

# Vliv obalového materiálu na stárnutí piva

Bc. Iveta Černošková

---

Diplomová práce  
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie potravin  
akademický rok: 2017/2018

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Iveta Černošková**  
Osobní číslo: **T16162**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv obalového materiálu na stárnutí piva**

Zásady pro vypracování:

### **I. Teoretická část**

- 1. Organoleptické vlastnosti piva**
- 2. Látky ovlivňující charakter piva při jeho stárnutí**
- 3. Vnější vlivy ovlivňující stárnutí piva**
- 4. Materiály používané pro výrobu obalů**
- 5. Typy obalů pro úchovu piva**

### **II. Praktická část**

- 1. Měření čirosti a barvy spektrofotometrickými metodami v průběhu stárnutí piva v různých typech obalů**
- 2. Měření oxidu uhličitého v průběhu stárnutí piva v různých typech obalů**
- 3. Měření pěnivosti v průběhu stárnutí piva v různých typech obalů**
- 4. Senzorické hodnocení piva v průběhu jeho stárnutí v různých typech obalů**
- 5. Vyhodnocení výsledků, diskuze a formulace závěru**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] **BASAŘOVÁ, G., J. ŠAVEL, P. BASAŘ a T. LEJSEK.** Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva. Praha: Nakladatelství VŠCHT, 2010, ISBN 978-80-7080-734-7
- [2] **KOSAŘ, K., S. PROCHÁZKA.** Technologie výroby sladu a piva. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000, 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [3] **ČEJKA P., D. HAŠKOVÁ.** Kvasný průmysl. Studium změn při stárnutí piva. Praha.roč. 39. 1993. s. 292-299. ISSN: 0023-5830.
- [4] **NÁDASKÝ P., D. ŠMOGROVIČOVÁ.** Chemické listy. Senzorická stabilita piva. Praha. 2010. s. 838-845. ISSN: 1213-7103.
- [5] **VANDERHAEGEN, B., H. NEVEN, H. VERACHTERT a G. DERDENLINCKX.** The chemistry of beer aging a critical review. Food Chemistry. 2006, roč. 95, s. 357-381. ISSN: 0308-8146.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Eva Lorencová, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

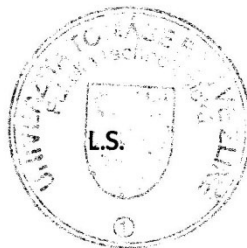
**2. února 2018**

Termín odevzdání diplomové práce:

**25. dubna 2018**

Ve Zlíně dne 2. února 2018

doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Černošková Iveta

Obor: TP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 20. 4. 2018



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

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

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

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

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

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

<sup>31</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá stabilitou fyzikálně-chemických a organoleptických vlastností piva, která je závislá na typu použitého obalového materiálu. Organoleptickými znaky piva se rozumí říz, barva, čírost, pěnovost a chuť piva. Ty jsou přímo ovlivněny použitými vstupními surovinami (voda, slad, chmel a kvasinky), stabilizací piva, druhem obalu, způsobem (teplota prostředí, přístup světla, manipulace s produktem) a délkou skladování.

Byly sledovány vybrané fyzikálně-chemické parametry (koncentrace  $\text{CO}_2$ , čírost, pěnovost) u světlého piva s 11 % ( $\text{w.w}^{-1}$ ) extraktu původní mladiny ve čtyřech typech obalů (skleněná láhev, plechovka, PET láhev a KEG sud) po dobu 12 měsíců při  $25 \pm 2$  °C. Sledování změn parametrů vzorku piva bylo doplněno o senzoricou analýzu 12 odborných hodnotitelů. Největší změny byly pozorovány v rámci stanovení  $\text{CO}_2$ , barvy a čírosti. Obalem zajišťujícím nejvyšší stabilitu piva po dobu skladování byl plechovkový obal. Naopak jako nejméně vhodný se projevil PET obal.

Stabilita organoleptických vlastností během skladování je významná jak pro výrobce, tak pro spotřebitele. Je tedy důležité zvolit správný obal, který pomůže zajistit minimální změny organoleptických vlastností, aby bylo pivo dobře prodejné a konzumentům chutnalo i po delší době skladování.

Klíčová slova: pivo, obal, organoleptické vlastnosti, senzoricá stabilita

## ABSTRACT

This diploma thesis deals with the stability of physicochemical parameters and organoleptic properties of beer, which are in dependence with the type of the used packaging material. The organoleptic characteristics of beer are sharpness, color, purity, foaming and flavour. These are directly influenced by the raw materials (water, malt, hops and yeast), beer stabilization, type of packaging materials, the storage conditions (ambient temperature, light access, product handling) and shelf life.

The examined physicochemical parameters ( $\text{CO}_2$  concentration, clarity, foaming properties) of beer with 11% ( $\text{w.w}^{-1}$ ) of the original wort extract in four types of packaging materials (glass bottle, can, PET bottle and KEG drum) were monitored for a period of 12 months (at  $25 \pm 2$  °C). The observation of changes in beer samples was supplemented by sensory analysis of 12 professional evaluators. The more intensive changes in the tested samples were observed in the determination of  $\text{CO}_2$ , color and clarity. The packaging material providing the highest stability of beer for storage was evaluated the tin can. On the contrary, the PET packaging was the least appropriate.

The stability of organoleptic properties during the storage is important for both, manufacturers and consumers. Therefore, it is important to choose the right packaging material in order to ensure minimal changes in the organoleptic properties, to make the beer well-sold to consumers and to taste after a longer storage period.

Keywords: beer, packaging, organoleptic properties, sensory stability

Ráda bych tímto poděkovala Ing. Evě Lorencové, Ph.D., která mi velmi pomohla při zpracování této diplomové práce, děkuji za rady, ochotu, trpělivost a povzbuzení. Dále bych chtěla poděkovat vedení pivovaru Zubr a.s., za umožnění vypracování této diplomové práce v rámci výroby a skupině hodnotitelů, z řad zaměstnanců pivovaru, za pomoc při senzorických hodnocení. Také velmi děkuji rodině a přátelům za podporu nejen při tvorbě této práce.

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



**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>13</b>
<b>1 ORGANOLEPTICKÉ VLASTNOSTI PIVA.....</b>	<b>14</b>
1.1 BARVA PIVA .....	14
1.2 ČIROST PIVA .....	15
1.2.1 Prekurzory zákalu piva – polyfenoly .....	17
1.2.2 Prekurzory zákalu piva – bílkoviny .....	17
1.3 CHUŤ A VŮNĚ PIVA .....	17
1.3.1 Hořká chuť .....	18
$\alpha$ -hořké kyseliny .....	18
$\beta$ -hořké kyseliny .....	19
1.4 ŘÍZ PIVA – MNOŽSTVÍ OXIDU UHLIČITÉHO .....	19
1.5 PĚNIVOST PIVA .....	20
1.5.1 Fyzikální vlastnosti pěny.....	20
1.5.2 Tvorba a stabilita pěny .....	21
<b>2 LÁTKY OVLIVŇUJÍCÍ CHARAKTER PIVA PŘI JEHO STÁRNUTÍ .....</b>	<b>22</b>
2.1 LÁTKY OVLIVŇUJÍCÍ BARVU PIVA .....	23
2.1.1 Reakce podílející se na změně barvy piva .....	24
2.2 LÁTKY OVLIVŇUJÍCÍ CHUŤ A VŮNI PIVA.....	24
2.2.1 Reakce podílející se na změně chuti piva .....	25
2.3 LÁTKY OVLIVŇUJÍCÍ ČIROST PIVA.....	29
2.3.1 Trvalý zákal.....	29
2.3.2 Chladový zákal.....	30
2.3.3 Způsoby stabilizace .....	31
<b>3 VNĚJŠÍ VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ STÁRNUTÍ PIVA.....</b>	<b>33</b>
3.1 VLIV TEPLoty .....	33
3.2 VLIV VZDUCHU - KYSLÍKU.....	35
3.3 PŮSOBENÍ SVĚTLA .....	37
<b>4 TYPY OBALŮ NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ PRO BALENÍ PIVA A JEJICH MATERIÁLY .....</b>	<b>38</b>
4.1 OBAL POTRAVIN.....	38
4.2 TYPY OBALŮ PRO ÚCHOVU PIVA .....	39
4.2.1 Skleněné láhve .....	39
4.2.2 PET láhve .....	40
4.2.3 Plechovky .....	41
4.2.4 Výčepní obaly - sudy .....	42
4.3 MATERIÁLY PRO VÝROBU OBALŮ.....	43
4.3.1 Sklo .....	43
4.3.2 Kovy.....	44

4.3.3	Hliník.....	45
4.3.4	Ocel .....	45
4.3.5	Cín a Chrom .....	46
4.3.6	Plasty .....	46
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>METODIKA .....</b>	<b>50</b>
6.1	POPIS ANALYZOVANÉHO VZORKU .....	50
6.1.1	Skleněná láhev .....	50
6.1.2	Plechovka .....	51
6.1.3	PET láhev .....	51
6.1.4	KEG sud.....	51
6.2	STANOVENÍ KONTROLNÍCH PARAMETRŮ PŘED STOČENÍM PIVA DO OBALŮ .....	52
6.2.1	Stanovení polyfenolů po stabilizaci piva .....	52
6.2.2	Stanovení sušiny PVPP .....	52
6.2.3	Stanovení obsahu O <sub>2</sub> a CO <sub>2</sub> v přetlačných tancích .....	53
6.3	STANOVENÍ OBSAHU OXIDU UHLÍČITÉHO V RŮZNÝCH TYPECH OBALŮ FYZIKÁLNÍ METODOU .....	53
6.4	STANOVENÍ BARVY PIVA V RŮZNÝCH TYPECH OBALŮ SPEKTROFOTOMETRICKOU METODOU .....	54
6.5	STANOVENÍ ČIROSTI PIVA V RŮZNÝCH TYPECH OBALŮ SPEKTROFOTOMETRICKOU METODOU .....	55
6.6	STANOVENÍ PĚNIVOSTI PIVA V RŮZNÝCH TYPECH OBALŮ FYZIKÁLNÍ METODOU .....	55
6.7	SENZORICKÉ HODNOCENÍ PIVA V RŮZNÝCH TYPECH OBALŮ V PRŮBĚHU STÁRNUTÍ .....	56
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>58</b>
7.1	VÝSLEDKY FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÝCH PARAMETRŮ PIVA.....	59
7.2	VÝSLEDKY SENZORICKÉ ANALÝZY PIVA .....	70
<b>8</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>73</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>85</b>

## ÚVOD

Předmětem této diplomové práce bylo zkoumání vlivu obalového materiálu na organoleptické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou charakteristikami, které je možno hodnotit lidskými smysly. Při hodnocení piva se jedná hlavně o barvu, chuť, čirost a pěnivost.

Barva piva pochází hlavně ze sladu, ale také chmele, kdy látky v nich obsažené reagují při vaření piva a tvoří typickou zlatavou barvu. Chmel je zásadní pro tvorbu chuti, kdy dodává pivu jeho typickou hořkou chuť a charakteristickou vůni.

Čirost piva je ovlivňována látkami zvanými polyfenoly, které jsou obsaženy v obou hlavních surovinách, ve sladu i chmelu. Jejich reakcí s bílkovinami dochází k tvorbě koloidního zákalu, čímž negativně ovlivňují čirost, která je pro spotřebitele důležitým znakem čerstvosti piva. Proto dochází při konečných úpravách piva ke snižování jejich obsahu tzv. stabilizací. Pro stabilizaci jsou využívány stabilizační prostředky, které svými schopnostmi dokáží vázat polyfenoly a snižují jejich obsah na požadovanou koncentraci.

Pěnivost piva je jedním z prvních znaků, které konzument vnímá. Pěknou a stabilní pěnu zákazník hodnotí ihned při podávání, a proto je pěnivost důležitým organoleptickým znakem. Na tvorbě pěny se podílí bílkoviny, které pocházejí ze sladu a nejen pro tento organoleptický znak je důležitá kvalita výrobních surovin.

Říz piva je charakterizován jako příjemný perlivý pocit v ústech. Ten je způsoben přítomností oxidu uhličitého, který vzniká při hlavní výrobní části, procesu kvašení. Oxid uhličitý je produktem metabolismu pivovarských kvasinek, které zpracovávají jednoduché sacharidy na ethanol a právě oxid uhličitý. Jeho obsah je dotvářen také při ležení piva v ležáckém sklepě, kde dochází k celkovému dotvoření charakteristických chutí a vůni piva.

Pro zachování těchto organoleptických vlastností je důležité vhodné zvolení obalového materiálu. Ten by měl zaručit zachování všech požadovaných znaků po celou dobu skladování, kdy je produkt dostupný na trhu. Od zvoleného obalu jsou očekávány dobré bariérové vlastnosti, které zachovají obsah oxidu uhličitého a zároveň zabrání vstupu jiných plynů, zejména kyslíku dovnitř obalu. Migrací těchto komponent pak dochází k výrazným fyzikálně-chemickým a organoleptickým změnám, způsobeným množstvím reakcí, které následně ovlivňují sensorický profil piva. Obaly, které se využívají v pivovarnictví, jsou skleněná láhev, plechovka, PET láhev a KEG sud. Každý z těchto typů obalů je vyroben z odlišných materiálů, které různě interagují s uskladněným produktem. Předmětem expe-

rimentu, který představoval praktickou část této diplomové práce, bylo sledování vlivů různých typů obalu na stárnutí piva během skladovacího pokusu. V průběhu jednoho roku byly sledovány změny fyzikálně-chemických a sensorických ukazatelů indikující změny výrobku (stárnutí) ve čtyřech různých obalech. Tento experiment byl výjimečný díky komplexnímu monitoringu vlivu nejběžněji používaných obalů, kdy sledování probíhalo dlouhodobě. Tento typ sledování nebyl dosud publikován v žádné dostupné literatuře.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ORGANOLEPTICKÉ VLASTNOSTI PIVA

Pivo je nízkoalkoholický nápoj, který je vyráběn procesem kvašení. Pro jeho výrobu jsou charakteristické čtyři základní suroviny a to voda, slad, chmel a pivovarské kvasinky. Tento nápoj je celosvětově rozšířen a v závislosti na zemi či oblasti, kde je konzumován, se liší svojí chutí, vzhledem i způsobem podávání [1, 2].

