenzymy<sup>[2]</sup>.

Lipidy v kvasničné buňce jsou důležitou složkou buněčných membrán a mitochondrií. Jsou složeny z fosfolipidů, neutrálních lipidů a mastných kyselin. Některé z nich přímo regulují propustnost buněčné stěny a tím ovlivňují transport substrátu do buňky<sup>[30]</sup>.

### 3.1.3 Výživa a metabolismus kvasinek

Metabolismus kvasinek z pivovarského hlediska znamená přeměnu zkvasitelných cukrů na alkohol a oxid uhličitý za účasti řady enzymů a koenzymů. Zároveň souvisí s mnoha další-

mi složkami mladiny a vzniká velké množství různých vedlejších produktů, které ovlivňují charakter hotového piva. Metabolismus pivovarských kvasinek zahrnuje procesy katabolické, při nichž buňky získávají energii biochemickým odbouráváním látek, i anabolické, při nichž buňky energii spotřebovávají na tvorbu nových látek. Pro průběh obou procesů je nezbytný přísun živin, především sacharidů. Významná je ale i celá řada dalších zdrojů výživy – aminokyseliny, peptidy, lipidy, vitamíny, růstové faktory a ionty anorganických solí<sup>[2,9]</sup>.

Energii získávají kvasničné buňky oxidací sacharidů. V tomto procesu nazývaném kvašení jsou hlavními kvasnými metabolity ethanol a oxid uhličitý. Z pivovarského hlediska je důležitý i vznik vedlejších produktů, vyšších alkoholů, esterů, aldehydů, ketonů a sirných metabolitů. Kvašením vznikají také organické kyseliny, které výrazně ovlivňují pH piva. V současnosti je identifikováno značné množství vedlejších produktů kvašení, přičemž platí, že kvasinky svrchního kvašení produkují těchto látek obecně více, než kvasinky spodního kvašení. Metabolismus kvasinek může být inhibován působením iontů těžkých kovů, používáním některých chemikálií při mytí a dezinfekci, negativním vlivem osmotického tlaku a přítomností  $\text{NO}_2^-$  iontů<sup>[1]</sup>.

### 3.1.4 Stresové faktory pivovarských kvasinek

Současný trend v intenzifikaci a používání nových technologií v pivovarském procesu s sebou přináší mnoho typů stresů, které působí na pivovarské kvasinky. Během propagace musí kvasinky čelit oxidačnímu stresu, před opakovaným zakvašením mohou být vystaveny kyselému stresu. Chemický stres je způsoben některými látkami obsaženými v chmelu a sladů, a hromaděním toxických vedlejších produktů kvašení. Chladový šok prodělávají kvasinky na konci kvašení, protože při rychlém ochlazení může membrána získat vlastnosti gelu, což může buňku poškodit. Všechny tyto stresy ovlivňují metabolickou a reprodukční schopnost kvasinek a odrážejí se také v morfologických změnách. Používáním vysoce koncentrovaných mladin jsou kvasinky vystaveny působení vysokého osmotického tlaku, změně v míře aerace, etanolovému stresu a dalším faktorům, které mají na buňky nepříznivý vliv<sup>[31,32]</sup>.

### 3.2 Ostatní mikroorganismy v pivovarské výrobě

Kromě kultur pivovarských kvasinek se uplatňují v různém rozsahu i jiné mikroorganismy, z nichž většina se pokládá za nežádoucí. Patří k nim zejména:

- plísně
- cizí kvasinky
- bakterie.

Velké množství plísní, bakterií i kvasinek se vyskytuje už ve sladu a varní voda obsahuje především bakterie. Skladovaný suchý ječmen obsahuje především koliformní bakterie a bakterie rodu *Pseudomonas*, ale při namáčení výrazně vzrůstá počet mléčných bakterií. V průběhu pivovarské výroby se mění vlastnosti jednotlivých meziproductů. Sladina je tekutý živný substrát s vysokou koncentrací sacharidů, dusíkatých látek a růstových faktorů, takže se v nich může pomnožovat většina přítomných mikroorganismů díky příznivému pH i obsahu kyslíku. Podobné vlastnosti má i mladina, ačkoliv hořké látky mohou potlačovat růst některých mléčných bakterií i bakterií rodu *Bacillus*. Vzhledem k anaerobní atmosféře, hořkým chmelovým látkám, obsahu alkoholu, nízkému pH a postupně klesajícímu obsahu cukrů část mikroorganismů ale rychle odumírá a část přežívá v pivo v latentní formě<sup>[1,2]</sup>.

Tabulka č. 5: Hlavní skupiny pivovarských mikroorganismů podle škodlivosti<sup>[2]</sup>

| Mikroorganismy         | Specifikace                                    | Rod, druh  |
|------------------------|--|--|
| Obligátně škodlivé     | růst v pivo                                    | <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Pectinatus</i> , <i>Sacch. cerevisiae</i> var. <i>diastaticus</i> |
| Potencionálně škodlivé | růst v pivo po adaptaci nebo v poškozeném pivo | <i>Lactobacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Zymomonas</i> a cizí kvasinky                                     |
| Nepřímě škodlivé       | růst v meziproductech                          | <i>Enterobacter</i> , <i>Obesumbacterium</i> , <i>Pichia</i> , <i>Candida</i> , <i>Sacch. cerevisiae</i>         |
| Indikátorové           | růst na zbytcích substrátu                     | <i>Acetobacter</i> , <i>Gluconobacter</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Debaryomyces</i>    |
| Latentní               | přežívání ve výrobě                            | <i>Enterobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Clostridium</i>                                  |

### 3.3 Stanovení množství a kontrola pivovarských kvasinek

Prvními ukazateli kvality kvasnic bývá posouzení makroskopických, mikroskopických znaků a celkové vyhodnocení znečištění kvasnic. Jako hlavní kvalitativní vlastnosti kvasnic se pak hodnotí jejich viabilita a vitalita. Termín viabilita nebo počet viabilních buněk (viability count) označuje počet buněk v populaci, které jsou schopné růstu a dalšího rozmnožování. Stanovuje se několika metodami s odlišným principem.

Nejpřesnější (ale i časově nejnáročnější) jsou metody založené na buněčné replikaci, nejrozšířenější jsou metody založené na barvení. Méně používané jsou metody, jejichž principem je měření obsahu některých buněčných složek, adenosin trifosfátu (ATP), či redukované formy nikotinamid dinukleotidu (NADH).

Termín vitalita poukazuje na fyziologický stav populace nebo na její metabolickou aktivitu. Vitalita se v laboratorních podmínkách nejčastěji sleduje testy založenými na metabolické aktivitě kvasinek (acidifikační test, intracelulární pH, rychlost spotřeby kyslíku atd.) nebo metodami založenými na měření některých buněčných složek jako jsou zásobní látky (glykogen, trehalosa atd.) nebo ATP či NADH<sup>[33]</sup>.

## 4 PROVOZNÍ A LABORATORNÍ KONTROLY V JEDNOTLIVÝCH FÁZÍCH VÝROBY

### 4.1 Kontrola vstupních surovin

#### 4.1.1 Voda

V pivovarském průmyslu se používají dva typy vod. Varní voda, která je používána jako jedna z hlavních surovin pro výrobu piva, a jejíž fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti zásadně ovlivňují kvalitu a vlastnosti určité značky piva. Voda užitková slouží k chlazení, vymývání spilek a transportních sudů i lahví, přičemž musí také splňovat požadavky na vodu pitnou.

Přírodní vody jsou více či méně zředěnými roztoky pevných látek a plynů a často obsahují ještě suspendované organické a anorganické látky. Obsah látek přítomných ve vodě závisí na původu vody a na geologické stavbě podloží, kterým voda prochází, než se jí má a na dalších faktorech<sup>[2]</sup>.

Pro posouzení vhodnosti vody pro výrobu piva je důležitým kritériem obsah rozpuštěných solí, obzvláště převažující podíl solí vápníku a hořčíku. V praxi se pro charakterizaci jejich obsahu dosud užívá pojem „tvrdost vody“.

Tabulka č. 6: Rozdělení vod z hlediska tvrdosti<sup>[1,2]</sup>

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| měkká voda         | do 1,3 mmol.l <sup>-1</sup>    |
| středně tvrdá voda | 1,3 – 2,5 mmol.l <sup>-1</sup> |
| tvrdá voda         | 2,5 – 3,8 mmol.l <sup>-1</sup> |
| velmi tvrdá voda   | nad 3,8 mmol. l <sup>-1</sup>  |

Stanovení tvrdosti vody je založeno na vytěsnění ekvivalentního množství hořečnatých iontů po přidavku tlumivého roztoku s hořečnatým chelatonem. V prostředí pH 10 tvoří chelaton 3 cheláty nejprve s vápenatými a následně hořečnatými ionty. Konec titrace je dán barevnou změnou indikátoru. Spotřeba odměrného roztoku chelaton 3 je úměrná celkové tvrdosti vody<sup>[34]</sup>.



K základním úpravám vodních zdrojů v pivovarství patří mechanické čištění čířením s následnou sedimentací a filtrací, odželezování a odmanganování, odstraňování oxidu uhličitého a desinfekce vody<sup>[3]</sup>.

