

# **Monitorování meziproduktů při výrobě piva v malých pivovarech pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů**

Bc. Andrej Laktiš

---

Diplomová práce  
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Andrej Laktiš**  
Osobní číslo: **T19471**  
Studijní program: **N0721A210004 Technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Monitorování meziproduktů při výrobě piva v malých pivovarech pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů**

### Zásady pro vypracování

1. Prostudujte dostupnou literaturu se zaměřením na výrobu piva v malých pivovarech.
2. Seznamte se s metodami měření pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů, jejich výhodami a nevýhodami oproti běžným konvenčním metodám.
3. Monitorujte vybrané meziprodukty a operace při výrobě piva pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů.
4. Získané data vyhodnoťte.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] FRANČÁKOVÁ, Helena a Žigmund TÓTH. Sladovníctvo a pivovarníctvo. 2. nezmen. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2012. ISBN 978-80-552-0762-9
- [2] Adámek, M.; Adámková, A.; Řezníček, M.; Kouřimská, L. The estimated possibilities of process monitoring in milk production by the simple thermodynamic sensors. *Potr. S. J. F. Sci.* 2016, 10, 643-648
- [3] LERRO, Marco, Giuseppe MAROTTA a Concetta NAZZARO. Measuring consumers' preferences for craft beer attributes through Best-Worst Scaling. *Agricultural and Food Economics*. 2020, 8(1). DOI: 10.1186/s40100-019-0138-4. ISSN 2193-7532

Vedoucí diplomové práce: **Ing. et Ing. Anna Adámková, Ph.D.**  
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Robert Gál, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. února 2021

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Pivo je celosvětově oblíbený nápoj, který vzniká v procesu fermentace. Důsledkem fermentačního procesu je i vznik tepla jako vedlejšího produktu. Pomocí termodynamických senzorů (TDS) jsme pozorovali průběh kvasného procesu připraveného roztoku z vody, kvasinek a maltózy. Jednoduchý prototyp elektronického nosu byl použit na analýzu vybraných druhů komerčních piv. Výsledky měření pomocí TDS, byly porovnány s jinými běžně používanými nebo zcela novými metodami, které jsou přístupné veřejnosti na internetu. První výsledky jednoduchých experimentů ukazují, že k určení časového průběhu kvasných procesů při výrobě piva je možné použít termodynamické snímače. Jednoduchý elektronický nos umožňuje po zpracování dat vystavit rozdíl mezi druhy piv.

Klíčová slova: termodynamické senzory, fermentace, elektronický nos, pivo

## **ABSTRACT**

Beer is a worldwide popular beverage that is created during the fermentation process. The fermentation process also results in the generation of heat as a by-product. Using thermodynamic sensors (TDS), we observed the course of the fermentation process of the prepared solution from water, yeast and maltose. A simple prototype of an electronic nose was used to analyze selected types of commercial beers. The results of measurements using TDS were compared with other commonly used or completely new methods that are available to the public on the Internet. The first results of simple experiments show that thermodynamic sensors can be used to determine the time course of fermentation processes in beer production. A simple electronic nose allows you to expose the difference between types of beer after data processing

Keywords: thermodynamic sensors, fermentation, electronic nose, beer

Ďakujem vedúcej diplomovej práce Ing. et Ing. Adámkovej Anne, Ph.D. a Ing. Martinovi Adámkovi, Ph.D. za konzultácie, odborné vedenie, trpezlivosť, ochotu a podnety k diplomovej práci.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ .....</b>	<b>10</b>
<b>1 HISTÓRIA.....</b>	<b>11</b>
1.1 HISTÓRIA VÝROBY PIVA .....	11
1.2 HISTÓRIA MINIPIVOVAROV V ČR .....	16
1.3 HISTÓRIA MINIPIVOVAROV V SR.....	18
<b>2 SUROVINY NA VÝROBU PIVA.....</b>	<b>19</b>
2.1 SLAD .....	19
2.1.1 Biochemická štruktúra jačmeňa .....	21
2.1.2 Sladovanie jačmeňa.....	28
2.1.3 Surogáty (náhrady) pri výrobe piva .....	29
2.2 CHMEE .....	31
2.2.1 Odrody chmeľu .....	31
2.2.2 Obsah horkých látok .....	35
2.2.3 Aromatické látky .....	36
2.2.4 Chmeľové polyfenoly.....	37
2.2.5 Chmeľové produkty .....	37
2.3 VODA .....	38
2.3.1 Tvrdosť vody.....	39
2.4 KVASINKY.....	39
2.4.1 Taxonómia.....	40
2.4.2 Druhy / kmene kvasníc používané pri varení piva.....	41
2.4.3 Bunková štruktúra .....	42
2.4.4 Flokulácia.....	44
<b>3 TECHNOLÓGIA VÝROBY PIVA .....</b>	<b>45</b>
3.1 ŠROTOVANIE SLADU.....	46
3.2 RMUTOVANIE .....	47
3.3 SCEZOVANIE A VYSLADZOVANIE.....	49
3.4 CHMEĽOVAR .....	51
3.5 CHLADENIE, SEPARÁCIA JEMNÝCH KALOV A PREVZDUŠNENIE .....	53
3.6 FERMENTÁCIA .....	54
3.6.1 Fermentačné kontrolé systémy.....	57
3.7 DOKVASOVANIE A ZRENIE .....	57
3.8 FINÁLNE ÚPRAVY .....	58
<b>4 VADY PIVA.....</b>	<b>60</b>
4.1 ZÁKAL.....	60

4.2	INFEKCIA .....	60
4.3	PREDČASNE ZASTAVENÁ FERMENTÁCIA .....	61
4.4	NESPRÁVNE SÝTENIE OXIDOM UHLIČITÝM .....	61
4.5	PACHUŤ A ARÓMA .....	61
<b>5</b>	<b>CHARAKTERISTIKA MERACÍCH NÁSTROJOV.....</b>	<b>64</b>
5.1	CHARAKTERISTIKA TERMODYNAMICKÝCH SENZOROV .....	64
5.2	CHARAKTERISTIKA ELEKTRONICKÉHO NOSA.....	65
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČASŤ.....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>HYPOTÉZA A CIEĽ PRÁCE .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA .....</b>	<b>68</b>
7.1	MATERIÁL .....	68
7.2	METODIKA .....	69
<b>8</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUSIA.....</b>	<b>73</b>
8.1	VÝSLEDKY .....	73
8.1.1	Výsledky s TDS .....	73
8.1.2	Výsledky s e-nosom .....	76
8.2	DISKUSIA .....	77
8.2.1	Experiment s TDS .....	77
8.2.2	Experiment s e-nosom.....	79
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>80</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....</b>	<b>81</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>95</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>97</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>98</b>



## ÚVOD

Česká republika je dlhodobou svetovým lídrom v rámci priemernej spotreby piva na obyvateľa. Pivo je chápané ako pevná súčasť českého života, spoločnosti a kultúry. Okrem toho, je vedecky dokázané, že umiernená konzumácia piva má pozitívne zdravotné účinky. V minulých rokoch zažili obrovský boom minipivovary a pribúdalo ich ako 50 ročne. Ďalší rast tohto odvetvia trochu zabrzdila prebiehajúca koronakríza, ktorá sa však viac dotkla priemyselných pivovarov. Veľkú šancu prežiť majú malé pivovary, ktoré ponúkajú, čo najkvalitnejší produkt. V súčasnosti sa v Českej republike nachádza viac ako 500 minipivovarov. Na Slovensku ich môžeme nájsť okolo stovky. V porovnaní s rokom 2005, kedy sa ich nachádzalo na území Slovenska len 8, je to veľký nárast.

Inovácie v technologickom procese výroby piva, by mohli byť jedným z aspektov zvýšenia kvality produktu. Ako možnosť sa ponúkajú termodynamické senzory, ktoré sa v iných odvetviach ako je pivovarníctvo osvedčili na snímanie prestupov tepla, je nimi možné sledovať priebeh fermentačného procesu, prípadne stanoviť jeho koniec alebo elektronický nos, vďaka ktorému je možné jednotlivé vzorky pív od seba rozlíšiť. Momentálne neexistuje žiadna neanalytická, rýchla, jednoduchá a efektívna metóda monitoringu a stanovenia konca fermentačného procesu.

Táto práca v jej teoretickej časti spomína na históriu piva a minipivovarov na svete, v Českej republike a na Slovensku, potom definuje jednotlivé suroviny pre výrobu piva, opisuje technologický proces výroby, venuje pozornosť vadám piva, charakterizuje termodynamické senzory a elektronický nos. Praktická časť opisuje priebeh monitorovania kvasného procesu v laboratórnych podmienkach a analýzu vzoriek komerčných pív pomocou elektronického nosu, vyhodnocuje namerané dáta a porovnáva s inými bežnejšími metódami merania, z čoho je nakoniec vyvodený záver práce.

## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

# 1 HISTÓRIA

## 1.1 História výroby piva

Objav a vývoj pivovarníckych techník predstavuje jeden z najdôležitejších technologických úspechov ľudstva. Mnoho autorov dokonca uvádza, že varenie piva je základným kameňom takzvanej „Neolitickej revolúcie“ (okolo 12 000 rokov pred n. l.), ktorá sa vyznačuje prechodom od lovu až k usadlému životu v osadách [1].

Dobu, kedy vznikol vynález technológie varenia piva do začiatku Neolitu sa ešte stále oficiálne nepodarilo potvrdiť. Pretože však rozvoj poľnohospodárstva súvisel so spracovaním obilia po zbere, je dosť možné, že varenie piva sa čoskoro stalo bežným procesom spotreby obilia. [2] Historicky, bola výroba a spotreba derivátov z fermentácie obilnín dokázaná v rôznych častiach sveta – v Európe, ako aj v severnej Afrike a Číne [3].

Prvý dôkaz o fermentovaných nápojoch sa objavuje v Číne. Črepy z keramiky zozbierané z neolitickej dediny Jiahu v severočínskej provincii Henan a analyzované pomocou moderných techník vrátane hmotnostnej spektrometrie, chromatografie a izotopových analýz odhalili stopy alkoholického kvapaliny datované pred 9 000 až 7 000 rokmi. Kvapaliny boli výsledkom zmiešaného fermentovaného nápoja z divého hrozna, hlohu, ryže a medu [4].

Ďalšie dôkazy o trvalom varení piva pochádzajú zo starovekej Mezopotámie, kde archeologické fragmenty keramiky z obdobia približne 6000 rokov pred našim letopočtom odhaľujú prítomnosť systematických pivovarníckych aktivít [5]. Významné zmeny podnebia v tejto oblasti, ku ktorým došlo okolo roku 4 000 pred n. l., spôsobili dramatický pokles vodnej hladiny, čo podporilo vznik osád v úrodných oblastiach medzi riekami Tigri a Eufrat. Tento región sa stal centrom sumerskej kultúry a zaznamenal rozvoj veľkých miest s prvotnými formami stratifikácie spoločnosti a definíciou sociálnych tried s rôznym prístupom ku zdrojom. Sumeri tiež vynašli rôzne nástroje, ako napríklad číselné tabuľky a písanie proto-klinovým písmom. Tieto nástroje zohrávali dôležitú úlohu pri prerozdeľovaní zdrojov medzi spoločenské triedy a prispievali tak k formovaniu rastúcej sumerskej ekonomiky [6]. Proto-klinové texty z rokov 3 300 - 3 000 pred n. l. dokumentujú, že „pivo už nebolo iba poľnohospodárskym produktom vidieckych sídiel, ale skôr patrilo k produktom podliehajúcim centralizovanej ekonomike sumerských štátov“ [7].

Z obdobia starého Babylonu sa dochoval najstarší zákonník na svete, ktorý vydal kráľ Chamurapi (Hammurabi). Ten žil v rokoch 1728 – 1686 pred Kristom a vytvoril veľkú ríšu zaberajúcu okrem celej Mezopotámie aj Asýriu. V jeho zákonníku sú už výslovne uvedené tresty, týkajúce sa čapovania piva, pamätal tiež na platenie v krčme, ďalší zákon pamätal na vnútornú ochranu štátu [8].

Zásadná a nepretržitá dokumentácia výroby a spotreby piva pochádza aj zo starovekého Egypta, kde sa varenie piva ako aj pečenie chleba od roku 5 000 pred našim letopočtom etablovalo ako bežná obchodná činnosť. Ako uviedli Brewer a Teeter, mzdy sa vyplácali za obilie, ktoré sa použilo na výrobu dvoch základných prvkov egyptskej stravy: chleba a piva. V tom čase sa pivo predávalo verejne podobne ako voda a vyvážalo do ďalších prístavov cez hlavné obchodné cesty, ktoré začali prekvitať v južnom Stredozemnom mori [9]. Egypťania nazývali svoje pivo „hequ“ alebo „hega“ a spomedzi obilnín používaných v procese varenia bol najdôležitejší jačmeň. Staroegyptské pivo sa muselo piť hneď po jeho vyrobení, pretože veľmi rýchlo stratilo zo svojej kvality. Egypťania vyrábali rôzne pívá s rôznym obsahom alkoholu.



Obr. č. 1 – Scéna z hrobky Ti zachytáva pečenie chleba a varenie piva. Postup začína v ľavom dolnom rohu a postupne pokračuje do pravého horného rohu, od merania zrn až po plnenie a uzatváranie nádob na pivo. (Zdroj:

<https://minds.wisconsin.edu/bitstream/handle/1793/38042/Luoma.pdf?sequence=3&isAlloved=y>

Ako uviedli Colen a Swinnen, prvé náznaky výroby piva v Európe sú približne od roku 3 600 pred naším letopočtom, pričom existujú dôkazy o pivovarníckych činnostiach na rôznych miestach kontinentu [10]. Potvrdenie o trvalej výrobe a spotrebe piva možno nájsť v starovekom Grécku z roku 3000 pred naším letopočtom. Je možné, že techniky varenia na získanie starogréckeho piva boli ovplyvnené Egyptanmi. Pivo – alebo bryto – bolo nápojom pre nižšie spoločenské vrstvy, zatiaľ čo aristokracia mala tendenciu konzumovať víno [11]. Táto tendencia pokračovala v rímskych dobách, počas ktorých víno vo väčšine týchto oblastí nahradilo pivo (alebo medové pivo alebo medovinu) ako nápoj vyššej triedy. Obchodné cesty pre víno prekvitali cez Stredozemné more počas vzniku Rímskej ríše a rozvíjali sa od sietí, ktoré začali Gréci, a tí už od roku 650 pred naším letopočtom vyvážali víno do južného Francúzska, najmä cez Massalu (Marseille). Zdá sa však, že Rimania sa naučili variť pivo - alebo „cerevisiu“ – priamo od Egyptanov, hoci tento názov má keltské korene. Rimania čoskoro začali pohrdáť týmto nápojom a jeho konzumentmi, ktorí boli označení ako „necivilizovaní“ alebo „barbari“ [12].

S dobytím Európy Rímom sa šírenie vína rozšírilo po celom kontinente. Víno sa začalo vo veľkej miere vyrábať v regiónoch nad riekou Pád, ktoré smerovalo na východ cez Alpy do Provence na Pyrenejský polostrov a neskôr do severnej Gálie. Po stovky rokov až do zániku Rímskej ríše sa víno naďalej považovalo za luxusný tovar a konzumovalo sa iba vyššími vrstvami, pričom pivo sa varilo a konzumovalo predovšetkým nižšími vrstvami [13].

Medzitým bolo varenie piva stále populárne medzi germánskou a keltskou populáciou okupujúcou severnú a východnú časť Európy. Dôkazy o trvalej pivovarníckej činnosti sú zdokumentované v regiónoch, ktoré teraz formujú Nemecko, na Britských ostrovoch a v Škandinávii. V týchto oblastiach bola obzvlášť rozšírená medovina, alkoholický nápoj získavaný kvasením medu vodou, niekedy s rôznymi druhmi ovocia, korenia, obilnín alebo chmeľu. Podľa mnohých ľudí ako predchodcu piva v severnej Európe sa medovina varila v Škandinávii až do neskorého stredoveku [14].

Rozširovanie Svätej rímskej ríše od 9. storočia podnietilo budovanie kláštorov v celej Európe. Zatiaľ čo kláštory v južnej Európe pokračovali v pestovaní hrozna a výrobe vína, mnoho kláštorov v severnej Európe sa stalo centrom pivovarníctva. Chladnejšie podnebie uľahčilo pestovanie jačmeňa namiesto hrozna a viedlo v ranom stredoveku k vzniku

„kláštorného varenia piva“, ktoré sa rozšírilo na Britské ostrovy, do Nemecka, Škandinávie do Nizozemska [15]. Mnisi varili pivo predovšetkým pre vlastnú spotrebu alebo na občerstvenie hostí a pútnikov. Neskôr medzi dvanástym a trinástym storočím mnisi začali dodávať pivá šľachticom a predávať svoje pivo v takzvaných „kláštorných krčmách“, z ktorých sa varenie pomaly rozvíjalo ako obchodný podnik. Navyše, keďže voda v stredoveku bola často znečistená, pivo bolo zdravšie ako voda, čo významne podporilo výrobu a spotrebu tohto nápoja [16].

Neobvyklá skladba surovín pri výrobe piva, mnoho povier, a preto dosť neobvyklý výrobok priviedli napríklad v Bavorsku miestnych panovníkov v priebehu 12. – 16. storočia k vydávaniu rady dekrétov a nariadení, týkajúcich sa výroby piva s cieľom jednak obmedziť používanie pšenice, vyhradenej v tej dobe najmä pre výrobu chlieb, a jednak obmedziť alebo dokonca zakázať používanie rady dnes už odpudivo pôsobiacich surovín pre výrobu piva. Najznámejším a v podstate doteraz funkčným výnosom bavorského vojvodu Viliama IV. Je tzv. „Zákon o čistote piva“ (Reinheitsgebot) z roku 1516. Podľa tohto zákona sa pivo mohlo vyrábať iba za použitia vody, sladu a chmeľu [8].

Zavedenie chmeľu do procesu varenia piva nemeckými mníchmi predstavuje dôležitú inováciu kláštorného pivovarníctva. Chmeľ sa používal väčšinou na konzervovanie piva a na vyváženie pomerne sladkej chuti sladu, ktorý je prevládajúcou zložkou germánskeho piva. [17]. Pridanie chmeľu do procesu varenia piva sa nakoniec pomaly rozšírilo po ďalších častiach Európy kvôli daniam zvýšeným miestnymi úradmi. Pred začiatkom pridávania chmeľu boli pivovary podrobené „dochucovacej licencií“ s názvom „Grutrecht“, pomenovanej podľa tohto druhu - kombinácie bylín, ktoré sa používali na dochucovanie a konzervovanie piva [18]. Grut bol dôležitým faktorom pri rozlišovaní medzi rôznymi spôsobmi varenia piva. Miestni vládcovia mali odlišné pravidlá a rôzne zloženie prísad, ktoré sa mali účtovať použitím Grutechtu. Sládkovia boli nútení kupovať od miestnych vládcov grut na varenie, pretože varenie piva bez grutu bolo zakázané. Aby sa zabránilo daňovým únikom, presné zloženie zmesi bolo utajené. Keď postup pridávania chmeľu hrozil Grutrechtom, miestni vládcovia v mnohých regiónoch zareagovali zákazom ich používania - zákaz, ktorý trval až do štrnásteho storočia [19].

Objavenie Ameriky v roku 1492 a prieskumné plavby finančne podporené európskymi korunami medzi rokmi 1500 a 1800 otvorili nové obchodné cesty pre pivo. Prieskumy navyše poskytli dôkazy o pivovarníckych činnostiach v kultúrach a komunitách predtým

neznámých. Kroniky, ktoré zanechali prví dobyvatelia v Južnej Amerike, spomínajú „chicha“, druh piva, ktoré varili Inkovia a ktoré obsahovalo mierne množstvo alkoholu (1–3%). Viac dôkazov o varení piva je, hoci s rôznymi zrnami použitými vo fermentačnom procese, k dispozícii od pôvodných obyvateľov Strednej Ameriky. Podobne sú dôkazy o varení piva k dispozícii medzi pôvodnými populáciami v západnej a južnej Afrike a v Austrálázii [20].

V devätnástom storočí technologické objavy a vylepšenia, ako napríklad zavedenie chladenia a vývoj pasterizačných techník, dramaticky zmenili varenie piva. Ovládaním procesu varenia piva, prostredia a typu fermentácie a typu kvasinkovej kultúry sa pivovarom podarilo získať „standardizovaný“ produkt, čo sa v minulosti nedalo dosiahnuť. Navyše expanzia parného stroja a vynález „formy na chladené železo“ rozšírili príležitosti pre masovú výrobu a spotrebu, ako aj pre balenie vo veľkom meradle a distribúciu, čo určovalo industrializáciu výroby piva ako výrobného procesu. Rozšírenie infraštruktúry a železničných sietí urýchlilo šírenie piva. Lepšie balenie a rýchlejšia preprava zvýšili množstvo a kvalitu distribúcie, zväčšili trhy a zvýšili význam piva ako globálneho produktu [21].

V Českej republike je pivo považované za národný nápoj a súčasť kultúrneho dedičstva. Tradičné české pivo sa líši od ostatných svojimi sensorickými vlastnosťami, ktoré sú dané špecifickou technológiou a použitím jedinečných surovín. Vynikajúci dvojradový jarný jačmeň a z neho vyrobený slad, spolu s kvalitným Žateckým chmeľom boli základnými surovinami, ktoré spolu s dekokčným rmutovaním, spodnou fermentáciou a dlhým chladným zrením vyprodukovali jedinečný typ piva nazvaný podľa jeho pôvodu v roku 1842 – Plzeň (Pils). Vďaka svojej kvalite sa postupne rozšíril nielen po celej Európe, ale aj po svete. Český pivovarnícky priemysel prekvital až do 1. svetovej vojny, v roku 1912 dosiahol rekordnú úroveň 11 mil. hl varených v 650 pivovaroch. Pilsner Urquell vyprodukoval 1,3 mil. hl a v roku 1913 bol najväčším pivovarom v Európe. Ďalší dynamický technický rozvoj bol zastavený 2. svetovou vojnou [22].

Medzi prvou a druhou svetovou vojnou bola výrazne ovplyvnená výroba a spotreba piva. Vojnové úsilie malo za následok veľký nedostatok dodávok pre pivovarníkov, ktorí sa museli vyrovnat' s rastúcimi cenami obilnín v kombinácii so všeobecným nedostatkom surovín. Vlády vydali zákony na obmedzenie distribúcie a konzumácie alkoholických nápojov a tlačili na väčšie pivovary, aby diverzifikovali alternatívne výrobky, ako sú

nealkoholické nápoje. Najmä v USA nárast „hnutí za mier“ a zavedenie prohibície takmer vyhladili celý pivovarnícky priemysel v krajine a prežívajúce pivovary sa začali venovať výrobe väčšinou nealkoholických nápojov. [21] Okrem toho veľká hospodárska kríza v kombinácii s radom prachových búrok a silným suchom významne ovplyvnila charakter procesu výroby piva v 30. rokoch. Pivovarníci reagovali na zvýšené ceny obilia výmenou prísad a výrobou slabšieho piva prevažne používaním kukurice a ryže na doplnenie sladového jačmeňa. Značkové pивá, ako napríklad Budweiser, sa stále varia zo šrotu, ktorý obsahuje značný podiel ryže [23].

80. roky 20. storočia sú desaťročím, v ktorom sa začal vyvíjať moderný remeselný pivovarnícky priemysel v USA. Počet remeselných pivovarov sa zvýšil z 8 v roku 1980 na 537 v roku 1994. Potom nastalo obdobie spomaleného rastu, ktoré sa začalo koncom 90. rokov a pretrvávalo až do prvých rokov 21. storočia. V roku 2014 bolo v USA už 2484 remeselných pivovarov s minimálne 1 v každom štáte. V roku 2019 to už bolo viac ako 8000 remeselných pivovarov [24, 25].

## 1.2 História minipivovarov v ČR

Minipivovary sú špecifickou skupinou na českom trhu s pivom a so zákazníkmi komunikujú väčšinou prostredníctvom svojho výrobku – piva. Ich hlavnou výhodou je jedinečnosť a lokalizácia [26].

V dvadsiatom storočí viedlo mnoho rokov konsolidácie na globálnom pivovarníckom trhu k formovaniu oligopolov a dominancii niekoľkých veľkých pivovarníckych spoločností. Výsledkom bola postupná homogenizácia piva a popularizácia jedného štýlu. To vytvorilo príležitosť pre minipivovary ponúkajúce rozmanité produktové portfólio vrátane tradičných a nových pív, aby formovali medzery na trhu. Zmeny, ktoré sa v USA začali v polovici 60. rokov, viedli k nárastu vlny minipivovarov, ktoré sa postupne dostali do ďalších krajín. Tento trend sa stal známym ako „revolúcia remeselného piva“. Revolúcia remeselného piva nie je ani tak o rozsahu výroby, ako o zvýšení kvality, ktorá sa chápe ako diverzifikácia ponuky od pivovarov z hľadiska rozmanitosti štýlov piva [27].

Rozvoj českého sektoru minipivovarov je veľmi podobný ako v západných štátoch, akurát s 10 - 15 ročným oneskorením kvôli komunistickému režimu. Zatiaľ čo prvý minipivovar v USA bol otvorený v roku 1976, v Českej republike (vo vtedajšom Československu) bol prvý minipivovar otvorený v roku 1991 [28].



Od vzniku Československa do druhej svetovej vojny (1918 - 1939) malo Československo viac ako 528 aktívnych pivovarov. Počas druhej svetovej vojny bolo veľa pivovarov zatvorených alebo zničených. V rámci centrálne plánovanej ekonomiky fungovali pivovary, ale iba ak boli znárodnené. Z dôvodu postupnej konsolidácie sa počet firiem v Československu znížil na 8, v ktorých bolo 48 pivovarov [27].

Ekonomická transformácia, ktorá sa začala v roku 1989, spôsobila v strednej a východnej Európe početné zmeny, napríklad otvorenie ekonomiky medzinárodnému obchodu, prílev zahraničného kapitálu a priame zahraničné investície. Stimuloval tiež rýchly rast hospodárskej činnosti a individuálnej spotreby. Od 90. rokov zaznamenal región najvyšší nárast spotreby piva v Európe, ktorý podporil rast príjmov a životnej úrovne [29].

V 90. rokoch umožnil vstup veľkých pivovarníckych spoločností, ako sú SAB Miller, Heineken, Carlsberg a AB InBev, reštrukturalizáciu, modernizáciu a konsolidáciu existujúcich pivovarov. Priemyselné pivovary zaviedli technologické, organizačné a marketingové zmeny s cieľom znížiť náklady a maximalizovať zisky. Výsledkom bolo, že trh sa stal oligopolným, pretože ho kontrolovalo niekoľko korporácií. To znamenalo kolaps mnohých malých pivovarov [30].

Česká republika zaznamenala v rokoch 2000 až 2010 búrlivý rozvoj pivovarníckeho priemyslu. Počet pivovarov sa zvýšil z 54 v roku 2000 na 151 v roku 2010, pozostávajúcich hlavne z minipivarov. V rokoch 2010 až 2019 bolo založených viac ako 350 minipivarov [27]. V dnešnej dobe, sa nachádza na území ČR viac ako 500 minipivarov, avšak presné číslo je ťažko definovať, pretože kvôli turbulentnej dobe niektoré minipivovary zanikajú [31].

Česká legislatíva rozlišuje štyri rôzne typy pivovarov na základe vyrobeného množstva. Najväčšie „priemyselné“ pivovary ročne vyprodukujú viac ako 500 000 hl. Druhou skupinou sú „regionálne“ pivovary, ktoré produkujú 200 000 - 500 000 hl ročne. Tretím sú reštauračné pivovary, ktoré majú ročnú produkciu pod 200 000 hl, a štvrtým sú minipivovary s ročnou produkciou menej ako 10 000 hl [27].

Zákon č. 353/2003 Sb. – „Zákon o spotrebných daních“ s účinnosťou od 1. 2. 2021 hovorí o tom, že: „Platcom nie je fyzická osoba, ktorá spolu s osobami tvoriacimi s ňou spoločne hospodáriacu domácnosť vytvorí v zariadení pre domácu výrobu piva, pre vlastnú spotrebu, pre spotrebu členov jej spoločne hospodáriacej domácnosti, osôb jej blízkych alebo ich hostí,

pivo v celkovom množstve nepresahujúcom 2000 l za kalendárny rok, za podmienok, že nedôjde k jeho predaju“ [32].

### **1.3 História minipivovarov v SR**

V poslednej dobe došlo na Slovensku k rýchlemu rozšíreniu remeselných pivovarov. Prvé remeselné pivovary sa objavili v roku 2005 a v roku 2016 ich počet dosiahol 51. Na vzrast remeselných pivovarov majú vplyv viaceré dôvody. Nová, lacnejšia a dostupnejšia technológia, know-how a dotácie z EÚ majú pozitívny vplyv na stranu ponuky, zatiaľ čo rastúce príjmy, zvyšujúci sa dopyt po rozmanitosti, homogénny produkt ponúkaný komerčnými pivovarmi a zmena životného štýlu mali pozitívny dopad na strane dopytu. V roku 2018 prekročil počet remeselných pivovarov na Slovensku počet 70 [33].

## 2 SUROVINY NA VÝROBU PIVA

Podľa vyhlášky č. 248/2018 Sb. - Vyhláška o požiadavkách na nápoje, kvasný ocot a droždie sa pivom rozumie „penivý nápoj vyrobený skvasením mladiny pripravenej zo sladu, vody, neupraveného chmeľu, upraveného chmeľu alebo chmeľových výrobkov, ktorý popri kvasným procesom vzniknutého etanolu a oxidu uhličitého obsahuje aj určité množstvo neprekvaseného extraktu; slad možno do výšky jednej tretiny hmotnosti celkového extraktu pôvodnej mladiny nahradiť extraktom najmä cukru, obilného škrobu, nesladovaných obilnín alebo ryže; u pív ochutených môže byť obsah alkoholu zvýšený prídavkom liehovín alebo ostatných alkoholických nápojov“ [34].