Organoleptické vlastnosti jsou takové vlastnosti, které konzument vnímá svými smysly. U hodnocení piva se jedná zejména o barvu, chuť, vůni, říz, průzračnost neboli jas a pěnivost. Tyto parametry jsou tvořeny a ovlivňovány použitými surovinami pro výrobu piva, kterými jsou slad, chmel, voda a kvasinky [1, 4, 10, 15, 17].

Slad je hlavní surovinou, která se podílí na tvorbě barvy a chuti a jeho složky se výrazně podílí na chuťových i barevných změnách při stárnutí piva. Chmel je hlavní složkou, která se podílí na chuti piva, kdy dodává typickou hořkost a aroma. I použitá voda a kmen kvasinek dotváří celkový sensorický charakter piva [15].

Organoleptické vlastnosti jsou hlavním ukazatelem pro spotřebitele ve vnímání čerstvosti produktu. Odlišnost těchto parametrů od doby stočení piva naznačuje změnu charakteru piva, které se po dobu úchovy neustále mění takřka okamžitě po nadávkování piva do obalu [1, 6, 17].

Tak dochází téměř okamžitě ke zhoršování kvality, kdy se tento proces označuje jako stárnutí. Stárnutím dochází k výrazným změnám ve znacích kvality, které jsou spotřebitelsky velmi významné pro konzumaci piva [1, 4, 6, 10].

### 1.1 Barva piva

Barvu piva je možno posuzovat jak subjektivně, lidskými smysly tak objektivně, použitím měřících analytických přístrojů. Je jedním z nejdůležitějších parametrů, kterým je možno posuzovat kvalitu piva [2]. Různá piva se liší typickými barvami, které jsou pro ně charakteristická. Podle typu piva je možná barva od světle zlatavé, přes světle hnědé až po tmavě hnědé až černé tóny [1, 3, 12]. Výsledná barva je nejvíce ovlivněna použitými surovinami, zejména sladem. Nejen typ surovin, ale také výrobní proces a technologie mají svůj vliv na výsledném vzhledu produktu [1, 4].

Při výrobě se na barevném charakteru piva podílí z největší části použitá technologická teplota, při které dochází jak ke karamelizaci sacharidů, tak k oxidačním reakcím, které z velké části ovlivňují konečnou barvu piva [1, 3].

Při technologickém procesu výroby piva mají na jeho zbarvení značný vliv Maillardovy reakce. Jsou to reakce, které jsou založeny na reakci redukujících sacharidů s aminoskupinami aminokyselin, peptidů a dalších sloučenin [11, 16]. Tyto reakce jsou nejčetnější při rmutování a při varném procesu [6, 7]. Látky, které vznikají z těchto reakcí a ovlivňují barvu piva, jsou nazývány melanoidiny. Ty vznikají nejen Maillardovými reakcemi sacharidů, ale také vlivem tepla a oxidací polyfenolů, anthokyanogenů a flavonoidních látek [6, 7, 11, 16].

Další reakcí, která přispívá k tvorbě barvy je karamelizace sacharidů vlivem tepla při technologickém zpracování, často za katalytického působení amino-sloučenin [1, 11, 16].

Významnou reakcí ovlivňující barvu piva je oxidace výše zmíněných polyfenolů a anthokyanogenů, které reagují s dusitany. Tím vznikají barvy s výrazným posunem do červena [11].

Další reakcí polyfenolů, která ovlivňuje zbarvení piva je enzymová a neenzymová oxidace. Tato reakce nejčastěji probíhá u katechinu, který je velmi dobře měřitelný při 430 nm, kdy má své maximum [7].

Při subjektivním posuzování dochází k porovnávání barvy například podle barevné škály standardů. Pro objektivní posuzování se používá spektrofotometrické metody měření, kdy jsou hodnoty vyjadřovány v jednotkách EBC (European Brewery Convention). Vzorky jsou měřeny v jednocentimetrové kyvetě při vlnové délce 430 nm [1, 11].

Vlivem stárnutí dochází k intenzivním barevným změnám kdy, zlatavá barva postupně přechází do červených až hnědých tónů. Na těchto změnách se nejvíce podílí oxidační reakce probíhající v pivu během stárnutí [5, 16].

## 1.2 Čiřost piva

Čiřost piva je pro konzumenta druhá rozhodující vlastnost, která poukazuje jak kvalitu produktu. Změna tohoto parametru dokazuje, že má pivo omezenou trvanlivost. Tato změna udává koloidní stabilitu [1,10, 21].

Po dobu minimální trvanlivosti, kterou výrobce deklaruje, spotřebitel vyžaduje, aby bylo pivo čiré, jasné a jiskrné. Tyto vlastnosti dokazují čerstvost piva [10, 21].

Čiřost piva vyjadřuje jas či jeho průzračnost. Subjektivním hodnocením je sledována jiskra piva. Pro hodnocení objektivní je využíváno zákalometrických (nefelometrických) přístrojů. Měření je prováděno průnikem světelných paprsků kyvetou ve dvou různých úhlech [1, 2, 10].

Čiřost piva je ovlivňována tvorbou nebiologických zákalů, které vznikají reakcí polyfenolů s bílkovinami přirozeně se vyskytujícími v pivu. V průběhu stárnutí dochází ke zvyšující se tvorbě těchto zákalů a tím ke zvyšování hodnot zákalu [1, 21].

Zabráněním vzniku nebiologických zákalů se podporuje koloidní stabilita, což je rovnováha mezi obsaženými bílkovinami a polyfenoly, které tvoří složité komplexy a ty se z piva odstraňují během filtrace. Tyto látky jsou obsaženy ve vstupních surovinách, ve sladu a chmelu. Použitím specifických surovin je možno ovlivnit tvorbu zákalu [5, 21].

Stabilita produktu je ovlivněna koncentrací látek, které spolu reagují (polyfenoly, bílkoviny, kyslík, kovy, atd.) a také dostatečnou stabilizací a manipulací s produktem. Je důležité dodržovat teplotu skladování, zabránit přístupu světla a zabránit hrubé manipulaci s produktem [10, 12, 21].

Rozlišujeme tři typy zákalů. Biologický souvisí s mikrobiologickou kontaminací, která je ovlivněna čistotou provozu [1, 2, 12].

Technologicky ovlivnitelný je vznik chladového zákalu. Ten vzniká při teplotách pod 4°C. Tento typ zákalu je však reverzibilní. Ke zpětnému rozpuštění dochází zahřevem na pokojovou teplotu okolí. Chladové zákalů vznikají nejčastěji při přepravě [1, 10, 16].

Polymerací polyfenolů, která může být způsobena oxidačními procesy za nízkých teplot, dochází ke křížovým vodíkovým vazbám, které jsou tvořeny mezi bílkovinami a polyfenoly. Takto vzniklý chladový zákal se může v průběhu skladování změnit v trvalý [16].

Nejvýraznější typ zákalu je právě tvorba komplexu polyfenolů s bílkovinami. K této tvorbě přispívá působení kyslíku, tepla a světla. Tento typ zákalu nejvíce ovlivňuje trvanlivost piva z pohledu zákazníka, protože takovýto zákal je trvalý a s dobou stárnutí je opál na pohled nejvíce patrný [1, 10, 16, 21].



### 1.2.1 Prekurzory zákalu piva – polyfenoly

Polyfenoly jsou látky, které jsou v největší míře obsaženy ve sladu, jedná se o 70 až 80 % přítomných v pivu, do kterého se dostávají hlavně při vystírání a při rmutování. Další část polyfenolů obsažená v pivu pochází z chmele. Ta přechází do piva v průběhu chmelovaru. Svými chemickými vlastnostmi výrazně ovlivňují koloidní, ale i senzorickou stabilitu piva [5, 10, 17].

Pozitivními vlastnostmi jsou antioxidační vlastnosti, které do jisté míry přirozeně chrání pivo před oxidací. Negativní vlastností je vysoká schopnost vázat se s bílkovinami, se kterými tvoří nerozpustné komplexy a tím tvoří v pivu zákal [2, 10, 17].

Polyfenoly se dělí na jednoduché a složené a ty se dělí do jednotlivých podskupin. Mezi jednoduché patří velmi významné flavonoidy. Ty se velkou měrou podílí na mnoha reakcích ovlivňujících celkový senzorický profil piva. K důležitým složeným polyfenolům se řadí glykosidické estery a glykosidy [1, 10].

### 1.2.2 Prekurzory zákalu piva – bílkoviny

Bílkoviny jsou hlavním původcem tvorby koloidního zákalu. Za vhodných podmínek jako je teplota a pH tvoří pomocí vodíkových můstků a hydrofóbních skupin komplexy s polyfenoly. Po dosažení dostatečné velikosti dochází k tvorbě viditelného zákalu, který může vznikat již při malém množství bílkovin [5, 10].

Obsah bílkovin ve sladu je nejčastěji v rozmezí 10 až 11,5 %. Vyskytují se ve formě albuminu, glutelinu, globulinu a prolaminu [1, 2, 10].

## 1.3 Chut' a vůně piva

Pivo je nápoj, který obsahuje široké spektrum látek, které se samostatně či v kombinaci projevují v chuti a vůni piva. Dle studií je v pivu více než 800 aktivních sloučenin, které tvoří komplexní aroma piva. Kombinací těchto látek může pivo vykazovat různé druhy chutí a vůní, jako například ovocné, sladové, chmelové a jiné. Nejvýraznější chutí piva je hořká chuť, která je pro tento produkt typická a žádaná. [1, 16, 18].

Tyto chutě a vůně přechází do piva při vaření sladiny, chmelovaru ale také při kvašení mladiny a ležení piva v ležáckém sklepě. Všechny tyto operace přispívají ke komplexní chuti a vůni piva [5, 18, 21].

### 1.3.1 Hořká chuť

Hořká chuť, typická pro tento nápoj pochází z chmele otáčivého, rostliny *Humulus lupulus* L. Konkrétně z květů samičí rostliny. Ty obsahují chmelové pryskyřice a chmelové kyseliny [1, 19].

Chmelové pryskyřice jsou významné z hlediska intenzity hořkosti. Na hořké chuti se podílejí  $\alpha$ -hořké kyseliny a  $\beta$ -hořké kyseliny. Nejdůležitější jsou  $\alpha$ -hořké kyseliny, které mohou být obsaženy v chmelu v množství 2-15 % w/w. Obsah těchto kyselin se liší dle odrůdy a je závislý na geografických a agrotechnických podmínkách [1, 2, 5, 19].

#### *$\alpha$ -hořké kyseliny*

$\alpha$ -hořké kyseliny se vyskytují v podobě pěti analogů a to jako kohumulon, humulon, adhumulon, prehumulon a posthumulon, které se liší postranním řetězcem [12, 19]. Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí závisí na odrůdě chmele [1, 5, 19].

Při technologickém procesu vaření dochází k důležité chemické přeměně, a to k izomerizaci  $\alpha$ -hořkých kyselin na izo- $\alpha$ -hořké kyseliny. Ty jsou mnohem výrazněji hořké než  $\alpha$ -hořké kyseliny a tím se podílí největší mírou na celkovém charakteru hořkosti piva [1, 5, 12].

Tyto kyseliny navíc velmi přispívají ke stabilitě pивní pěny, přitom každý izomer přispívá ke stabilitě pěny specifickým způsobem [1].

Izo- $\alpha$ -hořké kyseliny přispívají k mikrobiologické stabilitě piva a také mají příznivý zdravotní vliv na zdraví spotřebitele [12, 19].

Tyto kyseliny se v pивu vyskytují v koncentracích 15 až 100 mg.l<sup>-1</sup>. Jejich senzorická detekční prahová hodnota se pohybuje kolem 5 mg.l<sup>-1</sup>. Svým obsahem se podílí na 80 % hořké chuti piva [12, 18, 19].

Izo- $\alpha$ -hořké kyseliny se v pивu vyskytují v polohových izomerech cis a trans, přičemž po uvaření piva převládají izomery trans. Avšak v průběhu času jsou cis izomery stabilnější než trans izomery. Tato změna ovlivňuje chuť a její stabilitu. Směs izomerů cis/trans vykazuje vyšší vnímání hořkosti, než při výskytu jednotlivých izomerů, i když cis izomery jsou samy o sobě více hořké než trans izomery [1, 12, 19].

V průběhu stárnutí jsou izo- $\alpha$ -hořké kyseliny významným činitelem, který způsobuje změny chuti piva [1, 2, 5].

### ***$\beta$ -hořké kyseliny***

Tento typ kyselin se v chmelu vyskytuje také ve formě pěti analogů. Jedná se o lupulon, adlupulon, kolupulon, prelupulon a postlupulon. Jejich obsah v chmelové hlávce je také velmi výrazný, avšak z pivovarského hlediska jsou méně významné [1, 12, 19].

Na charakteru hořkosti mají menší vliv jejich izomery, které vznikají při varném procesu. Vynikají nahořklou chutí a slabou esterovou vůní [1, 12, 19].

Na vytvoření celkového chuťového profilu piva se podílí velké množství látek, které se projevují jako chuťové a vonné látky. Jako chuťové se vyznačují zejména netěkavé sloučeniny, jako jsou aminokyseliny, produkty Maillardových reakcí a produkty reakcí sacharidů a hořkých látek [3, 5].

Vonné látky jsou zastoupeny těkavými složkami, mezi které patří alkoholy, karboxylové kyseliny, nenasycené mastné kyseliny, estery, aminy, fenoly a další [1, 4].

Tyto látky vyskytující se v čerstvém pivu vznikají již v průběhu vaření a v průběhu stárnutí mezi nimi dochází k reakcím, nejčastěji oxidačně-redukčním. Produkty těchto reakcí, mezi kterými převládají převážně oxidační, ovlivňují v průběhu stárnutí sensorické vlastnosti piva [4, 5, 6].

## **1.4 Říz piva – množství oxidu uhličitého**

Jako říz piva je označován obsah oxidu uhličitého v pivu. Ten je významnou složkou piva i jiných alkoholických i nealkoholických nápojů. Bublínky oxidu uhličitého vyvolávají štiplavý pocit v ústech, který označujeme ve spojení s pivem jako říz, který podporuje pitelnost nápoje. Oxid uhličitý je velmi důležitá složka piva, která ovlivňuje celkovou intenzitu chuti a to zejména hořkost [1, 2, 23].