#### 4.1.2 Slad

Při přejímce sladu je nezbytné sledovat několik důležitých parametrů, z nichž nejdůležitější jsou extrakt, vlhkost a barva.

Tabulka č. 7: Porovnání jakostních ukazatelů sladu<sup>[35]</sup>

| parametr jakosti                                | český slad | pšeničný slad |
|---|------------|---------------|
| vlhkost v hm. % nejvýše                         | 5          | 5             |
| barva [j. EBC] nejvýše                          | 4,5        | 8             |
| zcukření v min. nejvýše                         | 15         | 15            |
| extrakt v jemném mletí v sušině v hm. % nejméně | -          | 82            |
| extrakt v hrubém mletí v sušině v hm. % nejméně | 78         | 78            |
| friabilita v % nejméně                          | 75         | -             |
| diastatická mohutnost WK nejméně                | 220        | 300           |



Obr. č.7 : Pšeničný slad<sup>[36]</sup>

Obr. č. 8 : Český plzeňský slad<sup>[36]</sup>

V průběhu hvozdní sladu se provádí opět kontroly obsahu vody a zejména kontrola teplot a účinnosti hvozdní<sup>[2]</sup>.

## 4.2 Kontrola při přípravě sladiny

V provozu se periodicky kontroluje nastavení mlecích válců, jejich mezery a souosost a stav sít v mlecích stolicích<sup>[1]</sup>.

Při vystírání se kontroluje teplota a množství vystírací vody, funkce vystěradla a míchání vystírky<sup>[1]</sup>.

Kontrola rmutování spočívá v průběžném sledování teplot pomocí registračních teploměrů, v kontrole zcukření jednotlivých rmutů i celkového díla a v kontrole pH rmutů.

Při klasickém scezování sleduje vařič čirost sladiny ve scezovacích kohoutech, zcukření, teplotu a objem scezovací vody, koncentraci předku a posledního výstřelku<sup>[2]</sup>.

### 4.2.1 Posouzení vůně, barvy a čirosti kongresní sladiny

Kontrola vůně sladiny se provádí v průběhu rmutování. Vůně kongresní sladiny udává, zda je slad připraven ze zdravé obiloviny a nezávadným technologickým postupem.

Barva kongresní sladiny poskytuje orientační informaci o typu analyzovaného sladu. Barva se stanovuje spektrofotometricky při vlnové délce 430 nm a vyjadřuje se v jednotkách EBC.

Čirost sladiny ukazuje na dobré rozluštění a dostatečné odležení sladu. Rychlé stékání je znakem dobrého rozluštění sladu a dokonalého zcukření sladiny. Je důležité zejména z hlediska scezování sladiny. Normální ztékání kongresní sladiny proběhne do 1 hodiny, čirost se hodnotí na stupnici čirá – opalizující – kalná<sup>[34]</sup>.

### 4.2.2 Kontrola pH

Měření pH sladiny je důležité pro posouzení rozluštění sladu. Hodnotu pH postačí měřit periodicky, ale vždy při změně kvality surovin nebo po úpravě rmutovacího postupu.

Sledování pH v kratších intervalech je užitečné při okyselování vystírky a sladiny vzhledem ke kolísající pufrační kapacitě sladu<sup>[1]</sup>.

Hodnota pH má při rmutování vliv na enzymové procesy, především na štěpení vysokomolekulárních látek, dále na rozpustnost dusíkatých a hořkých látek při chmelovaru a na intenzitu přibarvení mladiny.

Hodnota pH se měří v kongresní sladině po filtraci, nejpozději do 30 minut. Výsledky se udávají na dvě desetinná místa. Způsob měření je dán druhem použitého pH metru a řídí se návodem výrobce daného přístroje<sup>[34]</sup>.



Obrázek č. 9.: pH metr InoLab WTW pH 720<sup>[37]</sup>

#### 4.2.3 Kontrola zcukření

Ke zcukření dochází působením enzymu  $\beta$ -amylasy, která atakuje vzniklé štěpy amylasy a amylopektinu od neredukujících konců a odštěpuje z nich disacharid maltosu. Kontrola zcukření se provádí jednoduchou jodovou zkouškou na křídě nebo na dlaždičce. Vzorek sladiny reaguje s Lugolovým roztokem, tj. roztok 0,02N jódu v jodidu draselném, a reakce se postupně mění od fialové přes červenohnědou až ke žluté. Nižší dextriny a sacharidy se roztokem jódu nebarví<sup>[1,2,34]</sup>.

Tabulka č. 8: Posouzení stupně zcukření v závislosti na zbarvení roztoku<sup>[34]</sup>

| Barva        | Sacharidy v mladině          | Stupeň zcukření |
|--------------|------------------------------|-----------------|
| Modré        | Achrodextriny a škrobový maz | Velmi špatné    |
| Modrofialové | Eryrodextriny a škrobový maz | Nedokonalé      |
| Červenohnědé | Převážně eryrodextriny       | Neuspokojivé    |
| Žluté        | Cukry a achrodextriny        | Dokonalé        |

#### 4.3 Kontrola při chmelovaru

Provozní kontrola chmelovaru zahrnuje měření objemu díla pohromadě, stanovení jeho extraktu a sledování intenzity varu a odparu. Provádí se kontrola správnosti dávkování chmele a dodržení časového harmonogramu chmelení. Všechny údaje jsou zapisovány do protokolu a z nich se posléze vypočítává varní výtěžek.

Objem sladiny a mladiny se měří buď cejchovanými průtokoměry nebo měrnou tyčí, extrakt díla pohromadě a dovařené mladiny se měří sacharometrem po ochlazení vzorku v nořítku na cca 20°C. Přesnost výsledku sacharometrického měření se kontroluje v častých intervalech laboratorním stanovením extraktu pyknometricky.

Po ukončení varu se opět kontroluje barva, vůně a vizuálně ve speciální skleněné nádobce vaříč posuzuje i lom odebraného vzorku mladiny<sup>[1,2]</sup>.

## 4.4 Hodnocení hotového piva

Cílem chemické analýzy hotového piva je ověření splnění požadavků kladených na vyrobený finální produkt a posouzení jeho jakosti.

### 4.4.1 Stanovování hořkých látek

Celková hořkost piva je závislá na obsahu isosloučenin, které zahrnují především iso- $\alpha$ -hořké kyseliny a v malém množství i některé další deriváty hořkých kyselin chmele včetně jejich oxidačních produktů<sup>[34]</sup>.

Hořkost piva se obvykle stanovuje klasickou spektrofotometrickou metodou a měřením absorbance extraktu při 275 nm. Množství hořkých látek v mladině závisí nejen na kvalitě použitého chmele a chmelových přípravků, ale také na ostatních surovinách, na technologii a druhu vyráběného piva, pro který je mladina meziproduktem. Principem metody je extrakce hořkých látek z dekarbonizovaného piva, které se okyselí roztokem kyseliny chlorovodíkové do isooktanu. Obsah hořkých látek se udává v mezinárodních jednotkách hořkosti (MJH, IBU), které přibližně udávají obsah isohumulonů v  $\text{mg.l}^{-1}$ <sup>[2,38]</sup>.

Principem metody je extrakce hořkých látek z dekarbonizovaného piva, které se okyselí roztokem kyseliny chlorovodíkové, do isooktanu. Ve spektrofotometru se měří absorbance isooktanového extraktu v 1cm kyvetě proti čistému isooktanu. Kyvety se vzorky jsou ve spektrofotometru uloženy v optické dráze, jimiž prochází světlo a dopadá na detektor<sup>[38]</sup>.

### 4.4.2 Stanovení alkoholu, zdánlivého a skutečného extraktu

Obsah alkoholu v pivu lze stavět různými metodami, např. refraktometricky, destilační metodou, plynovou chromatografií a ultrazvukem. Většina těchto metod se ale v současnosti používá pouze v laboratorních podmínkách, protože jsou časově náročné a vyžadují vysoce

kvalifikovanou obsluhu. Zdlouhavá manuální práce při analýzách vedla k zavedení automatických analyzátorů založené na metodě blízké infračervené spektroskopie (NIR)<sup>[39]</sup>.

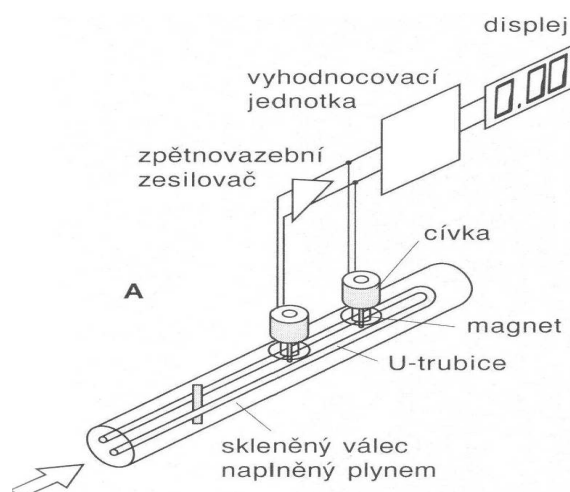
Stupňovitost piva vyjádřená v procentech je procentický obsah extraktu původní mladiny, ze které se pivo vyrobilo před zakvašením. Zdánlivý extrakt piva je extrakt stanovený sacharometricky nebo pyknometricky po jeho zbavení oxidu uhličitého. Skutečný extrakt je nezakvašený extrakt piva, který se stanovuje sacharometricky nebo pyknometricky po oddestilování alkoholu a doplnění destilovanou vodou na původní hmotnost vzorku<sup>[1,2]</sup>.