Hlavný rozdiel medzi remeselnými pivami a priemyselnými sú odrody rôznych sladov, chmeľu a kvasníc použitých vo výrobnom procese. Rozpoznateľnou ochrannou známkou remeselných pivovarov sú malé várky piva, ktoré umožňujú experimentovať s prísadami, oveľa jednoduchšie ako je to v prípade priemyselnej výroby. Remeselná scéna upozorňuje na aromatickú príchuť surovín pridávaných do piva. Plnosť a exotické chute si vyžadujú nové odrody chmeľu so špeciálnymi príchuťami. To viedlo k pestovaniu takzvaných chuťových odrôd chmeľu ako Equinox, Mandarina Bavaria, Azacco, Triple Pearl atď. Spotrebitelia remeselného piva hľadajú návrat k nedotknutej, prirodzenej a domácej kvintesencii<sup>1</sup> vo vybraných pohároch piva, čo súvisí s tým, že mnohé z ingrediencií sú geneticky upravené. Napríklad existuje široké spektrum kvasiniek, z ktorých je možno vybrať si, a veľa z nich sú geneticky modifikované, aby poskytovali tú najlepšiu chuť a exotické arómy. Chmeľ a jačmeň sú tiež trochu modifikované, ak nie genetickou modifikáciou, tak selekciou. Celkovo možno tvrdiť, že do celého tohto procesu varenia piva prichádza ľudský zásah [35].

Najdôležitejšie suroviny na výrobu piva sú jačmenný slad, voda, chmeľ a kvasinky [36].

### 2.1 Slad

Tak, ako je pre výrobu vína nutné hrozno, tak je pre výrobu piva nevyhnutný slad. Slad sa vyrába z obilia – najčastejšie sa používa jačmeň. Ten je pre výrobu piva najvhodnejší jednak z chuťových dôvodov, ale tiež preto, že jednotlivé zrná majú na sebe šupky tzv. „pluchy“, ktoré sú dobré pre filtráciu [37].

---

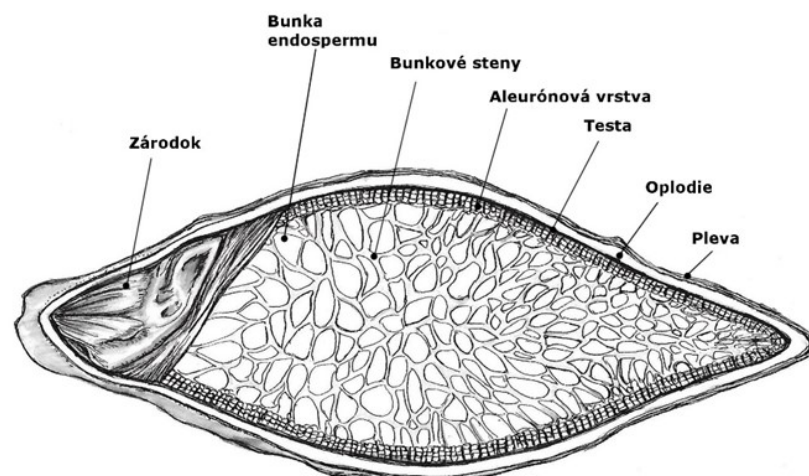
<sup>1</sup> podstata veci v jej najčistejšej a najkoncentrovanejšej podobe

Jačmeň (*Hordeum vulgare* – 6 radový, *Hordeum distichum* - dvojradový) patrí do čeľade *Poaceae*. Sladovnícky jačmeň, ktorý sa používa na výrobu piva je domestikovaným potomkom divo rastúcej trávy, ktorá je hojne rastúca v severnej Afrike a západnej Ázii [38].

Zrno jačmeňa je svojím látkovým zložením ideálnou surovinou na získanie sladu vhodného pre ďalšie pivovarské spracovanie. Podľa počtu zŕn v klasoch rozdeľujeme jačmene na dvojradové a viacradové. Na výrobu sladu sa u nás pestuje hlavne jačmeň jarný dvojradový ovisnutý (*Hordeum distichum* var. *nutans*). Klas ovisnutého jačmeňa má dva rady zŕn, ktoré vybiehajú do ostia rovnobežného s osou klasu. V čase dozrievania klas ovisnutého jačmeňa háčkuje, t. j. skláňa sa smerom k pôde. Háčkovanie je zapríčinené pružnosťou stebľa, a tým, že jedna strana zŕn je ťazšia [39].

V 70-tych rokoch sa v niektorých krajinách západnej Európy začal vo väčšej miere využívať na sladovnícke účely ozimný jačmeň, ktorý dáva vyššie priemerné úrody a je menej náročný na pôdu a predplodinu. Slady z ozimných jačmeňov sú vzhľadom na nižšiu cenu suroviny podstatne lacnejšie, a preto niektoré pivovary dávajú prednosť tomuto ekonomickému zvýhodneniu [39].

Niektoré pívá sú vyrobené z nesladového jačmeňa, čo vyžaduje špeciálne vybavenie, pridanie enzýmov a vyšší stupeň spracovania ako v prípade sladového jačmeňa. V skratke, tento proces je uskutočniteľný iba vo veľkých pivovaroch [38].



Obr. č. 2 – Prierez zrna jačmeňa (Zdroj: <https://jonathanreich.art/barley-seed-final/>)

### 2.1.1 Biochemická štruktúra jačmeňa

Jačmeň pestovaný pre sladovnícky priemysel je obmedzený na kultivary s vysokým obsahom škrobu, nízkou vlhkosťou, adekvátnou hladinou bielkovín a vysokou mierou klíčenia. Celkovo je biochemická štruktúra semena jačmeňa veľmi komplikovaná. V širšom zmysle, celé zrno jačmeňa pozostáva z približne: 65 – 68 % škrobu, 10 – 17 % proteínov, 4 – 9 % tvorí  $\beta$ -glukán, 2 – 3 % voľné lipidy a 1,5 – 2,5 % minerálne látky [40, 41].

#### 2.1.1.1 Škrobnaté polysacharidy

Škrob je lokalizovaný v samostatných granulách, ktoré sa nachádzajú v endosperme semena. Existujú dve veľkosti: veľká (priemer 20 - 25  $\mu\text{m}$ ) a malá (priemer 1 - 5  $\mu\text{m}$ ). V zrelých jačmenných zrnách sú bunky škrobového endospermu naplnené škrobovými granulami vložené do proteínového matrixu [42].

Existujú dve hlavné frakcie jačmenného škrobu:

- a) Amylopektín, rozvetvený polymér jednotiek D-glukózy, spojených prostredníctvom  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) a  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) väzieb. Fragmenty priameho reťazca amylopektínu sú tvorené z  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) väzieb. Amylopektín tvorí približne 75 – 80 % jačmenného škrobu.
- b) Amylóza, nerozvetvený polymér pozostávajúci z len  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) väzieb jednotiek D-glukózy a pozostávajúci z 20 – 25 % škrobovej zložky [42].

Existujú však aj jačmene s vysokým obsahom amyλόzy (vyše 45% z celkového obsahu škrobu) s malými zrnami a naopak tzv. voskové typy s nepatrným obsahom amyλόzy (do 1%). Veľkosť škrobových zrn a obsah amyλόzy je odrodovou vlastnosťou, ale súčasne preukázateľne ovplyvňovaný aj vonkajšími podmienkami stanovišťa [39].

#### 2.1.1.2 Neškrobnaté polysacharidy

Jačmene obsahujú 10 – 14 % neškrobnatých polysacharidov. Patria sem nízkomolekulové sacharidy, gumovité látky a hemicelulózy a lignín:

#### 2.1.1.3 Nízkomolekulové sacharidy

Medzi hlavné nízkomolekulové látky v semene jačmeňa patria sacharóza (1 – 2 %) a rafinóza (0,3 – 0,5 %), ktoré sú principiálne lokalizované v aleurónovej vrstve a v klíčku a majú určitý význam pri spracovaní jačmeňa na slad. Po zbere dochádza k respiračným stratám a hladina jednoduchých sacharidov klesá [42, 39].

#### 2.1.1.4 *Gumovité látky*

Zaradujú sa sem  $\beta$ -glukany a pentozany, ktoré sú rozpustné v horúcej vode.  $\beta$ -glukany sú zložité molekuly, ktoré pozostávajú z lineárnych reťazcov jednotiek  $\beta$ -D-glukopyranózy. Sú hlavnou zložkou bunkových stien buniek endospermu jačmenných zrn. Vyskytujú sa tiež v bunkových stenách nižších eukaryotov a iných druhov kvasiniek.

$\beta$ -glukan je vďaka svojej schopnosti vytvárať vysoko viskózne roztoky už dlho známy škodlivými účinkami v pivovare – napríklad zníženou účinnosťou extrakcie, pomalšou filtráciou sladiny a tvorbou nebiologického zákalu v pive [42, 43].

Bola potvrdená záporná korelácia obsahu  $\beta$ -glukanov k friabilite a obsahu extraktu. Za krajnú hodnotu pri výrobe kvalitného sladu sa udáva obsah do 4 %  $\beta$ -glukanov v zrne jačmeňa. Ich množstvo je ovplyvnené odrodou, pôdnymi a klimatickými podmienkami. Všeobecne sa hodnoty  $\beta$ -glukanov zvyšujú v suchých a teplých ročníkoch, pričom pozitívny vplyv má najmä skrátené vegetačné obdobie [39].

#### 2.1.1.5 *Hemicelulózy*

Táto frakcia opisuje  $\beta$ -glukanovú a pentozanovú zložku, ktorá je nerozpustná v horúcej vode.  $\beta$ -glukan je lineárny polymér spojený s  $\beta$  (1  $\rightarrow$  3) (30 %) a  $\beta$ (1  $\rightarrow$  4) (70 %) glukózovými jednotkami. Značné množstvo hemicelulóзовého materiálu sa nachádza v pleve, kde môže obsahovať okolo 30% pevného materiálu. Arabinoxylan je primárna hemicelulóza v jačmenných plevách a pozostáva z lineárneho hlavného reťazca xylánu, ku ktorému sú ako jednojednotkové bočné reťazce pripojené L-arabinofuróza a kyselina D-glukuronová.  $\beta$ -glukany aj arabinoxylany určujú viskozitu mladiny a rýchlosť filtrácie piva a tvoria bariéru pre hydrolytické enzýmy napádajúce škrob a bielkoviny v bunkových stenách, ktoré spôsobujú potenciálne zdravotné výhody, ako je prevencia zápchy, zníženie rizika kolorektálneho karcinómu, znižovanie hladiny cholesterolu v krvi a kontrola liečby cukrovky [40, 43].

#### 2.1.1.6 *Dusíkaté látky*

Proteíny patria medzi zložky jačmeňa, ktoré sú nevyhnutné pre kvalitu sladu a piva. Po prvé, vysoký obsah proteínov znižuje dostupné uhl'ohydráty, čo má negatívny vplyv na proces varenia piva a po druhé, pre metabolizmus kvasiniek je nevyhnutná proteolýza (hydrolýza proteáz produkujúca aminokyseliny a peptidy z hordeínov) počas sladovania a rmutovania.

Nakoniec sú rozpustné proteíny dôležité pri tzv. „retencii hlavy piva“<sup>2</sup> a stabilite. Obsah proteínov v zrnách jačmeňa predstavuje približne 8% až 15% jeho celkovej hmotnosti. Ovplyvňuje samotnú štruktúru jačmenného zrna, zvyšuje jeho tvrdosť a sťažuje príjem vody (tzv. namáčavosť jačmeňa) [39, 40].

Uloženie bielkovín je v jačmennom zrne nasledovné:

- a) v aleurónovej vrstve sú zásobné bielkoviny, ktoré po spracovaní na slad a ďalej na pivo prechádzajú prevažne do mláta,
- b) pod aleurónovou vrstvou na vonkajšej strane endospermu sú tzv. fyziologické (rezervné) bielkoviny, ktoré sú pri klíčení prednostne štiepené a dodávajú hlavné množstvo rozpustných bielkovín. Ovplyvňujú celkový obsah bielkovín jačmeňa,
- c) v endosperme sú v membránach buniek tzv. histologické (tkanivové) bielkoviny, ktoré spoločne s hemicelulózou a gumovitými látkami spevňujú bunky. Pri ich zvýšenom množstve sa zhoršuje lušiteľnosť zrna [39].

Hordeíny sú najhojnejšie zastúpené proteíny (40% až 50%) v jačmennom zrne. Okrem hordeínov boli identifikované aj ďalšie proteíny vrátane albumínov, globulínov, glutelínov friabilínu, enzýmov a serpínov [40]. Chemické zloženie bielkovín jačmeňa sa líši podľa veľkosti molekúl, väzby aminokyselín, resp. podľa rozdielnosti v zložení peptidových reťazcov. Delia sa väčšinou do 4 základných skupín:

- a) Albumíny (leukozíny) sú vysokomolekulové proteíny rozpustné v čistej vode, ale aj zriedených roztokoch solí. Predstavujú asi 4% z celkového množstva bielkovín. V priebehu sladovania sa silne štiepia a ich štiepne produkty prispievajú k trvanlivosti peny piva [39].
- b) Globulíny (edestíny) pokrývajú 10 – 20% celkového obsahu proteínov v zrnách jačmeňa. Nie všetky globulíny slúžia ako zásobné proteíny, niektoré majú metabolické a ochranné funkcie.  $\beta$ -amyláza je výnimkou, hrá rolu jednak ako skladovanie dusíka počas vývoja zrna, jednak ako enzým hydrolyzujúci škrob počas klíčenia. Globulíny, ktoré majú zásobnú funkciu sa nachádzajú hlavne v aleurónových bunkách, ale aj v embryu. Jačmeň obsahuje  $\gamma$ - a  $\delta$ -globulíny. Jačmenný  $\gamma$ -globulín sa skladá z štyroch podjednotiek s relatívnymi molekulovými

---

<sup>2</sup> Retencia hlavy piva - pena, ktorá po podaní piva zostane na vrchu, je známa ako hlava piva. Retencia je slovo, ktorým sa popisuje, ako dlho vydrží hlava piva v pohári.

hmotnosťami 50, 40, 25 a 20 kDa. Na základe čiastočného aminokyselinového sekvenovania je homológny s globulínmi podobnými vicilínu obsiahnutým v bavlně a strukovinách.  $\delta$ -globulín má molekulovú hmotnosť 300 kDa, jeho štruktúra a zloženie nie sú zatiaľ známe. Predpokladá sa súvislosť s triticínmi podobnými strukovinám v endosperme pšenice [44].

- c) Prolamíny prítomné v zrnách jačmeňa sa nazývajú hordeíny a nachádzajú sa iba v bunkách škrobového endospermu. Hordeíny sa odlišujú od ostatných obilných proteínov v zásade tým, že sú horšie rozpustné v porovnaní s inými proteínovými frakciami, ako sú albumíny a globulíny. Solubilizujú sa iba horúcim vodným etanolom v prítomnosti redukčného činidla, ako je 2-merkaptóetanol. Hordeíny z jačmeňa sú rozdelené do 5 skupín na základe ich elektroforetickej pohyblivosti a zloženia aminokyselín: hordeíny B a C (70% až 80% a 10% až 20% hordeínovej frakcie) a D, Z a  $\gamma$  hordeíny (menej ako 5% celkovej frakcie hordeínu). B hordeíny možno rozdeliť na podtypy B1, B2 a B3. Ďalej sa rozlišuje medzi sírou bohatými (B a  $\gamma$  hordeíny), chudobnými na síru (C hordeíny) a prolamínmi s vysokou molekulovou hmotnosťou (D hordeíny). Polypeptidové zloženie každej skupiny hordeínu sa líši podľa kultivaru. Pre hordeíny je charakteristický vysoký obsah glutamínu a prolínu. Hordeíny sú tiež typicky chudobné na lyzín, čo znižuje ich výživovú hodnotu. Každá skupina hordeínov má charakteristické zloženie aminokyselín. Typicky, C hordeín obsahuje viac fenylalanínu ako iné hordeíny. Hordeíny D a tie s nízkou molekulovou hmotnosťou obsahujú menej prolínu v porovnaní s inými hordeínovými skupinami. Ako kompenzácia sú tieto bohaté na glycín, serín a treonín [40, 43, 44].
- d) Glutelíny (nemajú pre jačmeň osobitý názov) sú rozpustné v alkalických roztokoch. Z celkového obsahu bielkovín obsahujú asi 32 %. Pri sladovaní a vo varni sa takmer nemenia, prechádzajú do mláta [39].

Väčšina pivných proteínov leží v rozmedzí veľkostí 10 až 40 kDa. Pôvodcom proteínov s vysokou molekulovou hmotnosťou je väčšinou sladový jačmeň. Zdá sa, že niektoré pivné proteíny nemajú v pive žiadnu funkciu, okrem toho, že prispievajú k pocitu v ústach, chuti, textúre, telu, farbe a výživovej hodnote. Proteín Z, LTP1 (lipidový prenosový proteín) a ďalšie proteíny prítomné v pive sú spojené s tvorbou a / alebo stabilizáciou peny. Proteín Z je tiež spájaný s pivným zákalom. Počas sladovania sú jačmenné proteíny čiastočne



degradované na aminokyseliny a malé peptidy pomocou mnohých proteolytických enzýmov. Pivovarské vyhorené zrnó, hlavný vedľajší produkt pivovarnického priemyslu, je bohaté na proteíny a vláknu. Identifikácia proteínu vo vzorkách sladu a piva pomocou elektroforézy na polyakrylamidovom géle alebo vysokoúčinnéj kvapalinovej chromatografie sa stala rutinným laboratórnym testom v segrácii obilia v sladovniach a v šľachtiteľských programoch [40, 44].

### 2.1.1.7 Enzýmy

Sú komplexne organické zlúčeniny, ktoré majú zásadný význam pre všetky životné pochody. Technologický proces výroby sladu a piva závisí od činnosti celého radu enzýmov, ktoré pôsobia pri klíčení sladu, príprave mladiny (jačmenné, resp. sladové enzýmy) a pri kvasení mladiny (kvasničné enzýmy). V jačmennom zrne sa pred klíčením nachádza malé množstvo enzýmov, tieto sa v priebehu klíčenia avizujú a ich množstvo stúpa. V zrne sú rozložené rovnomerne. Najviac sa nachádzajú v miestach, kde sa tvoria (v blízkosti zárodka). Rýchlosť enzýmovej reakcie závisí od koncentrácie enzýmov, pH, od teploty a času pôsobenia. Je známe približne 700 enzýmov, ktoré sa rozdeľujú do 6 skupín (oxidoreduktázy, transferázy, hydrolázy, lyázy, izomerázy, ligázy). Najdôležitejšie sú enzýmy zo skupiny hydroláz [39].

Hydrolytické enzýmy sú najdôležitejšími enzýmami pri výrobe sladu a sladiny, ale aj v ďalšom procese výroby piva. Pri procese sladovania a rmutovania sa uplatňujú predovšetkým hydrolázy, ktoré štiepia esterové väzby. Patrí sem veľká skupina enzýmov štiepiace lipidické zložky (lipázy) a fosforečné estery (fosfatázy), ďalej štiepiace glykozidové väzby škrobu, hemicelulózu a celulózu, tzv. karbohydrolázy. Sem patria amylolitické enzýmy a oligosacharidy ( $\alpha$ -amyláza,  $\beta$ -amyláza, maltáza, limitná dextrináza, R-enzým, sacharáza), hemicelulózy (enzýmy, ktoré štiepia glukány a pentozany) a celulózy (enzýmy, ktoré odštepujú z celulózy zodpovedajúce dextríny) a hydrolázy štiepiace peptidové väzby (endopeptidázy a exopeptidázy) [39, 45].

Počas hydrolýzy sú zásobné bielkoviny premenené na peptidy, poprípade až na aminokyseliny. Proteolytická aktivita je veľmi významným faktorom. Pri výrobe sladu je tak uvoľňované do kvapaliny značné množstvo aminokyselín, ktoré môžu ďalej slúžiť ako výživa pre kvasinky, pre tvorbu biomasy alebo môžu tvoriť základ pre arómu finálneho výrobku. V posledných rokoch tiež vychádza najavo, že sú to práve reziduá bielkovín, ktoré zapríčínujú tvorbu a stabilitu peny a zákal piva [45].

### 2.1.1.8 Lipidy

Nachádzajú sa hlavne v zárodku a aleurónovej vrstve a tvoria asi 3 – 4% celkovej sušiny zrna, aj keď samotné pivo je v podstate bez tuku. Jačmeň, rovnako ako iné obilniny, obsahuje lipidy spojené so škrobom a tieto je možné rozdeliť do tzv. „povrchovej“ a „vnútornej“ formy. Prvé sú pripevnené k povrchu škrobových granúl in situ alebo sú pripojené počas izolácie škrobu. Sú podobné lipidom nachádzajúcim sa v iných častiach jadra a pozostávajú z triacylglycerolov, polárnych lipidov a malého množstva diacylglycerolov a voľných mastných kyselín. Vnútorne lipidy sú hlavne monoacylglyceroly a voľné mastné kyseliny sa považujú za inklúzne komplexy s amylózou. Prevažujúce mastné kyseliny nachádzajúce sa v lipidoch jačmeňa sú kyselina palmitová, olejová a linolová. Fosfolipidy sa nachádzajú v nepatrných množstvách. Aktivita lipázy je prítomná v surovom jačmeni [42].

Prítomnosť lipidov v mladine a pive je dôležitá z dôvodu ich vplyvu na rast kvasiniek a metabolizmu, ako aj v rôznych aspektoch kvality piva (napr. stabilita peny). Vo fermentačnej sladine sú lipidy aj nenasýtené mastné kyseliny s dlhým reťazcom nevyhnutné pri aktivácii kvasiniek, ako aj pri raste buniek za anaeróbných podmienok, čo ovplyvňuje fermentačný proces a vedie k intenzívnejšej a rýchlejšej fermentácii. Lipidy jačmeňa boli dlho považované za látky, ktoré majú nepriaznivé účinky na kvalitu piva napriek tomu, že obsahujú mastné kyseliny s dlhým reťazcom a vysokým chuťovým potenciálom. Stabilitu pivnej peny môže navyše ovplyvňovať prítomnosť a profil mastných kyselín, ako aj ďalších faktorov, ako sú chmeľové kyseliny, bielkoviny, polysacharidy a ióny kovov. Celkovo sú lipidy pochádzajúce zo surovín použitých na výrobu piva veľmi dôležité, napriek tomu však celková úloha pri výrobe piva a fermentačných procesoch nebola úplne objasnená [41, 46].

### 2.1.1.9 Ďalšie zložky

Jačmenné zrnko je vynikajúcim zdrojom rozpustnej a nerozpustnej vlákniny a ďalších bioaktívnych zložiek, ako je vitamín E, vitamíny skupiny B, minerály a fenolové zlúčeniny. Pokiaľ ide o posledne menované, monofenoly (napríklad kumarín) a polyfenoly (napríklad antokyanidíny) sú v malom množstve obsiahnuté vo vrstve šupky, oplodia, osemenia a v aleurónovej vrstve. Vo vrstve aleurónu sa nachádzajú rôzne minerálne ióny.  $K^+$ ,  $Mg^+$ ,  $Na^+$  a  $Cl^-$  sú hlavné. Kremík sa nachádza v pleve celých zŕn a hoci sa väčšina z neho v pleve zadržiava počas varenia piva, značné množstvo sa extrahuje do mladiny a pretrváva v pive. Zárodok a aleurónová vrstva obsahujú rôzne vitamíny skupiny B, napríklad biotín a inozitol. Tie budú životne dôležité počas následných fermentačných procesov. Aktivita vitamínu E v

jačmeni je výsledkom komplexu tokolov, hlavne tokoferolov a toktrienolov. Najmä  $\alpha$ -tokoferol má známu antioxidačnú aktivitu, ktorá chráni nenasýtené mastné kyseliny a vitamín A [42].

### 2.1.1.10 Ukazovatele sladovníckej akosti

Sladovnícká kvalita je výrazná odrodová vlastnosť. Kvalita konkrétnej odrody môže byť významne ovplyvnená ročníkom, lokalitou, úrovňou hnojenia, výskytom škodlivých činiteľov a poliehaním. Je hodnotená pomocou USJ, ktorý má rozpätie 1 – 9. Odrody hodnotené stupňami 1 – 3 sú považované za odrody pre sladovnícky priemysel nevhodné, naopak odrody hodnotené stupňami 7 – 9 predstavujú najvyššiu kvalitu. Podľa typu vyrábaného piva a použitej technológie výroby majú pivovary odlišné požiadavky na úroveň jednotlivých parametrov. Limitné hodnoty a váhy kvalitatívnych znakov zaradených do ukazovateľa sladovníckej kvality sú uvedené v Tabuľke 1 [47].

Tabuľka 1: Hodnoty parametrov pre stanovenie USJ [48]

Ukazovatele sladovníckej akosti	Neprijateľný limit		Optimálne hodnoty	
N látky	9,5	11,7	10,2	11,0
Extrakt v sušine	81,5		83,0	
Relatívny extrakt (45° C)	35,0	53,0	40	48
Kölbachovo číslo	40	53	42	48
Diastatická mohutnosť	220		300	
Dosiahnuteľný stupeň prekvasenia	79,0		82,0	
Friabilita	79		86	
Obsah beta-glukánov	max. 250		100	

Na výšku extraktu vplýva obsah dusíkatých látok v zrne jačmeňa. Vyšší obsah proteínov výšku extraktu znižuje. Extrakt v sušine sladu je pre pivovarníkov a sladovníkov zrejme najdôležitejším parametrom kvality pri výbere a nákupe sladovníckeho jačmeňa. Obsahuje rozpustné látky, ktoré boli prítomné v sladovom zrne a ďalšie látky, ktoré sa v priebehu rmutovania vytvorili enzymatickou hydrolýzou. Relatívny extrakt pri 45 °C je dôležitým ukazovateľom enzymatického odbúravana substrátu, avšak daný parameter má svoj význam hlavne v strednej Európe. Kolbachovo číslo je najčastejšie používaným parametrom pre hodnotenie proteolytického rozlúštenia. Udáva pomer medzi celkovým obsahom dusíkatých látok v slade a obsahom rozpustného dusíka v kongresnej sladine. Diastatická mohutnosť významne závisí na aktivite  $\beta$ -amylázy, ale je tiež ovplyvnená ďalšími glykozidickými hydrolázami ako je  $\alpha$ -amyláza. Význam tohto parametra spočíva vo vyjadrení amylolytickej aktivity, a tým aj v premene škrobu na extrakt. Dosiaditeľný stupeň prekvasenia je súhrnným parametrom pre hodnotenie kvality kongresnej sladiny a poskytuje informácie o spracovateľnosti extraktu kvasinkami, a pritom je dôležité množstvo a zloženie skvasiteľných cukrov, ale aj prítomnosť stopových prvkov a dusíkatých látok v sladine. Friabilita a obsah  $\beta$ -glukánov v sladine charakterizujú úroveň cytolytického rozlúštenia. Nadmerné množstvo  $\beta$ -glukánov negatívne ovplyvňuje kvalitu sladu, pretože zhoršujú tvorbu extraktu a zvyšujú viskozitu sladiny, a tým spôsobujú problémy pri filtrácii [49].

### 2.1.2 Sladovanie jačmeňa

Sladovanie je riadené klíčenie zrna jačmeňa za určitých podmienok do okamihu modifikácie zrna a je základným kameňom pivovarnického a liehovarnického priemyslu. Cieľom sladovania je vyrobiť z jačmeňa slad, obsahujúci potrebné enzýmy a aromatické i farebné látky nevyhnutné pre výrobu určeného druhu piva [45].

Slad je popri vode najhojnejšie používanou ingredienciou v pivovarníctve a jeho vlastnosti a kvalita majú prevažujúci vplyv na proces varenia piva a výslednú kvalitu piva. Proces sladovania je podstatný v tom, že vedie k veľkému zvýšeniu hydrolytických enzýmov, čiastočnej degradácii bunkových stien endospermu a bielkovín a štrukturálnym zmenám v tkanivách zrna, vďaka ktorým sú škrob a bielkovinové substráty ľahko extrahovateľné [50].

Slad významne prispieva k organoleptickým vlastnostiam piva. Je hlavným zdrojom farby piva a môže významne prispieť k chuti. Chemické zložky v slade, vrátane cukrov, aminokyselín, lipidov a fenolov, slúžia ako prekurzory farieb, aróm a látok bez arómy. Špecifické podmienky procesu určujú, ktoré zlúčeniny sa vyvíjajú a / alebo zachovávajú.

Pocit v ústach alebo telo piva závisí od zložiek pochádzajúcich zo sladu vrátane nefermentovateľných dextrínov a polysacharidov bunkovej steny. Pivná pena je z veľkej časti závislá od špecifických proteínov pochádzajúcich zo sladu. Negatívom je, že slad môže niekedy obsahovať faktory, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú kvalitu piva, čo môže mať za následok napríklad samovoľné prepenovanie alebo predčasnú flokuláciu kvasníc [42, 50].

Na záver je potrebné vziať do úvahy, že medzi všetkými prísadami, sladom, prídavnými látkami, chmeľom, vodou a kvasnicami, sú zložité vzťahy, ktoré môžu mať podstatný vplyv na výkon spracovania a kvalitu piva. Pri určovaní charakteru alebo štýlu piva je nevyhnutná rovnováha medzi sladom, kvasnicami a chmeľovou chuťou / horkosťou. Pre stabilitu pivnej peny sú dôležité interakcie medzi chmeľovými zložkami a penovými proteínmi zo sladu. Pre rast kvasiniek sú potrebné minerály dodávané vodou a sladom a vitamíny a aminokyseliny dodávané sladom. Minerálne zloženie a pH varnej vody ovplyvňuje rýchlosť chemických a enzymatických reakcií, solubilizáciu a extrakciu a vnímanie chutí [42, 50].