Tento efekt vzniká podrážděním buněk, které jsou citlivé na mechanické podráždění, tzv. mechanoreceptory. V ústech dochází k přeměně oxidu uhličitého na kyselinu uhličitou, která tyto receptory aktivuje [23, 34].

Oxid uhličitý vzniká v průběhu kvašení v otevřených kádích na spilce vlivem metabolismu kvasinek. Ty rozkládají přítomné sacharidy na etanol a oxid uhličitý [1, 2].

Pro objektivní posouzení správného řízu je používána fyzikální metoda, která spočívá v měření tlaku vznikajícího mechanickým vypuzováním CO<sub>2</sub> z piva v závislosti na teplotě.

Obecně je obsah CO<sub>2</sub> vyjadřován v g.l<sup>-1</sup>. V pivu se obsah CO<sub>2</sub> pohybuje kolem 5,5 g.l<sup>-1</sup> [1, 6, 34].

## 1.5 Pěnovost piva

Za důležitý parametr pro hodnocení kvality piva je schopnost vytvoření a udržení stabilní a atraktivní pěny, která je pro konzumenta nedílnou součástí celkového vzhledu piva. Správně zbarvená, plná a bohatá pěna piva, je pro spotřebitele ukazatelem jeho čerstvosti. Proto, je pěnovost piva dalším důležitým organoleptickým znakem [21, 22].

Pěnovost piva vyjadřuje schopnost piva udržet co nejdéle stabilní pěnu. Spotřebitelé požadují plnou (objemnou), hustou pěnu, která klesá co nejpomaleji a ulpívá na stěnách sklenice [6].

Dále hodnotí tvar pěny a strukturu. U hodnocení pěnovosti je pokládán větší důraz na subjektivní hodnocení, kterým je lépe popsán charakter pěny. Existuje také objektivní hodnocení, u kterého je přístrojem měřen čas poklesu pěny v sekundách. Tato metoda však nedokáže zhodnotit celkový dojem pěnovosti, kterou spotřebitel vnímá [4, 6].

Aby bylo dosaženo kvalitní pěny, je důležité věnovat pozornost procesům již na začátku vaření piva, a to již při výběru surovin i prvních fázích vaření piva, vystírání a rmutování [2, 24].

### 1.5.1 Fyzikální vlastnosti pěny

Pěna je koloidní soustava, která je složena z plynových bublin, rozptýlených v kapalině. Důležitou veličinou při tvorbě pěny je povrchové napětí. Pěnu tvoří povrchově aktivní látky, které snižují povrchové napětí. Tyto látky jsou specifické tím, že je tvoří jak hydrofilní tak lipofilní část. Hydrofilní část interaguje s vodným prostředím, naopak lipofilní část je v kontaktu s plynem uvnitř bubliny a s lipofilními částicemi ve stěně bublin [21, 24].

Tvorba pěny je ovlivněna několika proměnnými. Jednou z nich je obsah plynu v kapalině. V případě piva se jedná o oxid uhličitý [24].

Na stabilitu pěny má vliv velikost bublin, které pivo tvoří. Stabilnější jsou pěny tvořené malými bublinami, které stoupají v kapalině pomaleji. V důsledku toho mají povrchově

aktivní látky lepší možnost udržet se ve stěnách bublin a tím pěnu stabilizovat [21, 24].

Velikost bublin má do jisté míry vliv i na zbarvení pěny. Čím jsou bubliny menší, tím má pěna bělejší barvu [21].

### 1.5.2 Tvorba a stabilita pěny

Na tvorbu a stabilitu pěny mají velký vliv použité suroviny. Jsou to chmel, slad, voda i kvasinky. Každá ze surovin obsahuje látky, které pěnivost piva ovlivňují. Vliv na kvalitu pěny mají také podmínky sklizně surovin a manipulace s nimi [21, 24].

Látky pocházející z chmele jsou izo- $\alpha$ -hořké kyseliny, které napomáhají vytužení stěn bublin. Z vody jsou to kovové ionty a ze sladu povrchově aktivní peptidy, které svými vlastnostmi stabilizují pивní pěnu. Nejdůležitějším proteinem ze sladu je protein hordien a lipidový transferový protein LTP1 (Non-specific lipid-transfer protein 1) [21, 22, 24].

Stabilitu pěny rovněž podporují reakce, které probíhají během vaření piva. Reakcí sacharidů s aminokyselinami vznikají melanoidiny, které působí jako stabilizátory pěny díky iontovým reakcím mezi negativně nabitými melanoidiny a pozitivně nabitými peptidy. Také napomáhají tvorbě menších bublin [22].

Významnou vlastností vzniklých melanoidinů je ochrana pивní pěny před destabilizačními účinky lipidů [22].

Také výběr vhodného kmene kvasinek ovlivňuje celou řadu organoleptických vlastností piva, jako barvu, vůni, chuť i pěnivost [21].

Kvasinky ovlivňují jak tvorbu, tak stabilitu pěny. Během fermentace dochází také k částečné autolýze, kdy do piva přecházejí aminokyseliny, peptidy, proteiny a polysacharidy, které se podílí na tvorbě a stabilizaci pěny [21].

Mezi proteiny pocházející z buněčných stěn kvasinek patří mannoproteiny, které jsou důležité pro svou hydrofobní povahu, díky níž dochází k jejich adsorpci na rozhraní kapalina/plyn pěnové bubliny [21].

Dalším faktorem ovlivňujícím tvorbu pěny je obsah etanolu a oxidu uhličitého. Vysoké množství etanolu při kvašení snižuje množství pěny, naopak zvýšené množství oxidu uhličitého podporuje tvorbu pивní pěny [21, 22].

## 2 LÁTKY OVLIVŇUJÍCÍ CHARAKTER PIVA PŘI JEHO STÁRNUTÍ

Mezi největší problémy v pivovarnictví patří udržení stabilní kvality výrobku po celou dobu jeho trvanlivosti. S tlakem veřejnosti, která vyžaduje prodloužení trvanlivosti piva, dochází k obtížnějším situacím, jak zachovat kvalitní výrobek, který by byl sensoricky nezměněn. [4, 8, 10].

V posledních letech výrobci přistupují k době minimální trvanlivosti až na 12 měsíců. Tato doba však není vhodná k zachování kvalitních sensorických vlastností. Nejvíce je ovlivněno pivo, které je uchováno v malých spotřebitelských obalech, jako jsou láhve, plechovky a PET láhve [4, 8, 10].

Sensorické vlastnosti jsou ovlivňovány látkami, které v pivu vznikají v průběhu jeho stárnutí a znehodnocují tak výrobek, který je ještě nabízen spotřebitelům na trhu. Látky vznikající během stárnutí ovlivňují jak barvu, chuť, vůni i čírost tak pěnivost [4, 5, 10, 17, 18].

Za dobu, po kterou je pivo v obalech uchováno, vzniká řada chemických sloučeniny. Z velké části se jedná o organické kyseliny, aminokyseliny, estery, vyšší alkoholy, aldehydy a ketony. V malém množství tyto látky tvoří charakteristický chuťový profil každého piva, ale ve větších koncentracích dochází k nepříjemným chuťovým změnám. Tento vznik je ovlivněn chemickým složením piva a způsobem skladování a přepravy, kdy závisí na teplotě prostředí, přístupu světla a způsobu manipulace [4, 5, 15].

Pro spotřebitele je nejvýraznější změna v chuti a vůni, kdy se objevuje například ovocné aroma, chuť či vůně po papíru nebo lepence. Tyto změny jsou vyvolány nejčastěji oxidačními reakcemi, kdy se vyvíjí chuť a vůně připomínající sladké, květinové, medové, jablečné, makové, nebo jiné aroma. Na těchto chutích a vůních se podílí zejména karbonylové sloučeniny a jejich prekurzory, které mají největší vliv na sensorické vlastnosti piva. [4, 8, 10].

Dle studií byla popsána řada reakcí, která se na těchto změnách podílí. Reakce jsou podporovány zejména působením světla a tepla, kdy teplota skladování dosahuje běžné pokojové teploty (cca 20-25 °C). Při takových teplotách vznikají převážně karbonylové látky [4, 5, 8].

Stárnutí piva je složitý proces, který zahrnuje širokou škálu reakcí, které mohou probíhat současně, ale i nezávisle na sobě. Tento proces zahrnuje radikálové reakce, fotooxidační reakce, Maillardovy reakce a Streckerovu degradaci, oxidaci nenasycených mastných kyselin, oxidaci vyšších alkoholů, tvorba  $\alpha$ -dikarboxylových sloučeniny, aldolové kondenzace a oxidace izo- $\alpha$ -hořkých kyselin [4].

## 2.1 Látky ovlivňující barvu piva

Důležitým faktorem pro změnu barvy piva v průběhu stárnutí je přítomnost aerobního prostředí. Většina reakcí je katalyzována vzdušným kyslíkem, který je v produktu přítomen zejména díky konečným úpravám, kterými jsou filtrace a stáčení piva do obalu [7].

Kyslík však do piva prostupuje nejen při těchto výrobních procesech, ale další přísun kyslíku je možný díky propustnosti materiálu nebo přes uzávěr. Proto jsou reakce měnící sensorický charakter piva podporovány po celou dobu trvanlivosti [7].

Při procesu stárnutí piva dochází k mnoha reakcím, jejichž mechanismy jsou dobře popsány. Jedná se o Maillardovu reakci a Streckerovu oxidaci, oxidační reakce volnými radikály, oxidace lipidů a Fentonovu reakci [7, 11].

Na změně zbarvení piva má největší podíl enzymová a neenzymová oxidace polyfenolů, kdy vznikají látky zbarvené do hněda, tzv. melanoidiny. Ty jsou schopny reagovat s vzdušným kyslíkem a dále se pak oxidovat na vyšší alkoholy. Dalším krokem je pak vznik sensoricky aktivních aldehydů [7, 11].

Největší význam z polyfenolů mají katechiny, které se oxidují na barevné látky, u kterých dochází ještě k další reakci, kterou je polymerace. Vznikají reakční produkty, například chinony [7, 8].

Dalším mechanismem podporujícím hnědé zbarvení je karamelizace sacharidů, která probíhá již při vaření mladiny v počátečních fázích výroby [7, 8, 11].

Oxidační změny v pivu, které ovlivňují jeho zbarvení, podporuje přítomnost kovových iontů, které jsou přítomné ve vodě. K hnědému zbarvení přispívají ionty kovů mědi a železa. Kovové ionty katalyzují vznik volných hydroxylových radikálů ( $\text{OH}\cdot$ ), které iniciují oxidační reakce. Jedná se o jedny z nejreaktivnějších radikálů, které se v pivu vyskytují [4, 7, 11].

### 2.1.1 Reakce podílející se na změně barvy piva

#### *Oxidace alkoholů*

Jednou z reakcí je oxidace alkoholů, kdy vznikají sensoricky významné aldehydy. Oxidace probíhá za přítomnosti kyslíku a kovových iontu a její mechanismus probíhá za přítomnosti hydroxylových radikálů. Oxidace bývá iniciována dodáním energie, nejčastěji v podobě tepla či světla nebo právě působením kovových iontů. Nejvýznamnější je oxidační tvorba acetaldehydu [4, 7].

#### *Streckerova degradace*

Další zmíněnou reakcí byla Streckerova degradace, která se podílí na vzniku aldehydu s počtem uhlíku o jeden menší, než byla aminokyselina, která do reakce vstupovala. Při této reakci je také důležitá přítomnost kovových iontů [7].

#### *Maillardovy reakce*

Maillardovy reakce probíhají již v prvotních fázích výroby piva při vaření, konkrétně při rmutování. Již v této části výroby vznikají produkty, jako 5-hydroxymethylfurfural a furfural, které jsou obsaženy již v mladině a dále poté reagují v průběhu stárnutí a podílí se na změně charakteru barvy piva. Tyto reakce však probíhají i po čas stárnutí a vznikajícími sloučeninami mění barvu piva v daném obale [4].

## 2.2 Látky ovlivňující chuť a vůni piva

Chuťové změny při stárnutí piva jsou pro konzumenta nejvíce patrné a taky zde probíhá nejvíce chemických změn a reakcí. Chuťová stabilita se zhoršuje již od okamžiku stočení piva do spotřebitelského obalu. Na reakcích, které mění chuťový charakter piva, se podílí řada látek, jako jsou nenasycené mastné kyseliny, alkoholy a izo- $\alpha$ -hořké kyseliny [4, 8, 9, 16].

V chuťovém profilu piva jsou promítnuty všechny suroviny, a proto dochází k největšímu posunu sensorického hodnocení. Dochází ke změně hořkosti, tvoří se tzv. letinková příchut' a vzniká nepřeborné množství chemických sloučenin, které dávají pivu aroma a chuť připomínající jiné potraviny a produkty [4, 5, 12].



Při chemických reakcích, které probíhají v průběhu stárnutí, vznikají látky, které ovlivňují současně jak barvu, tak chuť a vůni. Proto se i na změně chuti podílejí oxidační reakce, Maillardovy reakce, Streckerova degradace a jiné [4].

Významnými látkami jsou tedy různé typy aldehydů, které působí na sensorické změny buď přímo, nebo se účastní dalších reakcí, za vzniku nových sensoricky aktivních látek [4, 16].

### 2.2.1 Reakce podílející se na změně chuti piva

#### *Aldolová kondenzace*

Takovýmto případem je aldolová kondenzace, kdy vznikají aldehydy s delším řetězcem. Kondenzace nastává, jestliže je záporný náboj funkční skupiny jednoho aldehydu přenesen na druhý aldehyd. Tím vzniká stabilní aldehyd s delším řetězcem [8, 16].

Příkladem je vznik trans-2-nonenalu, který vzniká za přítomnosti prolinu z acetaldehydu a heptanal. Jedná se o jednu z nejdůležitějších látek, která se podílí na stárnutí piva [4, 8, 16].

#### *Oxidační reakce*

Oxidační reakce působí na různé druhy sloučenin obsažených v pivu. Mohou být jak enzymatického tak neenzymatického charakteru. Mimo výše zmíněné jsou to také nenasycené mastné kyseliny. Tímto reakčním mechanismem dochází také k významné reakci, kdy se tvoří trans-2-nonenal, 2-heptenal a 2-oktenal. Tyto látky se podílí na tvorbě „staré“ chuti piva [4, 8, 16].