Základní parametry týkající se původního extraktu ( $E_p$ ) a stupně prokvašení se počítají z Ballingova vzorce:

$$E_p = \frac{100 (2,0665 A + E_s)}{100 + 1,0665 A}$$

kde  $E_s$  je zbytkový (skutečný) extrakt v hm. % a  $A$  je obsah alkoholu v %<sup>[1,2,40]</sup>.

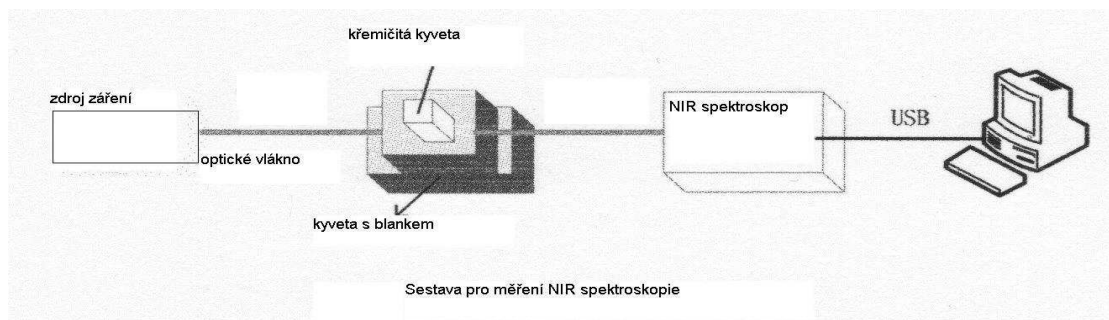
Pro analýzu piva se využívá závislosti extraktu a alkoholu na hustotě vzorků, která je podílem hmotnosti vzorku ve vakuu a jeho objemu. Pyknometrické měření hustoty bylo dnes v praxi nahrazeno stanovení hustoty číslicovým denzitometrem. Číslicový denzitometr s kmitající U-trubicí pracuje na principu ladičky s měřením frekvence kmitu. Skleněná nebo kovová trubice osciluje s charakteristickou frekvencí závislou na kapalině uvnitř trubice a oscilační frekvence se pak převádí na hustotu<sup>[2]</sup>.



Obr. č. 10: Schéma denzitometru<sup>[2]</sup>

#### 4.4.2.1 Popis metody NIR

Infračervená spektroskopie v blízké oblasti spektra (NIR) patří do skupiny molekulové vibrační spektroskopie. Z hlediska záření, se kterým pracuje, se jedná o oblast ve vlnových délkách od 780 do 2500 nm, tj. v rozsahu vlnočtů 12820 až 4000  $\text{cm}^{-1}$ . V případě záření s vyšší energií sousedí s viditelnou oblastí, na straně záření s nižší energií pak s oblastí střední infračervené oblasti (MIR). Hranice nejsou zcela ostré a fluktuují podle různých zdrojů informací v závislosti na tom, zda se tyto hranice vyvozují z možností spektrometrů pokrýt danou oblast, nebo z typu energetických přechodů, které se v dané oblasti pozorují. Ve spektru střední infračervené oblasti se projevují absorpce základních energetických přechodů vibrací a rotací atomových skupin v molekule. Absorpce záření v NIR oblasti je obvykle způsobena energetickými přechody mezi vibračními hladinami molekul, a to přechody kombinačními a svrchními tóny (overtony), které odpovídají stavům, při kterých se absorbuje záření vyšších energií a kvantové číslo popisující energetické hladiny se mění o více než 1. NIR spektra lze měřit jako zeslabení zářivého toku po průchodu záření vzorkem (transmisní měření) nebo po odrazu záření (reflexní techniky)<sup>[41,42]</sup>.



Obr. č. 11: Schéma pro měření NIR spektrometrie<sup>[43]</sup>

#### 4.4.3 Fyzikálně-chemické a organoleptické vlastnosti piva

Provozní kontrola hotového piva zahrnuje hodnocení barvy a pěnivosti. Mezi látky podporujícími pěnivost patří hlavně vysokomolekulární bílkoviny s vázanou sacharidickou složkou, hořké chmelové látky a některé kovové ionty. Negativně naopak pěnivost ovlivňují látky lipidického charakteru, např. vyšší mastné kyseliny. Princip stanovování pěnivosti většinou spočívá ve standardním napěnění piva a měření rychlosti vzniku kapaliny z pěny nebo rychlosti poklesu povrchu pěny<sup>[1]</sup>.

K senzorickému hodnocení piva se nejčastěji používá hodnocení subjektivního celkového dojmu, který v devítibodové stupnici vyjadřuje celkový dojem všech sensoricky vnímaných jevů. K ověření skutečných rozdílů se používají statistické metody v podobě párových testů, trojúhelníkový test, test duo-trio apod.<sup>[1,2]</sup>

#### 4.5 Požadavky kontroly

Provozní kontrola pivovarské výroby využívá metody a postupy založené na fyzikálních, chemických, biochemických a mikrobiologických principech. Požadavky kladené na jednotlivé metody mají z hlediska analytika mnoho společných rysů. Patří mezi ně správnost, shodnost, reprodukovatelnost a opakovatelnost za rozdílných podmínek. Správnost se vztahuje k těsnosti shody výsledků a skutečného obsahu stanovované složky určeného jako průměr většího počtu analýz stejného vzorku nebo jako přijatá hodnota standardu. Shodnost se týká těsnosti shody mezi výsledky zkoušek<sup>[44,45]</sup>.

Většinou se schopnost přístroje posuzuje podle shodnosti, k čemuž slouží opakování analýzy a výpočet mezí opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Mez opakovatelnosti je hodnota, o níž lze předpokládat, že s pravděpodobností 95% bude jí rovná nebo menší absolutní hodnota rozdílu mezi dvěma výsledky zkoušek získanými za podmínek opakovatelnosti ( $r$ ,  $r_{95}$ ). Mez opakovatelnosti se vypočítá jako 2,8-násobek směrodatné odchylky výsledků za podmínek opakovatelnosti. Podobně se za podmínek reprodukovatelnosti uvádí mez reprodukovatelnosti ( $R$ ,  $R_{95}$ ). Tyto hodnoty se získají experimentem přesnosti za normalizovaných podmínek měření a v pivovarství je uvádí analytika EBC, kde se přesnost jednotlivých metod vyjadřuje jako opakovatelnost (repeatability) a reprodukovatelnost (reproducibility)<sup>[46]</sup>.

Opakované analýzy stejného vzorku poskytují podle zkušeností rozdílné hodnoty i v statisticky zvládnutém měřicím procesu z důvodu působení různých vlivů, mezi něž patří:

- osobnost analytika
- použité měřicí zařízení
- kalibrace zařízení
- vnější podmínky (teplota, tlak, vlhkost)
- doba mezi měřeními.

Nejmenší rozptyl budou vykazovat výsledky za podmínek opakovatelnosti, za nichž se zmíněné vlivy považují za konstantní, zatímco za podmínek reprodukovatelnosti budou výsledky nejvíce rozptýlené<sup>[2]</sup>.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 LABORATORNÍ ANALÝZA SVRCHNĚ KVAŠENÉHO PIVA TYPU WIT

Cílem experimentální části diplomové práce bylo stanovení hlavních ukazatelů při analýze jednotlivých vzorků svrchně kvašeného piva.

Pivo Wit, tzv. bílé pivo, je druhem svrchně kvašeného pšeničného piva původem z Belgie. Pro analýzu v této práci byly porovnávány čtyři vzorky tohoto piva.

Každá várka byla vyrobena v objemu 240 l v minipivovaru středního pivovaru, jeho roční výstav činí okolo 226 000 hl piva ročně.

### 5.1 Výroba piva v minipivovaru

Vzorky piva Wit byly vyrobeny z českého sladu, pšeničného sladu a nesladované pšenice, přičemž u vzorků č. 3 a č. 4 byl do sladu přidán koriandr v množství 0,42 g/l.

*Tabulka č. 9: Složení sypání pro výrobu vzorků piva Wit*

| číslo vzorku | várka č. | český slad | pšeničný slad | nesladovaná pšenice |
|--------------|----------|------------|---------------|---------------------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 48%        | 36,7%         | 15,3%               |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 50%        | 37,6%         | 12,4%               |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 47,4%      | 36,1%         | 16,5%               |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 47,4%      | 36,1%         | 16,5%               |

Šrotování sladu probíhalo na dvouválcovém šrotovníku o výkonu 250 kg/h. Před začátkem varního procesu byl vybrán druh otopu pomocí přepínače.