Proces výroby sladu zahŕňa tri fázy: máčanie, klíčenie a hvozdenie. V priebehu máčania sa zvýši obsah vody v zrne pre začatie enzymatických reakcií a pre klíčenie zrna. Klíčenie je hlavnou fázou výroby sladu, pri ktorej dochádza k aktivácii a novej tvorbe enzýmov. Príkladom sú amylolytické enzýmy, ktoré sa podieľajú na hydrolýze škrobu, glykogénu a ďalších polysacharidov, v ktorých sa vyskytujú  $\alpha$ -1,4-glykozidické väzby. Sú to  $\alpha$ -amyláza a  $\beta$ -amyláza a majú zásadný význam predovšetkým v procese rmutovania. Tieto enzýmy štiepia škrob a tým sa podieľajú na obsahu skvasiteľných sacharidov vo sladiny.  $\alpha$ -amyláza nebola v jačmeni preukázaná a vzniká až pri klíčení.  $\beta$ -amyláza je v malom množstve prítomná už v jačmeni a pri sladovaní sa jej obsah zvyšuje. Pri hvozdení oba enzýmy čiastočne denaturujú,  $\alpha$ -amyláza viac vzhľadom k značnej citlivosti na teplotu. Hvozdenie je záverečnou fázou výroby sladu, počas ktorej je zelený slad s vysokým obsahom vody prevedený do skladovaného a stabilného stavu. Po ňom nadväzuje odkličovanie, čistenie a šrotovanie sladu [51].

### 2.1.3 Surogáty (náhrady) pri výrobe piva

Surogáty sa používajú na výrobu špeciálnych pív alebo ako prídavok k sladom pre zlepšenie napríklad penivosti piva. Surogáty do 10% hmotnosti sladu výrazne neovplyvnia kvalitu piva. Ďalšie zvyšovanie podielu surogátov vyžaduje zmeny v používaní technológie. U spodne kvasených pív by % surogácie nemalo prekročiť 20% sladového sypania. V prípade

surogácie vyššej ako 40% je potrebné použiť aj enzýmové preparáty. Podľa charakteru náhrad môžeme surogáty rozdeliť do dvoch základných skupín na:

- 1) Škrobnaté surogáty – tieto náhrady obsahujú škrob v pôvodnom stave:
  - a) jačmeň – je najvhodnejší, v minulosti sa používal bežne v množstve 10% pre zlepšenie chuti a penivosti, zloženie zrna je podobne sladu,
  - b) pšenica – je na celom svete najrozšírenejšou plodinou a bežne sa používa ako doplnok v pivovarníckom priemysle, niekedy na základe nákladov. V prípade kontinentálnych pšeničných pív (Weißbier) môže väčšina šrotu pozostávať z pšeničného sladu, ale ak sa použije ako doplnok, hladina zriedka prekročí 20% šrotu. Nevýhodou je obsah bielkovín (lepku), čo predlžuje scedzovanie mladiny a filtráciu piva,
  - c) ryža – zrná obsahujú viac škrobu na báze sušiny ako jačmeň alebo pšenica a obsahujú nižšie hladiny vlákniny, lipidov a bielkovín, a preto majú pre pivovar neodmysliteľne užitočné vlastnosti,
  - d) kukurica – zrná majú vysoký obsah škrobu (asi 72%) a obsahujú tiež relatívne vysoký podiel lipidov (4 až 5%), hlavne v súvislosti so zárodokom. Z tohto dôvodu sa pred použitím kukurice na varenie piva zárodok odstáni,
  - e) cirok – oplodie a osemenie obsahujú vysoké hladiny polyfenolov. Bunkové steny endospermu obsahujú vysokú hladinu bielkovín, čo môže spôsobiť problémy pri varení nepriehľadných pív,
  - f) ovos – bolo navrhnuté jeho použitie na výrobu pív neobsahujúcich lepok,
  - g) raž – semeno je drobnozrnné a dodáva pivu vysoko charakteristické arómy. Používa sa veľmi raritne ako hlavná surovina,
  - h) tritikale – slad *Triticale* má nízky obsah tuku, vysokú enzymatickú aktivitu (vyššiu aktivitu  $\alpha$ -amylázy ako pšenica) a vysokú hladinu rozpustného dusíka. Spočiatku mala obmedzené použitie, záujem sa však zvyšuje, pretože sa ukazuje, že zrnó je veľmi vhodné ako doplnok v pivovarníctve,
  - i) pohánka – s očakávaným zvýšením celosvetového výskytu celiakie sa predpokladá vyšší dopyt po bezpečných výrobkoch. Pohánkové pivo by sa považovalo za „bezpečné“ pre pacientov s celiakiou.
- 2) Cukornaté surogáty – dávajú sa do mladiny v priebehu chmelovaru. Väčšinou sa nahradzuje v rozsahu 5 – 10 %. Nahradením sladu cukornatými surovinami sa v slade

znižuje obsah dusíkatých látok, polyfenolov a rastových faktorov pre kvasinky.

Zvyšuje sa obsah etanolu a znižuje sa penivosť piva. Patria sem:

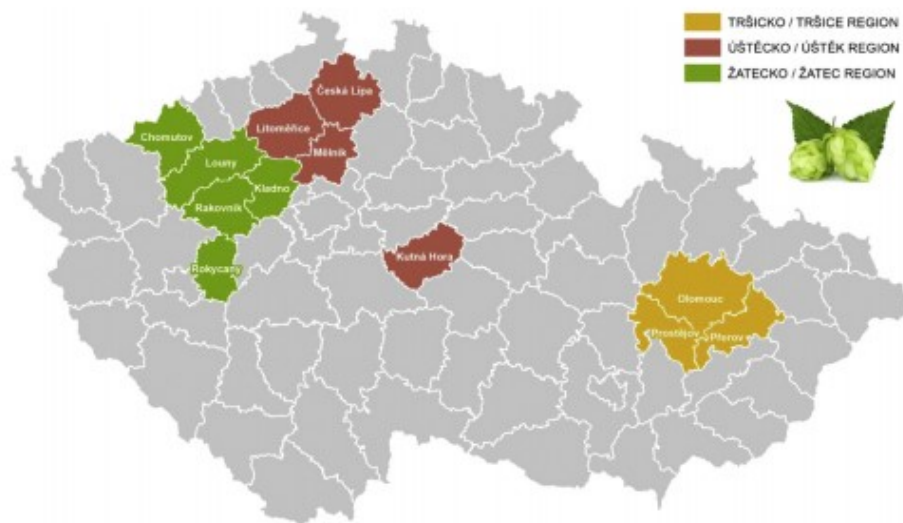
- a) kryštálový cukor – väčšinou rafinovaný, niekedy hnedý i surový cukor so zvyškami melasy. V zahraničí sa používa i umelý med,
- b) cukrový kulér – pripravuje sa zo sacharózy zahrievanej na teplotu 180 – 200 °C za prístupu vzduchu alebo vo vákuu. Tmavé piva z kuléru majú žltohnedú penu.
- c) cukrový sirup – vyrobené zo škrobu zemiakového, pšeničného, kukuričného. Vyrába sa kyslou alebo enzymatickou hydrolýzou škrobu [36, 42, 52].

## 2.2 Chmeľ

Chmeľ bol známy ako divo rastúca rastlina už počas obdobia antiky. Historické nálezy vedú k záveru, že jeho pôvod bol v Ázii, konkrétne v úrodnej Mezopotámii, v nížinách Kaukazu a na juhu Sibíri. Z botanického hľadiska sa však predpokladá, že chmeľové rastliny majú pôvod v Číne, pretože Čína je jediná krajina na svete, kde sa všetky tri druhy chmeľu (*H. lupulus*, *H. japonicus*, *H. yunnanensis*) prirodzene vyskytujú. Záznamy ukazujú, že chmeľ, ktorý slovanské kmene používali na dochucovanie a konzervovanie piva, pochádza najmenej spred 1500 až 1000 rokov p. n. l. Ostatné národy začali chmeľ používať na varenie piva od 13. storočia (n. l.). Až do 12. storočia (n. l.) sa však chmeľ získaval pravdepodobne iba zberom divo rastúcich rastlín [53].

### 2.2.1 Odrody chmeľu

V Českej republike má pestovanie chmeľu veľkú tradíciu. Chmeľ, najmä odroda Žatecký poloraný červeňák, je tradičnou českou exportnou komoditou. Prvé doložené pestovanie chmeľu v Čechách sa datuje do 8. storočia nášho letopočtu. Chmeľ sa vyvážal do susedných krajín už na začiatku druhého tisícročia n. l. Typická oblasť pestovania chmeľu v Českej republike a tiež najväčšia je oblasť Žatca, kde sa nachádza väčšina chmeľových polí. Ďalšou dôležitou oblasťou pestovania chmeľu je Ústěk a Haná na Morave, najmä v okolí Tršíc (Obr. č. 3). V Českej republike výroba chmeľu veľmi závisí od počasia v danom roku v regiónoch, kde sa pestuje chmeľ. Druhým faktorom významne ovplyvňujúcim celkovú produkciu chmeľu je plocha chmeľníc, na ktorých sa v danom roku pestuje chmeľ [54].



Obr. č. 3 – Mapa oblastí pestovania chmeľu v Českej republike [54].

V polovici 90. rokov minulého storočia bola zahájená odrodová reštrukturalizácia českého chmelárstva. Začínajú sa voľne pestovať odrody Bor, Sládek a Premiant, ktoré sú považované za prvú generáciu českých hybridných odrôd. V nasledujúcich rokoch boli postupne registrované ďalšie odrody: Agnus, Harmonie, Rubín, Vital a Kazbek, Saaz Late, Bohemie. Vo šľachtení chmeľu možno v posledných rokoch zaznamenať nové trendy, ktoré majú za cieľ nájsť pre chmeľ nové oblasti uplatnenia nielen v pivovarskom priemysle. Jedným z týchto cieľov sú nové odrody chmeľu s atraktívnym, sensoricky výrazne odlišnou arómou, ktorá v priebehu varného procesu prechádza až do piva [55].

V súčasnej dobe veľmi populárnou skupinou odrôd chmeľu sú tzv. "flavour hops". Jedná sa o odrody s atraktívnym, sensoricky špecifickou arómu, ktorá sa v plnej miere uplatňuje aj v pive vďaka tomu, že sa používajú na tzv. "chmelenie za studena", prídavku chmeľu do ležiackych tankov v studenej fáze výroby piva. Takto chmelené piva získavajú úplne jedinečnú chmeľovou vôňu vďaka tomu, že sa sensoricky uplatňujú látky, ktoré bežne pri chmeľovare bez úžitku vytekajú z vriacej mladiny. Chmelenie za studena je doménou predovšetkým malých a reštauračných pivovarov, ale aj priemyselné pivovary už začínajú túto technológiu používať pri výrobe špeciálnych pív. Z českých chmeľov sa do tejto kategórie zaraďuje odroda Kazbek [56].

Dnes sa chmeľ pestuje v mnohých rôznych krajinách. Európske, anglické, americké a tichomorské odrody chmeľu sú ľahko dostupné na voľnom trhu. S nárastom výroby remeselného piva začiatkom 90. rokov 20. storočia explodovalo pestovanie a vývoj chmeľu. Dnes je bežné nájsť nemecké odrody ako Mandarina Bavaria, Hüll Melon, ktoré voňajú po



ovocí; americké odrody, ako napríklad Citra a Mosaic, ktoré voňajú tropicky; a anglické a tichomorské odrody, ktoré voňajú po citrusoch [57].

### 2.2.1.1 Rastlina

Sú známe tri druhy chmeľu:

- *Humulus lupulus*,
- *Humulus japonicus*
- *Humulus yunnanensis*

*Humulus lupulus* je najproduktívnejší medzi 35 ° a 55 °C zemepisnej šírky na severnej a južnej pologuli. *Humulus japonicus* je rozšírený v Číne a Japonsku ale chýbajú mu lupulínové žľazy, a preto aj pivovarnícka hodnota. O *H. yunnanensis* z južnej Číny sa vie len málo. *Humulus* a *Cannabis* sú jediné dva rody z čeľade *Cannabinaceae*. Konope predstavuje iba *C. sativa* L. (Indické konope, hašiš, marihuana). Medzi chmeľom a hašišom sú určité chemické podobnosti, ale živice týchto dvoch druhov sú odlišné [58].

*Humulus lupulus* je popínavá trvácna bylina, ktorá môže dosiahnuť výšku 6 metrov. Stonky stúpajú otáčaním sa v smere hodinových ručičiek. Tento druh je dvojdomý (samčie a samičie orgány na samostatných rastlinách), pričom najvýraznejším morfológickým rozdielom medzi samčiami a samičími rastlinami je veľkosť kvetenstva (samčia kvetinová hlava je oveľa rozvetvenejšia). Pre pivovarníctvo sa využívajú hlávky samičích rastlín [42].

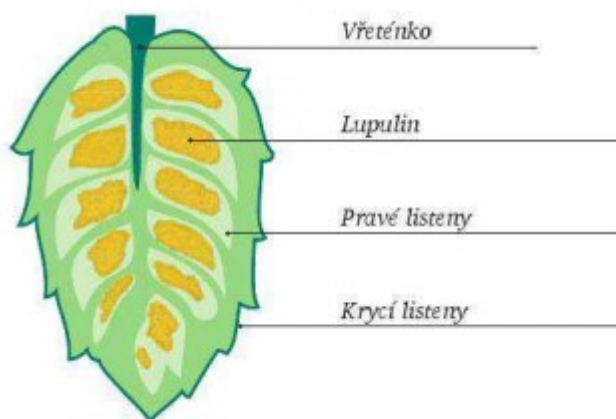
Hlávka sa skladá z centrálnej osi, inak známej ako vretienko, ktoré je spojené so stopkou a má cikcakový vzor. K vretienku sú pripevnené krycie a pravé listene. Na spodku listeňov sú žlté lupulínové žľazy, ktoré obsahujú éterické oleje a živice cenné pre svoje horké a aromatické vlastnosti. Chmeľové oleje a živice tiež inhibujú bakteriálny rast a táto prírodná konzervačná vlastnosť je jedným z dôvodov, prečo sa chmeľ prvýkrát použil v pive [38, 57].



Obr. č. 4 – Chmelová hlávka (Zdroj: <http://www.diversity.beer/2015/12/suroviny-3-dil-chmel.html>)



Obr. č. 5 – Lupulinové žlázy na spodku listeňov (Zdroj: [https://agrobiologie.cz/SMEP3/Fytotechnika/fyto/php/skripta/kapitola6fc1.html?titul\\_key=4&idkapitola=181](https://agrobiologie.cz/SMEP3/Fytotechnika/fyto/php/skripta/kapitola6fc1.html?titul_key=4&idkapitola=181))



Obr. č. 6 – Rez chmeľovou hlávkou [59]

### 2.2.2 Obsah horkých látok

Primárne horké látky v chmeli sú odvodené od alfa kyselín nazývaných humulóny, ktoré sú prítomné v chmeľovej živici. Chmeľové živice tvoria asi 10 – 20% sušiny chmeľu a získavajú sa extrakciou éterom alebo metanolom. Ich dôležitými zložkami sú  $\alpha$ - a  $\beta$ -kyseliny, ktorých horký potenciál sa výrazne líši.  $\alpha$ -kyseliny (kohumulón, humulón, adhumulón) sa počas varenia transformujú na iso- $\alpha$ -kyseliny (iso-humulóny). Tieto iso- $\alpha$ -kyseliny a ich deriváty majú značný potenciál horkosti. Aj keď sa iso-humulóny bežne považujú za entitu z hľadiska horkosti, je potrebné poznamenať, že jednotlivé izoméry majú rozdielne intenzity prahovej hodnoty horkosti. Cis-izoméry sú podľa Schönbergera a Kosteleckého všeobecne horkejšie ako trans-izoméry.  $\beta$ -kyseliny (kolupuklón, lupulón, adlupulón) majú príliš nízku rozpustnosť v mladine a pive, tak aby prispeli k samotnej chuti piva, ale môžu byť oxidované na hulupóny, ktoré sú horké a sú mierne horkými zásadami v niektorých pivách (napr. lambického štýlu). Chmeľové živice zvyšujú fyziologickú stráviteľnosť, stabilitu peny a bakteriostatický charakter mladiny a piva. Čo sa týka obsahu polyfenolov v chmeli, tak efekty horkosti týchto zlúčenín sú rôzne a nie tak významné ako v prípade chmeľových kyselín [57, 58, 60, 61].

Iso- $\alpha$ -kyseliny sú považované za najvýznamnejší prvok chmeľu vzhľadom na horkosť piva, a preto je horkosť piva často synonymom IBU / EBU (International Bitterness Unit / European Bitterness Unit, skrátene na BU) testu. BU test nie je sám o sebe meradlom senzorickej horkosti piva, ale vyjadruje koncentráciu iso- $\alpha$ -kyselín v [mg/l]. Zatiaľ čo jednotky horkosti môžu naznačovať horkosť piva, nemajú žiadny priamy vzťah s príchuťou a arómou chmeľu v pive [38, 62].

### 2.2.3 Aromatické látky

Arómy spojené s chmeľom pochádzajú z ich silíc (označované tiež ako éterické oleje), a tieto silice obsahujú zhruba 500 rôznych chemických zlúčenín, ktoré boli doteraz identifikované. Chmeľ produkuje až 3% silíc, ktoré sú zodpovedné za príjemnú chmeľovú aróma piva. Sú produkované v lupulínových žľazách chmeľových šišť spolu s živcami. Zloženie silíc závisí od genetických (kultivar) a iných faktorov (napr. skladovanie), ale keďže väčšina komerčného chmeľu sa zberá pri ekvivalentnom stupni zrelosti, dominujú odrodové faktory [57, 58, 63].

Chmeľové silice je možné kategorizovať do troch základných frakcií:

- a) uhl'ovodíkové – táto frakcia tvorí 50 – 80% celkového obsahu silíc v chmeli a skladá sa prevažne z alifatických uhl'ovodíkov, monoterpénov a seskviterpénov. Najvýznamnejším zástupcom je myrcén a humulén. Myrcén bol popísaný rôzne, pretože má živcovú / zelenú / citrusovú / borovicovú arómu a nachádza sa vo vyšších koncentráciách v chmeli „nového sveta“. Humulén, tiež známy ako karyofylén, je izomér  $\beta$ -karyofylénu a existuje v zmesi dvoch izomérov v chmeli. Vyššia hladina humulénu sa zvyčajne nachádza v ušľachtilom chmeli v porovnaní s inými odrodami. Ďalšími významnými monoterpénmi sú limonen,  $\beta$ -pinen,  $\beta$ -ocimen a terpinolen, avšak sa v chmeli vyskytujú v omnoho nižších koncentráciách [38, 63].
- b) kyslíkaté – môže tvoriť až 30 % z celkového množstva silíc. Táto frakcia je zmesou monoterpenických, seskviterpenických a alifatických alkoholov, aldehydov, ketónov, esterov, epoxidov a karboxylových kyselín. Môžu vznikáť oxidáciou z uhl'ovodíkovej frakcie počas výroby piva alebo spracovania chmeľu. Z hľadiska obsahu a senzorických vlastností patria medzi najvýznamnejšie kyslíkaté frakcie najmä linalool a geraniol. Linalool je kvetinový a korenistý terpénový alkohol. Nachádza sa vo viac ako 200 rastlinách, ako sú citrusové plody a levandule. Ukázalo sa, že určitá koncentrácia linaloolu dodáva pivu ovocnú chmeľovú arómu. Geraniol je alkohol, ktorý si získal meno podľa pelargónie. Nachádza sa tiež v éterických olejoch z ruží a má preto kvetinovú vôňu. O niečo prekvapivejšie je, že je kľúčovou zložkou ovocných aróm, ako sú broskyne a maliny [38, 63].
- c) frakcia sírnych zlúčenín – chmeľových siliciach sa nachádzajú iba stopy zlúčenín obsahujúcich síru a mnohé z nich majú veľmi nízke prahové hodnoty chuti [58].

### 2.2.4 Chmeľové polyfenoly

Okrem  $\alpha$ -kyselín je chmeľ tiež zdrojom polyfenolov, aj keď množstvo polyfenolov prítomných v pive bude závisieť od odrody chmeľu, formy a bodu, v ktorom sa chmeľ pridáva počas procesu varenia. Ďalej, v závislosti od úrovni chmelenia, je pivovarský slad zvyčajne hlavným zdrojom polyfenolov v pive [64].

Chmeľové polyfenoly sú veľmi diverzifikovanou skupinou biologicky aktívnych látok, ktorá tvorí 3 – 6 % sušiny chmeľových hlávok. Hlavná časť polyfenolov je situovaná v listeňoch a vretene chmeľovej hlávky („listové polyfenoly“), prenylflavonoidy sú vylučované z lupulinových žliaz spolu s horkými kyselinami a silicami. Chmeľové polyfenoly sa zvyčajne delia do skupín flavonolov, flavanov-3-olov (katechínov), fenolových karboxylových kyselín (deriváty kyseliny benzoovej a kyseliny škoricovej) a ďalších fenolových zlúčenín (prenylflavonoidy, stilbenoidy) [63].

V pive pôsobia ako antioxidanty s priaznivými účinkami na civilizačné choroby, nádorové ochorenia, aterosklerózu, cukrovku, Alzheimerovu chorobu a Parkinsonovu chorobu, ktoré ohrozujú podstatnú časť ľudskej populácie, a tiež zabraňujú oxidačnej degradácii piva. Tieto vlastnosti polyfenolov sa prejavujú v procese výroby piva, antiradikálová a chelatačná aktivita pomáha chrániť citlivé sensoricky aktívne látky a zlepšiť sensorickú stabilitu piva potlačovaním tvorby aldehydov starej chuti. Negatívom je, že môžu mať zvieravý účinok v chuti a vytvárať zákal reakciou s bielkovinami [38, 64].

### 2.2.5 Chmeľové produkty

Prevažná časť sušeného chmeľu sa po zbere spracováva na chmeľové produkty. Minoritná časť sa používa v pôvodnej hlávkovej forme po zlisovaní (2%). Táto forma je najviac náchylná k zmenám obsahu aromatických látok. Väčšina chmeľu je spracovaná na pelety (60%) a chmeľové extrakty (20%), zvyšok je určený pre izomerizované produkty. Lisovaný chmeľ či pelety sú balené do nepriepustných evakuovaných obalov [65, 66].

Pelety sa vyrábajú zo surového chmeľu, ktorý sa dosúša na 8 – 10 % vlhkosť, ochladí na 30 °C, rozdrví v kladivovom mlyne (u peliet typu 90 na veľkosť častíc 1 – 5 mm), ďalej sa homogenizuje, peletizuje a balí. Balenia sú obvykle chránené v kartónových škatuliach a ideálne sú skladované pri teplote 1 – 5 °C. Pelety typu 45 sú tiež známe ako pelety obohatené o lupulín. Vyrábajú sa zmrazením chmeľu pri teplote – 35 °C a následným mletím. Sitá sa potom použijú na výber veľkosti častíc okolo 0,15 mm. Stabilizované chmeľové pelety sa

pripravujú zmiešaním až 2 hmotnostných percent horčíka (alebo oxid vápenatý) s chmeľovým práškom pred peletizáciou kvôli lepšej stabilizácii a využiteľnosti. Stabilizované chmeľové pelety (v mäkkých obaloch) sa uchovávajú pri teplote  $45 \pm 55$  °C počas  $10 \pm 14$  dní a vytvárajú sa izomerizované pelety chmeľu. K dispozícii sú tiež pelety typu 33 obohatené o lupulín. Rovnako ako prášok obohatený o lupulín [38, 58].

Na extrakciu použilo veľa rôznych rozpúšťadiel, pivovarníci majú čoraz väčšie obavy z možnosti zvyškov rozpúšťadla v ich pive, takže stále sa používajú – hexán (bod varu 69 °C), etanol (bod varu 78 °C) a oxid uhličitý, z ktorých je najdôležitejší oxid uhličitý. Tieto produkty sú stabilnejšie ako hlávkový chmeľ alebo pelety a neobsahujú polyfenoly a dusičnany. Majú tiež nižší obsah reziduí pesticídov. Použitie glukózového sirupu alebo cukru na zriedenie živicových extraktov sa dnes považuje za nežiadúci; takéto zriedené extrakty majú oveľa kratšiu trvanlivosť. Extrakt sa dodáva v plechovkách a má vzhľad žltozelenej tekutiny [38, 58].

Isoextrakty, Isopelety, isohorké kyseliny, apod. sú látky vzniknuté chemickou izomerizáciou, veľmi podobné látkam, ktoré vznikajú v priebehu spracovania chmeľu a v pivovare sa používajú napr. na zvýšenie horkosti piva, ale boli u nich preukázané aj vplyvy na zvýšenie stability piva a stability peny. Z tohto dôvodu o nich na úrovni európskej legislatívy stále prebieha diskusia, či už nejde o prídavné látky. Zatiaľ ide ale o zložku, ktorá na etikete musí byť označená ako napr. isoextrakty, isopelety alebo upravené chmeľové výrobky [66].

Horkosť sa dá dosiahnuť aj použitím chemicky redukovaných derivátov iso- $\alpha$ -kyselín, nazývaných ako svetlo stabilné chmeľové produkty, ako sú tetrahydro-iso-humulóny a hexahydro-iso-humulóny, ktoré sa pripravujú hydrogenáciou, resp. redukčnými reakciami. Pokročilé chmeľové výrobky sú medzi pivovarmi populárne, pretože ponúkajú väčšiu flexibilitu, pokiaľ ide o ich použitie a je možné ich pridať po procese varenia [64].

### 2.3 Voda

Pivo sa skladá približne z 94 % vody, a preto pivovary kladú dôraz na čistotu a originalitu ich vody. Kvalitu vody na varenie piva často určuje legislatíva. V Európe sú dodávatelia vody povinní dodržiavať smernicu EÚ o pitnej vode (98/88/ES), čo znamená, že pitie musí byť bezpečné. Musí byť pitná, čistá a bez patogénov, meraná chemickými a mikrobiálnymi analýzami [60, 67].

Pivovary môžu získavať vodu z rôznych zdrojov. Zvyčajne je to z vlastných studní, prameňov alebo vrtov (pokiaľ je to možné, vyhýbajú sa povrchovým vodám) alebo ju môžu získať od vodárenských spoločností. Väčšina malých pivovarov bude využívať komunálne napájanie, pretože je ľahšie pripojiteľné a napájateľné. Cena vrtu alebo odberu z miestneho prameňa by sa pre väčšinu malých pivovarov vrátila finančne až počas dlhého časového obdobia. Tiež neexistuje záruka, že voda z nich dostupná bude vhodná bez ďalších kapitálových a prevádzkových nákladov na určitú formu úpravy vody [58, 60].

### 2.3.1 Tvrdosť vody

Za tvrdosť vody sú zodpovedné ióny vápnika a horčíka vo vode. „Mäkká“ voda obsahuje predovšetkým nízke koncentrácie rozpustných solí, obzvlášť soli vápnika a soli horčíka. „Tvrdá“ voda obsahuje vysoké koncentrácie solí, zvyčajne hlavne hydrogenuhličitanu vápenatého alebo síranu vápenatého. Minimálna hladina vápnika a horčíka rozpustených v mladine je dôležitá pre niekoľko aspektov procesu varenia, vrátane zdravia kvasiniek, fermentovateľnosti a čistoty. Používanie nízko minerálnej vody, ako je destilovaná voda, voda upravená reverznou osmózou alebo balená pitná voda, sú na výrobu piva najvhodnejšie. Príliš vysoká tvrdosť vody (t. j. viac ako 150 ppm  $[[Ca]^{(2+)})$  spôsobí, že sa z piva stane pivo s minerálnou chuťou [57, 58].

Ďalšími dôležitými parametrami, ktoré korelujú s tvrdosťou vody, sú pH a iónová sila. Ióny vody ovplyvňujú hodnotu pH rmutu, mladiny a piva, a teda enzymatické a neenzymatické reakcie. Taktiež majú značný vplyv na kyslosť. Ióny hydrogenuhličitanu sa počítajú ako látky ničiace kyselinu, pretože vedú k zvýšeniu hodnoty pH. Ióny vápnika a horčíka podporujú kyslosť a vedú k zníženiu pH rmutu. Rozpustené soli sú prítomné vo vode v nízkych koncentráciách, ale významne ovplyvňujú senzorické vlastnosti piva, enzymatickú aktivitu pri rmutovaní a regulujú procesy pri varení, ochladzovaní a fermentácii mladiny. Ióny v pive môžu ovplyvňovať jeho chuť a ióny vápnika ovplyvňovať najmä proces rmutovania [67].

## 2.4 Kvasinky

Priemyselná aj domáca výroba piva sa opiera o ciele využívanie kvasiniek, prevažne rodu *Saccharomyces*. Ako pivovarské kvasinky sú označované kultúrne kvasinky, ktoré sa používajú na produkciu spodne či vrchne kvasených pív. Základným rysom štandardných

produkčných kvasiniek sú dobre definované vlastnosti, ktoré by sa mali meniť iba minimálne, a to aj pri opakovanom nasadení [68].

Kmene kvasiniek, ktoré sa podieľajú na fermentácii, výrazne ovplyvňujú charakteristiku piva. Dôležitosť týchto jednobunkových organizmov pre pivný priemysel je spôsobená ich schopnosťou fermentovať rôzne substráty na etanol a sekundárne metabolity. Rozmanitosť v prírode je obrovská s viac ako 1 000 rozpoznanými rôznymi druhmi kvasiniek a mnohými ďalšími kmeňmi. Ak vezmeme do úvahy túto možnosť, je možné v laboratóriu vytvoriť dokonca aj nové varianty [60].