Nejvíce zastoupenou sloučeninou je však trans-2-nonenal, vznikající z kyseliny linolové, která svým charakterem tvoří v pivu typickou chuť pro stárnutí, kterou je lepenková či papírová chuť [4, 8, 9, 16].

Na enzymatické oxidaci se podílí například enzym lipoxygenáza (LOX), která již ve sladice způsobuje oxidaci nenasycených mastných kyselin, i když je jejich koncentrace nízká. I přesto jsou produkty této oxidace detekovatelné v celkovém aroma piva [16].

### *Maillardovy reakce a Streckerova degradace*

Pro změnu chuťového profilu jsou důležité Maillardovy reakce, díky nim vzniká velké množství sloučenin ovlivňujících jak barvu, tak chuť. Jedním z produktů této reakce ovlivňujícím chuť je furfural, který je považován jako indikátor oxidační chutě v pivu [8, 16].

Součástí Maillardových reakcí je také Streckerova degradace, která rozkládá  $\alpha$ -aminokyseliny na aldehyd. V pivu se vyskytují látky, které se účastní této degradace a odbourávají aminokyseliny. Jednou z nich je například prolin, který není využit kvasinkami. Dále jsou to např. kyselina pyrohroznová, diacetyl a kyselina dehydroaskorbová. Těmito reakcemi vzniká z leucinu 3-methylbutanal, z vanilínu 2-methylpropanal a z metioninu methanal. Tyto látky jsou zodpovědné za tvorbu sladové chuti [4, 8, 16, 18].

### *Fentonova reakce*

Jedná se o oxidační reakci způsobenou tvorbou peroxidových radikálů. Principem reakce je vznik kyslíkových radikálů autooxidací, při které reagují kovové ionty (železa a mědi) s peroxidem vodíku. Ten vzniká reakcí přítomného molekulárního kyslíku. Vzniklé hydroxylové ionty poté oxidují složky piva za vzniku sensoricky aktivních aldehydů a ketonů nebo mohou iniciovat řadu dalších sekundárních radikálových reakcí, které oxidují další složky piva [16].

### *Tvorba esterů*

Další významnou reakcí působící na změny chuti je syntéza a hydrolýza esterů. Estery vznikají reakcí etanolu s organickými kyselinami, které jsou v pivu přítomné. Kyselina, která podporuje vznik esterů je kyselina pantothenová a dalšími sloučeninami, podporující reakce jsou dusík, kyslík a vyšší teplota. Vznikají látky tvořící esterovou chuť, například ethyl-3-methylbutyrát, ethyl-2-methylbutyrát, ethylhexonát a ethyloktanát [4, 8, 9].

Mezi další látky, které patří mezi karbonylové sloučeniny a jsou zodpovědné za tvorbu staré chuti piva, se řadí 2-methylpropanal, 2-methylbutanal, 3-methylbutanal, furfural a fenylacetaldehyd. Tyto látky jsou také považovány za indikátory stárnutí piva a jejich

analýzou lze určit stupeň stárnutí a tím vytvořit vhodné podmínky pro skladování piva [4, 8].

#### *Degradace izo- $\alpha$ -hořkých kyselin*

Všechny analogy izo- $\alpha$ -hořkých kyselin obsahují ve své struktuře karboxylovou skupinu, která podléhá oxidačním reakcím. Tím vznikají další typy aldehydů. Dle studie bylo zjištěno, že oxidaci podléhají více trans izomery  $\alpha$ -hořkých kyselin [4, 5, 19].

Produkty těchto oxidací, dále vstupují do dalších reakcí, aldolových kondenzací, za vzniku trans-2-nonenalu, izovaleralu a izobutanalu, které se opět podílí na celkové sensorické změně piva v průběhu stárnutí [4, 13].

Na chemických změnách izo- $\alpha$ -hořkých kyselin se podílí oxidační reakce působením peroxidu vodíku, kdy dochází k odštěpení postranních řetězců za vzniku nižších mastných kyselin. Ty se poté podílí na sensorických změnách, kdy vznikají aldehydy, které jsou zodpovědné za starou chuť piva. Vznikající izomery například kyseliny propanové a butanové dávají pivu nepříjemné „sýrové“ aroma [9, 13].

Nestabilita izo- $\alpha$ -hořkých kyselin během skladování způsobuje další změny jak ve složení piva, tak i v jeho chuti a vůni. Tím výrazně omezuje trvanlivost piva. Nejvýraznějšími změnami izo- $\alpha$ -hořkých kyselin je snížení koncentrace trans-izo- $\alpha$ -hořkých kyselin. Takovéto snížení je ovlivněno skladovací teplotou, která je optimální kolem 6 °C. Při této teplotě byly zjištěny nejmenší změny v koncentraci. Vysoké skladovací teploty kolem 37 °C naopak způsobují degradaci trans-izo- $\alpha$ -hořkých kyselin a navíc vznikají ve zvýšené míře další produkty ovlivňující charakter piva. [19].

Trans-izo- $\alpha$ -hořké kyseliny jsou výraznější v chuťovém profilu piva, proto jejich koncentrace ovlivňuje změny více než cis-izo- $\alpha$ -hořké kyseliny, které jsou proti působení teploty odolné a jejich koncentrace je takřka neměnná [19].

Tab. 1. Vybrané sloučeniny jejich prahové hodnoty vnímání a běžné koncentrace v pivu [8]

<i>Sloučenina</i>	<i>Prahová hodnota (mg.l<sup>-1</sup>)</i>	<i>Obsah v čerstvém pivu</i>	<i>Aroma</i>
<b>Trans-2-nonenal</b>	0,00011	0,000011-0,011	Papír, oxidace, zvětralá, lepenka, okurka
<b>2-Furfural</b>	150	0,007-1	Papír, karamel, chléb, vařené maso
<b>2-Methylbutanal</b>	1,25	0,002-0,3	Tráva, ovoce, jodoform, mandle, slad
<b>3-Methylbutanal</b>	0,6	0,01-0,634	Nezralé banány, jablka, třešně, višně, slad, čokoláda, mandle
<b>Fenylacetaldehyd</b>	1,6	0-0,075	Hyacint, šerík
<b>Beta-damascenon</b>	203	42-157	Kokos, tabák, červené ovoce

### *Světelná degradace*

Dalším faktorem, který velkou měrou ovlivňuje trvanlivost piva, je světlo. Jeho působením dochází k degradacím, které ovlivňují charakter piva [5, 19].

Vystavení piva světelným paprskům způsobuje aktivaci či zrychlení reakcí, při kterých vznikají charakteristické látky, ovlivňující zejména chuť piva tvorbou tzv. letinkové (světlené) příchuti. Tyto reakce probíhají při působení světla o vlnové délce 350–500 nm. Nejvýznamnější poškození piva letinkovou příchutí vzniká po krátkodobém ozáření piva a jeho následném uchování v tmavých prostorech [5, 12, 19].

Na reakci, která způsobuje tuto typickou chuť, se podílí izo- $\alpha$ -hořké kyseliny pocházející z chmele, které obsahují sírné skupiny. Tyto skupiny pocházejí ze sírných aminokyselin jako jsou například cystein nebo homocystein [5, 12, 19].

Působením světelných paprsků a ultrafialového záření na tyto sloučeniny dochází reakcí ke vzniku sloučeniny, která je zodpovědná za letinkovou příchut'. Touto látkou je MBT (3-methylbut-2-en-1-thiol), která je zodpovědná za typickou příchut' pro světelné stárnutí. [5, 12, 19].

Důležitou látkou, která se účastní reakcí způsobující letinkovou příchut' je riboflavin (vitamin B<sub>2</sub>), látka ze skupiny flavanů, odvozených od 7,8-dimethylizoalloxazinu. Flavany jsou obsaženy v pivovarnických surovinách, nejvíce v ječmeni, tedy sladu [5, 12, 19].

Jedná se o termostabilní látku, která se v pivu projevuje jako tzv. fotosenzitizér. Jeho koncentrace se ještě zvyšuje při hlavním kvašení působením kvasinek [12, 19].

Působí jako absorbér viditelného světla a tím umožňuje přenos energie na látky, které se účastní reakcí pro tvorbu světelné příchuti. Jeho koncentrace v pivu ve velké míře

ovlivňuje fotodegradační procesy. Zvýšená koncentrace riboflavinu zvyšuje produkci MBT a tím se zhoršuje chuťová stabilita piva v průběhu jeho stárnutí [5, 12, 19].

### 2.3 Látky ovlivňující čirost piva

Mezi zásadní parametry, které dokazují čerstvost piva, patří koloidní stabilita. Tento pojem vyjadřuje, jak je pivo v průběhu stárnutí zakalené. Pivo by mělo být po celou dobu trvanlivosti čiré a jiskrné. V současné době se dá do jisté míry tvorba zákalu ovlivnit. Koloidní stabilita je závislá na poměru polyfenolů a bílkovin, které jsou v pivu přirozeně obsaženy. Regulací jejich obsahu v podobě stabilizace lze zabezpečit zamezení tvorby zákalu po dobu minimální trvanlivosti. Dalšími faktory, kterými lze tvorbu zákalu ovlivnit, jsou například vhodně zvolené vstupní suroviny. Technologický postup a způsob skladování se rovněž na tomto problému podílí [10, 12].

V pivu vytvořený zákal je pro spotřebitele negativně vnímaný znak, i když ze zdravotního hlediska je zcela neškodný. I přesto konzument takto stárnutím změněné pivo považuje za nevhodné ke konzumaci [21, 36].

Nejvíce používaný způsob, jak zabránit tvorbě zákalu je proces stabilizace, kdy dochází ke snížení obsahu jednoho z prekurzorů tvorby zákalu, a to buď bílkovin, nebo polyfenolů. Koloidní stabilita piva může být ovlivněna dvěma druhy zákalů. Každý typ vzniká za odlišných podmínek a může být jak reverzibilní i ireverzibilní. Jedná se o trvalý zákal a chladový zákal [1, 12, 36].

#### 2.3.1 Trvalý zákal

Trvalý zákal je tvořen díky reakci polyfenolů a bílkovin, zvláště obsahujících aminokyselinu prolin. Tato aminokyselina vykazuje vysokou afinitu vůči polyfenolům.

Vazby vznikají mezi karboxylovou skupinou bílkovin a hydroxylovou skupinou polyfenolů [2, 10, 21].

Podrobnější mechanismus vzniku zákalu však nebyl dokonale popsán. Je ale známo, že k jeho tvorbě dochází vlivem nevhodného skladování. Tento faktor přispívá k urychlení tvorby zákalu. Dalším faktorem, který se podílí na tvorbě trvalého zákalu, je působení reaktivních forem kyslíku s ionty kovů, nejčastěji se jedná o ionty mědi a železa [10, 16].

Na tvorbě zákalu se z bílkovin nejvíce podílí skupina prolaminů, které s polyfenoly reagují přednostně. Další druhy bílkovin albuminy a globuliny reagují s polyfenoly až po vyčerpání prolaminu. Vznik zákalu je závislý i na hodnotách pH. Komplexy se nejlépe tvoří při hodnotách pH 5 až 6, které se blíží izoelektrickému bodu bílkovin. pH piva se pohybuje v rozmezí 4 až 5, což podporuje tvorbu komplexů [1, 10, 36].

Vznik koloidního zákalu je popsán ve dvou krocích. V první fázi, která je nazývána lag-fáze, dochází ke vzniku polymerů z jednoduchých polyfenolů, které se tvoří díky obsažené hydroxylové skupině v poloze 5 s karboxylovou skupinou v poloze 4. Této polymerace se účastní zejména flavanoly [10, 12].

V druhé fázi, která je nazývána jako růstová fáze, dochází k vazbě vzniklých polymerů polyfenolů na zákalotvorné bílkoviny a tvorbě viditelného zákalu. Rychlost těchto reakcí závisí na množství flavanolů, obsahu kyslíku v pivu a také na teplotě prostředí. Touto reakcí vznikají částice, které jsou nepravidelného tvaru o velikosti 1 až 10  $\mu\text{m}$  [10, 21, 36].

### 2.3.2 Chladový zákal

Tento typ zákalu je z hlediska trvanlivosti méně závažný. Vzniká při teplotě skladování kolem 0-4 °C. Avšak ohřátím na pokojovou teplotu dochází k jeho rozpuštění a získání původní čirosti, která byla v pivu po jeho stočení do obalu. Při stávajících nevhodných podmínkách, ale může dojít k přechodu chladového zákalu na trvalý [10, 12, 16].

Vznik chladového zákalu podporují oxidační reakce v počátečních fázích stárnutí piva, což může být způsobeno rychlým reagováním kyslíkových radikálů nebo radikálů peroxidu vodíku [8].

Částice, které tvoří chladový zákal, jsou kulovitého charakteru a mají velikost 0,1 až 1  $\mu\text{m}$ . Jejich molekulová hmotnost se pohybuje v řádech desítek kDa. Velikost částic, které

vznikají při skladování v nízkých teplotách, závisí i na stáří piva. V pivu, které je staršího data stočení, vznikají částice o větší velikosti, než v čerstvém pivu [10, 21].

### 2.3.3 Způsoby stabilizace

Stabilizace piva se provádí nejčastěji při filtraci odstraněním části polyfenolů nebo bílkovin, které pocházejí ze vstupních surovin, zejména ze sladu a chmele. Technologický proces zahrnuje použití stabilizačního prostředku. Na trhu se vyskytuje mnoho druhů těchto produktů, kdy si každý výrobce může vybrat, dle vlastních požadavků [21, 36].

Různé druhy stabilizačních prostředků se liší podle své funkce a působení při stabilizaci. Při tomto procesu může docházet k enzymovým, srážecím, adsorbčním nebo antioxidačním reakcím [1, 21].

#### *Enzymová stabilizace*

Při této stabilizaci je využíváno proteolytických enzymů, které svými vlastnostmi snižují obsah proteinů v pivu. Tím je porušena rovnováha mezi množstvím polyfenolů a bílkovin v pivu a je tímto zabráněno nežádoucí tvorbě zákalotvorných komplexů. Ke snižování obsahu bílkovin dochází hydrolytickým rozštěpením pomocí enzymů, které pocházejí například z papáji (papain) nebo z ananasu (bromelain). Jednou z velkých nevýhod této metody je ovlivnění pěnivosti hotového piva, díky tomu, že tyto proteázy štěpí i polypeptidy, které se na tvorbě pěny podílí [21, 22].