Slad se vystíral pomalým nasypáváním sladového šrotu do rmuto-mladinové pánve ve vodě o teplotě 60°C. Po ukončení vystírky, která probíhala za stálého míchání, se ponechala prodleva 5 minut až do úplného rozmíchání sladového šrotu. Čerpadlo v průběhu vystírky běželo na cca 80% svého maximálního výkonu, celkový objem vystírky byl 210 l.

Na regulátoru byly nastaveny požadované parametry. Za stálého míchání byl rmut přihříván rychlostí 1°C/min na teplotu 62°C a po dobu 30 minut probíhalo první zcukření. Poté bylo várka vyhřívána na teplotu 73°C, při které byla dodržena prodleva do dokonalého zcukření.

Za stálého míchání byl rmut převeden do scezovací pánve a po umytí rmuto-mladinové pánve bylo podrážděním zahájeno scezování. Po vyčiření sladiny byly klapky přehozeny tak, aby sladina stékala do rmuto-mladinové pánve. Průtok sladiny byl přiškrcen klapkou na průtoku scezovacího čerpadla. Po stažení 130 l předku bylo možno kypřidlem pomalu pětkrát projet vrstvu mláta a do scezovací pánve byla napuštěna horká voda. V průběhu scezování předku byla přidána první dávka chmele. Po dosažení celkového objemu pohromadě byla várka zahřívána do varu. Přibližně 10 minut po začátku varu byla přidána druhá várka chmelových granulí a poslední dávka byla přidána k varce 15 minut před skončením chmelovaru. Celková doba chmelovaru byla 90 minut.

*Tabulka č. 10: Chmelení vzorků piva Wit*

| číslo vzorku | várka č. | ŽPČ   | Safír |
|--------------|----------|-------|-------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 490 g |       |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 450 g |       |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 350 g | 100 g |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 350 g | 100 g |

Součet  $\alpha$ -hořkých kyselin u každého vzorku byl 0,077 g/l

Po ukončení chmelovaru byla mladina roztočena oběhovým čerpadlem, přičemž obě spodní klapky ve rmuto-mladinové pánvi byly otevřeny, aby mohlo dojít k oddělení horkých kalů. Po 20 – 30 minutovém odpočinku bylo zahájeno chlazení. Na deskovém chladiči byla mladina v prvním stupni zchlazena pitnou vodou z řadu na teplotu 25°C a ve druhém stupni byla dochlazena na zákvasnou teplotu 22°C.



*Obr. č. 12: Varna minipivovaru*

Pivo bylo zakvašeno svrchními kvasinkami *Saccharomyces cerevisiae*. Kvašení probíhalo 6 – 7 dní a následné zrání trvalo tři týdny. Pivo nebylo filtrováno.

Hotové pivo Wit bylo zlatožluté barvy a mírně zakalené. Vonělo po obilí a koriandru.



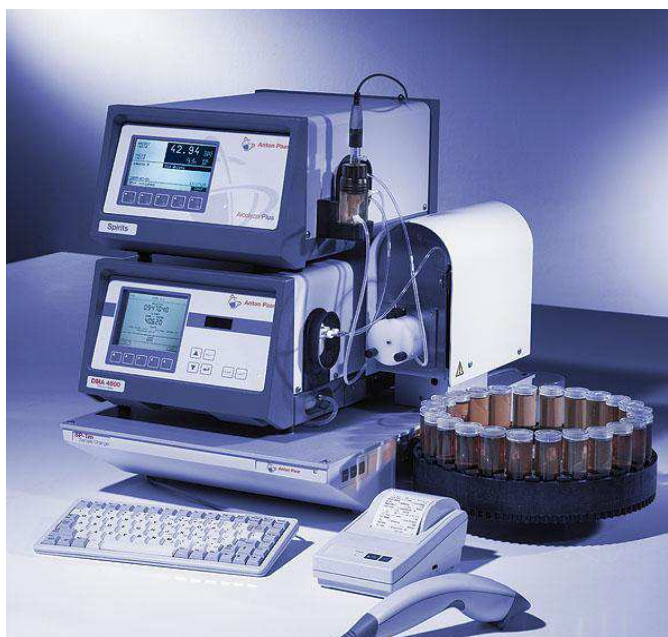
Obr. č. 13.: Spilka minipivovaru

## 5.2 Analýza vzorků z jednotlivých varů v analyzátoru

### 5.2.1 Princip metody

Pro analýzu vzorků byl využit analyzátor DMA 4500 firmy Anton Paar, který se skládá z modulu Alkolyzér Beer a hustoměru. Základem celého systému je patentovaná metodika měření NIR spektra, které je vyhodnocováno speciálně vyvinutým, stabilním a mimořádně citlivým spektrometrem a související hodnoty jsou následně kalkulovány vhodným algoritmem. V této oblasti spektra je vliv ostatních látek tak malý, že výsledky získané pomocí alkolyzéro jsou mimořádně přesné. Díky jejich selektivitě a linearitě vyžaduje tato metoda měření pouze nastavení na vodu a směs alkohol/voda, nastavení je platné pro všechny typy vzorku.

Analytický systém Alcolyzer Beer stanovuje obsah alkoholu a řadu dalších parametrů jako je hustota, původní extrakt, skutečný extrakt, stupeň fermentace, energetická hodnota a volitelně ještě barva, viskozita, pH a zákal. Přístroj je schopen vzorek vyhodnotit do 30s, minimální objem vzorku je 1 ml.



Obr. č. 14: Analyzátor DMA 4500 Anton Paar<sup>[47]</sup>

Hustoměr DMA měří hustotu, specifickou hmotnost a koncentraci na principu skleněné oscilační U-trubice s patentovaným referenčním oscilátorem. Po naplnění U-trubice 1 ml vzorku přístroj elektronicky excituje U-trubicí, která simultánně osciluje svojí rezonanční a harmonickou frekvencí. Oscilační charakteristiky jsou kontrolovány referenčním oscilátorem zajišťujícím správnou frekvenci. Referenční oscilátor je umístěn v teplotním kontaktu s oscilační trubicí, což umožňuje kompenzaci vychýlení způsobených teplotním stresem. Na základě těchto měření je hustota stanovena s přesností  $0,00005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a současně je korigován vliv viskozity.

### 5.2.2 Instrumentace

Vzorek piva, zbavený oxidu uhličitého, se zfiltruje přes papírový filtr. Filtrátem se naplní kyvetka až po okraj a vloží se do podávacího karuselu analyzátoru DMA 4500 firmy Anton Paar. Po nástřiku vzorku se tlačítkem spustí vyhodnocování a po 3 - 4 minutách se výsledek zaznamená a vytiskne.

### 5.2.3 Pracovní postup

Přístrojem byly u vzorků naměřeny hodnoty stupňovitosti piv v %, obsahu alkoholu v obj. %, pH, zdánlivého a skutečného prokvašení v % a hodnoty pH.

*Tabulka č. 11 : Hodnoty vzorků – stupňovitost (EPM)*

| číslo vzorku | várka č. | stupňovitost v obj. % |
|--------------|----------|-----------------------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 11,82                 |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 11,28                 |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 11,80                 |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 11,22                 |

*Tabulka č. 12 : Hodnoty vzorků – obsah alkoholu*

| číslo vzorku | várka č. | obsah alkoholu v % |
|--------------|----------|--------------------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 4,86               |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 4,48               |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 4,54               |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 5,07               |

*Tabulka č. 13: Hodnoty vzorků – pH*

| číslo vzorku | várka č. | pH   |
|--------------|----------|------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 4,53 |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 4,43 |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 4,47 |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 4,57 |

*Tabulka č. 14: Hodnoty vzorků – prokvašení zdánlivé a skutečné*

| číslo vzorku | várka č. | prokvašení zdánlivé v % | prokvašení skutečné v % |
|--------------|----------|-------------------------|-------------------------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 77,28                   | 64,29                   |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 74,79                   | 61,78                   |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 72,20                   | 59,58                   |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 85,56                   | 68,35                   |

## 5.3 Stanovení hořkých látek svrchně kvašeného piva typu Wit

### 5.3.1 Princip metody

Principem metody je extrakce hořkých látek z dekarbonizovaného piva, které se okyselí roztokem kyseliny chlorovodíkové do isooktanu. Obsah hořkých látek je udáván v mezinárodních jednotkách hořkosti MJH, které přibližně udávají obsah isohumulonů v  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

### 5.3.2 Instrumentace

#### Přístroje a zařízení

- odstředivka, kyveta do odstředivky
- zábrusové 100 ml baňky
- třepačka o amplitudě 2 až 3 cm
- spektrofotometr

#### Chemikálie a roztoky

- isooktan (2,2,4-trimethylpentan), spektroskopicky čistý
- roztok kyseliny chlorovodíkové,  $c(\text{HCl}) = 6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

### 5.3.3 Pracovní postup

Připravené vzorky byly okyseleny roztokem kyseliny chlorovodíkové o koncentraci  $6 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  a přidal se isooktan průmyslově. Do kyvety byly ke směsi přidány skleněné kuličky. Poté byla kyveta uzavřena a při frekvenci  $270 \text{ Hz}$  se intenzivně třepala. Následně byla kyveta vložena do centrifugy a odstředovala se při  $3000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . Po vytažení z centrifugy bylo vidět rozhraní směsí piva ve spodní části a isooktanu s vyextrahovanými hořkými látkami v horní části kyvety. Tato část byla použita pro stanovení obsahu celkových hořkých látek ve spektrofotometru.