### 2.4.1 Taxonómia

Taxonómia je vedným odborom, ktorý sa týka klasifikácie, tzn. charakterizácie a usporiadaniu definovaných jednotiek (taxónov), nomenklatúry a identifikácie týchto jednotiek na základe danej klasifikačnej schémy. Taxonómia teda pokrýva ako oblasť klasifikácie, tak aj identifikáciu organizmov [68].

Tabuľka 2 - Klasifikácia rodu *Saccharomyces*

<b>Doména</b>	Eukarya
<b>Ríša</b>	Fungi
<b>Oddelenie</b>	Ascomycota
<b>Pododdelenie</b>	Saccharomycotina
<b>Trieda</b>	Saccharomycetes
<b>Rad</b>	Saccharomycetales
<b>Čeľaď</b>	Saccharomycetaceae
<b>Rod</b>	<i>Saccharomyces</i>

Taxonómia má praktický význam v pivovarníctve. Umožňuje identifikáciu patentovaných kmeňov kvasiniek a schopnosť odlíšiť ich od kontaminujúcich látok, ako sú napríklad divoké kvasinky [58].



#### 2.4.2 Druhy / kmene kvasníc používané pri varení piva

Rozlíšenie kvasiniek na spodne a vrchne kvasiace je založené najmä na ich flokulačných vlastnostiach. Ako spodné kvasinky sú označovaní zástupcovia druhu *S. pastorianus*, ktorí sa používajú na výrobu piva typu ležiak. Pri použití spodných kvasiniek prebieha hlavné kvasenie v teplotnom rozmedzí 7 – 15 °C. V konečnej fáze kvasenia sa kvasinky zhlukujú vo vločky a sedimentujú na dne kvasnej nádoby. Vrchné kvasinky, *S. cerevisiae*, sú naopak po zhluknutí vynášané na hladinu, kde tvoria hustú "penu". Po skončení fermentačného procesu tiež klesajú na dno nádoby. Teplotné rozmedzie hlavného kvasenia sa pohybuje v širokom rozmedzí teplôt okolo 18 – 22 °C, ide o výrobu piva typu Ale, Porter, pšeničného piva, atď. Niektoré kmene kvasiniek sa dajú úspešne použiť v obidvoch teplotných rozsahoch. Často sa označujú ako kmene „hybridného typu“ a v skutočnosti môžu byť skutočnými hybridmi medzi týmito dvoma druhmi. Medzi ďalšie odlišnosti medzi spodnými a vrchnými kvasinkami patria napr. drobné rozdiely v genetickej informácii, rôzne chemické zloženie bunkovej steny, vyššia maximálna teplota rastu u vrchných kvasiniek, produkcia rôzneho spektra sensoricky aktívnych látok (vedľajších produktov metabolizmu), atď. [57, 68].

Formálna klasifikácia pivovarských kvasiniek za posledných 50 rokov sa zmenila natoľko, že mnoho pivovarníckych vedcov (a väčšina pivovarov) sa vyhýba použitiu súčasného rodu a druhov, aby identifikovali svoje kvasinky a jednoducho ich označili ako kmene „ale“ alebo „ležiak“. Ale sa bežne vyrába zo *Saccharomyces cerevisiae*, ktorá stúpa k hornej časti fermentora pri zastavení fermentácie, zatiaľ čo ležiak sa vyrába z *S. carlsbergensis* alebo ako sa nazýva dnes *S. pastorianus*, ktorý sa usadzuje na dne nádrže ku koncu fermentácie. [69].

Pokiaľ ide o vývoj kvasiniek pre remeselné pivovarníctvo, trendy v remeselnom pive, ktoré si získavajú popularitu, zahŕňajú: výskum nových výkonných kvasiniek *Saccharomyces cerevisiae*; vytvorenie syntetických hybridov *S. cerevisiae* - *Saccharomyces non - cerevisiae* a aplikáciu divých kvasiniek alebo kvasiniek *non-Saccharomyces* samotných alebo v kokokultúre alebo sekvenčnej fermentácii pomocou *S. cerevisiae* na výrobu kyslého remeselného piva. Rozhodnutie použiť kvasinky, ktoré nie sú *Saccharomyces*, súvisí s cieľom lepšie modulovať pH, obsah organických kyselín, prchavých látok a ďalších zlúčenín odvodených z metabolickej dráhy kvasiniek, a tak zmeniť sensorické vlastnosti výsledných pív. Mnoho kvasiniek, ktoré nie sú kvasinkami *Saccharomyces*, bolo skúmaných a úspešne

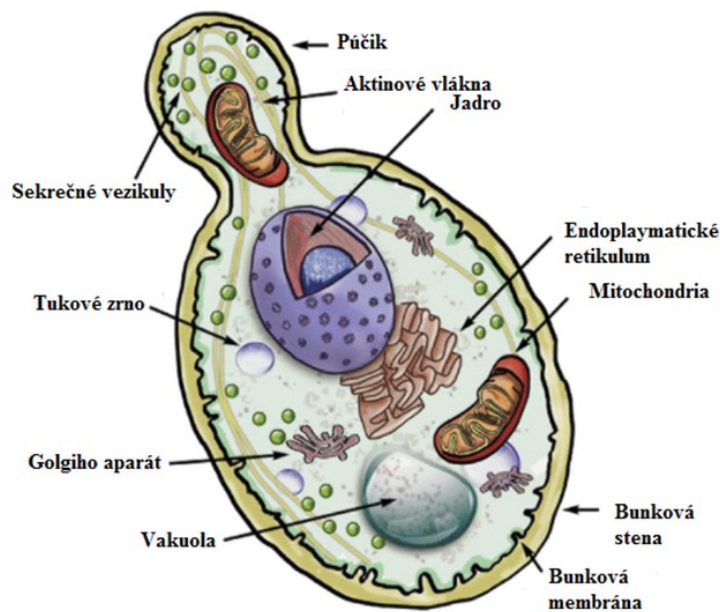
aplikovaných v remeselnej výrobe piva kvôli ich schopnosti produkovať príjemné arómy a ich tolerancii k alkoholu, ktorá je zahrnutá v rozmedzí typických alkoholových stupňov piva (4% až 9%) [70].

Rastúci význam tretieho druhu *Brettanomyces*, bol ďalej zaznamenaný po masívnom rozmachu remeselného pivovarnického hnutia v Spojených štátoch. Belgické lambické pívá sa získavajú spontánnou fermentáciou kvasiniek *Saccharomyces* a *Brettanomyces* s príspevom baktérií mliečneho kvasenia a baktérií kyseliny octovej. Tieto zmiešané fermentácie sa tiež použili pri výrobe piva nemeckého typu Weißbier. Ak však varenie nie je správne zvládnuté, kmene *Brettanomyces* môžu byť zodpovedné za neprijemné arómy, ako napríklad „štipľavý dym“. Počas zrenia kyslých pivných pív boli izolované rôzne kvasinky patriace k rodom *Candida*, *Torulopsis*, *Pichia*, *Hansenula* a *Cryptococcus* [70, 71].

Existujú štúdie o používaní kmeňa *Torulaspora delbrueckii* v pivovarníctve. King a Dickinson, 2003 uviedli, že *T. delbrueckii* má schopnosť transformovať chmeľové aromatické terpenoidy, čo ovplyvňuje aromatický profil konečného piva. V poslednej dobe Tataridis a kol. (2013) uskutočnili predbežnú štúdiu o použití kmeňov *T. delbrueckii* pri výrobe pív v pšeničnom štýle. Títo autori zistili, že tento druh bol schopný konzumovať maltózu pomalšie ako komerčný štartovací kmeň *S. cerevisiae*, čo dodávalo produktu väčšiu intenzitu a komplexnosť [72, 73].

### 2.4.3 Bunková štruktúra

Väčšina organizmov v ríši Fungi je mnohobunková; kvasinky sú však a jednobunkové organizmy. Jedna kvasinková bunka má priemer asi 5–10  $\mu\text{m}$  a je zvyčajne guľovitého, valcového alebo oválneho tvaru. Kvasinky sa vyskytujú v jedincoch, pároch, reťazcoch a zhlukoch. Obr. č. 7 je zjednodušený diagram štruktúry kvasinkových buniek. Bunková stena je bariéra, ktorá je väčšinou zložená zo sacharidov obklopujúcich bunku. Je hrubá 250 nm a predstavuje približne 25% sušiny bunky. Existujú tri vrstvy bunkovej steny: vnútorná vrstva je chitínová vrstva zložená väčšinou z glukánov; vonkajšia vrstva je tvorená väčšinou mannoproteínmi, zatiaľ čo medzivrstva je zmesou vnútornej aj vonkajšej vrstvy. Kvôli nepohlavnej reprodukcii sa kvasinková bunka sama klonuje, čím vytvára novú dcérsku bunku. Separácia buniek nastane, keď sa oddelia vrstvy bunkovej steny a zanechajú jazvu na materskej aj dcérskej bunke [69].



Obr. č. 7 – Hlavné črty typickej kvasinkovej bunky [69]

Kvasinková plazmatická membrána sa podobá membráne iných eukaryotických buniek. Plazmatická membrána je semipermeabilná lipidová dvojvrstva medzi bunkovou stenou a vnútrom bunky. Plazmatická membrána je vďaka svojim zložkám lipidov, sterolov a bielkovín fluidná (tekutá) a pomerne flexibilná. Fluidita membrány je nevyhnutná pre správnu funkciu. Lipidové dvojvrstvy sú svojou povahou fluidné a ich fluidita je určená tým, do akej miery sa lipidy na seba viažu. Reguláciou úrovne nasýtenia ich lipidových membrán sú kvasinkové bunky schopné udržiavať správnu fluiditu membrány pri rôznych teplotách, čo je dôležité počas fermentácie [58, 69].

Mitochondrie sú cytoplazmatické organely, ktorých vzhľad a štruktúra sú podstatne ovplyvnené fyziologickým stavom. Ich hlavnou úlohou je tvorba energie prostredníctvom oxidačnej fosforylácie. Mitochondrie nemajú počas fermentácie úlohu generovať energiu. Napriek tomu je ich prítomnosť nevyhnutná pre normálne kvasné správanie ostatných metabolických funkcií, ktoré vykonávajú. Patrí sem expresia flokulácie, metabolizmus aminokyselín a diacetylu, sterolová biosyntéza a fyziologická adaptácia na stres [58].

Vakuola je štruktúra viazaná na membránu, ktorá uchováva živiny a je tiež miestom, kde bunka štiepi bielkoviny. Vakuoly pivovarských kvasiniek sú dostatočne veľké na to, aby ich bolo možné vidieť prostredníctvom svetelnej mikroskopie. Ohraničené sú membránou zvanou tonoplast. Vakuoly slúžia ako dočasné zásoby metabolitov a poskytujú bunke mechanizmus na reguláciu koncentrácie metabolitov v iných bunkových kompartmentoch.

Sú miestom pre katabolizmus makromolekúl, ako sú proteíny. Endoplazmatické retikulum pozostáva z rozvetvenej siete tubulov viazaných na membránu a je obvykle tam, kde bunka vyrába proteíny, lipidy a sacharidy pre membrány a sekréciu [58, 69].

#### 2.4.4 Flokulácia

Dôležitou vlastnosťou produkčných kmeňov kvasiniek je flokulácia, pretože uľahčuje účinne odstraňovať bunky kvasiniek spolu s balastnými látkami z fermentačného média a uľahčuje tak následné výrobné fázy, dokvasovanie a filtráciu. Flokulácia je reverzibilný proces, ktorým sa niektoré kvasinkové bunky navzájom adherujú a tvoria agregáty. Má pre pivovarníctvo obrovský význam. Dochádza k nej zvyčajne na konci hlavného kvasenia v neskorej logaritmickú a stacionárnej fáze rastu [58,68].

Základným mechanizmom flokulácie je interakcia bunkových stien kvasiniek. Flokulačné bunky majú špecifický proteín podobný lektínu – zymolektín, ktorý vyčnieva z bunkovej steny kvasiniek a interaguje so sacharidovými zvyškami  $\alpha$ -manánu z priľahlých bunkových stien. Na aktiváciu lektínu sú potrebné vápenaté ionty [60].

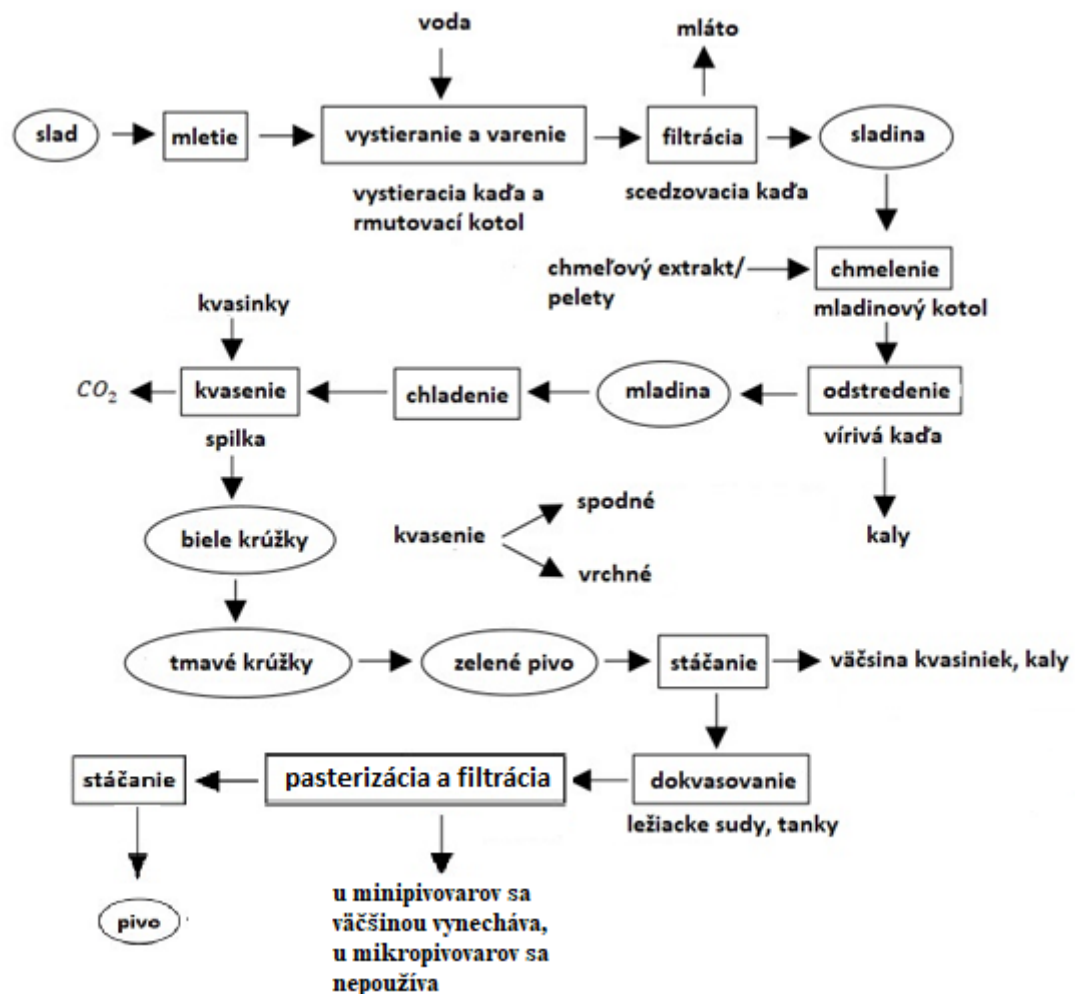
Proces zhlukovania je ovplyvnený celým radom biologických, chemických i fyzikálnych faktorov: genetická výbava kmeňa kvasiniek, zloženie živného média, rastové podmienky, spôsob kultivácie, atď. Kategória faktorov sa delia podľa spôsobov ich pôsobenia, niektoré faktory môžu pôsobiť viac ako jedným mechanizmom. Flokulácia môže byť považovaná za istý spôsob sociálneho správania, stratégiu dlhodobého prežívania a ochranného mechanizmu, ktorý chráni bunky pred nepriaznivým vonkajším prostredím [68].

### 3 TECHNOLOGIA VÝROBY PIVA

Najjednoduchšia príprava pív v európskom štýle zahŕňa:

- inkubáciu a extrakciu sladových, rozomletých obilných zŕn (zvyčajne jačmeňa) s teplou vodou. Niekedy je mletý slad zmiešaný s inými škrobovými materiálmi a / alebo enzýmami.
- získaný roztok sa varí s chmeľom alebo chmeľovými prípravkami.
- varený roztok sa vyčirí a ochladí.
- chladená kvapalina sa fermentuje pridaním kvasníc

Pivo sa zvyčajne čirí, balí a podáva šumivé s unikajúcim oxidom uhličitým. Pivá sa vyrábajú v množstvách od niekoľkých hektolitrov (hl) týždenne do tisícov hl. Vyrábajú sa pomocou rôznych systémov varenia [68].



Obr. č. 8 – Proces výroby piva

### 3.1 Šrotovanie sladu

Slad je základnou surovinou na výrobu piva a sladových výťažkov. Má veľký vplyv na kvalitu piva. Je takpovediac rozhodujúcim faktorom kvality piva. Aby mohli sladové enzýmy dokonale štiepiť nerozpustný škrob a bielkoviny obsiahnuté v slade, musí sa sladové zrno zošrotovať. Šrotovanie sa vykonáva prostredníctvom sladovníckej spoločnosti alebo často na mieste remeselnými pivovarmi. Zloženie šrotu významným spôsobom ovplyvňuje proces rmutovania, sciedzania a varný výťažok. Primeranie jemné rozomletie endospermu je predpokladom pre požadovaný priebeh rmutovania a vysoký varný výťažok [74, 75].

Väčšie poškodenie pliev znižuje porozitu mláta a negatívne ovplyvňuje chuť piva. Pleva obsahuje okrem nerozpustnej celulózy, polyfenoly, pentozany, horké a farebné látky, ktorých vylúhovanie vzrastá s časom kontaktu a s poškodením plevy. Jemné rozomletie endospermu je naopak predpokladom pre požadovaný priebeh rmutovania a vysoký varný výťažok. Pri kličení postupuje rozlúštenie pôsobením enzýmov do zárodku smerom ku špičke zrna a taktiež i miera rozlúštenia sa mení pozdĺž predĺženej osi zrna. Hrubá krupica sa ťažko rozpúšťa a pomaly scukruje – vo väčšom podiele klesá dosiahnuteľné prekvasenie mladiny a narastá obsah nezucukreného extraktu v mláte. Spracovanie hrubšieho šrotu preto vyžaduje intenzívne dlhšie rmutovanie [52].

Z doho dôvodu volíme pre sciedzanie v sciedzacej nádobe najlepšie vymleté, minimálne poškodené plevy, vysoký podiel jemnej krupice a nízky podiel hrubej krupice. Obsah múčky (najjemnejšieho šrotu) musíme prispôbiť podmienkam pri sciedzaní, hlavne zaťaženiu sciedzacieho dna a sciedzacej rýchlosti. Podiel múčky by nemal prekročiť hranicu 12 % v podiele šrotu. Menšia časť extraktu počas rmutovania 15 až 17 % je priamo rozpustná a prejde pri rmutovaní do roztoku jednoduchým miešaním a pôsobením teploty. Väčšiu časť ale dostaneme do roztoku až po ich rozštiepení sladovými enzýmami. Základnou požiadavkou rmutovacích procesov je dostať do roztoku všetok škrob aj vhodný podiel bielkovín [76].

Spôsob mletia sladu zohráva dôležitú úlohu pri hydrolyze škrobu v sladine. Mousia a kol. (2004) zistili, že kladivkové mletie bolo nadradené valcovanému, čo sa meralo koncentráciou cukrov v sladine. Ďalej sa zistilo, že pri valcovom mletí majú faktory, ako je medzera medzi valcami, rýchlosť valca a diferenciálna rýchlosť valca, významný vplyv na hydrolyzu škrobu. Znížená medzera medzi valcami a / alebo zvýšená rýchlosť valca a / alebo vysoká diferenciálna rýchlosť zvyšujú hydrolyzu škrobu, čo vedie k vyšším koncentráciám

cukru v sladine a významne skracaie dobu rmutovania potrebnú pre maximálnu koncentraciu cukru. Zistenia tohto skúmania naznačujú silný vzťah medzi procesom mletia sladu a výťažkom hydrolyzy škrobu v sladine [77].

Zariadenie šrotovne: slad zo síl, skladov sa dopravuje cez čističku sladu, odkamienkovač, magnet a automatickú váhu do šrotovníka a sladový šrot potom do zásobníka šrotu. Pred šrotovníkom je prípadne zaradené kondicionovacie zariadenie. Poznáme šrotovníky na suché šrotovanie: dvojvalcový, štvorvalcový, šesťvalcový a šrotovníky pre mokré šrotovanie [52].

### 3.2 Rmutovanie

Rmutovanie je jedným z najdôležitejších krokov v procese výroby piva a výslednej kvality a druh vyrábaného piva bude závisieť od spôsobu, akým je vykonané. Cieľom rmutovania je produkcia sladiny a následným varením s prídavkom chmeľu vznik mladiny obsahujúcej fermentovateľné sacharidy, dextríny, látky dusíkatej povahy pre výživu kvasiniek a ďalšie polyfenoly a aromatické zlúčeniny. Zloženie sladiny závisí od teplotného profilu počas rmutovania [78].

Rmutovanie je základným krokom pre degradáciu škrobu a bielkovín na fermentovateľné zlúčeniny pôsobením hydrolytických enzýmov vytvorených v procese sladovania. Škrob sa vyskytuje ako amylóza a amylopektín. Ich rozklad prebieha v 3 krokoch: mazovatenie, stekutenie a scukrenie. Molekuly škrobu adsorbujú vodu počas mazovatenia. Najskôr napučia a neskôr explodujú. Teplota mazovatenia závisí od druhu obilia a výskytu amyláz. Škrob pochádzajúci zo sladu mazovatie pri teplote 60 °C za prítomnosti amyláz. Ostatné zdroje škrobu, ako je ryža, kukurica, raž, cirok atď., majú rôzne optimálne teploty mazovatenia. [60, 79].

Po zmazovatení je  $\alpha$ -amyláza schopná štiepiť dlhé škrobové reťazce na menšie škrobové reťazce (dextríny), čo výrazne znižuje viskozitu rmutu. Táto fáza sa nazýva stekutenie. Tieto dextríny sú teraz úplne prístupné pre ďalšie diastatické enzýmy v slade ( $\beta$ -amyláza, dextrináza a  $\alpha$ -glukozidáza), takže sa začína konverzia týchto kratších zmazovatených škrobov [57].

Tri hlavné enzymatické reakcie prebiehajúce pri rmutovaní sú: hydrolyza zmazovateného škrobu na fermentovateľné sacharidy (glukóza, fruktóza, sacharóza, maltóza a maltotrióza), hydrolyza proteínov na voľné aminokyseliny a degradácia  $\beta$ -glukánových reťazcov. Tieto

premeny prebiehajú prostredníctvom amyláz, proteáz a  $\beta$ -glukanáz. Zásadnou reakciou v tomto prípade je pre pivovar hydrolýza škrobu, pretože tá určuje množstvo fermentovateľných sacharidov v mladine, a tým aj stupeň alkoholu v konečnom pive. Pokiaľ ide o túto reakciu, cieľom rmutovania je dosiahnuť maximálnu produktivitu fermentovateľných sacharidov [80].

Pre svetlé pívá bežných typov by mal extrakt sladiny obsahovať asi 10 % monosacharidov, 50 % disacharidov a 20 % vyšších dextrínov. Priebeh štiepenia škrobu pri rmutovaní ovplyvňuje celý rad faktorov, najmä kvalita sladu vzhľadom na extraktívnosť, zloženie sypania ak sa použijú sladové náhradky, jemnosť šrotu v závislosti od spôsobu a kvality šrotovania, a tiež podmienky rmutovania ako sú najmä teplota, pH a hustota vystierky, časový priebeh teplôt, počet rmutov a spôsob ich spracovania pokiaľ sa jedná o dekokčný spôsob rmutovania. Podľa spôsobu zvyšovania teploty pri rmutovaní sa rozlišujú 2 spôsoby rmutovania: infúzny a dekokčný [76].

Oba začínajú rovnakým spôsobom, zošrotovaný slad je zmiešaný s vodou pri teplote obvykle 37 – 52 °C kedy vzniká hustá kaša tzv. „vystierka“. V ďalších fázach sa teplota postupne zvyšuje a dosahuje optimum pre každý rozsah, kde určité skupiny enzýmov sú najaktívnejšie. Pri teplotách asi 37 °C sú najaktívnejšie fosfatázy, od 40 – 55 °C proteázy, okolo 58 – 65 °C sú aktivované  $\beta$ -amylázy a  $\alpha$ -amylázy okolo 70 – 72 °C. Okrem týchto základných skupín enzýmov, kde sa jednotlivé teplotné fázy prekrývajú navzájom, ďalšie enzýmy zapojené do finálneho zloženia sladiny sú tiež aktivované. Pri infúznom postupe, sa celý objem rmutu zahrieva až po finálnu teplotu scukrenia a rmutovanie prebieha v jednej nádobe ktorá umožňuje proces jednoduchší a menej energeticky náročný. Pri dekokčnom postupe je časť rmutu zahrievaná oddelene od zvyšku, zvyčajne sa privedie do bodu varu. Potom horúci rmut je privádzaný späť z rmutovacieho kotla do vystieracej nádoby, k odpočinku, čo prinesie celému dielu vyššiu teplotnú úroveň. Tento postup sa opakuje s časťami rmutu zvyčajne dvakrát alebo trikrát, a tak tento technologický proces sa podľa toho nazýva – dvoj- alebo trojrmutový [76, 81].

Typický spôsob výroby českého piva je dekokčný postup, zvyčajne dvojrmutový. Pri použití dekokčného postupu, v sladine vzniká veľa aromatických látok, čo by pri infúznom postupe nenastalo. V takto následne získanej mladine je tiež veľa nefermentovateľných oligosacharidov, ktoré majú priaznivý účinok na senzorickú kvalitu piva. Pivá vyrobené dekokčnou metódou majú nižší stupeň fermentácie kvôli vyššiemu obsahu



nefermentovatelných oligosacharidov, menej alkoholu a vyšší obsah skutočného extraktu ako piva vyrobené infúznou metódou [78].

V menších podnikoch, domácich pivovaroch, sa častejšie využíva infúzna metóda. Tu sa celý obsah rmutovacieho kotla zahrieva na požadovanú teplotu, pričom sa aplikuje nevyhnutná viacnásobná pauza. Po dosiahnutí požadovanej rmutovacej teploty, je rmut miešaný pokiaľ sa ukončí transformácia škrobu na fermentovateľné cukry. To je možné overiť jódovým testom [82].

Ďalej zahrievanie rmutov: zvyšuje akosť piva (piteľnosť, plnosť, zaokrúhľuje sa chuť, pivo má osobitý charakter), zlepšuje výťažky (koagulácia časti bielkovín zlepšuje výťažnosť horkých látok a zaisťuje vyššie množstvo polyfenolov). S počtom rmutov sa zvýrazňujú výhody dekokcie (redukcia mikroorganizmov, odparenie niektorých nežiadúcich zlúčenín a zvyšuje pufrovaciu schopnosť mladiny a piva. Nevýhodou týchto postupov sú vyššie časové a energetické nároky. Naopak infúzne postupy sú z pohľadu českých sládkov netradičným postupom, ktorý poskytuje piva s nižšou plnosťou chuti, nižšou piteľnosťou, tzv. chuťovo mäkké a nevýrazné [83].

Infúzna technológia v porovnaní s dekokčnou vyžaduje asi 20% menej energie a šetrí asi 18% času, ale: je nevhodná pre odrody jačmeňa českého typu, ktoré nebývajú tak rozlúštené. Ďalej dochádza k problematickej hydrolýze  $\beta$ -glukánov, nedostatočná je separácia negatívnych tekavých látok, ku ktorej dochádza až počas chmelovaru. Nižšie sú varné výťažky a horšie scukrenie [78, 83].

### 3.3 Scedzovanie a vysladzovanie

Sladina, ktorá obsahuje extrakt je na konci rmutovania oddelená od nerozpustných látok – mláta. Táto sladina má vysokú mernú hmotnosť a nazýva sa predok. V mláte zostáva určité množstvo extraktu a je ho možné získať vysladzovaním, kedy je mláto opakovane premývané horúcou varnou vodou, čím sa vytvorí sladina, ktorá má nižšiu hustotu a nazýva sa výstrelok. Mláto je považované za odpad, ktorý však môže byť využitý ako krmivo pre hospodárske zvieratá [66, 76].

Scedzovanie je kritickým bodom pri produkcii sladiny. Počas tohto postupu slúži pleva ako filter. Scedzovanie je špeciálny typ tzv. „koláčovej filtrácie“ – sedimentačné vlastnosti rmutu majú za následok vznik nehomogénneho filtračného koláča z mláta, ktorý sa usadí na dne nádoby a ktorého štruktúra má vplyv na jeho chemické zloženie. Medzi dôležité zložky

filtračného koláča patria: polysacharidy (vedľajšie produkty škrobu),  $\beta$ -glukán a arabinoxylan, ako aj bielkoviny, polyfenoly a ióny kovov. Scedzovanie je kombináciou separácie a extrakcie. Počas extrakcie je rozpustnosť každej zložky filtračného koláča iná [60, 84].