#### *Srážecí stabilizační prostředky*

Ke stabilizačním srážecím prostředkům patří taniny. Jedná se o přírodní sloučeniny polyfenolového charakteru. Dle struktury se dělí na hydrolyzovatelné a kondenzované. Díky těmto strukturám, které obsahují charakteristické funkční skupiny, dochází k tvorbě komplexů mezi bílkovinami a polyfenoly. Tyto komplexy jsou poté odstraněny v podobě sraženiny například filtrací, jestliže k použití taninů dochází při konečných úpravách piva. Výhodou tohoto stabilizátoru je možné použití i v průběhu výroby piva. Dávkování je možné v procesu rmutování, chmelovaru či sudování, kdy sraženiny jsou odstraňovány již v průběhu výroby [21, 36].

### *Adsorbční stabilizační prostředky*

Tento typ stabilizátorů je v dnešní době nejvíce využíván. Jeho největší výhodou je vysoká účinnost při odstraňování prekurzorů zákalu a po využití tohoto typu stabilizátorů nezůstávají v pivu rezidua, která by dále ovlivňovala trvanlivost či celkový charakter piva.

V technologii je využíváno několik druhů adsorbčních prostředků. Nejstarším prostředkem využívaným ke stabilizaci piva jsou křemičité gely. Ty mají schopnost na sebe vázat zákalotvorné bílkoviny. Dle prvních výzkumů bylo prokázáno, že dochází k adsorbci bílkovin obsahujících aminokyseliny prolin a glutamin [12, 36].

Stále používaným typem křemičitého gelu je prostředek pod obchodním názvem Stabifix. Díky svým variabilním vlastnostem, které se mohou lišit obsahem vody a jemností, se dělí na hydrogely, xerogely a hydratované xerogely. Jejich využití je závislé na průměru částic, specifickém povrchu a objemem pórů [1, 21].

Dalším typem adsorbčního stabilizátoru jsou polyamidy. Ty jsou charakteristické tím, že se zaměřují na snižování obsahu nikoliv bílkovin, ale polyfenolů. Principem této stabilizace je vazba fenolických sloučenin pomocí vodíkových můstků. Nevýhodou polyamidu je jejich vysoká cena. Proto je využíváno levnější alternativy, a to polyamidu polyvinylpolypirrolidonu (PVPP) [2, 12].

PVPP je makromolekulární sloučenina, která je nerozpustná ve vodě. Tento produkt je nejvíce využíván díky své vysoké účinnosti vázat na sebe polyfenoly. Jeho struktura je charakteristická obsahem funkčních skupin  $-NH$ , které obsahují i zákalotvorné bílkoviny [12, 21].

Proto je použití tohoto stabilizátoru velmi efektivní a ekonomicky méně náročné. Další výhodou je jeho dokonalé oddělení z piva, kdy v hotovém produktu nezůstávají žádná rezidua. Jeho ekonomickou výhodou je i to, že je možno ho využívat několikanásobně. To je možné díky regeneraci funkčních skupin, která probíhá v alkalickém prostředí, kdy dochází k uvolnění adsorbovaných látek do roztoku a tím k uvolnění funkčních skupin k další stabilizaci [1, 2, 12].



### 3 VNĚJŠÍ VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ STÁRNUTÍ PIVA

Senzorické změny, které v pivu probíhají v průběhu skladování, z největší části závisí na působení vnějšího prostředí. Podmínky, ve kterých je pivo po dobu své minimální trvanlivosti uchováváno, ovlivňují stabilitu piva, rychlost jeho stárnutí a celkové organoleptické i sensorické vlastnosti. Díky vysokým požadavkům spotřebitelů i trhu na dlouhodobou trvanlivost je proto důležité věnovat okolním vlivům a podmínkám skladování velkou pozornost. Správnou manipulací a zodpovědným přístupem k ovlivnění podmínek je možno zaručit kvalitu výrobku vyhovující konzumentům po celou dobu minimální trvanlivosti [4, 16, 17].

Mezi vnější podmínky, které kvalitu piva výrazně ovlivňují, patří působení světla, které se dá ovlivnit volbou vhodného obalu a vyhovujícím skladovacím prostorem. Nejvýraznější změny v celkové kvalitě piva způsobuje působení kyslíku. Při reakcích, které v pivu probíhají, vzniká nejvíce látek, které zásadně mění vzhled i chuťový charakter piva. Neméně se na těchto reakcích podílí i teplota, při které je pivo dlouhodobě skladováno [4, 17].

Všechny tyto vlivy většinou působí současně a o to je dopad na kvalitu piva závažnější. Proto je důležité dbát na dodržování pokynů od výrobce, při jakých podmínkách pivo skladovat a také je na zodpovědnosti pivovarů produkovat své výrobky za sledovaných podmínek a v kvalitních obalech [4, 8, 16].

#### 3.1 Vliv teploty

Podmínka správné skladovací teploty je velmi důležitá pro úchovu piva ve stočených obalech. Působením vysokých teplot dochází v pivu k iniciaci a urychlení reakcí, které způsobují tvorbu nežádoucích látek a ty pak ovlivňují sensorické vlastnosti produktu a může docházet k celkovému znehodnocení nápoje [5, 8, 14].

Teplota, při které je pivo skladováno má největší vliv na urychlení probíhajících reakcí. Každá z reakcí je charakteristická určitou aktivační energií, na které je rychlost reakcí závislá. Proto při různých teplotách probíhají rozličné reakce. V tomto případě dochází k tvorbě sensoricky aktivních látek, podílejících se na vzniku „staré“ chuti piva [8, 14].

Kaneda a spol. (1995) ve svém výzkumu prokázali, že při teplotě skladování piva při 25 °C převládá tvorba karamelové chuti a při skladování piva při teplotách 37 °C dochází k vývinu papírové či kartónové chuti. [4, 8]

Pivo je produkt, který je tvořen mnoha složkami, které působením nepřiměřené teploty reagují mezi sebou za tvorby látek, které se podílí na změně zejména barvy a chuti. Chemické složení piva závisí na použitých surovinách na začátku procesu vaření. Mezi látky, které se na reakcích způsobených vlivem vyšších teplot podílí, patří bílkoviny, nukleové kyseliny, sacharidy i lipidy a také polyfenoly [4, 5].

Všechny reakce, které v pivu probíhají, se navzájem ovlivňují. Zvýšená teplota iniciuje působení vzdušného kyslíku, který je přítomen i ve velmi malém množství a dochází tak k oxidačním reakcím, které jsou souhrnně označovány zkratkou ROS, Reactive Oxygen Species [4, 16].

Typickými reakcemi, které jsou ovlivněny teplotou, jsou Maillardovy reakce. Ty probíhají již při prvotních procesech při vaření piva, kdy působí opravdu vysoké teploty, ale jejich průběh je značný i při nižších teplotách, při skladování při pokojových teplotách a to nad 25 °C [4, 5, 7, 16].

Tyto reakce, nazývané také jako reakce neenzymatického hnědnutí, způsobují značné změny senzorických vlastností, zejména v oblasti barvy, chuti a vůně, vzniklými látkami nazývanými melanoidiny. Mezi ně se řadí desítky různých druhů  $\alpha$ -dikarboxylových sloučenin, které vznikají v průběhu tohoto procesu. Vzniklé melanoidiny poté dávají pivu v průběhu stárnutí hnědou barvu [5, 7, 16].

Teplota také působí společně s oxidací na změnách hořkosti, která je nedílnou součástí chuťového profilu. Skladovací teplota nejvíce ovlivňuje degradaci izo- $\alpha$ -hořkých kyselin. Udržování skladovací teploty kolem 6 °C je pro zajištění stabilní hořkosti vhodné, protože při této teplotě dochází jen k nepatrným změnám trans-izo- $\alpha$ -hořkých kyselin. Naopak při teplotách na 35 °C dochází k degradaci těchto kyselin za tvorby degradačních produktů. Trans izomery jsou na teplotě nejvíce závislé. Je to z důvodu stechiometrického uspořádání izohexenoylových a prenylových postranních řetězců na uhlících C4 a C5. Cis izomery, kterých je ale v pivu menší množství, nejsou na působení teploty takřka vůbec náchylné a nedochází tak k jejich degradaci [19].

### 3.2 Vliv vzduchu - kyslíku

Obsah kyslíku má zásadní vliv na kvalitu skladovaného piva. Jeho koncentrace je v produktu velmi proměnná, protože se na ní podílí nejen kyslík, který se do piva dostal v průběhu konečných úprav při filtraci piva a stáčení do spotřebitelských obalů. Jeho koncentrace se zvyšuje i v průběhu skladování, kdy do piva prostupuje přímo přes obal, či přes uzávěr obalu [4, 16, 36].

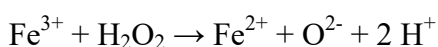
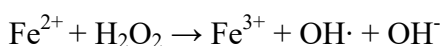
Působení kyslíku na pivo je spjata i s jinými okolními vlivy, kdy dochází k zesílení oxidačních účinků a kvalita piva je tím více poškozena. Oxidační reakce, které probíhají v přítomnosti kyslíku, jsou synergicky podpořeny zvýšenou teplotou i působením světla. Proto je potřeba pro zachování stabilní kvality piva, omezit nebo úplně zabránit kontaktu vzdušného kyslíku s pivem. Reakce, které způsobují oxidační změny piva, jsou nejčastěji zapříčiněny takzvanými radikálovými reakcemi a fotooxidačními reakcemi [7, 12, 36].

#### *Radikálová oxidace*

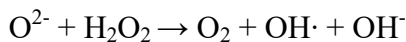
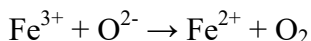
Tato reakce vzniká za podmínek, kdy dojde k iniciační reakci dodáním světelné či tepelné energie nebo za působení iontů kovů. Stabilní kyslík se vyskytuje ve formě ( $^3\text{O}_2$ ). Reakcí s kovovými ionty (např.  $\text{Fe}^{2+}$ ) vznikne superoxidový anion ( $\text{O}_2^-$ ) a železitý kation  $\text{Fe}^{3+}$ . Jako ionty železa působí i ionty mědi. Tyto kationty mají původ většinou z varní vody. Přítomnost iontů kovů zvyšuje reakční rychlosti probíhajících oxidačních reakcí. [4, 12, 16].

Superoxidový anion je velmi reaktivní a může vstupovat do reakce za přijetí protonu a vzniká ještě více reaktivní forma radikálu, a to perhydroxylový radikál ( $\text{OOH}\cdot$ ). Superoxidový anion dále může podléhat redukci na s ionty kovů za vzniku peroxidového aniontu ( $\text{O}_2^{2-}$ ), který reaguje na peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Hydroxylový radikál může vznikat dvěma různými mechanismy, které popisují Fentonova reakce a Haber-Weissova reakce [4, 8, 16].

#### Fentonova reakce



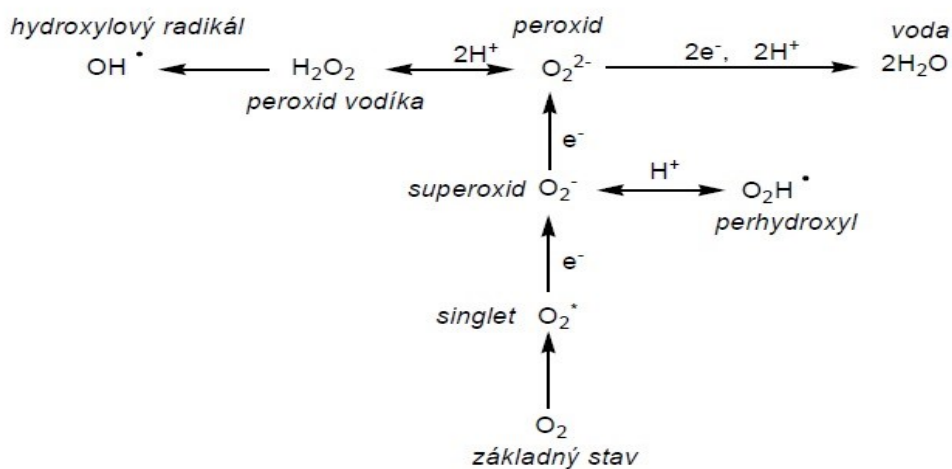
[4].

Haber-Weissova reakce

[4, 16].

Hydroxylové radikály jsou nejreaktivnější formy radikálů vůbec, který se na degradaci složek v pivu podílí. Nejčastější složkou v pivu, která vzniká oxidací, je acetaldehyd z etanolu, které je v pivu zastoupen. Kyslík, jak je výše zmíněno, je schopen několika přeměn na reaktivní radikály, kdy jejich reaktivita stoupá od superoxidového aniontu, perhydroxylového aniontu až k nejreaktivnějšímu z nich, hydroxylovému radikálu. Tyto radikály svými reakcemi snižují obsah antioxidantů v pivu a tím více zvyšují náchylnost piva k dalším oxidacím [12, 16].

Pivo je díky svému složení bohaté na dusík, který pochází hlavně ze sladu. Dusík má charakteristické vlastnosti jako kyslík, a proto dochází také ke tvorbě dusíkatých radikálů. Reakce, při kterých tyto radikály vznikají, se nazývají RONS (Reactive Oxygen and Nitrogen Species). Důležitým dusíkatým radikálem je  $\text{NO}\cdot$ , který v pivu reaguje s ionty kovů i s kyslíkem, za vzniku reaktivního dusitanového aniontu  $\text{NO}_2^-$ , který dále může vstupovat do reakce se superoxidovým radikálem za vzniku peroxynitritu ( $\text{ONOO}^-$ ). Ten je velmi silné oxidační činidlo, které oxiduje další látky v pivu a tím se z velké části podílí na stárnocím procesu piva [4].



Obr. 1 Vznik reaktivních forem kyslíku [4]

### *Fotooxidační reakce*

Tato reakce se řadí mezi neenzymové reakce a je zdrojem mnoha druhů karbonylových těkavých sloučenin. Fotooxidační reakce je katalyzována vzdušným kyslíkem, který se stává reaktivním díky působení fotosenzibilizátorů. Charakteristickým fotosenzibilizátorem v pivu je riboflavin [1].