#### Výpočet a vyhodnocení

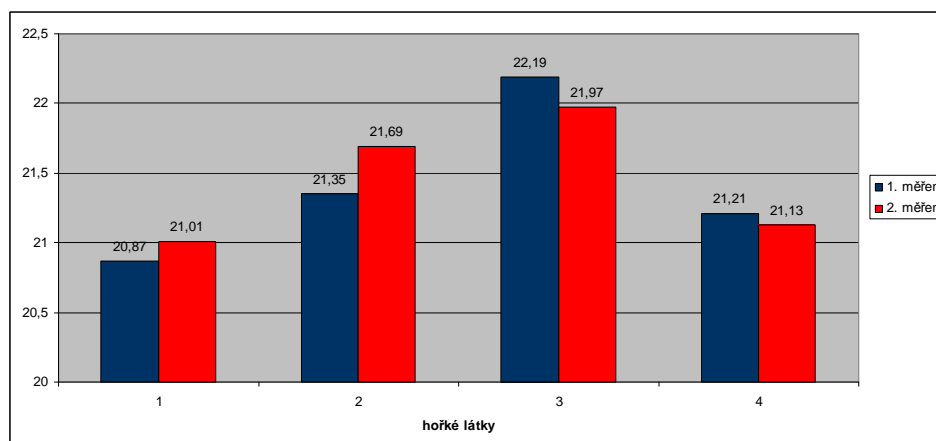
Jednotky hořkosti (MJH) se vypočtou podle vztahu:

$$\text{MJH} = 50 \cdot A \text{ (10 ml vzorku)}$$

$$\text{MJH} = 25 \cdot A \text{ (20 ml vzorku)}$$

A - absorbance isooktanového extraktu vzorku při  $275 \text{ nm}$ .

Každá várka piva byla na obsah hořkých látek stanovována dvakrát, aby byly výsledné naměřené hodnoty co nepřesnější. Odchylka mezi výsledky jednotlivých měření by měla být  $\pm 0,5$  MJH.



Obrázek č. 15: Naměřené hodnoty hořkých látek jednotlivých vzorků

Tabulka č. 15: Výsledné průměrné hodnoty vzorků – hořké látky mladiny

| číslo vzorku | várka č. | hořkost /MJH |
|--------------|----------|--------------|
| vzorek č. 1  | 13/8     | 20,94        |
| vzorek č. 2  | 13/10    | 21,52        |
| vzorek č. 3  | 13/36    | 22,08        |
| vzorek č. 4  | 13/37    | 21,17        |



## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Analytické rozborů v pivovarství jsou nástrojem laboratorní kontroly, které jsou důležité pro systém řízení jakosti. Základním parametrem složení piva je obsah původního extraktu v % hm., čili koncentrace původní mladiny, vyjádřená jako koncentrace sacharosy. Výsledky základního rozboru také slouží k výpočtu odvodu daně, která se platí podle daňové třídy pro jednotlivé druhy pív.

Pro přiblížení analytických výsledků svrchně kvašeného piva Wit jsou hodnoty porovnány s průměrnými hodnotami 11% světlého piva vyrobené spodním kvašením, které bylo vyrobeno v hlavním pivovaru.

*Tabulka č. 16: Složení surovin pro výrobu 11% sv. piva*

| slad             |         |
|------------------|---------|
| český            | 99,9%   |
| barevný          | 0,01%   |
| ostatní suroviny |         |
| cukr krystal     | 12 g/l  |
| chmel            | 1,1 g/l |

Součet  $\alpha$ -hořkých kyselin u každého vzorku byl 0,078 g/l

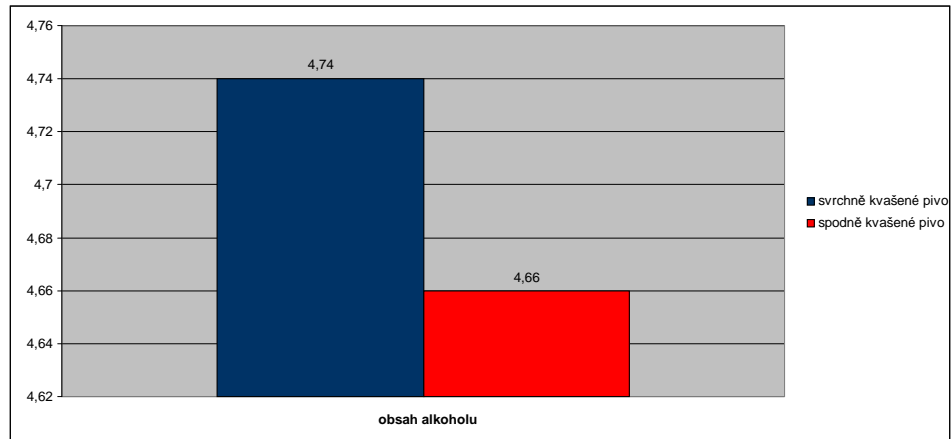
Vzorky byly analyzovány v analyzátoru Anton Paar DMA 4500 a výsledky zprůměrovány.

*Tabulka č. 17: Průměrné analytické hodnoty naměřené u vzorků 11% sv. piva*

| stupňovitost | obsah alkoholu | pH   | prokvašení zdánlivé | obsah hořkých látek |
|--------------|----------------|------|---------------------|---------------------|
| 10,86%       | 4,66%          | 4,32 | 73%                 | 39,56 MJH           |

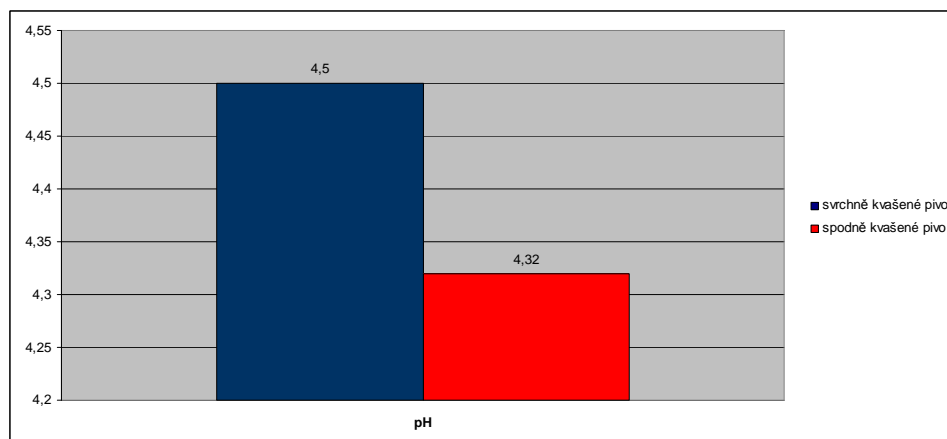
Průměrná hodnota stupňovitosti (extrakt látek v původní mladině) u vzorků svrchně kvašeného piva Wit je 11,53%.

Vyhláška č.335/1997 Sb.<sup>[4]</sup> blíže nespecifikuje jakékoli analytické hodnoty u svrchně kvašených pív. V odborné literatuře<sup>[2]</sup> Basařová uvádí obvyklé hodnoty původního extraktu u belgických svrchně kvašených pív v širokém rozmezí, nejčastěji mezi hodnotami 11 – 24%, a procenta objemu alkoholu u těchto druhů pív mezi hodnotami 5 – 10. Hodnoty naměřené u vzorků pív Wit použité v experimentální části diplomové práce se přibližují k nižším hranicím těchto uváděných hodnot.



Obrázek č.16: Grafické porovnání hodnot obsahu alkoholu

Průměrná hodnota pH u vzorků je 4,5. V praxi se pH piva pohybuje nejčastěji v rozmezí hodnot 4,3 – 4,7. Podle legislativních předpisů musí být pH piva v rozmezí 4,0 – 4,9, hodnoty pH mimo uvedené rozmezí naznačují vady piva.