Proces scedzovania primárne závisí od kvality sladu a dá sa kompenzovať iba do istej miery šrotovaním, rmutovaním a systémom scedzovania. Na rýchlosť a čas scedzovania má najväčší vplyv distribúcia veľkosti častíc rmutu. Vysoká viskozita sladiny má za následok pomalú separáciu a tým pádom aj dlhšie zdržanie v zariadení, čo sťažuje dokončenie plánovaného varenia včas. V pivovarníckom priemysle sa často predpokladá, že viskozitu sladiny zvyšuje rozpustná vlákna. Laitila a kol. (2018) zistili, že kvalita sladu a výkonnosť separácie sladiny sú významne ovplyvnené rastom domorodej mikrobioty počas procesu sladovania [85, 86, 87].

Pre separáciu rmutu v pivovaroch sa používajú 2 hlavné zariadenia: scedzovacia kaďa a sladinový filter. Scedzovacia kaďa je konštrukcia s 2 dnami. Niekoľko centimetrov nad pravidelným plochým dnom je nainštalované falošné dno fungujúce ako podporné sito, ktoré slúži na zadržanie mláta. Výrobcovia odporúčajú určité minimálne a maximálne zaťaženie falošného dna. Pri práci s týmto zariadením má proces scedzovania určitú postupnosť: naplnenie scedzovacej kadi, sedimentácia pevných látok z plevy, filtrácia a extrakcia. Ďalšou metódou, ktorá bola v pivovaroch zavedená v posledných rokoch je proces scedzovania cez sladinový filter. Výsledky práce s týmto zariadením sú lepšie výt'azky a výrazne rýchlejšia procedúra scedzovania. Na druhej strane sú dôsledkom aj vyššie investičné náklady [88].

V prípade nedostatočného množstva enzýmov zo sladu, napríklad pri produkcii špeciálnych pív, u ktorých sa žiada vysoký stupeň rozloženia škrobov alebo pri použití surovín, kde treba odstrániť určité technologické nedostatky, je možné pridávať enzymatické preparáty. Pôsobenie enzýmov má pozitívne účinky na zloženie rmutu, čo má následne pozitívne účinky na proces scedzovania. Výhodou enzymatických preparátov je ciele použítie a väčšinou širšie rozmedzie podmienok ich aktivity, než majú enzýmy sladové. Použitie alternatívnych písad (napr. ovsených alebo ryžových pliev) má pozitívne účinky z dôvodu lepšej stabilizácie filtračného koláča, ale napríklad podľa nemeckého zákona o čistote však nejde o uplatniteľné riešenie v Nemecku [66, 88].

Proces scedzovania a vysladzovania sa medzi remeselnými a priemyselnými pivovarmi veľmi nelíši [75].

### 3.4 Chmeľovar

V tejto fázy výroby je sladina varená s chmeľom (chmelenie) pri teplotách 103 – 110 °C približne 1 hodinu, ale je všeobecne akceptované, že varenie v prípade priemyselných pivovarov je intenzívnejšie a kontrolované, zatiaľ čo remeselní pivovarníci používajú varné kotle rôznych kvalít a vlastností. V minulosti bol praktikovaný klasický var za atmosférického tlaku (pri ~ 100 °C, 90 – 120 min.) za použitia uhlia, topného oleja alebo zemného plynu a následným vyhrievaním vzniknutými spalinami alebo sa využívala para. Tieto neefektívne spôsoby boli nahradené v 70. rokoch interným alebo externým varákom [75, 89].

V súčasnej dobe sa v kontinentálnej Európe presadzujú 3 varné systémy typu zvýšená teplota/tlak:

- nízkotlakový var: 100 – 110 °C, 30 – 45 min. (problémom môže byť nedostatočné odparovanie prchavých látok zo sladiny),
- dynamický nízkotlakový var: 101 – 102 °C a 104 – 105 °C, cyklus zvyšovania a znižovania tlaku v priebehu hodiny 6 krát (je navrhnutý, aby dochádzalo k rýchlejšiemu odparovaniu prchavých látok, a teda aj menej nákladnej miere odparovania),
- kontinuálny vysokoteplotný var: zahrievanie v 3 výmenníkoch tepla na postupne 90, 106 a 140 °C s výdržou 3 min. pri 140 °C a následné ochladenie na 120 až 100 °C (systém je energeticky efektívny, ale sladina je tmavá a dobré vlastnosti piva nemusia byť vždy dosiahnuté) [58].

Chmeľ sa pridáva počas varu v rôznom čase v závislosti od požadovaného použitia chmeľu. Aj keď majú remeselní pivovarníci tendenciu používať širšiu rozmanitosť chmeľu, nemalo by to mať priamy vplyv na mikrobiotu mladiny, ale malo by to viesť k dynamike mikrobioty po uvarení. Varením by sa malo drasticky znížiť zaťaženie mladiny na nedetekovateľnú úroveň [75].

V praxi je možné sa stretnúť s 3 materiálmi varných nádob: neušľachtitou oceľou, medťou a nehrdzavejúcou oceľou. V súčasnej dobe je z mnohých dôvodov uprednostňovaná nerez

oceli vysokej kvality, avšak med' má z viacerých hľadísk tiež svoje opodstatnenie. Materiál varnej panvy určuje predovšetkým strojno-technické a ekonomické parametre procesu. Pre prax má význam z hľadiska údržby a sanitácie [90].

Kvalitu mladiny ovplyvňujú procesy, ktoré prebiehajú počas chmeľovaru:

- a) sterilizácia mladiny varom a inaktivácia enzýmov,
- b) zahustenie mladiny – odparenie prebytočnej vody (8 – 10 %, chmeľovar intenzívny a dostatočne dlhý),
- c) tvorba produktov teplého rozkladu,
- d) tvorba redukujúcich látok (koloidná chuť a chuťová stabilita piva, melanoidíny, horké kyseliny, polyfenoly),
- e) dôjde k poklesu hodnoty pH a nárastu farby (melanoidíny, horké kyseliny),
- f) koagulácia bielkovín a tvorba lomu (optimálne pH 5 – 2),
- g) reakcia účinných zložiek chmeľu s mladinou,
- h) vytekanie nežiadúcich produktov ako dimethylsulfidu a jeho produktov (zapríčiňuje zeleninovú príchuť [52]).

Ako sa spomína v kapitole o chmeli, prídavok chmeľu bude pravdepodobne vo forme peliet alebo extraktu, prípadne časť alebo celý chmeľový šrot môže byť nahradený postfermentačnými izomerizovanými horkými činidlami alebo chmeľovými esenciami [58].

Na konci chmeľovaru priehľadná alebo jasná mladina obsahuje hrubé kaly a suspendované fragmenty chmeľu. Hrubý kal je tvorený vločkami vyzrážanými pri chmeľovare vo forme lomu. Vločky obsahujú horké látky, polyfenoly, bielkoviny, mastné kyseliny a minerálne látky. Množstvo hrubého kalu závisí na: obsahu dusíka a rozlúštení sladu, zákale pri sciedzaní, prevzdušnení a rmutovacím postupom. Hodnota sa pohybuje v rozmedzí 400 – 800 mg sušiny na liter mladiny [52, 58].

Pri použití surového chmeľu sa zvyškové pevné látky odfiltrujú v zariadení tzv. „hop back“ so štrbinovým dnom alebo inom filtračnom zariadení. Táto nádoba, ktorá je v modernom dizajne vybavená pre CIP a povrchovo pripomína rmutovaciu panvu, je v niektorých malých pivovaroch skutočne nahradzovaná rmutovacou panvou. Pokiaľ sa použije prášok, chmeľové pelety (ktoré sa rozpadajú na malé častice), alebo extrakty, potom sú fragmenty chmeľu (ak sú prítomné) a kaly obvykle separované vo vírivej kadi. Kaly môžu zhoršovať

metabolizmus kvasiniek, čírenie zeleného piva a filtráciu. Hrubé kaly oddeľuje väčšinou vírivá kaďa. Usadzovanie prebieha pri aktívnom vírení na kuželovitom/rovnom dne [58, 60].

Cieľom chmeľovaru je zabezpečiť optimálne využitie chmeľových živíc a silíc, vytvoriť predpoklady pre koloidnú stabilitu piva precipitáciou trieslobielkovinových komplexov a zároveň zamedziť nadmernej tvorbe termických produktov, ktoré by mali vplyv na sensorickú stabilitu piva a zabezpečiť vytekanie sensoricky nežiadúcich látok. Z časti sa jedná o protichodné požiadavky, preto je nutné vykonávať premyslené kompromisy vedúce k optimálnej celkovej kvalite mladiny [91].

Okrem základných parametrov (farba, extrakt pôvodnej mladiny, izozlúčeniny, pH, jódové číslo, dosiahnuteľné prekvasenie) je kvalita mladiny vyjadrená tiež ako koagulovateľný dusík (svedčí o miere vyzrážania bielkovín),  $\alpha$ -aminodusík (vyjadruje informácie o obsahu aminokyselín, dôležitých pre plynulé kvasenie), číslo kyseliny thiobarbiturovej (TBF, vyjadruje mieru tepelného zaťaženia) a dimethylsulfid (DMS), ktorý má ako zástupca tekavých látok negatívny vplyv na sensorický vnem piva. Bezpečné hodnoty DMS v mladine sú do 70  $\mu\text{g/l}$ . Za excelentné hodnoty TBF sú považované do 40 jednotiek a do 60 jednotiek sú prijateľné. Pri optime z hľadiska koagulovateľného dusíka sa hovorí o hodnote medzi 22 – 25  $\text{mg/l}$  [89].

### 3.5 Chladenie, separácia jemných kalov a prevzdušnenie

Získanú mladinu je potrebné schladiť na zákvasnú teplotu, ktorá je rôzna podľa druhu kvasiniek, ktoré chce sládok použiť a zvoleného technologického postupu. Chladenie by malo byť uskutočňované rýchlo a za aseptických podmienok na zastavenie pokračovania chemických reakcií a na minimalizáciu šance na rast akýchkoľvek kontaminujúcich mikrobov [58, 66].

Jednoznačne najbežnejšie používané chladiče sú doskové výmenníky tepla, ktoré sú kompaktné, všestranné a efektívne. Ich úlohou je ochladiť horúcu mladinu z vírivej nádoby o teplote 95 – 97 °C na zákvasnú teplotu. Tieto chladiče sa skladajú z niekoľko dosiek z nehrdzavejúcej ocele. Počet dosiek sa môže meniť a v dôsledku toho sa môže meniť aj chladiaca kapacita výmenníkov. Medzi doskami prúdi striedavo v tenkej vrstve chladivo aj mladina. Smer prúdenia oboch médií je opačný – protiprúdové chladenie. Najviac sa používa tzv. „jednostupňové chladenie“. Mladina sa chladí dopredu predchladenou varnou vodou o

teplote 2 – 3 °C, ktorá sa pri prechode chladičom ohreje na 80 – 85 °C. Členité vzory na doskách zabezpečujú turbulentný prietok a efektívnu výmenu tepla [52, 58].

Ako sa mladina ochladzuje, bielkoviny sa v mladine opäť zrážajú pri teplote pod 60 °C a vytvárajú sa jemné kaly. Častice jemných kalov (0,5 – 1,0 μm) sú menšie častice hrubých kalov (0,5 – 500 μm). Môžu, ale aj nemusia byť odstránené. Tento materiál obsahuje asi 50 % bielkovín, 15 – 25 % polyfenolov a 20 – 30 % mladinových sacharidov. Jeho tvorba je reverzibilná – pri zahriatí sa opäť rozpúšťa. Vhodné je však iba jeho čiastočné odstránenie, pretože prílišná redukcia vedie k prázdnej chuti piva. Optimálny obsah je 120 – 160 mg/l. Na redukciu jemných kalov sa využíva: sedimentácia, odstredovanie, filtrácia a flotácia. Niektorí pivovarníci uvádzajú, že prítomnosť jemných kalov významne urýchľuje proces fermentácie, iní tvrdia opak, a preto je dôležitosť jemných kalov v tomto ohľade sporná [45, 58, 60].

Rýchlosť fermentačného procesu je jedným z najdôležitejších technologických ukazovateľov. Faktorom, ktorý ovplyvňuje fermentáciu a podporuje biochemické procesy je prevzdušňovanie mladiny. Prítomnosť kyslíka v počiatočnej fáze fermentácie je nevyhnutná pre rýchlu reprodukciu kvasiniek a úplnú obnovu cukru. Správne prevzdušnenie zvyšuje vitalitu biomasy a imunitu kvasinkových buniek voči rôznym stresom vďaka udržaniu správneho množstva glykogénu a trehalózy. Vďaka tomu sú kvasinky schopné vykonávať selektívnu výmenu metabolitov a extrahovať živiny z prostredia. Nízke množstvo kyslíka v mladine môže spôsobiť oneskorenie fermentácie alebo spomaliť primárne kvasenie alebo produkovať väčšie množstvo nežiadúcich zložiek v novej aróme piva, ako sú acetaldehyd a viciálne diketóny [92].

Zariadenia používané na prevzdušňovanie/okysličovanie zahŕňajú sviečky na prevzdušňovanie mladiny, odstredivé mixéry (sú kvalitné, efektívne, ale nákladné) alebo zariadenia založené na princípe Venturiho trubice [58].

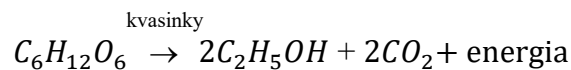
### 3.6 Fermentácia

Aj keď k objaveniu kvasiniek ako fermentora došlo až v roku 1860, v Číne sa na konzervovanie potravín a nápojov použila fermentácia už 700 rokov p. n. l. Louis Pasteur uskutočnil experimenty a publikoval články, kde dokázal, že kvasenie je výsledkom biologického procesu metabolizmu kvasiniek. V roku 1875 potvrdil schopnosť kvasiniek žiť za neprístupu vzduchu, teda anaeróbny proces kvasenia [57, 75, 93].

Mladina je transformovaná na pivo v procese alkoholového kvasenia a dozrievania, čo sú najdlhšie procesy v pivovarníctve. Primárna fermentácia trvá medzi 3 – 6 a doba dozrievania piva je rôzna pre rôzne druhy piva, pre ležiaky je to až 70 dní. Alkoholové kvasenie je proces založený na princípe enzymatickej aktivity kvasiniek na Embden-Meyerhof Parnasovej dráhe a vedie k premene glukózy na pyruvát. Za anaeróbných podmienok kvasinky premieňajú pyruvát na etanol a  $CO_2$ . V aeróbných podmienkach kvasinky konzumujú cukry najmä na akumuláciu biomasy a produkciu  $CO_2$  [66, 94].

Kvasinky absorbujú sacharidy mladiny v konkrétnej postupnosti: monosacharidy (glukóza a fruktóza), disacharidy (sacharóza a maltóza) a trisacharid maltrióza a fermentuje ich v rovnakom poradí. Veľmi malé množstvo maltriózy sa používa na tvorbu rezervných polysacharidov (glykogén a trehalóza). Aminokyseliny asimilované kvasinkami sa používajú na syntézu bielkovín, enzýmov a nových buniek. Vedľajšie produkty fermentácie: karbonylové zlúčeniny, vyššie alkoholy, estery, organické kyseliny a zlúčeniny obsahujúce síru určujú chuťový profil piva a majú vplyv na jeho kvalitu [95].

Množstvo uvoľneného  $CO_2$  počas fermentácie je priamym indikátorom fermentačnej aktivity kvasiniek. Alkoholové kvasenie je možné opísať nasledovnou stechiometrickou rovnicou [95]:



Ďalším hlavným produktom alkoholového kvasenia sú 2 molekuly ATP. Pri ďalších reakciách dochádza ka energetickým stratám, ktoré sa prejavujú rastom teploty kvasenej mladiny. Na udržanie konštantnej teploty kvasenia mladiny sa toto vzniknuté teplo musí odvádzať chladením [58].

Vzťahy medzi pôvodným extraktom, skutočným extraktom, zdanlivým extraktom piva a produkovaným alkoholom prezentoval Balling v roku 1865 a platí dodnes. Ballingove stupne ( $^{\circ}Bg$ ) upravil Plato, čo viedlo k užívaniu stupňov Plato ( $^{\circ}P$ , Plato). Našťastie sa tieto stupnice líšia len málo a je možné použiť spoločný údaj v hmotnostných percentách koncentrácie roztoku sacharózy alebo hustoty. Pokles hmotnosti je spojený s uvoľňovaním  $CO_2$  a akumuláciou alkoholu, čo vedie k zníženiu relatívnej hustoty [95].

V procese fermentácie je ochladená mladina premiestnená do fermentačnej nádrže, do ktorej sú pridané kvasinky a fermentácia prebieha niekoľko dní až 1 týždeň. Mnoho komerčných

pivovarov praktikuje sériovú fermentáciu, čo znamená, že kvasinky z jednej várky piva sa používajú na fermentáciu ďalšej várky, tzv. „recyklácia inokula“. Recyklácia inokula je všeobecne limitovaná na menej ako 10 krát, aby sa zabránilo degradácii kvality kvasiniek. Kvasinky v lepšom stave budú produkovať menej fúznych alkoholov a viac siričitanov ako staré alebo kontaminované. Prax recyklácie inokula môže spôsobiť zhoršenie krížovou kontamináciou s inými kultúrami alebo divými mikroorganizmami, čo spôsobí genetické zmeny pôvodnej kultúry alebo spôsobí fyziologické zmeny v dôsledku stresu. Aj keď sa dá očakávať genetický posun, kmene *Saccharomyces* používané v pivovarníctve sú geneticky stabilné. Rýchlosť pridávania kvasiniek ovplyvňuje aj konečnú kvalitu piva. Vyššia rýchlosť umožňuje rýchlejšiu fermentáciu, ale vytvára veľké množstvo kvasinkovej biomasy. Nadmerná rýchlosť pridávania môže zhoršiť zdravie kvasinkovej kultúry [75, 96].

Opakované používanie pivovarských kvasiniek so sebou prináša nutnosť ich skladovania za vhodných podmienok. Podmienky skladovania by mali zaistiť zachovanie viability (životaschopnosti) a vitality kvasníc a zároveň zabrániť ich kontaminácii. Maximálna doba skladovania je závislá na podmienkach skladovania, mikrobiologickej čistote kvasiniek a ich fyziologickom stave v okamihu stiahnutia z mladého piva a líšia sa tiež v závislosti na danom kmeni. Fyziologický stav kvasiniek, označovaný tiež pod pojmom „vitalita“, „aktivita“ alebo „fermentačná schopnosť“ má priamy vplyv na kvalitu hotového piva [97].

V remeselných pivovarochoch používajú skôr sušené kvasinky a recyklácia inokula sa veľmi nepoužíva. Výrobcovia sušených pivovarských kvasiniek ich vyrábajú spôsobom, že každá bunka obsahuje vysoké hladiny sterolov. Takéto kvasinky nevyžadujú vôbec žiaden kyslík počas inokulácie a žiadny nie je nutné pridať, keď sú nádoby naplnené mladinou. Pokiaľ sú sušené kvasinky zozbierané a použité znova, situácia sa vráti ku konvenčnej operácii tzv. „čerstvých“ kvasiniek a kyslík je potom potrebný vo všetkých nasledujúcich fermentáciách [96].

Existujú 2 typy fermentácie: otvorená a uzavretá. Otvorený fermentor je prístupný vzduchu (môže byť prikrytý neutesneným vekom pred vonkajším vzduchom), zatiaľ čo uzavretý nie je. Uzavretý fermentor je obvykle vybavený vzduchovou komorou, ktorá zabraňuje prístupu kyslíka a zároveň umožňuje pravidelnú extrakciu oxidu uhličitého, ktorý vzniká v priebehu kvasenia a tiež pomáha predísť kontaminácii várky. Rozdiel medzi otvorenou a uzavretou fermentáciou je v podstate v použití vzduchovej komory, ale geometria fermentora sa tiež zvyčajne líši. Uzavreté fermentory ako napríklad tank, demižón alebo vedro s vekom sú



zvyčajne vyššie ako široké. Otvorené fermentory sú všeobecne širšie a plytké s pomerom šírky k výške 1:1 alebo menším (pre domáci pivovar to obvykle znamená použitie vedra). Výhodou otvorených fermentorov voči uzavretým je účinnejšie odvádzanie tepla, dodávajú viac kyslíka pre kvasinky, ľahší zber kvasiniek a lepšie zdravie kvasiniek. Naopak nevýhodou je menší objem a zaberanie väčšej podlahovej plochy na rozdiel od užších a vyšších uzavretých fermentorov [57].

### 3.6.1 Fermentačné kontrolé systémy

Najčastejšie skúmané spôsoby kontroly fermentácie sú založené na poklese špecifickej hmotnosti pri fermentácii mladiny s cieľom získania piva. Vo svojej najzákladnejšej podobe metóda spočíva v odobraní reprezentatívnej vzorky mladiny a meraní jej dosiahnuteľného prekvasenia, napríklad pomocou metódy EBC Analytica IV. To je možné vykonať počas celej fermentácie na vytvorenie časového priebehu dosiahnuteľného prekvasenia fermentačného procesu. Hustotu mladiny je možné merať refraktometricky alebo pomocou vibračného hustomeru. Ako sa cukry fermentujú na alkohol a oxid uhličitý, hustota klesá a tlak vo fermentore sa proporcionálne zmení. Tlakový senzor sa používa na meranie tejto zmeny a na prepojenie s počítačom. Ďalšími známymi metódami sú napríklad použitie dielektrickej permitivity na reguláciu rýchlosti inokulácie kvasiniek, komerčne dostupná sonda na detekciu životaschopných kvasiniek alebo spôsoby kontroly fermentácie, ktoré zahŕňajú meranie hodnoty pH [58].

## 3.7 Dokvasovanie a zrenie

Začiatok fázy dozrievania neznamena, že fermentácia skončila. V pive sa teraz nachádza mnoho vedľajších produktov fermentácie, vrátane zlúčenín s nežiadúcimi arómami ako napríklad acetaldehyd a diacetyl. Pivo je v tomto okamihu, po skončení hlavnej alebo primárnej fermentácie, považované za „zelené“. Pred tým ako sa pivo môže považovať za pripravené na konzumáciu, potrebuje dobu zrenia, aby kvasinkám poskytla čas na vyčistenie týchto zlúčenín [57].

Proces nazývaný „ležanie“ odkazuje na spodné kvasenie piva zaberajúci niekoľko týždňov až mesiacov, ale dnes je zvyčajne hotový za 1 – 2 týždne, dokonca aj menej. Z toho vyplýva, že boli vyvinuté zrýchlené procesy zrenia [58].

Väčšina remeselných pivovarov, ktoré používajú tradičné metódy, budú mať tiež odlišné dokvasovanie alebo tzv. „sekundárnu fermentáciu“. Rozlišuje sa podľa toho, či je pivo

spodne alebo vrchne kvasené. V prípade tradičných vrchne kvasených pív, môže byť hlavná (primárna) fermentácia predčasne zastavená, aby zostali prítomné zvyšky skvasiteľných cukrov. Alternatívou môže byť prídanie tzv. „základných cukrov“ do zeleného piva. Spolu s niekoľkými živými bunkami kvasiniek – buď odvodenými z hlavnej fermentácie alebo pridanými počas transferu sa pivo stočí do sudu alebo do fľaše. Počas intervalu medzi plnením a spotrebou, kvasinky prijímajú zvyškové cukry a produkujú malé množstvo ďalšieho alkoholu a viac oxidu uhličitého. Táto konečná fáza sa nazýva sekundárna fermentácia. V chuti piva sa môžu vyskytnúť určité zmeny, ale jeho primárnym cieľom je, aby bolo správne sýtené [96].

Zelené pivo je zakalené a má neprijateľnú chuť. Sedimentáciou kvasiniek dôjde k vyčíreniu. Skladovanie pri nízkych teplotách (0 °C a nižších, pivo mrzne pri teplotách – 2 °C) slúži na ďalšie čírenie a stabilizáciu piva. Zvyšky usadených kvasiniek sa odstránia, pokiaľ si to zákazník neželá inak. Mŕtve bunky uvoľňujú počas rozkladu látky, ktoré ovplyvňujú chuť a stabilitu piva. Prídavok enzýmov počas dozrievania a skladovania slúži na filtráciu a koloidnú stabilitu piva v niektorých krajinách okrem Nemecka. Pri tradičnej výrobe piva sa do suda vkladajú jemné prísady ako napríklad tzv. „isinglass“ (látka získaná z mechúrov rýb) alebo morské riasy na podporu čírenia piva [60].

Hlavným cieľom procesu dokvasovania piva je zníženie vzniknutých vicinálnych diketónov – 2,3-butandiónu (diacetylu), 2,3-pentandiónu a ich prekurzorov. K tvorbe týchto látok dochádza pri kvasení mladiny a súvisí so syntézou valínu a izoleucínu [98].

### 3.8 Finálne úpravy

Väčšina priemyselných a niektorých remeselných pív je pred balením filtrovaná kvôli priehľadnosti, v závislosti od preferencií a štýlu pivovaru [75].

Cieľom filtrácie je upraviť pivo pred stáčaním tak, aby sa po dobu niekoľkých mesiacov nezmenila jeho čírosť v obale, ktorý bol vhodným spôsobom skladovaný. Počas filtrácie sa z piva oddeľujú zákalotvorné častice, zostatok kvasničných buniek a znižuje sa obsah baktérií. Rozlišujú sa 3 princípy filtrácie:

- sedimentácia – oddeľovanie častíc na základe rozdielnej mernej hmotnosti,
- sieťový efekt – je založený na princípe oddeľovania častíc v závislosti od ich rozmerov a rozmerov pórov, ktoré vytvárajú filtračný materiál,

- adsorpcia – oddelenie nielen hrubých častíc, ale aj rozpustných koloidov podľa miery a ich afinity k filtračnému materiálu alebo podľa elektrického náboja [52].

Zatiaľ najpoužívanejším spôsobom je filtrácia naplavovacia, ktorej priebeh je závislý na voľbe filtračného prostriedku a spôsobu dávkovania. Najviac sa pre tento účel využíva kremelina, i keď námietky ekológov a stúpajúce nároky na stabilitu piva nútia hľadať nové filtračné systémy (membránová filtrácia). Všeobecne platí, že základnou požiadavkou na použitý filtračný prostriedok je jeho inertnosť k filtrovanému pivu. Celkom inertný materiál ale prakticky neexistuje. Napr. kremelina obsahuje určitý podiel vyluhovateľných látok, medzi ktoré patria predovšetkým ióny kovov. Tie môžu v hotovom pive negatívne pôsobiť na stabilitu piva a jeho sensorické vlastnosti [99]. Okrem kremeliny sa pri naplavovacej filtrácii využíva aj minerál vulkanického pôvodu – perlit. Pre kvalitu filtračného perlitu je rozhodujúci spôsob mletia a kvalita triedenia [100].

Pri stáčaní piva môže prebiehať ešte pasterizácia. Pri nej, pôsobením vyšších teplôt, dochádza k usmrteniu akýchkoľvek mikroorganizmov, ktoré by mohli spôsobiť následné kazenie piva. Dôjde tak k predĺženiu stability piva a tým aj predĺženiu doby trvanlivosti. Pri zle vedenom procese pasterizácie môže dôjsť k vzniku tzv. pasterizačných príchuť [45].

Prepracovanejšie alternatívne metódy, ako napríklad vysoký hydrostatický tlak, však preukázali potenciál na zníženie mikrobiálnej záťaže v pive rovnako efektívne ako pri pasterizácii. Priemyselné pivovary môžu na sterilizáciu piva používať pasterizáciu a plniť pivo do sterilizovaných nádob. V remeselnom pivovare sa pasterizačný proces zvyčajne nevykonáva. Nepasterizované pivo má pre moderných spotrebiteľov príťažlivejšiu a sviežejšiu chuť, vďaka čomu je remeselné pivo náchylnejšie na znehodnotenie baktériami [75].

## 4 VADY PIVA

Pivo sa vyrába z prírodných surovín rôznymi fyzikálnymi, chemickými a biologickými procesmi. Pivovarníci musia používať zdravý úsudok a vhodné techniky na zabezpečenie toho, aby bolo pivo vyrobené podľa špecifikácií a bez chýb. To nie je možné vždy dosiahnuť a pri výrobe piva môže nastať celý rad problémov. Po nájdení problému je potrebné zistiť prípadné príčiny, aby bolo možné problém napraviť alebo aspoň a zabrániť jeho opätovnému výskytu. Najčastejšie vyskytujúce problémy sú:

- zákal
- infekcia
- pachuť a aróma
- predčasne zastavená fermentácia
- nesprávne sýtenie oxidom uhličitým

### 4.1 Zákal

Zákal je najbežnejšia chyba zistená v pive. Aj keď je zákal v niektorých pivných štýloch prijateľný, pokiaľ sa objaví v pive, kde nie je očakávaný, pivo bude vrátené ako nepredajné a dobré meno majiteľa môže byť poškodené. Pivný zákal môže byť rozdelený na mikrobiálny (spôsobený baktériami alebo kvasinkami), a nemikrobiálnym. Existujú rôzne druhy nemikrobiálnych zákalov, ale ten najbežnejší je spôsobený komplexom proteín–polyfenol. Tieto komplexy sú hlavnou zložkou hrubých a jemných kalov, chladového zákalu a trvalého zákalu. Vytvárajú sa keď bielkoviny tvoriace zákal sa viažu s polyfenolmi tvoriacimi zákal (tanínogény). Keď tieto komplexy vytvoria dostatočne veľké častice na to, aby sa vyzrážali, vzniká zákal. Spočiatku sú tieto častice menej rozpustné pri nižších teplotách, takže pri ochladení piva sa môže objaviť tzv. „chladový zákal“ [101].