Zásadní vlastností riboflavinu je schopnost přenášet energii na jiné sloučeniny a tvořit tak excitované stavy. Jeho schopnosti se projevují po ozáření světlem, kdy může docházet k několika typům reakce, a to k fotoredukci, fotodealkylaci a fotoadici. Těmito reakcemi vzniká velká řada fotoproduktů, které se podílí na oxidačních reakcích [5]. Pro průběh fotooxidace je nutné prolínání dvou vnějších vlivů, a to přítomnost kyslíku a působení světla. Tato reakce je důkazem, že na stárnutí piva se podílí vnější vlivy, jak samostatně, tak v kombinacích mezi sebou [1, 2, 5].

### **3.3 Působení světla**

Světelná expozice má největší význam pro tvorbu takzvané letinkové neboli světelné příchutě. Tato chuť je spotřebitelem vnímána jako nepříjemná a ukazuje tak na stáří piva. Letinovou chuť způsobuje látka 3-methylbut-2-en-1-thiol (MBT). Tato látka vzniká při osvětlení piva viditelným i ultrafialovým světlem [5].

Viditelné světlo se vyskytuje ve formě záření, kdy je pro něj specifická vlnová délka 380 nm až 740 nm. Vlnová délka pro UV záření se pohybuje ve formě kratších vln o vlnové délce 10 nm až 380 nm. Obě formy záření vykazují schopnosti tvořit ze vzdušného kyslíku kyslík singletový. Ten v pivu napadá chemické sloučeniny, nejčastěji mastné kyseliny a hořké kyseliny a dochází k přeměnám na nežádoucí látky, které způsobují nevyhovující kvalitativní a sensorické vlastnosti piva [1, 37, 38].

Na vlivu působení světla se neméně podílí již výše zmíněný riboflavin, který je v pivu přirozeně obsažen ze sladu. Při světelném působení na pivo funguje jako významný fotosenzibilizátor. V pivu se vyskytuje v jednotkách nanogramů na litr, ale působením světla se řádově zvyšuje jeho koncentrace až na setiny mikrogramů na litr. Toto zvýšení je závislé na intenzitě působícího světla a typu obalu. Na zvýšenou tvorbu riboflavinu jsou nejvíce náchylně skleněné lahve zelené barvy [1, 5].

## 4 TYPY OBALŮ NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ PRO BALENÍ PIVA A JEJICH MATERIÁLY

Pivo je nápoj, který je charakteristický několika způsoby podávání. Konzument si může zvolit konzumaci doma nebo v restauracích či hospodách. Dle těchto možností jsou obaly děleny na malé spotřebitelské obaly, jako jsou plechovky, skleněné láhve i polyethylentereftalátové láhve (PET) nebo výčepní obaly, kterými jsou více objemové sudy. Preference typu obalu se liší zvyklostmi různých národů, ale v posledních letech se přesouvá konzumace piva do domácností, což zvyšuje produkci malých spotřebitelských obalů oproti výčepním obalům [15, 29].

### 4.1 Obal potravin

Obal lze sám o sobě definovat jako výrobek, který slouží jako manipulační jednotka a ochranný prostředek pro jiné výrobky, nejen pro potraviny. V potravinářském průmyslu je však nedílnou součástí většiny produktů. Jeho úkolem je potravinu chránit před kontaminací, vnějšími vlivy, před znehodnocením, ale slouží také jako prostor pro komunikaci výrobce se spotřebitelem [15, 40, 41, 44].

Balení potravin se dělí na primární obal. Ten je v přímém kontaktu s potravinou a přímo ji chrání před okolními vlivy. Tvoří prvotní ochrannou bariéru. Mezi primární obaly se řadí plastové a skleněné láhve, kovové plechovky a také lepenkové kartony. Dalším typem obalu jsou sekundární obaly. Ty slouží jako ochrana pro primární obaly, jsou jimi například krabice. Terciální obaly jsou tvořeny skupinami sekundárních balení [44].

Hlavní funkcí obalu je ochrana produktu před vnějšími vlivy, jako je voda, vodní pára, plyny a pachy. Trvanlivost výrobku ovlivňují také mikroorganismy, světlo, prach či vibrace. I když nedochází vlivem poškození obalu k přímému styku potraviny s okolím, dochází působením například teploty a světla ke změnám, které vedou ke znehodnocení potraviny. Proto je důležité znát možné reakce a změny v produktech a výběrem vhodného obalu zabránit degradaci potraviny a tím zachovat její kvalitu po deklarovanou dobu trvanlivosti [29, 44].

Protože je pivo potravina, která je obecně velmi náchylná na působení vnějšího prostředí, používají se obaly, které vynikají dobrými bariérovými vlastnostmi, pro ochranu produktu před jeho znehodnocením. Pro restaurační podávání se využívají nerezové sudy, naopak

pro konzumaci v domácnostech je pivo plněno nejčastěji do skleněných láhví, plechovek a PET láhví [1, 29, 41].

## 4.2 Typy obalů pro úchovu piva

### 4.2.1 Skleněné láhve

V posledních letech je široký výběr obalového materiálu, který je určen pro balení piva. Avšak skleněné láhve jsou stále mezi hlavními používanými typy. Vysoké procento využití skleněné láhve je zapříčiněno jejími výbornými bariérovými vlastnostmi. Sklo, jako materiál v potravinářství, je oblíbený z důvodu jeho inertních vlastností, je zcela netečný a odolný materiál. I snadné zpracování do požadovaných tvarů a vzhledů je jeho velkou výhodou. Z důvodu velké poptávky po malých spotřebitelských obalech ze skla je obrovskou výhodou jeho recyklovatelnost, kdy nedochází k zamořování životního prostředí odpadem po konzumaci nápoje. Tato zpracovatelnost je podporována systémem vratného obalu, kdy spotřebitel je nucen využít skleněný obalový materiál vrátet k jeho přepracování [29, 45].

Skleněné láhve jsou velmi odolné proti působení chemických vlivů. Této výhodné vlastnosti je využíváno při opakovaném plnění piva do láhví, které jsou díky odolnému povrchu snadno omyvatelné a dezinfikovatelné. Díky tomu je velmi výhodné několikanásobné použití láhve pro plnění nápojem, než dojde k jeho recyklaci a dalšímu přepracování na novou skleněnou láhev. Bylo doloženo, že životnost láhve, která byla opakovaně využívána pro plnění piva, byla kolem 5 let, kdy láhve uskutečnily kolem 30 až 35 opakovaných výměn. Obměna využívaných láhví však závisí na každém provozovateli stáček linky a jeho ekonomických možnostech [1, 46].

Nevýhodou skleněných láhví v potravinářství je jejich křehkost, snadné poškrábání a odírání při opakovaném používání, kdy musí být brána zřetel na opatrnost při manipulaci. Ovšem i tyto negativní vlastnosti se dají do jisté míry ošetřit povrchovou úpravou, ošetřením postříkem chloridem cínitým za vysokých teplot kolem 600 až 700 °C a vodou naředěnou disperzí polyethylenu za teplot 60 až 70 °C [15, 45].

### 4.2.2 PET láhve

Polyethylentereftalátové láhve (PET) jsou v pivovarnictví nejmladším používaným obalovým materiálem. Do podvědomí jak pivovarů, tak spotřebitelů se dostal až kolem roku 2000. Do této doby byl tento materiál využíván spíše pro nealkoholické nápoje a minerální vody. V těchto posledních letech je PET láhev předmětem velkého počtu studií, kdy se výzkumy zaměřují na několik parametrů, které ovlivňují jak produkt, který je v obalu uchováván, tak na spotřebitele, který obal využívá pro své pohodlné zacházení, ale z druhé strany také negativní možné dopady na zdraví konzumenta [1, 27, 31].

Tato láhev je vyrobena z polymerního materiálu, semikrystalického polyethylentereftalátu. Výroba vychází ze dvou základních surovin, a to z monomeru ethylenglykolu a z kyseliny tereftalové nebo jejího esteru [29, 31].

PET láhev se stala oblíbeným materiálem z důvodu nerozbitnosti obalu, různorodé variabilitě ve tvarech a barvách láhví, nízké hmotnosti obalu a také nepřeborného množství druhů objemů láhví. Také díky technologii výroby disponuje vysokou čistotou, která je způsobena vysokými teplotami při výrobě a tvarování [26, 30, 31].

Negativní účinky na lidský organizmus jsou dlouhodobým problémem, kdy byla řešena recyklace tohoto obalu, který mnoho spotřebitelů po konzumaci nápoje využívají ke skladování nepotravinových látek, jako jsou například olejové kapaliny, ředila či pohonné hmoty. PET láhev je materiál, který je nejen propustný pro plyny a není proto dokonalou bariérou, ale také do sebe adsorbuje, látky, které jsou pak obtížně recyklovatelné. S tímto souvisí i další řešení problému se semipermeabilitou obalu, kdy je pro zachování kvality produktu třeba zajistit konstantní podmínky pro skladování a zabránit přístupu kyslíku a jiných plynů do obalu. Řešením tohoto problému je výzkum funkčních bariér, které jsou aplikované do polymerního nebo na povrch láhve [28, 30].

#### *Funkční bariéry*

Použití funkčních bariér zabraňuje migraci nežádoucích látek jak dovnitř obalu, tak žádoucích látek z obalu do vnějšího prostředí. Tím je myšlen hlavně únik CO<sub>2</sub>, čímž je způsobeno snížení řízu piva, a tím dochází ke zhoršení organoleptických vlastností piva. Další funkcí bariéry je zabránění přechodu nežádoucích látek z plastového materiálu do potravin. Tyto bariéry musí splňovat podmínky migračních testů, které jsou legislativně ošetřeny tak, aby mohly být použity v potravinářském průmyslu [26, 28, 29].



Funkční bariéry jsou tvořeny různými směsmi uhlovodíků, jejichž složení je dáno konkrétním výrobcem. Ochranné bariéry jsou nanášeny ve formě filmu, jehož tvorba je usnadňována přítomností acetylénu, který je charakteristickým plynem, nejvyužívanějším pro ukládání jakékoliv formy uhlovodíku na povrchy plastů. Tvorba filmu je také ovlivňována pracovním tlakem a tepelným zatížením [28, 30].

Nejvýznamnějšími bariérami pro pivovarnictví je bariéra zabráňující vstup kyslíku dovnitř obalu, který způsobuje oxidační reakce v pivu a bariéra udržující koncentraci CO<sub>2</sub>, tak aby neunikal z piva do okolního prostředí [25, 26, 29, 30].

Technologie výroby PET lahví spočívá v použití různých metod tvarování, jako je vstřikování, vytlačování, vyfukování nebo jejich kombinací. Vždy se vychází z počáteční suroviny z plastových pelet, které se za působení teploty a tlaku tvarují danou metodou. Pro tvorbu lahví se využívá kombinace vytlačování/vyfukování nebo vstřikování/vyfukování. Vždy se vychází z polotovaru parizonu, ze kterého za definovaných podmínek vzniká požadovaný tvar láhve, který se liší použitou formou, která je charakteristická podle požadavku každého výrobce [1, 29].

### 4.2.3 Plechovky

Plechovka je velmi rozšířený typ obalu, který je díky svým univerzálním vlastnostem využitelný v různých odvětvích nejen v potravinářském průmyslu. Hlavní surovinou pro výrobu je hliník, který tvoří až 99,7 % celkového obalu. Zbytek připadá na povrchovou úpravu a potisk plechovek. Další surovinou pro výrobu plechovek může být pochromovaný ocelový plech. Pro pivovarnictví jsou plechovky nedílnou součástí používaných typů obalů, které se liší různými druhy objemů, kdy se nejčastěji setkáváme s objemy 0,33 l a 0,5 l. [1, 42, 44].

Pro nápojový průmysl jsou vyráběny dva typy plechovek, které se liší jak tvarem, tak technologií výroby. Vždy se ale vychází z hliníkového plechu, který je dále upravován na výrobu třídílných nebo dvoudílných plechovek. Třídílné plechovky se skládají z pláště, víčka a dna, které jsou jednotlivě vyseknuty. Tyto části jsou pak spojeny svářením, lepením nebo pájením. Dvoudílné plechovky jsou tvořeny pláštěm se dnem, který je vyseknut z jednoho dílu a víčkem, které je vyseknuto odděleně a nakonec je po naplnění plechovky připevněno podobně jako u třídílné plechovky [39].

Pro plechovkový obal je důležitá povrchová úprava, aby bylo zabráněno korozi materiálu a prostupu nežádoucích látek do potraviny, která svým charakterem (např. pH) může materiál poškozovat. Pivo má díky obsahu CO<sub>2</sub> pH středně kyselé kolem 4,5 což je právě případ možného prostupu nežádoucích látek do obsahu. Povrchová úprava je prováděna tzv. lakováním. [41, 42].

#### 4.2.4 Výčepní obaly - sudy

Sudy patří k obalům, které se využívají při podávání piva v restauracích nebo hospodách. Jedná se o výčepní obaly, které mají složitou konstrukci a k jejich vyprázdnění slouží výčepní technika. V minulosti byly sudy vyráběny výhradně ze dřeva, ale v dnešní době se využívají sudy hliníkové nebo z korozi-vzdorné oceli. Nejnověji se začaly využívat PET sudy, které jsou určeny jako nevratný obal pro export, jejich nevýhodou je ekonomická náročnost a přizpůsobení plnicí linky v pivovarských stáčírnách [47, 49].

Tyto obaly se vyrábí také v několika typech objemů, ale převládají sudy o objemu 15 l, 30 l a 50 l. Pro speciální účely jsou možné i soudky meších velikostí s objem 5 l a 10 l [1, 49].

Nejvyužívanějším typem výčepního obalu je v dnešní době sud typu KEG. Jedná se o obal, který je charakteristický svou konstrukcí, která umožňuje automatizaci jak plnění tak sanitace. Také jsou typické svým vzhledem, který zajišťuje snadné přemísťování koulením a snadné uskladnění do vyšších pater [1, 47].

Přístup dovnitř sudu zajišťuje jediný otvor, který je uzavřen speciální armaturou, která slouží jak k napojení na výčepní zařízení, tak k plnění a čištění sudu. Existuje několik typů těchto armatur, kdy hlavním principem je uzavírání přes pružinu a dle provedení může být plochá, košíčková, kuličková nebo kombinovaná. Tato armatura je navázána na trubku, která dosahuje až ke dnu sudu. Ta je určena k výtlačku piva ze sudu ven [1, 48].