Obrázek č. 17: Grafické porovnání hodnot pH

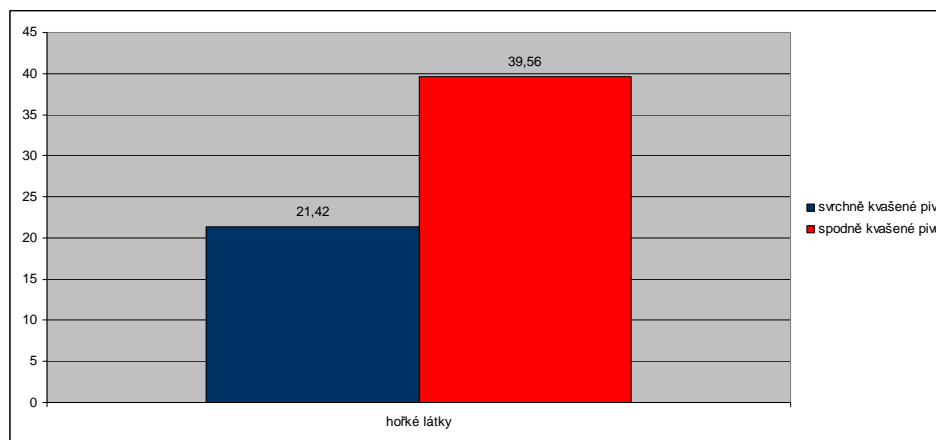
Z porovnání mezi naměřenými průměrnými hodnotami spodně a svrchně kvašených 11% piv vyplývá, že se hodnoty pH ani hodnoty obsahu alkoholu příliš neliší. Tyto výsledky jen potvrzují, že byly díky příznivému pH vytvořeny dobré podmínky pro kvašení.

Dalším důležitým kritériem je stupeň prokvašení, udávající podíl extraktu, přeměněného kvašením na ethanol. Stupeň prokvašení vyjadřuje v procentech úbytek původního zkvasitelného extraktu mladiny, přičemž jeho hodnota je závislá na obsahu zkvasitelných cukrů a na podmínkách při kvašení a dokvašování. V praxi stupeň prokvašení mladého nebo i stočeného piva téměř nikdy nedosahuje hodnoty dosažitelného stupně prokvašení. V průběhu kvasného procesu se rozdíl mezi oběma hodnotami zmenšuje a při výstavu by neměl být větší než 5%.

U vzorků vyrobených svrchně kvašených piv byla zjištěna průměrná hodnota zdánlivého prokvašení 77,46% a hodnota skutečného prokvašení 63,5%. Největší odchylku od průměrných výsledků vykazovaly hodnoty vzorku č. 4, což mohlo být způsobeno několika faktory, např. nevhodným fyziologickým stavem kvasnic, koncentrací kvasničných buněk, ale i selháním lidského faktoru. Při výrobě svrchně kvašeného piva podobného typu by bylo vhodné zaměřit se zejména na zhodnocení viability a vitality kvasnic.

V odborné literatuře se uvádí maximální obsah zkvasitelných cukrů v mladině u spodně kvašených piv okolo 72%, což odpovídá zdánlivému prokvašení přibližně 79 až 85%<sup>[2]</sup>. Srovnání výsledků prokvašení svrchně kvašených piv s hodnotami prokvašení spodně kvašených piv není možné. Technologický proces výroby piva v minipivovaru a pivovaru střední velikosti je zcela odlišný, což je dáno technologickým zařízením těchto segmentů přizpůsobeným objemu piva, které je zde produkováno.

Při stanovování hořkých látek vzorků svrchně kvašených piv byl v mladině zjištěn průměrný obsah hořkých látek 21,42 MJH.



Obrázek č. 18: Grafické porovnání obsahu hořkých látek mladiny

Z porovnání mezi naměřenými průměrnými hodnotami obsahu hořkých látek vzorků svrchně a spodně kvašených piv je patrný poměrně velký rozdíl. Při chmelení byl u všech vzorků vyrobených v experimentální části diplomové práce součet  $\alpha$ -hořkých látek 0,077 – 0,078 g/l bez ohledu na podíl použitých chmelových odrůd. Rozdíl v obsahu hořkých látek v mladině může být způsoben různou délkou chmelovaru a přidáváním hořkých kalů do mladiny spodně kvašených piv, které způsobují větší výtěžnost piv a zároveň vyšší obsah hořkých látek.

Výsledné naměřené hodnoty hořkých látek u vzorků svrchně kvašených piv ale rozhodně nesnižují kvalitu výsledného piva. Svrchně kvašené pivo by mohlo být díky slabé a jemné hořkosti pivem vhodným pro spotřebitele, kteří preferují zdravý životní styl a nebrání se novým trendům.

## ZÁVĚR

Pivo je nápoj po staletí oblíbený pro své organoleptické vlastnosti, schopnost tišit žízeň a celkovou téměř dokonalou iontovou a nutriční vyrovnanost. Nejdůležitějším posuzovatelem vlastností a kvality piva jsou spotřebitelé, jejichž požadavkům by se měla výroba přizpůsobit. Z tohoto hlediska je největší důraz kladen na senzorycké vlastnosti a jejich stabilitu, která spotřebiteli zaručí stálou kvalitu piva po celou dobu garance. Typickou organoleptickou vlastností piva je jeho hořká chuť, která je způsobena hořkými látkami pocházejícími z chmelu.

Cílem této práce bylo stanovení hlavních ukazatelů při analýze vzorků svrchně kvašeného piva. V praktické části byl popsána výroba svrchně kvašeného piva typu Wit. Vzorky tohoto piva byly analyzovány v analyzátoru DMA 4500 firmy Anton Paar a byl u nich také stanoven obsah hořkých látek.

Pro přiblížení výsledků analýzy byly naměřené hodnoty porovnány s průměrnými analytickými hodnotami 11% spodně kvašeného piva. Bylo zjištěno, že se hodnoty obsah alkoholu i hodnoty pH svrchně kvašeného piva neliší a odpovídají běžným hodnotám piva spodně kvašeného. Hodnoty prokvašení jsou rozdílné ale zároveň i neporovnatelné, jelikož jsou velmi odlišné podmínky a technologické postupy pro výrobu spodně a kvašených piv.

Největší rozdíl mezi naměřenými hodnotami vzorků piv byl zjištěn při stanovování obsahu hořkých látek, které bylo provedeno klasickou spektrofotometrickou metodou a měřením absorbance při 275 nm.

Závěrem lze konstatovat, že vyrobené svrchně kvašené pivo je díky složení použitých surovin, způsobem rmutování a podmínkám při kvašení tak specifické, že je porovnatelné s tradičním pivem spodně kvašeným pouze v základních analytických hodnotách. Svrchně kvašené pivo by si mohlo pro svou jemnou hořkost a zajímavou chuť najít své spotřebitele a rozšířit stávající nabídku na trhu, kde výrazně převažují piva spodně kvašená.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOSAŘ, K., PROCHÁZKA, S. a kol.: *Technologie výroby piva a sladu*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000. 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [2] BASAŘOVÁ, G., ŠAVEL, J., BASAŘ, P., LEJSEK, T.: *Pivovarství – teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. 863 s. ISBN 978-80-7080-734-7.
- [3] JOHN, J.: *Vaření piva v českých zemích a zaniklé pivovary na Sokolovsku*. 1. vyd. Sokolov: Fornica Publishing, 2008. 231s. ISBN 978-80-87194-03-4.
- [4] ANONYM: Vyhláška č.335/1997 Sb. pro nealkoholické nápoje a koncentráty k přípravě nealkoholických nápojů, ovocná vína, ostatní vína a medovinu, pivo, konzumní líh, lihoviny a ostatní alkoholické nápoje, kvasný ocet a droždí.
- [5] Druhy piv [online]. [cit. 13. 1. 2013]. Dostupný z WWW  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Druhy\\_piv#Svrchn.C4.9B\\_kva.C5.A1en.C3.A1\\_piva](http://cs.wikipedia.org/wiki/Druhy_piv#Svrchn.C4.9B_kva.C5.A1en.C3.A1_piva)
- [6] KOČKA, J.: *Pšeničná piva*. Pivař 2006, 1/8-9, 16.
- [7] ROP, O., HRABĚ, J.: *Nealkoholické a alkoholické nápoje*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. 129 s. ISBN 978-80-7318-748-4.
- [8] Sladovnický ječmen [online]. [cit. 15. 1. 13]. Dostupný z WWW  
<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mb/MB43-v1.HTM>
- [9] BASAŘOVÁ, G., ČEPIČKA, J.: *Sladařství a pivovarnictví*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1986. 256 s
- [10] VEČERKOVÁ, H.: *Abeceda piva*. 1. vyd. Praha: Graphic design, 2007. ISBN 978-80-85005-86-8.
- [11] VELÍŠEK, J.: *Chemie potravin 1*. 2.vyd. Tábor: OSSIS, 2002. 331 s. ISBN 80-86659-00-3.
- [12] Polysacharidy [online]. [cit. 15. 1. 2013]. Dostupný z WWW  
[http://www.wikiskripta.eu/index.php/Polysacharidy\\_\(1.\\_LF,\\_NT\)#.C5.A0krob](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Polysacharidy_(1._LF,_NT)#.C5.A0krob)
- [13] MACHÁŇ, P., EHRENBERGEROVÁ, J., KLÍMOVÁ, E., BENEŠOVÁ, K., VACULOVÁ, K.: *Neškrobové polysacharidy v souboru odrůd ječmene jarního*. Kvasný průmysl, 2011, 57, 219-220 s.