### 4.2 Infekcia

Infekciou je zavedenie alebo prítomnosť nežiadúcich mikroorganizmov v pive alebo jeho surovinách. Závažnosť infekcií sa môže pohybovať od nepostrehnuteľnej až po závažnú. Infekcie môžu v extrémnom prípade spôsobiť zákal, kyslosť alebo nepríjemnú arómu a môžu spôsobiť, že pivo bude neatraktívne alebo nepitné. Aj keď pivné infekcie nie sú zdraviu škodlivé, môžu pokaziť povest' pivovaru. Medzi hlavné faktory ovplyvňujúce mikrobiologickú stabilitu piva patria horké chmeľové látky, alkohol,  $CO_2$ , nízke pH a nízke

koncentrácie kyslíku. Mikroorganizmy schopné rastu a množenia v mladine a pive patria do niekoľkých rodov. Baktérie mliečneho kvasenia, zvlášť rody *Lactobacillus* a *Pediococcus* sú považované za najviac škodlivé. Ďalšie organizmy, ktoré väčšina pivovarov považuje za kaziace pivo sú divoké kvasinky vrátane *Brettanomyces*. Niektoré mikróby pôvodne považované za infekcie môžu byť v niektorých pivných štýloch úplne žiaduce alebo podporované, napríklad Berliner weisse, lambické piva, kyslé piva v belgickom štýle. Najefektívnejšie sa dá bojovať proti nežiadúcim mikróbom správnou sanitáciou [102, 103].

### 4.3 Predčasne zastavená fermentácia

Najčastejšou príčinou predčasne zastavenej fermentácie je nízka teplota. Výrazný pokles teploty môže spôsobiť, že kvasinky budú nečinné a bunky kvasiniek sa začnú usadzovať na dne nádoby. Tento problém sa týka najmä „domovaričov“ a riešením môže byť presunutie fermentora do teplejšej miestnosti. Pomalú alebo predčasne zastavenú fermentáciu ďalej môžu spôsobiť zvyšky pesticídov v sladine. Pomerne častou príčinou býva aj nedostatok potrebného kyslíka. Množstvo kyslíka potrebného pre fermentáciu je závislé od kmeňa kvasiniek [57, 58, 104].

### 4.4 Nesprávne sýtenie oxidom uhličitým

Úroveň sýtenia oxidom uhličitým môže mať výrazný vplyv na vnímanie chutí. Nízka úroveň sýtenia môže spôsobiť, že pivo bude pôsobiť sladšie a jemnejšie, zatiaľ čo príliš nízka úroveň sýtenia môže spôsobiť prázdnosť, ochabnutosť piva. Vyššia úroveň sýtenia môže pripraviť ostrejšie a asertívnejšie pivo, ale príliš veľká úroveň nasýtenia oxidom uhličitým môže spôsobiť, že horkosť chmeľu bude agresívna a drsná. Na dosiahnutie správnej úrovne sýtenia oxidom uhličitým musí byť prítomné dostatočné množstvo kvasiniek zabezpečujúcich fermentáciu a dostatok fermentovateľného materiálu ako potravy pre kvasinky, preprava by mala byť čo najšetnejšia (minimalizácia straty  $CO_2$  v dôsledku turbulencie) a nádrže by sa mali udržiavať pod najvyšším tlakom [57, 102].

### 4.5 Pachuť a aróma

Chuť piva je jedným z najdôležitejších faktorov pri hodnotení kvality. Prchavé zložky v pive sú hlavnými zložkami, ktoré prispievajú k jeho celkovej chuti. Medzi tieto zlúčeniny patrí alkohol, acetaldehyd, diacetyl, pentandión atď. Acetaldehyd ako jeden naturálny vedľajší produkt fermentácie predstavuje asi 90 % karbonylových zlúčenín v pive. Prejavuje sa

vážnymi dopadmi na chuť piva. Prekročené množstvo acetaldehydu vždy vytvára štipľavú arómu, zatiaľ čo príslušné množstvo acetaldehydu často zanecháva príjemnú vôňu zeleného jablka. Okrem toho, že je považovaný za jednu z hlavných zlúčenín chuti, ovplyvňuje aj stagnáciu piva. Aldolová kondenzačná reakcia počas skladovania piva negatívne ovplyvňuje jeho trvanlivosť. Zníženie obsahu acetaldehydu môže zlepšiť chuť a odolnosť piva [105].

Vicinálne diketóny – 2,3-butandion (diacetyl) a 2,3-pentandion patria k dôležitým skupinám sensoricky aktívnych látok v pive. Prahová koncentrácia zmyslového vnímania diacetylu sa udáva medzi 0,05 – 0,10 mg/l. Po prekročení tejto koncentrácie dochádza k nežiadúcim zmenám arómy piva, označovaným ako maslové, po tvarohu alebo po syrovátke. 2,3-pentandion je podobný diacetylu. Jeho prahová hodnota je okolo 1,0 mg/l a po prekročení tohto množstva má za následok medovú arómu. K vzniku týchto látok dochádza spolu s mnohými ďalšími sensorickými látkami pri kvasení mladiny [106].

Ďalšími nežiadúcimi pachutami a arómami môžu byť:

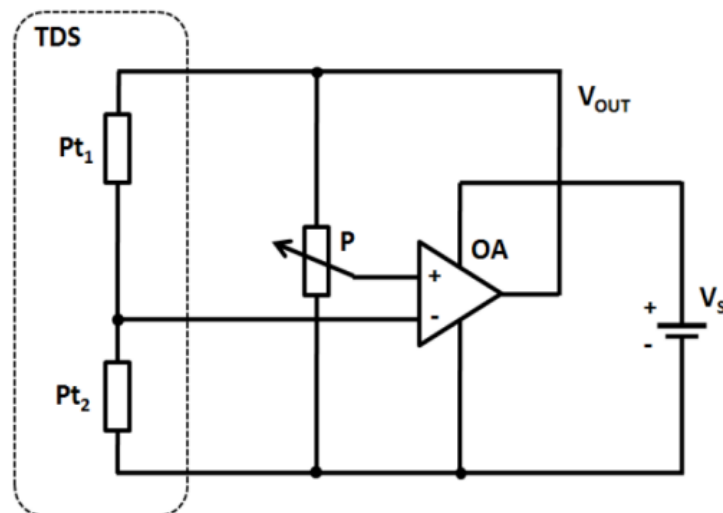
- alkoholová – korenená alebo vínná aróma, môže vznikáť pri vysokej teplote fermentácie,
- adstringencia – zvieravosť spôsobená prebytkom polyfenolov, ktoré môžu pochádzať z nadmerného chmelenia,
- ciderová chuť – zvyčajne kvôli acetaldehydu, ktorý pri oxidácii produkuje kyselinu octovú,
- dimetyl sulfid (DMS)/zeleninové pachute – vôňa po varenej brokolici, kukurici či zelenine. DMS je odvodený od S-metyl metionínu a vzniká v priebehu skladovania a primárnej fermentácie,
- tráva/trávnaté tóny – pachute pripomínajúce čerstvo pokosenú trávu, často spojené s nesprávnym skladovaním chmeľu,
- obilie/obilninová pachuť – vyskytuje sa v dôsledku zlej práce so sladom,
- medicínálna pachuť – pachuť po dezinfekčných prostriedkoch, jedná sa o reakciu medzi alkoholom a dezinfekčným prostriedkom na báze chlóru,
- skunková – zápach skunka, fekálne pachute spôsobené fotochemickými reakciami izomerizovaných chmeľových zlúčenín,
- kyslá, octová pachuť – najčastejšie je táto vada spôsobená pôsobením iných mikroorganizmov ako sú kvasinky (najmä baktérie mliečneho kvasenia),

- oxidačná a svetelná chuť – sú spôsobené skladovaním piva v nevhodných podmienkach. V prípade vyšších skladovacích teplôt, prípadne pri skladovaní piva za prístupu vzduchu dochádza k oxidácii piva a jeho rýchlemu starnutiu, pivo je drsné a hrubé, vzniká tzv. oxidačná chuť. Pri skladovaní piva za prístupu svetla, ako slnečného, tak umelého vzniká svetelná chuť,
- banánová chuť – je typická pre niektoré druhy pšeničných pív, v pivách ležiackeho typu je vadou,
- autolyzačná chuť – pivo je cítiť po starých kvasniciach. Vada je spôsobená prirodzeným rozkladom kvasníc,
- mydlová pachuť – môže byť spôsobená zlým vypláchnutím pohára alebo chemickými reakciami v mladine [57, 66].

## 5 CHARAKTERISTIKA MERACÍCH NÁSTROJOV

### 5.1 Charakteristika termodynamických senzorov

Tepelné procesy v rozličných termodynamických systémoch je možné charakterizovať a monitorovať vďaka termodynamickým senzorom (TDS). TDS pracujú na princípe bilančnej rovnováhy. Meria sa energia dodávaná do obvodu na nastavenie teploty a rovnováhy teploty prvku s okolím. Sensorový prvok býva často spojený so zosilovačom OA a prevodníkom na určený elektrický signál (elektrický prúd, elektrické napätie alebo frekvencia) a je možné jednoducho pripojiť aj iné meracie systémy. TDS je rozdelený na 2 funkčné časti, ktoré predstavujú 2 termistory, čo sú v podstate rezistory, ktoré reagujú na zmenu teploty a mení sa ich odpor. Slúžia teda ako teplotné čidlá Pt1 a Pt2. Sensory sa od seba líšia iba elektrickým odporom (jeden z nich má polovičný el. odpor)  $V_S$  predstavuje zdroj napätia, ktorý napája celý obvod. Regulovateľným odporom P je nastavovaná rovnováha, predstavuje ho potenciometer, ktorého otáčaním sa nastaví presná hodnota odporu a vstup zosilňovača sa dostane do rovnováhy a výstup  $V_{out}$  by mal byť v ustálenej hodnote [107, 108].



Obr. č. 9 – Demonštrácia princípu TDS [109]

Zmena tlaku, prietoku, hustoty či objemu pozorovanej látky a iné fyzikálne veličiny, kde dochádza k zmene teplotných vlastností sú veličinami, ktoré môžu zmeniť tepelný tok medzi čidlami. Vplyvy ako zmena vlhkosti alebo radiácie (svetelnej alebo tepelnej) patria k externým zdrojom tepla [107, 108].



## 5.2 Charakteristika elektronického nosa

Elektronický nos (e-nos) je zariadenie, ktoré dokáže detekovať a rozpoznať zápach alebo chuť pomocou senzorov. V potravinárskom priemysle bol elektronický nos testovaný napríklad na zisťovanie kvality mäsa, ovocia, korenia, analýzu kávy, vína alebo na detekciu zmeny arómy počas kvasenia cesta či starnutia pečiva. Malé elektronické nosy sú väčšinou špecializované na jednu alebo niekoľko komodít s nízkou úrovňou rozlíšenia. Pre presnejšiu analýzu pachov sa používajú laboratórne analyzátory na analýzu výparov, napr. plynová chromatografia/hmotnostná spektrometria, ktorá môže byť upravená na olfaktometrické meranie [110, 111].

Elektronický nos sa skladá z 3 častí: systém pre dodanie vzorky, detekčný systém a počítačový systém. Systém pre dodanie vzoriek pracuje na princípe headspace analýzy, z ktorej získa vzorku. Detekčný systém je zložený zo sady senzorov. Keď sa senzory dostanú do styku s tekavými zlúčeninami, dôjde ku zmene elektrických vlastností. Ako sa k tomu docieli záleží na type zariadenia [112].

## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

## 6 HYPOTÉZA A CIEĽ PRÁCE

Hypotéza I.: Termodynamické senzory je možné využiť pri monitorovaní kvasných procesov v pivovarníctve.

Hypotéza II.: Elektronický nos je možné využiť na rozoznávanie jednotlivých druhov pív.

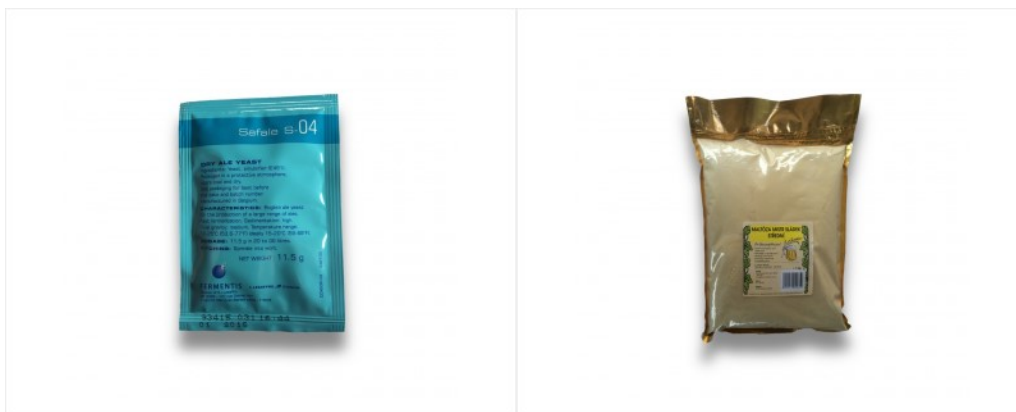
Cieľom našej diplomovej práce bolo zistiť možnosti využitia termodynamických senzorov v oblasti pivovarských kvasných procesov, možnosti včasnej detekcie prípadného vzniknutého problému a pomocou elektronického nosu analyzovať vybrané komerčné značky pív.

## 7 MATERIÁL A METODIKA

### 7.1 Materiál

Experiment prebiehal na Fakulte elektrotechniky a komunikačných technológií VÚT v Brne. Cieľom bolo monitorovať pomocou termodynamických senzorov kvasný proces pri produkcii piva a elektronický nos bol použitý na analýzu vzoriek komerčných značiek piva. Suroviny na prípravu experimentu s termodynamickými senzormi zahŕňali:

- voda z vodovodného kohútika – 6 l
- Kvasinky sušené vrchné – Safale S-04 – 11,5 g
- Maltóza – 1 kg



Obr. č. 10 – Suroviny na výrobu sladiny (kvasinky, maltóza)

Použité nástroje:

- laboratórny zdroj el. napätia na 20 V – Tesla BK 127,
- voltmeter – Almemo 2930-5 Ahlborn
- prototyp elektrického zariadenia
- plastová nádoba – 10 l
- MS Excel

Materiál na experiment s elektronickým nosom:

- jednoduchý experimentálny e-nos
- spodne kvasené piva – Budweiser Budvar, Pilsner Urquell, Krušovice

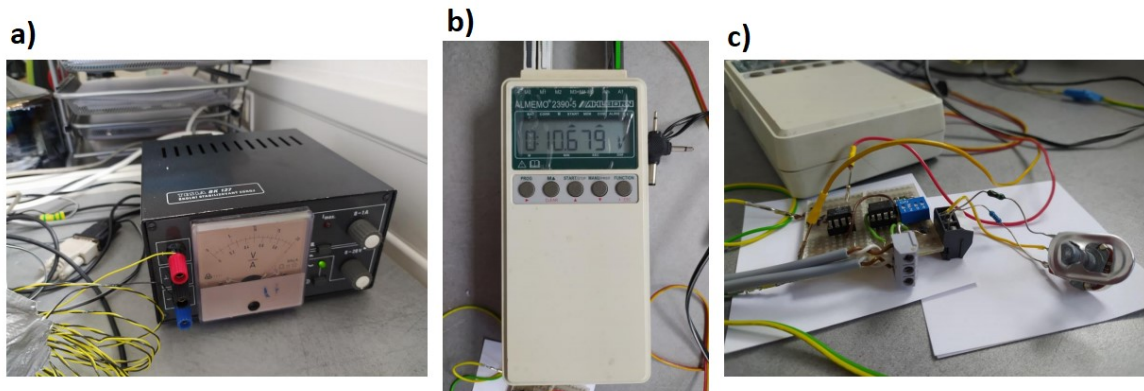
- MS Excel

## 7.2 Metodika

### Experiment s TDS:

Do 6 l vody bol rozmiešaný 1 kg maltózy. Použité boli sušené vrchné kvasinky z časových dôvodov, pretože kvasný proces bol kratší. Kvasinky boli dehydrované. Vykonali sa 2 merania termodynamickými senzormi. V prvom prípade kvasinky temperovali na teplotu okolia. V druhom prípade boli kvasinky pridané rovno z chladničky. V 1 dl vody boli kvasinky rozmiešané a vliate do pripraveného roztoku.

Zo vzniknutých surovín bola pripravená sladina, na ktorej prebiehalo meranie. Meranie pri použití sladiny mal svoj účel, pretože pokiaľ by bolo pre experiment pripravované pivo, tak by sa nemuselo podariť vyrobiť rovnakým spôsobom, čo by narušilo experiment. Bola zvolená 10 l nádoba z plastu z dôvodu inej tepelnej vodivosti ako napr. sklo alebo nerez, kde by prestup tepla smerom von bol oveľa rýchlejší, a tým by aj senzory zareagovali väčšou rýchlosťou.

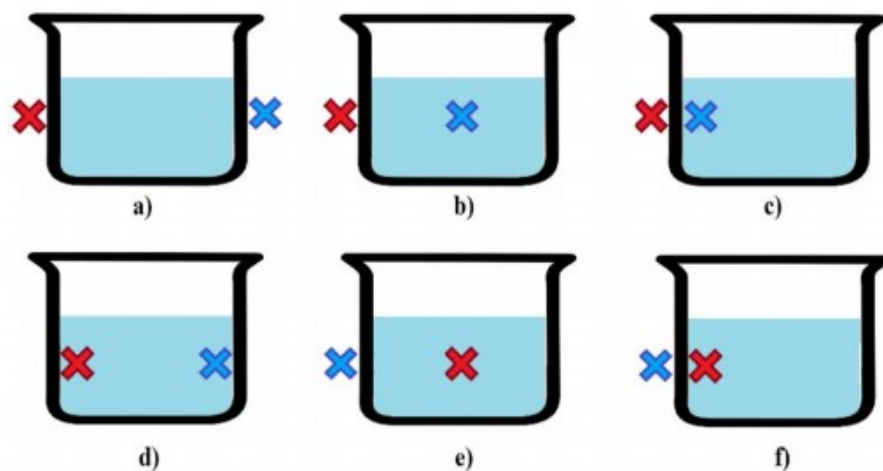


Obr. č. 11 – Aparatúra: a) Napájací zdroj BK 127, b) Meriací prístroj ALMEMO 2390-5, c) Experimentálny meriaci prípravok s potenciometrom pre nastavenie rovnováhy

V praxi to vyzerá nasledovne: Obr. a) predstavuje laboratórny zdroj el. napätia na 20V, napájajúci celý obvod – obrázok c). Regulovateľný odpor, ktorým sa nastavuje rovnováha vo vetvách, je otočný potenciometer – obr. c) s plieškom, ktorého otáčaním bola nastavovaná presná hodnota odporu, tým sa nastavil aj presný úbytok napätia a vstup zosilňovača sa

dostal do rovnováhy. Výstup by teda mal byť v ustálenej hodnote. Prístroj na obr. b) je multimeter, ktorý meria napätie na výstupe zosilňovača TDS.

Snímače Pt1 a Pt2 sú v priamom alebo nepriamom kontakte s meraným systémom. V našom prípade meraný systém predstavoval nádobu so sladinou. V každej konfigurácii sa výstupný signál bude chovať inak. Konfigurácie a) a d) sa správajú ako pomalý teplomer, konfigurácie b) a e) merajú presne, čo sme potrebovali, avšak majú navzájom opačný časový priebeh a konfigurácie c) a f) sú menej citlivé, ale podobné ako b) a e). Uvedené sa vzťahuje na plastovú nádobu. Použitá bola konfigurácia e).

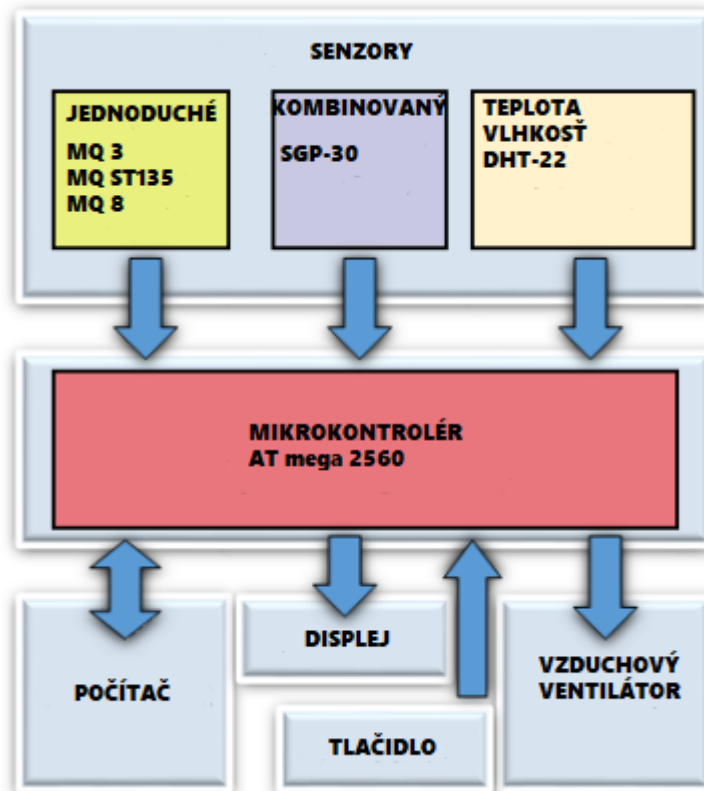


Obr. č 12 – Možnosti konfigurácie zapojenia TDS

Systém TDS, by sa dal považovať za pokročilý teplomer. Rozdiel spočíva v tom, že pri meraní teploty teplomerom, sa teplota meria iba v danom bode, zatiaľ čo pri TDS sme schopní zachytiť a monitorovať malé teplotné zmeny, ktoré bežné teplomery nie sú schopné rozlíšiť, a to vrátane smeru ich šírenia (pri vhodnej konfigurácii). Meranie zmeny napätia (termálnej aktivity) bude nezávislé na vonkajších javoch, ktoré nastávajú. Jedná sa o neanalytickú metódu, čo znamená, že pozorujeme tepelnú aktivitu, ale pozorujeme ju nepriamo v napätí, ktoré sledujeme. Zmeny tepla sú teda prevedené na napätie, ktoré je možné ľahko zosilniť, a preto je tento prevod výhodný.

**Experiment s e-nosom:**

Bol vytvorený univerzálny a cenovo dostupný prototyp jednoduchého experimentálneho e-nosu. Bol riadený mikrokontrolérom ATmega 2560, ktorý skenuje dáta pomocou troch jednoduchých chemorezistívnych senzorov a jedného kombinovaného senzora. Na posúdenie a kompenzáciu teploty a vlhkosti bol zvolený špecifický senzor (Obr. č 10).



Obr. č. 13 – Schéma jednoduchého experimentálneho e-nosa

Hardvér prototypu sa skladá z niekoľkých častí. Časť vstupu signálu sa skladá z troch jednoduchých chemorezistívnych senzorov: MQ-135 (je citlivý najmä na  $NH_3$ ,  $H_2$  a toluén v rozmedzí 10 ppm – 1 000 ppm), MQ-3 (navrhnutý na stanovenie alkoholu v rozsahu 50 ppm – 500 ppm), MQ-8 (určený na detekciu  $H_2$  v rozmedzí 200 ppm – 10 000 ppm) a jeden kombinovaný senzor SGP-30, ktorý meria  $H_2$  a etanol a dopočítava tekavé organické látky a  $CO_2$ . Výstupom z týchto senzorov je napätie v rozsahu  $U = (0; 5)$  a závisí na odpore citlivej vrstvy v senzore. Elektrické napätie sa sníma pomocou analógových vstupov z mikrokontroléra, kde sa prevedie na číselnú hodnotu  $d [-]$  pomocou integrovaného 10-bitového A / D prevodníka.

Ďalej bolo vytvorené programové vybavenie pre skenovanie a spracovanie dát na riadiacom počítači pre analýzu hlavnej komponenty (PCA – Principal Component Analysis). Program uložil namerané údaje priamo do MS Excel. Údaje boli prístupné cez internet. Ďalšie spracovanie prebehlo v MS Excel, v ktorom okrem možnosti zobrazenia jednotlivých kriviek, sa vypočítala priemerná hodnota z posledných 10 nameraných hodnôt pre jednotlivé krivky. Pre týchto 10 hodnôt sa stav meraného systému považuje za stabilný – signály sa významne nemenia. Získané priemerné hodnoty pre jednotlivé vzorky pracujú ako vstupné dáta pre analýzu hlavnej komponenty a získané údaje sú redukované na 2D graf. Tento graf ukazuje rozdiely medzi jednotlivými vzorkami. PCA bola vytvorená ako program vyvinutý vo vývojovom prostredí Python. Funkcia programu je obmedzená iba na čítanie hodnoty, základný výpočet a vizualizáciu grafu.

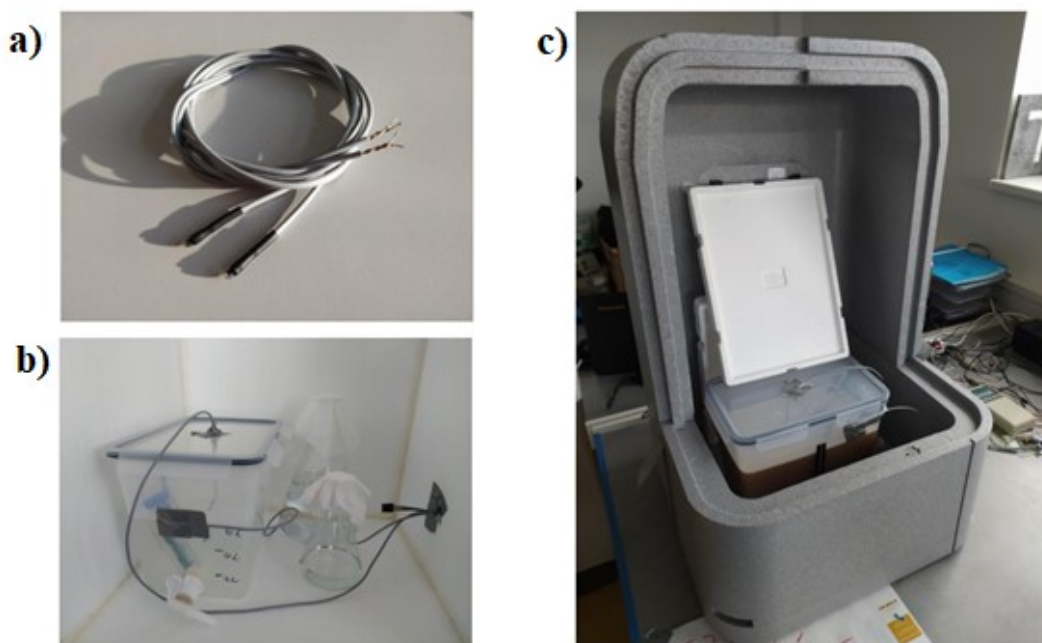


## 8 VÝSLEDKY A DISKUSIA

### 8.1 Výsledky

#### 8.1.1 Výsledky s TDS

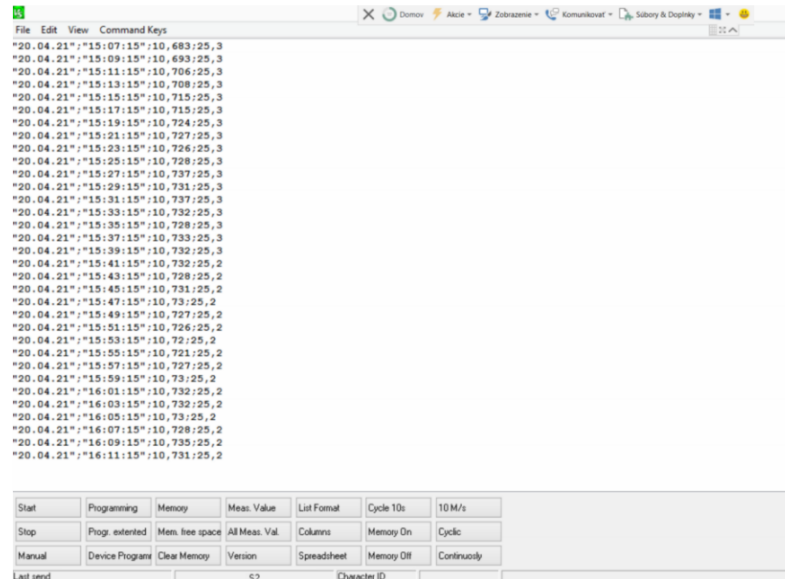
V rámci praktickej realizácie, na obr. a) sú zobrazené termodynamické snímače. Vnútri sa nachádzajú termistory, čo sú rezistory, ktoré reagujú na zmenu teploty s tým, že sa mení ich odpor. Sú to elektronické súčiastky, ktoré sú zatavené plastovými bužírkami na zabránenie prístupu vody a prípadného skratu. Tieto senzory TDS1 a TDS2 sa od seba odlišujú el. odporom, kedy TDS1 má voči TDS2 polovičný odpor. Podľa nami zvolenej konfigurácie boli TDS pripevnené na nádobu – obr. b), kde prebiehala fermentácia. TDS1 bol pripevnený z vonkajšej strany nádoby na úroveň hladiny a TDS2 sa nachádzal priamo v roztoku. Teplota bola snímaná priamo na nádobe, pričom nádoba bola umiestnená v polystyrénovom boxe, na čiastočné odtienenie vplyvov okolia. Vnútna teplota bola regulovaná na 17 °C, systém ktorý teplotu reguloval však neudržiaval stabilných 17 °C, ale osciloval medzi 16 a 18 °C.