Součástí výčepního zařízení je narážecí hlava, která je typická dle provedení armatury a také umožňuje přívod hnacího plynu, kterým dochází k vytlačování piva ze sudu do výčepního zařízení. Pro vytlačení piva ze sudu se využívá několik druhů plynů od tlakového vzduchu, oxidu uhličitého až po biogon, což je směs plynu oxidu uhličitého a dusíku v různých poměrech např. 50:50 nebo 80:20 (dusík:CO<sub>2</sub>) [1, 48].

### 4.3 Materiály pro výrobu obalů

Obalový materiál je důležitý pro ochranu produktu před mechanickým poškozením, prostupem vlhkosti, mikrobiální kontaminací a oxidačně-redukčními reakcím. Vlivem změn skladovacích podmínek jako je teplota a záření dochází k znehodnocení chuti a vůně potravin. Proto je důležité používat správný materiál pro výrobu obalů, aby bylo v co největší míře zabráněno působení těchto škodlivých vlivů na potraviny [40, 44].

Předmětem studií je fakt, že obalový materiál není inertní a prakticky vždy dochází k interakcím mezi potravinou a obalem. V průběhu skladování dochází téměř u všech materiálů k reakcím jak mezi potravinou a obalem, ale také mezi obalem a okolím a neméně přímo mezi potravinou a okolím. Je proto nutné předpokládat chování potravin ve zvoleném typu obalu, aby k těmto interakcím docházelo v co nejmenší míře [15, 40].

Pro výrobu obalů je využíváno velké množství materiálů od papíru, přes různé druhy kovů až po sklo a plastové materiály. Společným znakem těchto materiálů musí být splněná podmínka schválení pro styk s potravinou. Jestliže materiál nesplní tuto podmínku, nesmí být pro balení potravin využíván. Podmínky, které musí daný materiál splnit, jsou dány Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 a jejich splnění je kontrolováno příslušnými správními orgány [1, 41].

#### 4.3.1 Sklo

Z chemického hlediska se jedná o anorganickou sloučeninu s amorfní strukturou. Ve své podstatě je viskózní kapalinou v podchlazeném, sklovitém stavu. Vyrábí se z křemičitého neboli sklářského písku, jehož důležitou hlavní složkou pro výrobu skla je oxid křemičitý. Technologie výroby spočívá v roztavení směsi při cca 1000 °C a vzniku taveniny. Ve směsi jsou obsaženy alkalické látky, které snižují původní teplotu tání oxidu křemičitého z 2000 °C na zmíněných 1000 °C. Přísady, které jsou ve sklářském průmyslu používány, jsou z alkálií soda a potaš, pro zvýšení odolnosti proti vodě pak oxid vápenatý [41, 50].

V potravinářském průmyslu se sklo využívá hlavně na výrobu skleněných lahví pro nápoje a konzervované potraviny. Pro konzervované potraviny je využíváno čiré bezbarvé sklo a pro nápoje jak čiré tak barvené sklo [41, 44].

Barvené sklo má bariérové vlastnosti proti světelnému záření. Různé druhy barev lze získat přidáním malého množství různých oxidů kovů. Například přidáním oxidu chromu získá

sklo zelenou barvu, která je odolná vůči ultrafialovému (UV) záření, kobalt zajistí modrou barvu, nikl tvoří fialové až hnědé zabarvení skla a selen dodává sklu červenou barvu. Nejčastější jantarová barva je tvořena přídavkem železa, síry a uhlíku. Různé zabarvení skla absorbuje různé světlo o vlnové délce a tím chrání produkt před jeho působením. Právě jantarová barva skla absorbuje veškeré záření o vlnové délce do 450 nm a působí jako výborná ochrana před UV zářením [1, 50].

Konečná úprava skla je tvořena různými metodami, lisováním, vyfukováním, dvojitým vyfukováním či jejich kombinací. Po vytvarování následuje řízené chladnutí, úprava a kontrola [1].

Velkou výhodou skla je jeho bariérová vlastnost. To znamená, že nepropouští plyny ven, ani dovnitř obalu. Tato vlastnost je důležitá zejména pro sycené nápoje, kdy je sklo vhodný materiál pro zachování původního obsahu oxidu uhličitého. Další nespornou výhodou je jeho odolnost proti chemickým vlivům, což umožňuje jeho opakovanou sanitaci a sterilaci, a tím i opakované použití. S tím souvisí také jeho mechanická odolnost [1, 50].

Za nevýhody skleněného materiálu se považuje jeho křehkost. Tento parametr je spjat s hmotností vyráběných lahví, kdy v dnešní době dochází k technologiím zabývající se odlehčením skleněných lahví, kdy se křehkost ještě zvyšuje. Další nevýhodou je špatná tepelná vodivost, která má dopad na tepelnou odolnost a také vysoká energetická náročnost na výrobu skla [41, 50].

### 4.3.2 Kovy

Kovy patří mezi velmi využívané materiály pro výrobu obalů. V potravinářském průmyslu jsou využívány takřka ve všech odvětvích. Jsou oblíbeny pro své výborné bariérové vlastnosti, které zabraňují úniku i vstupu plynů a par, a také zabraňují působení světla, kdy je velká škála potravin náchylná na oxidačně-redukční vlastnosti a dochází tak ke znehodnocování kvality potravin [1].

Využívanými druhy kovových materiálů jsou železo ve formě oceli, hliník, cín a chrom. Jejich hlavní nevýhodou je koroze, která ohrožuje jak kvalitu výrobku, tak zdraví konzumenta, protože mohou nežádoucí složky z kovu přecházet z obalu do potravin. Z kovových materiálů jsou pro potravinářský průmysl vyráběny plechovky pro různé účely úchovy. Využití je různé od plechovek pro balení nápojů, masných výrobků až po zeleninu či ovoce. [41, 51].

### 4.3.3 Hliník

V potravinářském průmyslu je využíván od 30. let minulého století. Vyrábí se z oxidu hlinitého elektrolýzou v tavenině. Pro výrobu obalů pro potravinářské využití je nutná čistota 99,5 %. Z hygienických důvodů je také limitován obsahem příměsí, které nesmí překročit 0,005 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) Fe, 0,05 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) As, 0,01 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) Cd a 0,2 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) Bi [1, 51].

Jeho největší výhodou je lehkost a měkkost, díky které ho lze upravovat válcováním a tažením. Nevýhodou je vysoká energetická náročnost výroby, ekologický dopad na prostředí, menší mechanická pevnost a malá chemická odolnost. Velkým sporem posledních let jsou jeho toxické účinky na lidský organizmus [42].

Při užití hliníku jako materiálu pro výrobu obalů pro potravinářské podniky musí být jeho povrch vždy upravován, aby bylo zabráněno korozi. Jednou z možností je povrchová ochrana nanesením vrstvy chromu, která je ale náchylná na mechanické poškození nebo elektrochemická povrchová oxidace za vzniku vrstvy oxidu hlinitého, která již dále nepodléhá korozi [1, 42, 51].

### 4.3.4 Ocel

Ocel je materiál vyrobený z technického železa s obsahem uhlíku do 7 %. Technologie výroby probíhá za vysokých teplot, které ovlivňují její výsledné vlastnosti. Ty se pak liší i přísadami, které jsou k výrobě oceli využívány. Ocel je produkována ve formě plechů, které jsou buď tvrdé, využívající se na výrobu tuhých plechovek či tlakových nádob nebo měkké plechy, ze kterých jsou vyráběny obaly tažením. Ocelový černý plech je využíván pro výrobu konzervových plechovek, naopak z bílého ocelového plechu, který prochází povrchovou úpravou pocínováním, jsou vyráběny nápojové obaly [1, 52].

#### *Nerezová ocel*

Jedná se o upravenou ocel tzv. legováním, což znamená reakci, které se účastní další kovy (chrom, nikl, mangan, atd.) Pro potravinářské účely se využívá nerezová ocel, která splňuje limity legujících příměsí. V České republice se jedná o maximální obsah chromu 21 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ), niklu 11,5 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ), manganu 0,1% ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ), olova 0,1 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) a kadmia 0,05 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) [1].

### 4.3.5 Cín a Chrom

Tyto dva druhy kovů se využívají jako ochranná vrstva na povrchu oceli. Na povrchy obalů jsou nanášeny formou lakování a jejich funkcí je ochrana proti korozi, která může být způsobena působením kyselého prostředí nebo vznikem elektrochemického článku, tzn. uvolnění kovu do obsahu obalu [1, 2].

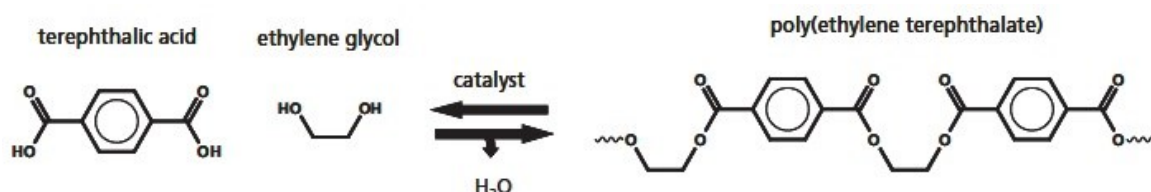
Cín používaný pro povrchovou úpravu oceli pro potravinářské účely musí splňovat hygienické požadavky, a to maximální obsah Pb 0,1 % ( $\text{hm.hm}^{-1}$ ), As 0,05 % ( $\text{hm.hm}^{-1}$ ), Bi 0,1 % ( $\text{hm.hm}^{-1}$ ) a Sb 0,05 % ( $\text{hm.hm}^{-1}$ ). Chrom se využívá samostatný nebo ve formě oxidu chromitého [1].

### 4.3.6 Plasty

Plastové obaly jsou nejvíce různorodého charakteru použití v potravinářství. Jsou využívány pro výrobu láhví, různých kelímků a krabiček, tenkých obalů jako jsou sáčky a pytlíky až po pevné přepravky a boxy. Pro výrobu těchto typů obalů se využívá různých druhů polymerů. Pro pevné obaly je vhodné využití polypropylenu (PP), pro výrobu fólií, sáčků a uzávěrů je vhodný polyethylen (PE). Pro dočasnou úchovu potravin se používají krabičky a kelímky, které jsou vyrobeny z polystyrenu (PS) a právě pro výrobu láhví pro potravinářský průmysl je pro své vlastnosti nejvhodnější PET [30].

#### *Polyethylentereftalát*

Pro výrobu se využívá reakce polymerace, kdy v první fázi vzniká tzv. prepolymer, který má ale nízkou viskozitu a není vhodný na využití pro výrobu obalů, ani polymerních vláken. Z tohoto důvodu dochází k další reakci, kondenzaci, kdy za vysokých teplot 280 °C dochází ke zvýšení viskozity. Konečným produktem těchto reakcí je tavenina, která je vytlačována do pelet, ty ale svojí viskozitou stále nedosahují požadavků na PET láhve a proto dochází k dalším kondenzačním reakcím, které probíhají v pevném stavu. Pro správný průběh polymerace je třeba katalyzátoru oxidu titaničitého [27, 28].



Obr. 2 Polymerační reakce – vznik polyethylentereftalátu [27]

Vhodný obal je zásadní pro zachování dlouhodobé trvanlivosti produktu, pro který je určen. Neméně důležitou funkcí obalu je ale také schopnost zachovat senzorycké vlastnosti výrobku po celou dobu minimální trvanlivosti. U piva se jedná o zachování obsahu CO<sub>2</sub>, zamezení tvorby nežádoucích chutí a vůní a také by měl zabraňovat oxidačním změnám. Proto byl pro účel této práce navržen experiment, který sleduje vliv nejčastěji využívaných obalů v pivovarnictví, na organoleptické vlastnosti piva. V dostupné literatuře se s takto komplexním výzkumem, který by se zabýval dlouhodobým sledováním vlivu obalů na stárnutí piva, nelze setkat.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 CÍLE PRÁCE

Hlavní cíl:

- Stanovení vybraných fyzikálně-chemických a organoleptických parametrů piva a pozorování jejich změn v průběhu skladování (stárnutí) v různých typech obalů

Dílčí cíle:

- Stanovení obsahu oxidu uhličitého v pivu v různých typech obalů v průběhu jeho stárnutí
- Stanovení barvy piva v různých typech obalů v průběhu jeho stárnutí
- Stanovení čirosti piva v různých typech obalů v průběhu jeho stárnutí
- Stanovení pěnovosti piva v různých typech obalů v průběhu jeho stárnutí
- Senzorické hodnocení piva v různých typech obalů v průběhu jeho stárnutí
- Zhodnocení významu volby

## 6 METODIKA

Byly stanovovány vybrané fyzikálně-chemické parametry piva a jeho organoleptické vlastnosti. Pro experiment bylo vybráno pivo o jednotném extraktu původní mladiny (EPM), které bývá konzumenty nejvíce žádané. Před stočením do různých typů obalů byly provedeny vstupní analýzy, které ověřily, že nedošlo vlivem technologického procesu k ovlivnění konečných výsledků po stočení do spotřebitelského obalu. Mezi analýzy, které jsou součástí ověřovacích postupů, byla zahrnuta kontrola stabilizace filtrovaného piva, stanovení sušiny použitého stabilizačního prostředku a stanovení konečného obsahu kyslíku a CO<sub>2</sub> ve filtrovaném pivu, které bylo uchováno v nerezových přetlačných tancích po nezbytně dlouhou dobu před stočením do obalu.

Pivo, které bylo stočeno do skleněných láhví, plechovek, PET láhví a KEG sudů, bylo následně ihned po stočení analyzováno. Bylo prováděno stanovení obsahu CO<sub>2</sub>, barvy, čirosti, pěnivosti a také bylo pivo podrobena senzoričké analýze. Vliv stárnutí na uskladněných vzorcích byl poté zkoumán každý další následující měsíc po dobu jednoho roku.

### 6.1 Popis analyzovaného vzorku

Pro tento experiment bylo vybráno pivo o EPM 11 % (w.w<sup>-1</sup>), které bylo uvařeno klasickým, dekokčním způsobem v čtyřnádobové varně, bez přídavku surogátů. Toto pivo bylo třikrát chmeleno a dále zpracováváno technologií typickou pro vaření piva českého typu, kdy kvašení probíhalo v otevřené spilce a ležení v klasických ležáckých tancích. Po ukončení ležení bylo pivo filtrováno a stabilizováno prostředkem PVPP dávkováním 60 g.hl<sup>-1</sup> piva. Po filtraci bylo pivo uchováno v přetlačných tancích po takovou dobu, než proběhlo jeho stočení do obalu. Pro další analýzy byly odebrány vzorky piva v různých obalech a to v skleněných láhvích, plechovkách, PET láhvích a KEG sudech. Tyto vzorky byly poté analyzovány ihned po stočení do obalu a dále uchovány ve skladu o teplotě 25±2 °C s omezeným přístupem světla po dobu 12 měsíců, kdy od stočení každý následující měsíc probíhalo kontrolní stanovení daných parametrů.