- [14] HARRIS, G., RICKETTS, R. W.: *Flavonoid compounds of hops and of malt concerned in the formation of beer hazes*. Chemistry a Industry, 1958, 686 - 687.
- [15] ČSN 46 1100-5, 2005. *Obiloviny potravinářské – Část 5: Ječmen sladovnický*. Praha: Český normalizační institut
- [16] Pivovarství – sylabus k předmětu [online]. [cit. 20. 1. 2013]. Dostupný z WWW [www.vscht.cz/kch/download/sylaby/pivovarstvi.pdf](http://www.vscht.cz/kch/download/sylaby/pivovarstvi.pdf)
- [17] CHLÁDEK, L.: *Pivovarnictví*. Praha: Grada Publishing, 2007. 207 s. ISBN 978-80-247-1616-9.
- [18] Varna – ve vystírací pánvi se smíchá sešrotovaný slad s vodou [online]. [cit. 13. 2. 2013]. Dostupný z WWW <http://www.pivovyskov.cz/cz/pivovar/fotogalerie/>
- [19] ŠEMÍK, P., SEKORA, M., KOVANDA, Š.: *Možnosti ovlivnění kvalitativních parametrů mladiny připravené rozdílným způsobem chmelovaru*. Kvasný průmysl, 2003, 49, 296 – 303.
- [20] Biologie a morfologie chmelové rostliny [online]. [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné z www [http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul\\_key=4&idkapitola=181](http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=4&idkapitola=181)
- [21] HOFTA, P., DOSTÁLEK, P., BASAŘOVÁ, G.: *Xanthohumol – chmelová pryskyřice nebo polyfenol?* Chemické listy, 2004, 98, 825 – 830
- [22] VELÍŠEK, J.: *Chemie potravin 2*. 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002. 228 s. ISBN 80-86659-01-1.
- [23] CVENTROŠCHOVÁ, M., MOGROVIČOVÁ, D.: *Chmelové preparáty a faktory ovlivňující průběh chmelovaru*. Chemické listy. 2007, 101, 287 – 291.
- [24] NARZISS, L.: *Abriss der Bierbrauerei*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1986. 404 s. ISBN 3-432-84135-3
- [25] BACK, W. a kol.: *Ausgewählte Kapitel der Brautechnologie*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2005. 367 s. ISBN 3-418-0080-2.
- [26] Spilka [online]. [cit. 19. 3. 2013]. Dostupné z www <http://www.pivovary.info/view.php?cisloclanku=2008020012>
- [27] VERHOEF, B.: *Encyklopedie piva*. Praha: Rebo Production, 1998. 304s. ISBN 80-7234-012-3.

- [28] EUROPEAN BREWERY CONVENTION: Analytica-Microbiologica-EBC. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2005. [CD ROM]. ISBN 3-419-00780-05.
- [29] BENDOVIÁ, O., KAHLER, M.: *Pivovarské kvasinky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981. 272s.
- [30] BLASOVIČ, B., RUPČIČ, M., MESARIČ, M., MARIČ, V.: *Lipid analysis of the plasma membráně and mitochondria of brewer's yeast*. *Folia Microbiologica*. 2005, 50, 24 – 30.
- [31] SIGLER, K., MATOULOVÁ, D., GABRIEL, P., DIENSTBIER, M., GÁŠKOVÁ, D.: *Kvasinky a stres: z laboratorních podmínek do pivovaru*. *Kvasný průmysl*, 2010, 56, 100 – 104.
- [32] SMART, K.: *Brewing yeast fermentation performance*. 1. vyd. Oxford: Blackwell Science, 2000. ISBN 0-632-05451-4.
- [33] KOŠIN, P., ŠAVEL, J., KOLOUCHOVÁ, I., BROŽ, A.: *Viabilita a vitalita kvasnic v provozním kvašení*. *Kvasný průmysl*, 2007, 53, 30 – 34s.
- [34] BASAŘOVÁ, G. a kol.: *Pivovarsko-sladařská analytika*. 1. vyd. Praha: Merkanta s.r.o., 1992. 388 s.
- [35] ČSN 56 6610, 2009. *Pivovarské slady*. Praha: Český úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [36] Slad [online]. [cit. 15. 1. 2013]. Dostupný z WWW <http://www.brelex.cz/faq.php>
- [37] pH metry [online]. [cit. 17. 1. 2014]. Dostupné z www <http://www.labicom.cz/ph-metry-112/>
- [38] BASAŘOVÁ, G. a kol.: *Pivovarsko-sladařská analytika 3*. Praha : Merkanta s.r.o., 1993. 332 s.
- [39] DANDÁROVÁ, E. a kol.: *Moderní metody a zařízení pro stanovení alkoholu v pivu*. *Kvasný průmysl*, 1995, 4, 269 – 272.
- [40] ANONYM: Vyhláška 468/2003 Sb. o stanovení vzorce pro výpočet extraktu původní mladiny a metodách určení extraktu původní mladiny.
- [41] BROŽ, A., KOŠIN, P., ŠAVEL, J., PROKEŠ, J.: *Jak zacházet v NIR spektroskopii v pivovarské laboratoři*. *Kvasný průmysl*, 2008, 54, 108 – 114s.



- [42] KLOUDA, P.: *Moderní analytické metody*. 1. vyd. Ostrava: Nakladatelství Pavel Klouda, 1996. 204 s. ISBN 80-902155-0-5.
- [43] XIAOFEI, W., YANFEIE, B., HUKLI, L., GANG, L., LING, L.: *Procedia Engineering*, 2012, 29, 2285 – 2290.
- [44] ŠAVEL, J.: *Modifikované metody pivovarské kontroly*. *Kvasný průmysl*, 1998, 44, 344 – 346 s.
- [45] HORÁLEK, V.: *O některých problémech české odborné terminologie a zásadách jejich řešení*. *Perspektivy jakosti*, 2007, 4, 33 – 37 s.
- [46] KOCOUREK, V.: *Výklad pojmů v managementu kvality v analytických laboratořích*. [online]. [cit. 15. 2. 2014]. Dostupné z [www.web.vscht.cz/kocourev/files/SlovQA\\_03.pdf](http://www.web.vscht.cz/kocourev/files/SlovQA_03.pdf)
- [47] Firemní materiály firmy Anton Paar [online]. [cit. 16. 2. 2014]. Dostupné z <http://www.anton-paar.cz/pdf/C76IP001CS.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|      |  |
|------|--|
| A    | obsah alkoholu   |
| ATP  | adenosintrifosfát  |
| EBC  | Evropská pivovarská konvence (European Brewery Convention) |
| Ep   | extrakt původní  |
| EPM  | extrakt původní mladiny                                    |
| Es   | extrakt skutečný   |
| IBU  | mezinárodní jednotka hořkosti (international bitter unit)  |
| MIR  | infračervená spektroskopie ve střední oblasti              |
| MJH  | mezinárodní jednotka hořkosti                              |
| NADH | nikotinamidadenindinukleotid                               |
| NIR  | infračervená spektroskopie v blízké oblasti                |
| r    | mez opakovatelnosti  |
| R    | mez reprodukovatelnosti                                    |
| WK   | jednotky Windische-Kolbacha                                |
| ŽPČ  | Žatecký poloraný červeňák                                  |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|   |    |
|---|----|
| Obr. č. 1: Zrna sladovnického ječmene.....                          | 14 |
| Obr. č. 2: Struktura škrobu.....                                    | 16 |
| Obr. č. 3: Schéma klasické varny.....                               | 19 |
| Obr. č. 4: Vystírací kád'.....                                      | 21 |
| Obr. č. 5: Řez chmelové hlávky se zrnky lupulinu.....               | 23 |
| Obr. č. 6: Otevřené kvasné kádě.....                                | 26 |
| Obr. č. 7: Pšeničný slad.....                                       | 33 |
| Obr. č. 8: Český plzeňský slad.....                                 | 33 |
| Obr. č. 9: pH metr InoLab WTW pH 720.....                           | 35 |
| Obr. č. 10: Schéma denzitometru.....                                | 37 |
| Obr. č. 11: Schéma pro měření NIR spektrometrie.....                | 38 |
| Obr. č. 12: Varna minipivovaru.....                                 | 43 |
| Obr. č. 13: Spilka minipivovaru.....                                | 44 |
| Obr. č. 14: Analyzátor DMA 4500 Anton Paar.....                     | 45 |
| Obr. č. 15: Naměřené hodnoty hořkých látek jednotlivých vzorků..... | 48 |
| Obr. č. 16: Grafické porovnání hodnot obsahu alkoholu.....          | 50 |
| Obr. č. 17: Grafické porovnání hodnot pH.....                       | 50 |
| Obr. č. 18: Grafické porovnání obsahu hořkých látek mladiny.....    | 51 |