Obr. č 14 – Praktická realizácia experimentu: a) TDS, b) nádoba, kde prebiehala fermentácia, c) nádoba s použitým tienením

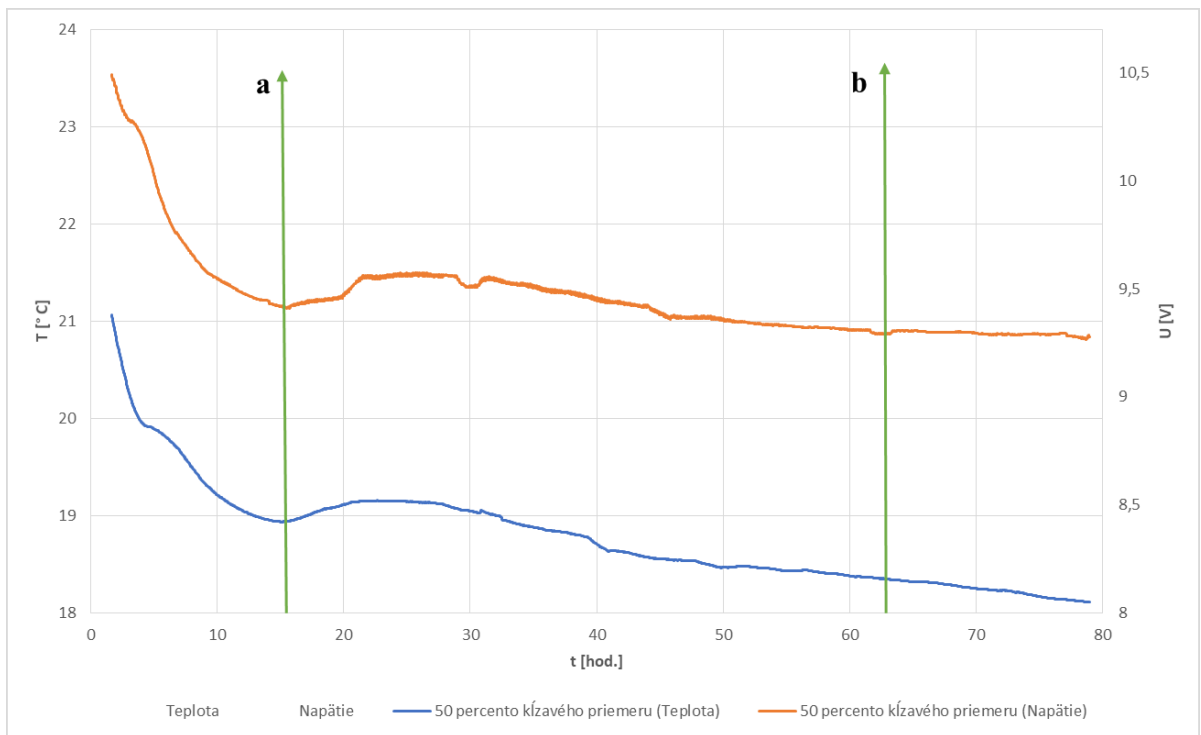
Výsledné hodnoty – napätie a teplota boli zaznamenávané tak, aby k nim bolo možné priradiť čas. Zaznamenávanie prebiehalo v cykloch 2 minút po dobu desiatok hodín, pokiaľ

prebiehal proces fermentácie. V prvom pokuse to bolo približne 88 hodín a v druhom pokuse približne 98 hodín. Meranie sa začalo po uzavretí nádoby aj s tienením.

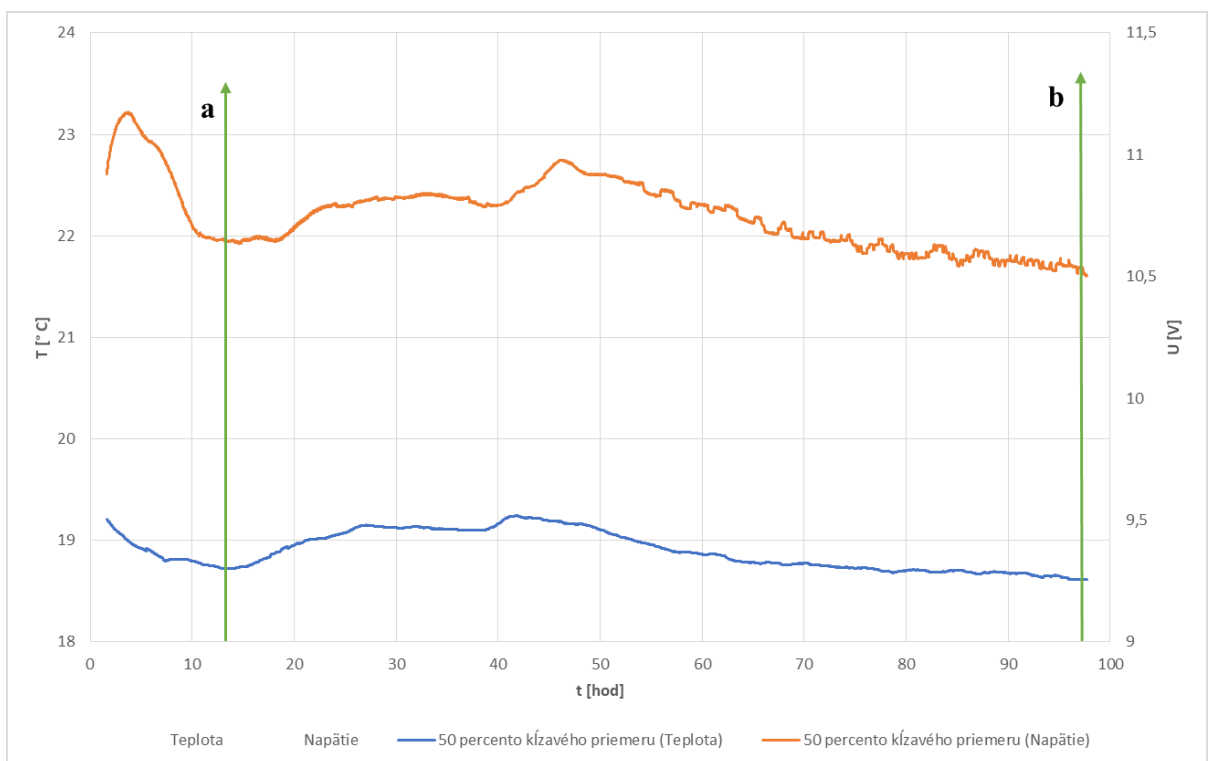


Obr. č. 15 – Zaznamenávanie výsledných hodnôt merania

V praxi to znamená, že teplota sa bude nejakú dobu vyrovnávať, čo môžeme pozorovať v časti grafu a – úvodný pokles a následné dočasné vyrovnanie. Roztok nemusí mať teplotu prostredia 17 °C, môže mať vyššiu alebo nižšiu a bude sa postupne vyrovnávať na teplotu prostredia. Pohyb tepla je daný termálnym gradientom, to znamená v našom prípade rozdielom teploty roztoku a jeho okolia. Na začiatku grafu pozorujeme klesanie, čo znamená že sladina sa ochladzovala. V momente stúpania grafu, vo fáze b, je jasné, že dochádza k tepelnej aktivite čo značí začiatok procesu kvasenia a s tým rastie aj teplota. Modrý priebeh vyjadruje teplotu nádoby a oranžový aktivitu TDS, ktoré zaznamenávajú priebeh. Preukázateľný koniec fermentácie je vtedy, keď sa hodnota napätia ustáli a absentuje tepelný tok, to znamená, že teplota meraného roztoku sa nemení a vyrovnala sa s teplotou okolia. Avšak to neznamená že kvasenie skončilo presne v tom bode, pretože roztok pri zahrievaní zvnútra má istú tepelnú kapacitu, v tom prípade sa v roztoku naakumuluje teplo a aj keď aktivita kvasiniek ustane, isté teplo je stále naakumulované, čo znamená ľahký dozvuk konca priebehu. Domnievame sa, že aktivita ustáva ešte pred tým, než sa teplota roztoku a prostredia vyrovná, ale v ktorom bode presne by si už vyžadovalo meranie iným spôsobom.



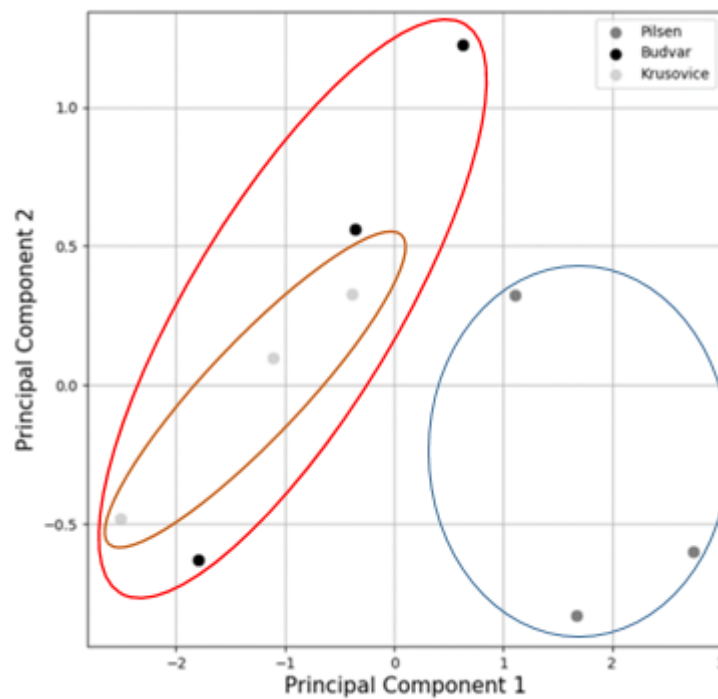
Obr. č. 16 – Graf 1. merania s TDS



Obr. č. 17 – Graf 2. merania s TDS

### 8.1.2 Výsledky s e-nosom

V prvej fáze bolo experimentálne zariadenie testované. V druhej fáze vybrané boli merané vybrané komerčné značky pív. Doba merania bola 10 minút, vzorka mala objem 10 ml a vložená so senzormi do sklenenej nádoby s prúdením vzduchu. Z výsledkov sa vytvorila databáza pre PCA (Principal component analysis) alebo hlavnej komponenty.



Obr. č. 18 – Graf PCA analýzy vybraných pív

Jednotlivé body sa nachádzajú v istých líniách, čiže je možné tvrdiť, že tieto piva sú veľmi podobné, vzhľadom na namerané zložky. Plzeň sa nachádza mierne vedľa, čo je už otázkou kvalitatívnej analýzy. Pri pridanom pridaní vzorky nového piva, by sme mohli sledovať, či sa vzorka zaradi skôr do skupiny v línii Budvaru a Krušovíc alebo Plzne alebo v prípade iných pivných štýlov (napr. vrchne kvasené piva, kyseláče) budú mať výsledné body výrazne inú lokalizáciu. Prejavilo by sa aj použitie pív s vyšším obsahom alkoholu (vďaka senzoru na alkohol).

## 8.2 Diskusia

### 8.2.1 Experiment s TDS

Metódy sledovania priebehu kvasenia piva sa líšia spôsobom predchádzajúceho spracovania vzorky, ktorej presnosť je priamo úmerná presnosti výsledku analýzy. Jedná sa o metódy analytické. Najjednoduchším spôsobom bolo ponorenie sacharometru priamo do kvasnej kade, čo vo svojej dobe nieslo nielen riziko rozbitia sacharometru a kontamináciu olovom, ortuťou a črepinami, ale bolo hlavne kvôli nadnášaním sacharometru oxidom uhličitým a zachytávaniu peny na stonke sacharometra málo presné. Pre presnejšie merania je nutné vzorky filtrovať a dekarbonizovať [116].

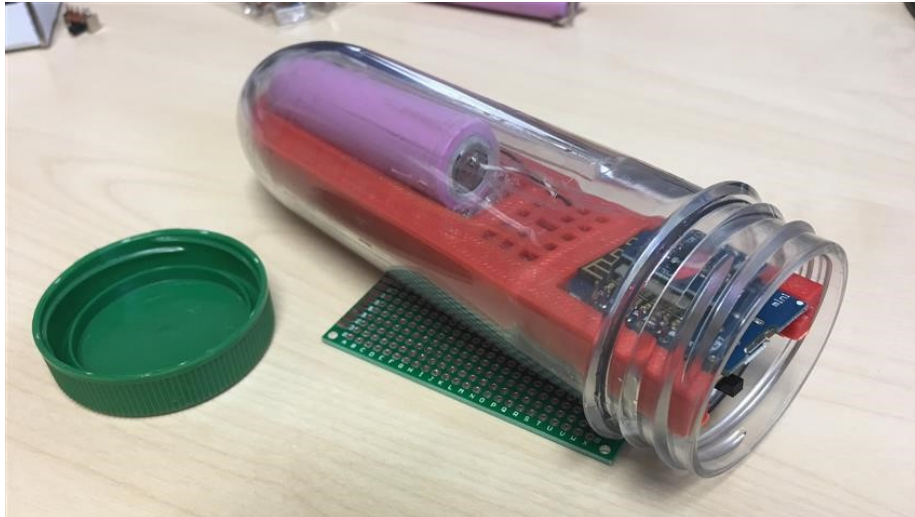
Analýza sa spresní čiastočným zbavením oxidu uhličitého trepaním a odčítaním údajov na sacharometre v odmernom valci, čím je možné riadiť kvasenie aj vo väčšej prevádzke. Najpresnejší, ale najpracnejší je spôsob, pri ktorom sa po odstránení oxidu uhličitého a kvasníc vzorky analyzuje rovnakým spôsobom ako hotové pivo, napríklad pomocou automatického analyzátora. Investične nákladnou alternatívou je zapojenie automatického analyzátora v kombinácii s automatizovaným odberom vzoriek priamo v prevádzke. Detailnejšie informácie sú dostupné na [116].

Pri kvasení je sa často využíva aj refraktometria, pracujúca s objemami vzoriek okolo 1 ml a menej. Postup je založený na rovnakej stratégii ako pri meraní sacharometrom a meria refrakciu odobratých vzoriek pri znalosti pôvodného extraktu alebo refrakcie vzorky pred kvasením [117].

V súčasnosti vznikajú rôzne nové metódy sledovania kvasného procesu. Jednou z nich je aj ISpindle – verejne dostupné informácie je možné vyhľadať na internete: ([https://www.ispindel.de/docs/README\\_en.html](https://www.ispindel.de/docs/README_en.html)). ISpindel je digitálny hustomer na meranie špecifickej hmotnosti (alebo stupňov Plato) niečoho, čo kvasí, teda je možné ho použiť na sledovanie kvasného procesu pri výrobe piva. Pripojí sa k webovým službám a nahrá štatistické informácie. Webová služba, ku ktorej sa pripája server iSpindel, môže grafovať štatistiku teploty a fermentácie bez toho, aby bolo nutné fermentor fyzicky rušiť.

Toto zariadenie obsahuje akcelerometer, ktorý meria náklon zariadenia umiestneného priamo v diele. Hustota mladého piva sa v priebehu kvasenia mení, znižuje sa vďaka

trasformácii cukrov na alkohol a  $CO_2$ . Pokiaľ sa mení hustota, mení sa aj vztlaková sila proti tomuto zariadeniu, ktoré pláva v diele. A práve tú to zmenu zaznamenáva akcelerometer. Pokiaľ je známe aká hustota sa očakáva na konci procesu, tak je možné posúdiť pokiaľ sa hustota bude meniť.



Obr. č. 19 – Zariadenie ISpindle (Zdroj: [https://www.ispindel.de/docs/README\\_en.html](https://www.ispindel.de/docs/README_en.html))

Zariadenie sleduje teplotu v mladine, znázornenú na modrou farbou, červená farba znázorňuje hodnotu podľa Plata ( $^{\circ}P$ ), čo je ekvivalentom pre hustotu. Okrem toho, je možné sledovať aj výdrž batérie.



Obr. č. 20 – Monitoring kvasného procesu pomocou ISpindle (Zdroj: [https://www.ispindel.de/docs/README\\_en.html](https://www.ispindel.de/docs/README_en.html))

Koniec kvasného procesu, podobne ako pri našej metóde, nie je možné presne určiť. V našom prípade je dôvodom naakumulované teplo, ktoré termodynamické senzory zaznamenávajú, aj keď kvasný proces už nemusí prebiehať. Pri zariadení ISpindle koniec kvasného procesu ako takého nie je možné zmerať, pretože sa nevie, či kvasinky sú stále aktívne, pred tým alebo potom ako sa skončia zmeny hustoty.

### 8.2.2 Experiment s e-nosom

Oblasť merania piva bola zameraná na spodne kvasené pívá. Boli použité komerčne dostupné vzorky od výrobcov pôsobiacich na českom trhu (Budweiser Budvar, Pilsner Urquell, Krušovice). Rozdiely medzi vzorkami môžu byť spôsobené niekoľkými faktormi. Dôležité sú vstupné suroviny na výrobu jednotlivých pív – voda (ovplyvňuje kvasenie), druh kvasníc, druh a kvalita jačmeňa a chmeľu (obsah minerálov, sacharidy, bielkoviny). Ďalším dôležitým faktorom je zvolený technologický postup – rmutovanie, množstvo získanej mladiny, množstvo alkoholu, pasterizácia, použitý obalový materiál atď.

Súčasťou týchto vstupov môže byť obchodné tajomstvo. Avšak v prípade minipivovarov alebo domácich nanopivovarov kde neexistujú výrobné tajomstvá alebo vo veľmi obmedzenom rozsahu, je možná detailnejšia analýza s preukázateľným nálezom v závislosti na vstupných surovinách a zvolenom technologickom postupe.

## ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberala monitoringom medziproduktov pri výrobe piva. Cieľom bolo zistiť, či je možné využiť termodynamické senzory (TDS) pri monitorovaní kvasného procesu a elektronický nos na rozlišovanie jednotlivých druhov pív.

V teoretickej časti sú základné informácie o vstupných surovinách pre výrobu piva, je opísaný technologický proces výroby piva, vady piva a charakteristika termodynamických senzorov a elektronického nosu.

V praktickej časti sme sledovali pomocou termodynamických senzorov kvasný proces. Z vykonaných 2 meraní s rôznym spôsobom pridania kvasiniek sme pozorovali zmeny v grafoch. V oboch prípadoch sú v grafoch zachytené fázy ustálovania teploty, následný nástup fermentácie, kedy kvasinky začali produkovať teplo svojou aktivitou, a tým sme pozorovali stúpajúci graf a následný pokles. Presný bod konca fermentácie je veľmi zložitý určiť z dôvodu naakumulovaného tepla, na ktoré termodynamické senzory reagujú aj keď aktivita kvasiniek už môže ustáť. Na zistenie bodu presného konca, by musela byť použitá už iná metóda, ale sme schopní ho odhadnúť.

Táto experimentálna metóda je na začiatku vývoja, ale výsledky a namerané dáta, potvrdili, že systém funguje a týmto je potvrdená hypotéza, že termodynamické senzory je možné využiť pri monitorovaní kvasných procesov v pivovárníctve. Včasnou detekciou problému, môže dôjsť k zvýšeniu kvality produktu. Pokiaľ sa v procese fermentácie stane niečo neštandardné, systém je schopný to odhaliť. TDS majú potenciál byť finančne dostupným, rýchlym a efektívnym nástrojom pre sledovanie kvasného procesu.

V druhom experimente bol využitý elektronický nos na rozpoznávanie 3 druhov komerčných pív. Prvým hlavným záverom tohto experimentu je zjednodušenie celej analýzy zápachu. Špeciálne z hľadiska použitého hardvéru a softvéru. Táto skutočnosť umožňuje jeho širšie použitie v profesionálnej, ale najmä laickej verejnosti. Príslušný typ zariadenia môže odhaliť cielené falšovanie produktu. Výhodou sú tiež malé rozmery a v súčasnej dobe by mohlo pomôcť ľuďom so stratou čuchu, napr. po prekonaní Covid 19. Potvrdila sa 2. hypotéza, že e-nos je možné využiť na rozoznávanie jednotlivých druhov pív, čo je zobrazené v 2D grafe pomocou bodov v líniiach. Víziou je prepojenie so smartphonami, čo by umožnilo okamžitú a spoľahlivú analýzu piva medzi verejnosťou.



**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] BOWER, Julie a Howard COX. How Scottish & Newcastle Became the U.K.'s Largest Brewer: A Case of Regulatory Capture? *Business History Review* [online]. 2012, 86(1), 43-68 [cit. 2020-5-6]. ISSN 0007-6805. Dostupné z: doi:10.1017/S0007680512000037
- [2] Brewers Association. Craft Beer Defined. Brewers Association website 2014: Dostupné na: <http://www.brewersassociation.org/statistics/craft-brewer-defined/>
- [3] British Beer and Pub Association. *Statistical Handbook*. London: BBPA, 2015.
- [4] CABRAS, Ignazio. Industrial and Provident Societies and Village Pubs: Exploring Community Cohesion in Rural Britain. *Environment and Planning A: Economy and Space* [online]. 2011, 43(10), 2419-2434 [cit. 2021-5-6]. ISSN 0308-518X. Dostupné z: doi:10.1068/a43586
- [5] CABRAS, I., J. CANDEULA, a R. RAESIDE. The Relation of Village and Rural Pubs With Community Life and Peoples Well-being in Great Britain. *German Journal of Agricultural Economics* 61, no. 4 (2012): 265–274. Dostupné na: <https://ageconsearch.umn.edu/record/199832/>
- [6] CABRAS, Ignazio a Gary BOSWORTH. Embedded models of rural entrepreneurship: The case of pubs in Cumbria, North West of England. *Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit* [online]. 2014, 29(6-7), 598-616 [cit. 2021-5-6]. ISSN 0269-0942. Dostupné z: doi:10.1177/0269094214544276
- [7] CABRAS, Ignazio a Matthew MOUNT. Economic Development, Entrepreneurial Embeddedness and Resilience: The Case of Pubs in Rural Ireland. *European Planning Studies* [online]. 2015, 24(2), 254-276 [cit. 2021-5-6]. ISSN 0965-4313. Dostupné z: doi:10.1080/09654313.2015.1074163
- [8] CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. Praha: Grada, 2007. Řemesla, tradice, technika. ISBN 978-80-247-1616-9.
- [9] DAMEROW, P. Sumerian Beer: The Origins of Brewing Technology in Ancient Mesopotamia. *Cuneiform Digital Library Journal* (2012): 1–20. Dostupné na: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.675.6626&rep=rep1&type=pdf>

- [10] DA SILVA LOPES, Teresa a Mark CASSON. Entrepreneurship and the Development of Global Brands. *Business History Review* [online]. 2007, 81(4), 651-680 [cit. 2021-5-6]. ISSN 0007-6805. Dostupné z: doi:10.2307/25097419
- [11] DECONINCK, Koen a Johan SWINNEN. Tied Houses: Why They Are So Common and Why Breweries Charge Them High Prices for Their Beer. CABRAS, Ignazio, David HIGGINS a David PREECE, ed. *Brewing, Beer and Pubs* [online]. London: Palgrave Macmillan UK, 2016, 2016, s. 231-246 [cit. 2021-5-6]. ISBN 978-1-349-69101-2. Dostupné z: doi:10.1057/9781137466181\_12
- [12] DUGUID, P. Developing the Brand: The Case of Alcohol, 1800–1880. *Enterprise and Society* 4, no. 3 (2003): 405–441. Dostupné na: [https://www.jstor.org/stable/23700408?read-now=1&seq=4#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/23700408?read-now=1&seq=4#page_scan_tab_contents)
- [13] DUGUID, P. 2005. Networks and Knowledge: The Beginning and End of the Port Commodity Chain, 1703–1860. *Business History Review* 79, no. 2 (2005): 493–526. Dostupné na: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1017/S0007680500081423>
- [14] GARAVAGLIA, Christian, Franco MALERBA, Luigi ORSENIGO a Michele PEZZONI. A Simulation Model of the Evolution of the Pharmaceutical Industry: A History-Friendly Model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* [online]. 2013, 16(4) [cit. 2021-5-6]. ISSN 1460-7425. Dostupné z: doi:10.18564/jasss.2314
- [15] GOURVISH, T. a R. WILSON. *The British brewing industry 1830-1980*. Cambridge: Cambridge University Press: 1994
- [16] HARDWICK, W. *Handbook of Brewing*. New York, NY: Marcel Dekker Inc., 1994. Dostupné na: [https://books.google.sk/books?hl=en&lr=&id=0os\\_gIvG\\_ccC&oi=fnd&pg=PR3&ots=W5rOjZ1Tpm&sig=xUgT8EGKz-ceJGOIeR11NoSDBQ0&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.sk/books?hl=en&lr=&id=0os_gIvG_ccC&oi=fnd&pg=PR3&ots=W5rOjZ1Tpm&sig=xUgT8EGKz-ceJGOIeR11NoSDBQ0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [17] HAWKINGS, K., and C. Pass. *The Brewing Industry*. London: Heinemann, 1979.
- [18] HIGGINS, D. M. a S. VERMA. The business of protection: Bass & Co. and trade mark defence, c. 1870–1914. *Accounting, Business & Financial History* [online]. 2009, 19(1), 1-19 [cit. 2021-5-6]. ISSN 0958-5206. Dostupné z: doi:10.1080/09585200802667097
- [19] HORNSEY, I. *A History of Beer and Brewing*. London: Royal Society of Chemistry, 2013. Dostupné na:

[https://books.google.sk/books?hl=en&lr=&id=QqnvNsgas20C&oi=fnd&pg=PR7&ots=b91TkK5RzO&sig=Wtu\\_nsGOHgYzE4ueC2LajFnizj0&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.sk/books?hl=en&lr=&id=QqnvNsgas20C&oi=fnd&pg=PR7&ots=b91TkK5RzO&sig=Wtu_nsGOHgYzE4ueC2LajFnizj0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

[20] JENNINGS, P. *The Local: A History of the English pub*. Stroud: Tempus, 2007.

[21] JOFFE, A. Alcohol and Social Complexity in Ancient Western Asia. *Current Anthropology* 39, no. 3 (1998): 297–322.

[22] OLŠOVSKÁ Jana, Pavel ČEJKA, Karel SIEGLER a Věra HONIGOVÁ. The Phenomenon of Czech Beer: a review. Research Institute of Brewing and Malting PLC, Prague, Czech Republic. [online]. 2014, Vol. 32, No. 4: 309-319. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: [https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/455\\_2013-CJFS.pdf](https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/455_2013-CJFS.pdf)

[23] KATZ, S., and M. VOIGT. Beer and Bread: The Early Use of Cereals in the Human Diet. *Expedition* 28 no. 2 (1986): 23–23. Dostupné na: <http://www.penn.museum/documents/publications/expedition/PDFs/28-2/Bread.pdf>

[24] REID Neil., *From Yellow Fizz to Big Bizz: American Craft Beer Comes of Age*. Focus on Geography. [online]. 2014, [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: [https://essayzilla.org/wp-content/uploads/2020/12/20190421184338craft\\_beer\\_1\\_.pdf](https://essayzilla.org/wp-content/uploads/2020/12/20190421184338craft_beer_1_.pdf)

[25] BAHL, Harish C., Jatinder N.D. GUPTA a Kenneth G. ELZINGA. A framework for a sustainable craft beer supply chain. *International Journal of Wine Business Research* [online]. 2021, ahead-of-print(ahead-of-print) [cit. 2021-5-6]. ISSN 1751-1062. Dostupné z: doi:10.1108/IJWBR-08-2020-0038

[26] BŘEZINOVÁ M, HAVELKA Z., BARTOŠ P. Marketing communication in beer industry in the Czech Republic with respect to minibreweries. *Kvasny prumysl*, 65, 2019, pp. 1-7, Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Monika-Brezinova/publication/332370524\\_Marketing\\_communication\\_in\\_beer\\_industry\\_in\\_the\\_Czech\\_Republic\\_with\\_respect\\_to\\_minibreweries/links/5cb049a4a6fdcc1d498e2d00/Marketing-communication-in-beer-industry-in-the-Czech-Republic-with-respect-to-minibreweries.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Monika-Brezinova/publication/332370524_Marketing_communication_in_beer_industry_in_the_Czech_Republic_with_respect_to_minibreweries/links/5cb049a4a6fdcc1d498e2d00/Marketing-communication-in-beer-industry-in-the-Czech-Republic-with-respect-to-minibreweries.pdf)

[27] BARTOSZ, Wojtyra a kol. Geography of craft breweries in Central Europe: Location factors and the spatial dependence effect. *Applied Geography*. Volume 124. 2020. ISSN 0143-6228. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102325>

[28] MAIER. T. Sources of Microbrewery Competitiveness in the Czech Republic. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*. Volume VIII. Faculty of Economics and

Management, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic.[online]. 2016, [cit. 7.5.2021]. Dostupné z: <https://ageconsearch.umn.edu/record/254029/>

[29] POELMANS E., SWINNEN, J.F.M. A brief economic history of beer. J.F.M. Swinnen (Ed.), *The economics of beer*, Oxford University Press, Oxford. [online]. 2011, [cit. 7.5.2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Johan-Swinnen/publication/268043355\\_A\\_Brief\\_Economic\\_History\\_of\\_Beer/links/54d9d8650cf2970e4e7cea79/A-Brief-Economic-History-of-Beer.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Johan-Swinnen/publication/268043355_A_Brief_Economic_History_of_Beer/links/54d9d8650cf2970e4e7cea79/A-Brief-Economic-History-of-Beer.pdf)

[30] HUCULAK, M. The spatial consequences of globalisation in the European brewing industry. *Prace geograficzne*, 114 (2004), pp. 23-35. Dostupné z: [https://pg.geo.uj.edu.pl/documents/3189230/4676037/2004\\_114\\_23-35.pdf](https://pg.geo.uj.edu.pl/documents/3189230/4676037/2004_114_23-35.pdf)

[31] Český Statistický Úřad. Časopis Statistika&My. Měsíčník Českého Statistického Úřadu 10/2020. Ročník 10. ISSN 1804-7149. Dostupné z: [https://www.statistikaamy.cz/wp-content/uploads/2020/10/10\\_2020\\_Statistika-a-M\\_web\\_Archiv.pdf](https://www.statistikaamy.cz/wp-content/uploads/2020/10/10_2020_Statistika-a-M_web_Archiv.pdf)

[32] Zákon č. 353/2003 Sb. – „Zákon o spotřebních daních“ [cit. 7.5.2021]. Dostupné z: <https://www.epi.sk/zzcr/2003-353>

[33] POKRIVČÁK, J., D. LANČARIČ, R. SAVOV a M. TÓTH. Craft Beer in Slovakia. *Economic Perspectives on Craft Beer*, 321–343. doi:10.1007/978-3-319-58235-1\_12

[34] Vyhláška č. 248/2018 Sb., Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí

[35] MASTANJEVIĆ, Kristina, Vinko KRSTANOVIĆ, Jasmina LUKINAC, Marko JUKIĆ, Mirela LUČAN a Krešimir MASTANJEVIĆ. Craft brewing – is it really about the sensory revolution? *KVASNY PRUMYSL* [online]. 2019, 65(1), 13-16 [cit. 2021-5-7]. ISSN 2570-8619. Dostupné z: doi:10.18832/kp2019.65.13

[36] ZDANIEWICZ, Marek, Aneta PATER, Olga HRABIA, Robert DULIŃSKI a Monika CIOCH-SKONECZNY. Tritordeum malt: An innovative raw material for beer production. *Journal of Cereal Science* [online]. 2020, 96 [cit. 2021-5-7]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcs.2020.103095

[37] HASÍK, Tomáš. *Svět piva a piva světa*. Praha: Grada, 2013. ISBN 9788024746487. Dostupné na: <https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=W0QEH0hQIG0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=suroviny+pro+v%C3%BDrobu+piva&ots=pAyUncSn4l&sig=rnwMHt6jYDpb8B5g9FPrT4>

Rzaqo&redir\_esc=y#v=onepage&q=suroviny%20pro%20v%C3%BDrobu%20piva&f=false

[38] SMART, Chris. The Craft Brewing Handbook: A Practical Guide to Running a Successful Craft Brewery. 2020. Elsevier. ISBN: 978-0-08-102090-6. Dostupné z: [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=uue9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=craft+brewing+in+czech+republic&ots=R2fO1T700Z&sig=G\\_s24EaUOrJX8VG3gv4syyPSy sk&redir\\_esc=y#v=onepage&q=craft%20brewing%20in%20czech%20republic&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=uue9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=craft+brewing+in+czech+republic&ots=R2fO1T700Z&sig=G_s24EaUOrJX8VG3gv4syyPSy sk&redir_esc=y#v=onepage&q=craft%20brewing%20in%20czech%20republic&f=false)

[39] FRANČÁKOVÁ, H. a kol. Hodnotenie poľnohospodárskych produktov. Druhé nezmenené vydanie. Nitra 2015. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Vydavateľstvo SPU.

[40] GUPTA, Mahesh, Nissreen ABU-GHANNAM a Eimear GALLAGHAR. Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety [online]. 2010, 9(3), 318-328 [cit. 2021-5-7]. ISSN 15414337. Dostupné z: doi:10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x

[41] GORDON, Russell, Aoife POWER, James CHAPMAN, Shaneel CHANDRA a Daniel COZZOLINO. A Review on the Source of Lipids and Their Interactions during Beer Fermentation that Affect Beer Quality. Fermentation [online]. 2018, 4(4) [cit. 2021-5-7]. ISSN 2311-5637. Dostupné z: doi:10.3390/fermentation4040089

[42] HORNSEY, Ian. Brewing: Edition 2, Royal Society of Chemistry [online]. 2015, 345 s. [cit. 2021-5-7]. ISBN: 9781782625612. Dostupné z: [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=MonpQW63TKcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=brewing&ots=IcR9MkHcFl&sig=vhXBT7Ro\\_jLNG59QgmzckH55YU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=poaceae&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=MonpQW63TKcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=brewing&ots=IcR9MkHcFl&sig=vhXBT7Ro_jLNG59QgmzckH55YU&redir_esc=y#v=onepage&q=poaceae&f=false)

[43] BOULTON, CH., Encyclopaedia of Brewing. 2013. John Wiley & Sons. [online]. 2013, [cit. 2021-5-7]. ISBN: 978-1-4051-6744-4. Dostupné z: [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=fctJLwKUzX4C&oi=fnd&pg=PT73&dq=brewing&ots=D-q-XV\\_zsw&sig=KihO4gh2eTJ2nIoNCrAZ\\_SD0qlE&redir\\_esc=y#v=onepage&q=glucan&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=fctJLwKUzX4C&oi=fnd&pg=PT73&dq=brewing&ots=D-q-XV_zsw&sig=KihO4gh2eTJ2nIoNCrAZ_SD0qlE&redir_esc=y#v=onepage&q=glucan&f=false)

- [44] MANTILA, U.H., Composition and structure of barley (*Hordeum vulgare* L.) grain in relation to end uses. Doctoral Programme in Plant Sciences, Faculty of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki. [online]. 2015, [cit. 2021-5-7]. ISBN 978-951-38-8219-8. Dostupné z: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153489/S78.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [45] BENEŠOVÁ, Karolína, Sylvie BĚLÁKOVÁ, Renata MIKULÍKOVÁ a Zdeněk SVOBODA. Activity of Proteolytic Enzymes During Malting and Brewing. *Kvasny Prumysl* [online]. 2017, 63(1), 2-7 [cit. 2021-03-13]. ISSN 00235830. Dostupné z: DOI: 10.18832/kp201701
- [46] COZZOLINO, D. a S. DEGNER. An overview on the role of lipids and fatty acids in barley grain and their products during beer brewing. *Food Research International* [online]. 2016, 81, 114-121 [cit. 2021-5-7]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2016.01.003
- [47] HARTMAN, I. a kol. Reakce odrůd sladovnického ječmene na pěstování v režimu nízkých vstupů („low – input“) a ekologickém režimu II. část Sladovnická kvalita. 2017. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s., Brno. Dostupné z: [https://www.vukrom.cz/userfiles/files/obilnarske\\_listy/2017/2017\\_3\\_4/90-93.pdf](https://www.vukrom.cz/userfiles/files/obilnarske_listy/2017/2017_3_4/90-93.pdf)
- [48] PSOTA, V. a K. KOSAŘ. Malting quality index. *Kvasny Prumysl* [online]. 2002, 48(6), 142-148 [cit. 2021-5-7]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2002011
- [49] DRÁB, Štefan, Vratislav PSOTA, Helena FRANČÁKOVÁ, Lenka SACHAMBULA, Jiří HARTMANN a Marián TOKÁR. The dependence of malt quality on the variety and year. *Kvasny Prumysl* [online]. 2013, 59(7-8), 181-189 [cit. 2021-5-7]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2013018
- [50] ULRYCH, Steven. *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Wiley-Blackwell. 2010, 656 s., [cit. 2021-03-13]. ISBN: 978-0-813-80123-0. Dostupné z: [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=13yCDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA478&dq=malting&ots=QfD-2kWMNT&sig=-WMsXsmOpCJ3RLRLu2K5ZdXb-PA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=malting&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=13yCDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA478&dq=malting&ots=QfD-2kWMNT&sig=-WMsXsmOpCJ3RLRLu2K5ZdXb-PA&redir_esc=y#v=onepage&q=malting&f=false)
- [51] BENKOVSKÁ, Dagmar, Dana FLODROVÁ, Vratislav PSOTA, Janette BOBÁĽOVÁ. Influence of the brewing process on the barley protein profile. *KVASNÝ PRŮMYSL*

[online], 2011; 57(7-8): 260-265 [cit. 2021-04-8]. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2011/07/15.pdf>

[52] FRANČÁKOVÁ, H., Ž. TÓTH, Sladovníctvo a pivovarníctvo. 3. nezmen. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2015. 141 s. ISBN: 978-80-552-1301-9

[53] OLŠOVSKÁ, Jana, Vanda BOŠTÍKOVÁ, Martin DUŠEK, et al. HUMULUS LUPULUS L. (HOPS) - A VALUABLE SOURCE OF COMPOUNDS WITH BIOACTIVE EFFECTS FOR FUTURE THERAPIES. Military Medical Science Letters [online]. 2016, 85(1), 19-30 [cit. 2021-5-7]. ISSN 03727025. Dostupné z: doi:10.31482/mmsl.2016.004

[54] ŠRÉDL, Karel, Marie PRÁŠILOVÁ, Roman SVOBODA, Lucie SEVEROVÁ. Hop production in the Czech Republic and its international aspects, Heliyon, Volume 6, Issue 7, 2020, ISSN 2405-8440, Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020312159>

[55] KROFTA, Karel, Josef PATZAK, Vladimír NESVADBA, Alexandr MIKYŠKA, Martin SLABÝ a Pavel ČEJKA. The Czech hop hybrid variety - Part I. Kvasny Prumysl [online]. 2013, 59(1), 2-13 [cit. 2021-03-21]. ISSN 00235830. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2013/01/01.pdf>

[56] MIKYŠKA Alexandr, Martin SLABÝ, Marie JURKOVÁ, Karel KROFTA, Josef PATZAK, Vladimír NESVADBA. Saaz Late – česká odrůda chmele doporučená pro České pivo. Kvasny Prumysl [online] 59, 2013, č. 10–11, s. 296–305 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2013/10/05.pdf>

[57] PALMER, J., How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Great Beer Every Time. Brewers Publications, 2017, 582 s., ISBN: 978-1-938469-35-0, Dostupné z: <https://tmbukz.ga/book.php?id=oAIIIDwAAQBAJ>

[58] BRIGGS, Dennis, E. BOULTON, Ch. A. BROOKES, P. A. STEVENS. 2004. Brewing Science and Practice. Woodhead Publishing. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBSP00001/brewing-science-practice/brewing-science-practice>

[59] NOVOTNÝ, Petr. Pivařka: tajemství domácího pivovarství. V Brně: Jota, 2017. Populárně naučná. ISBN 978-80-7565-108-2.

- [60] PREEDY, Victor. Beer in health and disease prevention. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2009. ISBN 978-0-12-373891-2. Dostupné na: [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=hBO3N5qLTEIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=beer+ingredients&ots=L85Wou\\_\\_ - A&sig=Exf4CMZQ76EAXIwFXazDm4jRS4M&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=hBO3N5qLTEIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=beer+ingredients&ots=L85Wou__ - A&sig=Exf4CMZQ76EAXIwFXazDm4jRS4M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [61] SCHÖNBERGER, C., & T. KOSTELECKY. 125th Anniversary Review: The Role of Hops in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 2011. 117(3), 259–267. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00471.x>
- [62] MAYE, John, Robert SMITH. Dry Hopping and Its Effects on the International Bitterness Unit Test and Beer Bitterness. *Technical Quarterly*, 2016. Vol. 53, no.3, pp. 134-136. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://glacierhopsranch.com/wp-content/uploads/2017/08/mbaa-dryhopbitter.pdf>
- [63] JELÍNEK, Lukáš, Jana MÜLLEROVÁ, Marcel KARABÍN a Pavel DOSTÁLEK. The secret of dry hopped beers - Review. *Kvasny Prumysl [online]*. 2018, 64(6), 287-296 [cit. 2021-03-25]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp201836
- [64] OLADOKUN, Olayide, Amparo TARREGA, Sue JAMES, Katherine SMART, Joanne HORT a David COOK. The impact of hop bitter acid and polyphenol profiles on the perceived bitterness of beer. *Food Chemistry [online]*. 2016, 205, 212-220 [cit. 2021-5-7]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2016.03.023
- [65] MIKYŠKA, Alexandr, Karel KROFTA, Danuša HAŠKOVÁ, Jiří ČULÍK a Pavel ČEJKA. Impact of Hop Pellets Storage On Beer Quality. *Kvasny Prumysl [online]*. 2012, č. 5, s. 148–154. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2012/05/03.pdf>
- [66] MEZEROVÁ, Michaela. *Pivo*. Praha: Sdružení českých spotřebitelů, z.ú., [2017]. Jak poznáme kvalitu? ISBN 978-80-87719-56-5.
- [67] PUNČOCHÁŘOVÁ, L., J. POŘÍZKA., P. DIVIŠ, & V. ŠTURSA. Study of the influence of brewing water on selected analytes in beer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2019, 13(1), 507–514. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <http://potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/1046/839>



- [68] KOPECKÁ, Jana, Dagmar MATOULKOVÁ a Miroslav NĚMEC. Surface characteristics and taxonomy of brewing yeasts. *Kvasny Prumysl* [online]. 2014, 60(7-8), 182-190 [cit. 2021-5-7]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2014018
- [69] HILL, Annie E.. (2015). *Brewing Microbiology - Managing Microbes, Ensuring Quality and Valorising Waste*. Elsevier. Dostupné z:  
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBMMMEQV1/brewing-microbiology/brewing-microbiology>
- [70] BAIANO, Antonietta. Craft beer: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2021, 20(2), 1829-1856 [cit. 2021-5-7]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12693
- [71] CANONICO, Laura, Alice AGARBATI, Francesca COMITINI a Maurizio CIANI. *Torulaspora delbrueckii* in the brewing process: A new approach to enhance bioflavour and to reduce ethanol content. *Food Microbiology* [online]. 2016, 56, 45-51 [cit. 2021-5-7]. ISSN 07400020. Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2015.12.005
- [72] KING, A a J DICKINSON. Biotransformation of hop aroma terpenoids by ale and lager yeasts. *FEMS Yeast Research* [online]. 2003, 3(1), 53-62 [cit. 2021-5-7]. ISSN 15671356. Dostupné z: doi:10.1016/S1567-1356(02)00141-1
- [73] TATARIDIS, P. a kol. Use of non-Saccharomyces *Torulaspora delbrueckii* yeast strains in winemaking and brewing *Zb. Matitse Srp. Prir. Nauke.*, 124 (2013), pp. 415-426
- [74] FRANČÁKOVÁ, Helena, Miriam LÍŠKOVÁ, Tatiana BOJŇANSKÁ a Ján MAREČEK. EFFECT OF MILLING SOFTNESS ON BASIC TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF WORT. *Potravinarstvo* [online]. 2011, 5(1), 39-42 [cit. 2021-03-29]. ISSN 1337-0960. Dostupné z: doi:10.5219/111
- [75] RODHOUSE, L., & F. CARBONERO. Overview of craft brewing specificities and potentially associated microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2017, 1–12 [cit. 2021-04-2]. Dostupné z: doi:10.1080/10408398.2017.1378616
- [76] TÓTH, Žigmund, Štefan DRÁB, Helena FRANČÁKOVÁ, Miriam LÍŠKOVÁ a Jana NÁVOJSKÁ. THE INFLUENCE OF FIRST WORT PART AND AFTERWORDS ON SACCHARIFICATION OF WORT. *Potravinarstvo* [online]. 2011, 5(1), 61-64 [cit. 2021-03-29]. ISSN 1337-0960. Dostupné z: doi:10.5219/114

- [77] MOUSIA, Z., BALKIN, R. C., PANDIELLA, S. S., & WEBB, C. The effect of milling parameters on starch hydrolysis of milled malt in the brewing process. *Process Biochemistry* [online]. 2004, 39(12), 2213–2219 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: doi:10.1016/j.procbio.2003.11.015
- [78] KRYL, P., GREGOR, T., LOS, J.: Comparison of analytical parameters of beer brewed in two different technological ways at two pub breweries. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.* [online], 2012, LX, No. 5, pp. 137–144 [cit. 2021-04-6]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/35ec/03b5235666adf1050ca10ff3987b10d4a19d.pdf>
- [79] ZHAO, H., & M. ZHAO. Effects of mashing on total phenolic contents and antioxidant activities of malts and worts. *International Journal of Food Science & Technology* [online]. 2011 47(2), 240–247 [cit. 2021-04-2]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02831.x
- [80] BRANDAM, C., X. MEYER, J. PROTH, P. STREHAIANO & H. PINGAUD. An original kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing. *Biochemical Engineering Journal* [online]. 2003, 13(1), 43–52 [cit. 2021-04-3]. Dostupné z: doi:10.1016/s1369-703x(02)00100-6
- [81] MACGREGOR, A. W., BAZIN, S. L., MACRI, L. J., & BABB, J. C. Modelling the Contribution of Alpha-Amylase, Beta-Amylase and Limit Dextrinase to Starch Degradation During Mashing. *Journal of Cereal Science* . [online], 1999, 29(2), 161–169 [cit. 2021-04-7]. Dostupné z: doi:10.1006/jcrs.1998.0233
- [82] GÉCZI, Gábor, Márk HORVÁTH, Štefan DRÁB, Žigmund TÓTH a László BENSE. Effect of malt milling for wort extract content. *Potravinarstvo* [online]. 2014, 8(1), 33-37 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1337-0960. Dostupné z: doi:10.5219/326
- [83] ENGE, JAN., Pavel ŠEMÍK, Josef KORBEL, Jiří ŠROGL, Miroslav SEKORA. Technological Aspects of Infusion and Decoction Mashing. *KVASNÝ PRŮMYSL* [online], roč. 51 / 2005 – číslo 5, 158 – 165 [cit. 2021-04-7]. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2005/05/01.pdf>
- [84] HENNEMANN, Martin, Martina GASTL a Thomas BECKER. Inhomogeneity in the lauter tun: a chromatographic view. *European Food Research and Technology* [online]. 2019, 245(3), 521-533 [cit. 2021-04-09]. ISSN 1438-2377. Dostupné z: doi:10.1007/s00217-018-03226-4

- [85] HOLTZ, C., D. KRAUSE, M. HUSSEIN, M. GASTL a T. BECKER. Lautering Performance Prediction from Malt by Combining Whole Near-Infrared Spectral Information with Lautering Process Evaluation as Reference Values. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* [online]. 2018, 72(3), 214-219 [cit. 2021-04-09]. ISSN 0361-0470. Dostupné z: doi:10.1094/ASBCJ-2014-0717-01
- [86] LI, Xiaomin, Fei GAO, Guolin CAI, et al. Purification and characterisation of arabinoxylan arabinofuranohydrolase I responsible for the filterability of barley malt. *Food Chemistry* [online]. 2015, 174, 286-290 [cit. 2021-04-09]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.024
- [87] LAITILA, Arja, Jenny MANNINEN, Outi PRIHA, Katherine SMART, Irina TSITKO a Sue JAMES. Characterisation of barley-associated bacteria and their impact on wort separation performance. *Journal of the Institute of Brewing* [online]. 2018, 124(4), 314-324 [cit. 2021-04-09]. ISSN 00469750. Dostupné z: doi:10.1002/jib.509
- [88] TIPPMANN, J., H. SCHEUREN, J. VOIGT a K. SOMMER. Procedural Investigations of the Lautering Process. *Chemical Engineering & Technology* [online]. 2010, 33(8), 1297-1302 [cit. 2021-04-10]. ISSN 09307516. Dostupné z: doi:10.1002/ceat.201000109
- [89] ŠEMÍK, Pavel, Miroslav SEKORA a Štěpán KOVANDA. Possibilities of Influence of Qualitative Parameters of Hopped Wort Prepared by Different Ways of Wort Boiling. *Kvasny Prumysl* [online]. 2003, 49(10), 296-303 [cit. 2021-04-12]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2003019
- [90] ČEPIČKA, J. a G. BASAŘOVÁ. Strategies of modern hop boiling. *Kvasny Prumysl* [online]. 1993, 39(3), 66-69 [cit. 2021-04-15]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp1993005
- [91] MIKYŠKA, Alexandr, Martin SLABÝ. Study of Energy-saving Wort Boiling Systems for Czech Beer Production. *KVASNÝ PRŮMYSL* [online], 61/2015, č. 2, 26-33 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2015/02/01.pdf>
- [92] KUCHARCZYK, Krzysztof a Tadeusz TUSZYŃSKI. The effect of wort aeration on fermentation, maturation and volatile components of beer produced on an industrial scale. *Journal of the Institute of Brewing* [online]. 2017, 123(1), 31-38 [cit. 2021-4-24]. ISSN 00469750. Dostupné z: doi:10.1002/jib.392

- [93] BASAŘOVÁ, G. Development of Theory and Practice in Fermentation and Secondary Fermentation of Beer. *Kvasny Prumysl* [online]. 2002, 48(3), 61-66 [cit. 2021-4-24]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2002006
- [94] BOULTON, CH., D. QUAIN. *Brewing yeast and fermentation*. Blackwell Science Ltd [online]. 2001, [cit. 2021-4-24]. ISBN 0-632-05475-1. Dostupné z: [https://www.academia.edu/6545837/Brewing\\_yeast\\_and\\_fermentation](https://www.academia.edu/6545837/Brewing_yeast_and_fermentation)
- [95] PARCUNEV, I. a kol. Modelling of alcohol fermentation in brewing—Some practical approaches, 26th European Conference on Modelling and Simulation, 2012, [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: [http://www.scs-europe.net/conf/ecms2012/ecms2012%20accepted%20papers/mct\\_ECMS\\_0032.pdf](http://www.scs-europe.net/conf/ecms2012/ecms2012%20accepted%20papers/mct_ECMS_0032.pdf)
- [96] BOULTON, C. Fermentation. *The Craft Brewing Handbook*, [online]. 2020, 111–152 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: doi:10.1016/b978-0-08-102079-1.00004-7
- [97] KOPECKÁ, Jana, Petra KUBIZNIAKOVÁ, Lukáš FIDRICH a Dagmar MATOULKOVÁ. Storage of Pitching Yeast in Brewery. *Kvasny Prumysl* [online]. 2017, 63(2), 52-56 [cit. 2021-4-25]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp201707
- [98] ŠEPELOVÁ, Gabriela, Mariana CVENGROŠCHOVÁ a Daniela ŠMOGROVIČOVÁ. Temperature Influence on Fermentation Speed and Organoleptic Beer Properties. *Kvasny Prumysl* [online]. 2004, 50(2), 41-42 [cit. 2021-4-30]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.1
- [99] ČEJKA, Pavel, Vladimír KELLNER, Jiří ČULÍK, Marie JURKOVÁ, Tomáš HORÁK a Martin RATKOŠ. Level and Impact of Metals in Kieselguhr. *Kvasny Prumysl* [online]. 2004, 50(4), 97-101 [cit. 2021-4-30]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2004007
- [100] VOBORSKÝ, J. Ways of Application of Perlites during Filtration of Beer. *Kvasny Prumysl* [online]. 1998, 44(12), 347-350 [cit. 2021-4-30]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp19980248832/kp2004003
- [101] WRAY, E. Common faults in beer. *The Craft Brewing Handbook* [online]. 2020, 217–246 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: doi:10.1016/b978-0-08-102079-1.00008-4
- [102] PRIEST, F. G., I. CAMPBELL, eds. *Brewing microbiology*. Essex, UK: Elsevier, 1987.
- [103] MATOULKOVÁ, Dagmar, Karel SIGLER a Miroslav NĚMEC. Effect of tetrahydroiso- $\alpha$ -acids on the growth of beer-spoiling and -nonspoiling bacteria. *Kvasny*

Prumysl [online]. 2010, 56(10), 396-403 [cit. 2021-5-1]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2010041

[104] NAVARRO, Simón, Gabriel PÉREZ, Ginés NAVARRO, Luis MENA a Nuria VELA. Influence of Fungicide Residues on the Primary Fermentation of Young Lager Beer. Journal of Agricultural and Food Chemistry [online]. 2007, 55(4), 1295-1300 [cit. 2021-5-1]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf062769m

[105] WANG, Jinjing, Nan SHEN, Hua YIN, Chunfeng LIU, Yongxian LI a Qi LI. Development of Industrial Brewing Yeast with Low Acetaldehyde Production and Improved Flavor Stability. Applied Biochemistry and Biotechnology [online]. 2013, 169(3), 1016-1025 [cit. 2021-5-1]. ISSN 0273-2289. Dostupné z: doi:10.1007/s12010-012-0077-y

[106] HORÁK, Tomáš, Jiří ČULÍK, Marie JURKOVÁ, Pavel ČEJKA a Vladimír KELLNER. Application of some modern sample preparation procedures for quantitative determination of vicinal diketones in beer. Kvasny Prumysl [online]. 2009, 55(3), 66-72 [cit. 2021-5-1]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2009007

[107] ADÁMEK, Martin, Anna ADÁMKOVA, Michal ŘEZNÍČEK a Lenka KOUŘIMSKÁ. The estimated possibilities of process monitoring in milk production by the simple thermodynamic sensors. Potravinárstvo [online]. 2016, 10(1), 643-648 [cit. 2021-5-8]. ISSN 1337-0960. Dostupné z: doi:10.5219/462

[108] ADÁMEK, Martin, Anna ADÁMKOVA, Michal ŘEZNÍČEK. The simple thermodynamic sensors for process monitoring in milk production. Electroscopie. [online]. 2010, č. 3 [cit. 2021-5-8]. ISSN 1802-4564. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/574/1/r4c3c1.pdf>

[109] ADÁMEK, Martin, Michal ŘEZNÍČEK. Nekonvenční aplikace technologie tlustých vrstev a jejich využití v senzorové technice (Termodynamické senzory). Laboratorní cvičení.

[110] PARK, Seo Yun, Yeonhoo KIM, Taehoon KIM, Tae Hoon EOM, Soo Young KIM a Ho Won JANG. Chemoresistive materials for electronic nose: Progress, perspectives, and challenges. InfoMat [online]. 2019, 1(3), 289-316 [cit. 2021-5-8]. ISSN 2567-3165. Dostupné z: doi:10.1002/inf2.12029

[111] ADÁMEK, Martin a kol. The E-nose for Orientation Screening in the Food Industry. Department of Microelectronics, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic.

- [112] ZHONG, Y. Electronic nose for food sensory evaluation. *Evaluation Technologies for Food Quality*, 7–22. Dostupné z: doi:10.1016/b978-0-12-814217-2.00002-0
- [113] PEARCE T.C, J.W. GARDNER, S. FRIEL, P.N. BARTLETT, N. BLAIR, Electronic nose for monitoring the flavour of beers, *Analyst* 118 (4) (1993) 371–377.
- [114] M. SIADAT a kol., Application of electronic nose to beer recognition using supervised artificial neural networks, in: *International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 3–5 Nov. 2014; 2014, 2014, pp. 640–645.
- [115] MEN H. a kol. Electronic nose sensors data feature mining: a synergetic strategy for the classification of beer, *Anal. Methods* 10 (17) (2018) 2016–2025.
- [116] KOŠIN, Petr, Jan ŠAVEL a Adam BROŽ. Vertical Refractometer for the Monitoring of Main Fermentation. *Kvasny Prumysl* [online]. 2016, **62**(3), 90-93 [cit. 2021-5-14]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2016014
- [117] ŠAVEL, Jan, Petr KOŠIN, Adam BROŽ a Karel SIGLER. Convenient Monitoring Of Brewery Fermentation Course By Refractometry. *Kvasny Prumysl* [online]. 2009, **55**(4), 94-99 [cit. 2021-5-14]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2009009

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

n. l.	nášho letopočtu
p. n. l.	pred naším letopočtom
mil.	milión
EÚ	Európska únia
č.	číslo
Sb.	Sbírka zákonů
%	per cento
μm	mikrometer
kDa	kilodalton
pH	kyslosť
ÚSJ	ukazovatele sladovnícké jakosti
°C	stupeň Celzia
IBU	International Bitterness Units
EBU	European Bitterness Units
BU	Bitterness Units
mg/l	miligram na liter
ppm	parts per milion
nm	nanometer
~	približne
min.	miligram
CIP	Cleaning in Place
TBF	číslo kyseliny thiobarbiturovej
DMS	dimethylsulfid
°P	Plato stupeň
TDS	termodynamický senzor

---

l	liter
g	gram
kg	kilogram
dl	deciliter
PCA	Principal Component Analysis
OA	Operation amplifier
$V_{out}$	výstup
$V_s$	zdroj napätia
P	regulovateľný odpor
Pt1 a Pt2	teplotné čidlá



**ZOZNAM OBRÁZKOV**

Obrázok 1 Scéna z hrobky Ti zachytáva pečenie chleba a varenie piva. Postup začína v ľavom dolnom rohu a postupne pokračuje do pravého horného rohu, od merania zrn až po plnenie a uzatváranie nádob na pivo.....	12
Obrázok 2 Prierez zrna jačmeňa.....	20
Obrázok 3 Mapa oblastí pestovania chmeľu v Českej republike.....	32
Obrázok 4 Chmeľová hlávka.....	34
Obrázok 5 Lupulínové žľazy na spodku listeňov.....	34
Obrázok 6 Rez chmeľovou hlávkou.....	35
Obrázok 7 Hlavné črty typickej kvasinkovej bunky.....	43
Obrázok 8 Proces výroby piva.....	45
Obrázok 9 Demonštrácia princípu TDS.....	64
Obrázok 10 Suroviny na výrobu sladiny (kvasinky, maltóza).....	68
Obrázok 11 Aparatúra: a) Napájací zdroj BK 127, b) Meriací prístroj ALMEMO 2390-5, c) Experimentálny meriaci prípravok s potenciometrom pre nastavenie rovnováhy.....	69
Obrázok 12 Možnosti konfigurácie zapojenia TDS.....	70
Obrázok 13 Schéma jednoduchého experimentálneho e-nosa.....	71
Obrázok 14 Praktická realizácia experimentu: a) TDS, b) nádoba, kde prebiehala fermentácia, c) nádoba s použitým tienením.....	73
Obrázok 15 Zaznamenávanie výsledných hodnôt merania.....	74
Obrázok 16 Graf 1. merania s TDS.....	75
Obrázok 17 Graf 2. merania s TDS.....	75
Obrázok 18 Graf PCA analýzy vybraných pív.....	76
Obrázok 19 Zariadenie ISpindle.....	78
Obrázok 20 Monitoring kvasného procesu pomocou ISpindle.....	79

**ZOZNAM TABULIEK**

Tabuľka 1 hodnotenie stanovenie parametrov pre ÚSJ.....	27
Tabuľka 2 Klasifikácia rodu Saccharomyces.....	40