**SEZNAM TABULEK**

|   |    |
|---|----|
| Tabulka č. 1: Jakostní parametry pro sladovnický ječmen.....                    | 19 |
| Tabulka č. 2: Sled výrobních operací při výrobě mladiny.....                    | 20 |
| Tabulka č. 3: Taxonomie pivovarských kvasinek.....                              | 27 |
| Tabulka č. 4: Základní složení sušiny pivovarských kvasinek.....                | 28 |
| Tabulka č. 5: Hlavní skupiny pivovarských mikroorganismů podle škodlivosti..... | 30 |
| Tabulka č. 6: Rozdělení vod z hlediska tvrdosti.....                            | 32 |
| Tabulka č. 7: Porovnání parametrů jakosti českého a pšeničného sladu.....       | 33 |
| Tabulka č. 8: Posouzení stupně zcukření v závislosti na zbarvení roztoku.....   | 35 |
| Tabulka č. 9: Složení surovin pro výrobu vzorků piva Wit.....                   | 42 |
| Tabulka č. 10: Chmelení vzorků piva Wit.....                                    | 43 |
| Tabulka č. 11 : Hodnoty vzorků – stupňovitost (EPM).....                        | 46 |
| Tabulka č. 12 : Hodnoty vzorků – obsah alkoholu.....                            | 46 |
| Tabulka č. 13: Hodnoty vzorků – pH.....   | 46 |
| Tabulka č. 14: Hodnoty vzorků – prokvašení zdánlivé a skutečné.....             | 46 |
| Tabulka č. 15: Výsledné průměrné hodnoty vzorků – hořké látky mladiny.....      | 48 |
| Tabulka č. 16: Složení surovin pro výrobu 11% sv. piva.....                     | 49 |
| Tabulka č. 17: Průměrné analytické hodnoty naměřené u vzorků 11% sv. piva ..... | 49 |

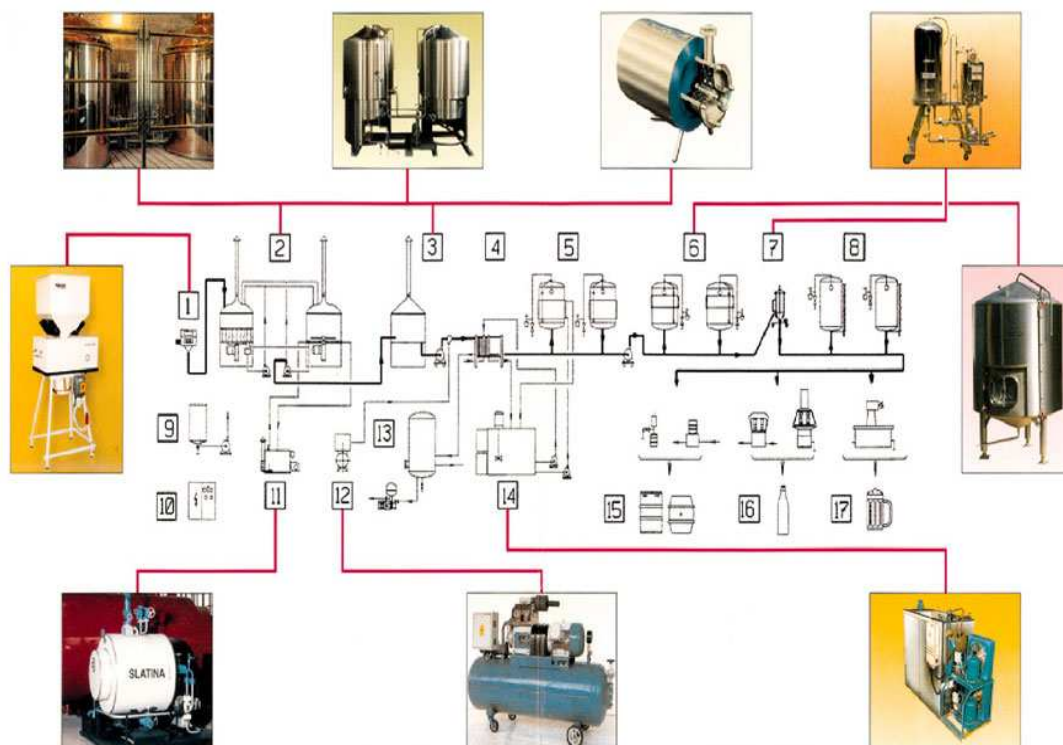
## **SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA PI : SCHÉMA VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ MINIPIVOVARU

PŘÍLOHA PII: TECHNICKÁ SPECIFIKACE ALKOLYZÉRU BEER ANTON PAAR

PŘÍLOHA PIII: CHARAKTERISTIKA ODRŮDY ŽPČ

## PŘÍLOHA P I: SCHÉMA VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ MINIPIVOVARU



1. Mačkadlo sladu
2. Varna
3. Vířivá kád'
4. Chladič mladiny
5. Kvasné tanky
6. Ležákové tanky
7. Filtrace piva
8. Stáček tanky
9. Sanitační stanice
10. Rozvodna elektroinstalace
11. Parní generátor
12. Pneumatická stanice
13. Horkovodní tank s čerpadlem
14. Chladící zařízení
15. Plnička sudů
16. Stáčírna lahví
17. Výčep

# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÁ SPECIFIKACE ALKOLYZÉRU BEER

## ANTON PAAR

### Technická specifikace

|                              |  |   |
|------------------------------|--|---|
| <b>Rozsah měření</b>         | Obsah alkoholu<br>Původní extrakt<br>Extrakt<br>Hustota<br>Barva (volitelně)<br>pH (volitelně)<br>Viskozita (volitelně)<br>Zákal (volitelně)     | 0 % obj. až 12 % obj.<br>0 °Plato až 30 °Plato<br>0 % hm. až 20 % hm.<br>0 g/cm <sup>3</sup> až 3 g/cm <sup>3</sup><br>0 EBC až 120 EBC<br>0 pH až 14 pH<br>0,3 mPa.s až 10,000 mPa.s<br>0 EBC až 100 EBC<br>(zobrazení hodnot až do 200 EBC) |
| <b>Opakovatelnost</b>        | Obsah alkoholu<br>Původní extrakt<br>Extrakt<br>Hustota<br><br>Barva (volitelně)<br>pH (volitelně)<br>Viskozita (volitelně)<br>Zákal (volitelně) | 0,01 % obj.<br>0,03 °Plato<br>0,01 % hm.<br>0,00001 g/cm <sup>3</sup> (DMA 4500 M)<br>0,000001 g/cm <sup>3</sup> (DMA 5000 M)<br><br>0,1 EBC<br>0,02 pH (v rozsahu 3 až 7)<br>0,1 %<br>0,02 EBC   |
| <b>Řízení teploty</b>        | Integrovaný peltier termostat  |   |
| <b>Řízení teploty, zákal</b> | Opakovatelnost 0,01 °C v rozsahu -5 °C až +40 °C   |   |
| <b>Objem vzorku</b>          | cca 30 ml odplyněného vzorku na jedno měření   |   |
| <b>Typická doba měření</b>   | cca 4 min (včetně dávkování)   |   |
| <b>Kapacita</b>              | cca 15 vzorků za hodinu  |   |
| <b>Rozměry (d x š x v)</b>   | 482 mm x 730 mm x 446 mm   |   |
| <b>Hmotnost</b>              | 35,7 kg  |   |
| <b>Napájení</b>              | AC 100 až 240 V; 50 až 60 Hz; 50 až 80 VA  |   |
| <b>Rozhraní</b>              | 4 x USB, ethernet, VGA, CAN, RS-232  |   |

## PŘÍLOHA P III: CHARAKTERISTIKA ODRŮDY ŽPČ

| Charakteristika odrůdy  |   |
|---|---|
| Žatecký poloraný červeňák<br>(jemně aromatická odrůda)  |   |
| <b>Původ</b>  | klonová selekce v původních porostech v žatecké a úštěcké oblasti, je pěstován v devíti klonech |
| <b>Aroma</b>  | pravé, jemné chmelové   |
| <b>Vegetační doba</b>   | 122 – 128 dní   |
| <b>Výnos</b>  | 1,0 -1,5 t/ha   |
| <b>Rostlina</b>   | středně mohutný vzrůst válcovitého tvaru, réva zelenočervená, husté nasazení hlávek             |
| <b>Výskyt chorob</b>  | středně odolný až tolerantní k padlí chmelovému, středně odolný k peronospoře chmelové          |
| <b>Hlávka</b>   | středně až dlouze vejčitá, věténko jemné  |
| <p><b>Chmelové pryskyřice</b><br/> celkové pryskyřice 13 - 20 (%hm.)<br/> <math>\alpha</math>-hořké kyseliny 3,0 - 5,5 (%hm.)<br/> <math>\beta</math>-hořké kyseliny 4,5 - 8,0 (%hm.)<br/> poměr <math>\alpha/\beta</math> 0,6 - 1,0<br/> kohumulon 24 - 26 (%rel.)<br/> kolupulon 39 - 42 (%rel.)</p> <p><b>Chmelové silice</b><br/> objem silic 0,4 - 1,0 (ml/100g chmele)<br/> <math>\beta</math>-myrcen 25 - 40 (%rel.)<br/> linalool 0,4 - 0,8 (%rel.)<br/> <math>\beta</math>-karyofylen 6 - 9 (%rel.)<br/> <math>\alpha</math>-humulen 15 - 25 (%rel.)<br/> <math>\beta</math>-farnesen 14 - 20 (%rel.)</p> <p><b>Chmelové polyfenoly</b><br/> celkové polyfenoly 4,0 - 5,5 (%hm.)<br/> xanthohumol 0,30 - 0,50 (%hm.)</p> |   |