#### 6.1.1 Skleněná láhev

Pro zkoumání vlivu obalu na pivo v průběhu stárnutí byla zvolena hnědá skleněná láhev o objemu 0,5 l. Skleněná láhev o celkovém objemu 0,52 l a hmotnosti 330 g. Po stočení byla láhev uzavřena uzávěrem v podobě kovové korunky. Kovová zátka byla vyrobena jako

plechový výlisek, který byl opatřen těsněním z polyvinylchloridu (informace od výrobce obalu).

### 6.1.2 Plechovka

Odlišným typem obalu z hliníkového materiálu byla plechovka o objemu 0,5 l. Pro výrobu plechovky o hmotnosti  $13,0 \text{ g} \pm 0,9 \text{ g}$  byl použit hliníkový materiál o obsahu hliníku 95,5 – 98,2 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ), 0,25 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) mědi, 0,70 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) železa, 0,8 – 1,3 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) hořčíku, 1,0 – 1,5 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) manganu, 0,30 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) křemíku a 0,25 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) zinku (specifikace uvedená výrobcem obalu). Vnitřní povrch byl ošetřen epoxidovým lakem, z důvodu protikoroziční úpravy.

### 6.1.3 PET láhev

Pro zkoumání vlivu polymerního materiálu bylo pivo stočeno do polyethyltereftalátové zelené láhve o objemu 1,5 l. Materiál pro výrobu PET láhve byl certifikován pro styk s potravinou. Surovinami pro výrobu PET láhve byly kyselina tereftalová, kyselina izotereftalová, ethylenglykol, diethylenglykol, acetaldehyd a trioxid antimonu. Jako aditivum pro aktivní bariéru byl použit 3,5 % AMOSORB (informace poskytnuty výrobcem obalu). Jedná se o polyesterový koncentrát zachycující kyslík, vstupující přes stěny PET láhve dovnitř obalu. Je prostředkem pro ochranu produktu a prodlužuje jeho trvanlivost.

### 6.1.4 KEG sud

Jako zástupce výčepního obalu byl použit nerezový KEG sud o objemu 15 l s hladkou narážecí armaturou. KEG sud byl vyroben z nerezové, chrom-niklové oceli s obsahem příměsí chromu 17 – 19,5 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ), niklu 8 – 10,5 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ) a uhlíku pod 0,07 % ( $\text{hm} \cdot \text{hm}^{-1}$ ). Použitý 15 l KEG sud byl od výrobce Schäfer-Sudex, s.r.o.

Pro celkovou analýzu všech parametrů v každém typu obalu byl odebrán takový počet vzorků, aby bylo provedeno pět stanovení, ze kterých byl následně spočítán aritmetický průměr. Hodnoty pak byly graficky zpracovány pro každý sledovaný parametr vybraných druhů obalů zvlášť.

## 6.2 Stanovení kontrolních parametrů před stočením piva do obalů

### 6.2.1 Stanovení polyfenolů po stabilizaci piva

Pro tuto analýzu byl odebrán vzorek piva před stabilizačním filtrem a za stabilizačním filtrem. Před samotnou analýzou byly vzorky zbaveny obsahu  $\text{CO}_2$  vytřepáním na třepačce po dobu dvaceti minut. Postup analýzy by proveden následovně. 10 ml piva bylo pipetováno do 25 ml odměrných baněk a bylo přidáno 8 ml roztoku karboxymethylcelulózy, připraveného z 5 g karboxymethylcelulózy a 1 g kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA) v 250 ml odměrné baňce s destilovanou vodou. Ke směsi roztoku s pivem byl přidán 1 ml  $\text{NH}_4\text{OH}$  v poměru 1:2 amoniaku s vodou a 1 ml roztoku citrátu železitoamonného připraveného z 0,875 g citrátu s destilovanou vodou v 10 ml odměrné baňce. Po promíchání byla baňka doplněna destilovanou vodou po rysku, promíchána a po 10 minutách stání byly vzorky měřeny na spektrofotometru CADAS 200 UV VIS (výrobce Dr. LANGE) při vlnové délce 600 nm. Pro srovnání byl připraven slepý vzorek stejným postupem jako analyzované vzorky, ale bez přidání roztoku citrátu železitoamonného. Obsah polyfenolů v pivu je stanoven přepočtem absorbance dle výpočtu  $A_{600} \cdot 820 \text{ (mg.l}^{-1}\text{)}$ . Ve výpočtu je použita hodnota 820 jako empiricky zjištěný koeficient. Pro pivo stabilizováno na 12 měsíců je hodnota polyfenolů 150 – 200  $\text{mg.l}^{-1}$ .

### 6.2.2 Stanovení sušiny PVPP

Sušina je stanovována pro kontrolu úbytku stabilizačního prostředku, kdy vlivem opakovaného používání dochází ke snižování jeho obsahu a tím i jeho účinnosti. Pro spolehlivou účinnost na daném zařízení byla stanovena minimální hranice 170 kg PVPP. Stanovení bylo prováděno ze dvou odebraných vzorků o objemu 1 l. Do zvážených, suchých, hliníkových váženek bylo odpipetováno 10 ml suspenze PVPP s vodou. Po opětovném zvážení byly váženky vloženy do sušárny vyhřáté na 105 °C a sušení probíhalo po dobu 3 hodin. Pro analýzu byly připraveny 3 váženky z obou vzorků. Po vychladnutí byly váženky opět zváženy a byla vypočítána sušina, která byla přepočítána na hmotnost PVPP v zařízení [20].

### 6.2.3 Stanovení obsahu O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> v přetlačných tancích

Pro zachování dlouhodobé kvality piva je důležité při konečných úpravách piva, to je při filtraci a stočení piva do obalu, zajistit zamezení přístupu kyslíku do piva a naopak zabránit úniku oxidu uhličitého z piva ven. To je možné ovlivnit použitou technologií a správným pracovním postupem. Po filtraci dochází vždy ke kontrolnímu měření piva v přetlačných tancích. Stanovení bylo prováděno digitálním měřicím zařízením CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> GEHALTMETER typ c – DGM (výrobce Haffmans). Tento typ přístroje lze použít na měření obsahu O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> v tancích, potrubích i KEG sudech [34].

Měření kyslíku je založeno na principu luminiscence vrstvy citlivé na kyslík. Fluorescence se mění v závislosti na parciálním tlaku kyslíku. Množství plynu rozpuštěného v kapalině je vypočítáváno na základě změřeného parciálního tlaku kyslíku a teploty. Hodnoty O<sub>2</sub> byly vyhodnocovány v jednotkách ppb [53].

Pro měření CO<sub>2</sub> je využita fyzikální metoda založená na Henryho zákoně, kdy parciální tlak plynu, který je v rovnováze s kapalinou, je přímo úměrný obsahu plynu rozpuštěného v kapalině. Zákon funguje za předpokladu konstantní teploty, a že množství plynu rozpuštěného v kapalině je přímo úměrné parciálnímu tlaku plynu nad kapalinou. Koncentrace CO<sub>2</sub>, rozpuštěného v kapalině může být tedy určena měřením tlaku plynu, uvolněného v určitém objemu, který je v rovnováze s kapalinou při určité teplotě. Ze zjištěného tlaku a teploty je pak vypočítán obsah CO<sub>2</sub> v g.l<sup>-1</sup>. Pro pivo je optimální obsah CO<sub>2</sub> 5,0 – 5,5 g.l<sup>-1</sup> [53].

### 6.3 Stanovení obsahu oxidu uhličitého v různých typech obalů fyzikální metodou

Pro stanovení obsahu CO<sub>2</sub> v obalech je využívána fyzikální metoda založena na měření tlaku (bar) pomocí barometru, který je vyvinut mechanickým třepáním na zařízení HAFFMANS INPACK 2000. Před vlastním třepáním je nutno odpustit směs plynu v hrdlovém prostoru obalu. Tato směs by při vývinu tlaku negativně zkreslovala tlak vytvořený samotným CO<sub>2</sub>. Po odpuštění hrdlového prostoru následuje intenzivní třepání a po ustálení a zaznamenání tlaku je v měřeném pivu zjištěna teplota pomocí kontrolního teploměru (°C) a pomocí posuvného pravitka HAFFMANS je zjištěn obsah CO<sub>2</sub> v pivu (% w.w<sup>-1</sup>) [34]. Při správném technologickém provedení stáčení, by měl být obsah CO<sub>2</sub> v obalu stejný, jako

v přetlačném tanku. Tato metoda byla využita pro měření malých spotřebitelských obalů, skleněných láhví, plechovek a PET láhví [54].

Stanovení obsahu  $\text{CO}_2$  v pivu v KEG sudu bylo prováděno pomocí digitálního přístroje  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  GEHALTMETER c – DGM (výrobce Haffmans), jehož měření je založeno na přepočtu tlaku  $\text{CO}_2$ , který byl vyvinut elektrickým výbojem a teploty. Výsledná hodnota obsahu  $\text{CO}_2$  je vyjádřena v  $\text{g.l}^{-1}$  [34, 53].



*Obr. 3 Zařízení pro stanovení  $\text{CO}_2$   
Haffmans Inpack 2000 (Foto Iveta Černošková)*

#### **6.4 Stanovení barvy piva v různých typech obalů spektrofotometrickou metodou**

Stanovení barvy piva bylo prováděno ve vzorcích piva ze všech typů obalu, které byly upraveny odstraněním  $\text{CO}_2$  vytřepáním na třepače po dobu 20 minut. Po vytřepání bylo pivo přefiltrováno přes skládaný filtrační papír s jednou lžící křemeliny. Po přefiltrování bylo pivo podrobena spektrofotometrické analýze na spektrofotometru LANGE při vlnové délce 530 nm v 1 cm kyvetě.

## 6.5 Stanovení čirosti piva v různých typech obalů spektrofotometrickou metodou

Čirost piva je stanovována pomocí fotometrické metody. Ta je založena na průchodu světelných paprsků pivem, které je ve skleněné kyvetě, pod úhly  $90^\circ$  a  $25^\circ$ . Paprsky procházející pod jednotlivými úhly charakterizují různé typy zákalu. Světelný paprsek směřující pod úhlem  $90^\circ$  zaznamenává částice tvořící koloidní zákal, paprsek mířící pod úhlem  $25^\circ$  detekuje přítomnost částic o větších rozměrech [57].

Měření čirosti piva bylo prováděno na zákaloměru SIGRIST LAB SCAT 2 (země výroby Španělsko). Analyzované vzorky piva byly přelity do měřicí skleněné kyvety, která byla uzavřena uzávěrem. Ustálením tlaku došlo k zamezení proudu bublinek, které by měření negativně ovlivňovaly. Poté byla kyveta s pivem podrobena měření při obou úhlech, při pokojové teplotě  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Touto metodou bylo analyzováno pivo ve všech typech obalů ihned po stočení i v průběhu stárnutí po dobu jednoho roku.

## 6.6 Stanovení pěnivosti piva v různých typech obalů fyzikální metodou

Stanovení pěnivosti piva bylo prováděno na zařízení NIBEM. Tento přístroj slouží k měření stability pěny piva měřením časových intervalů a sledováním poklesu pěny o určitou vzdálenost. Teplota piva a okolí přitom ovlivňuje pokles pěny. Proto je teplotním čidlem měřena průměrná teplota pěny, která slouží k přepočtu na skutečnou hodnotu poklesu pěny v sekundách. Přístroj je vyroben z nerezové oceli a měřicí komory z plexiskla, která minimalizuje negativní vlivy proudícího vzduchu z okolí. Před samotným měřením je nutná kalibrace na hladinu vody v měřicí kyvetě.

Měření je zajištěno pomocí membránových spínačů odolných vůči vlhkosti a znečištění. Úroveň klesající pěny je měřena systémem elektrod, které svými konci sledují povrch pěny při jejím klesání o definovanou vzdálenost [56].

Zařízení pro vytvoření pěny v kyvetě je složeno ze sestavy INPACK 2000 SAMPLING DEVICE a rozpěňovače FLASHER HEAD, která je určena pro odebrání vzorků pěny z lahví, plechovek a PET lahví [55].

Pro stanovení pěnivosti piva v KEG sudu je využíváno narážecí hlavy spojené s rozpěňovačem. Princip stanovení je poté stejný jako u malých spotřebitelských obalů.



Obr. 4 Zařízení pro stanovení pěnivosti piva  
NIBEM (Foto Iveta Černošková)

## 6.7 Senzorické hodnocení piva v různých typech obalů v průběhu stárnutí

Vzorky piv stočených do spotřebitelských obalů byly ihned po stočení analyzovány a také senzoricky hodnoceny. I senzorická analýza probíhala každý následující měsíc po dobu 12 měsíců, kdy byly sledovány senzorické změny, které byly způsobeny v průběhu stárnutí. Byl zkoumán rozdílný vliv typu obalu na senzorický profil degustovaného piva.

Senzorické hodnocení vzorků piv v průběhu stárnutí bylo stanoveno panelem o počtu 12 odborných hodnotitelů skupiny expert. Při degustaci vzorků byl kladen důraz na hodnocení charakteristických znaků pro pivo, za použití intenzitní stupnice pro všechny znaky: velmi slabá → slabá → střední → silná → velmi silná. Mezi hodnocenými znaky byla vůně charakteristická pro pivo, či cizí vůně, kdy bylo možno doplnit slovním popisem, o jakou cizí vůni se jednalo. Dalšími hodnocenými znaky byly říz, plnost, hořkost, její intenzita a doznívání, chuť typická pro pivo a cizí chutě s možným slovním popisem. Ze senzorického rozboru dílčích parametrů poté každý hodnotitel přiřadil každému vzorku známku celkového subjektivního dojmu dle degustačního protokolu Obr. 5.



Příloha č. :

Jméno:

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobrá	3
dost dobrá	4
prostřední	5
dost špatná	6
špatná	7
velmi špatná	8
mimořádně špatná	9

Vzorek:

Senzorické kritérium	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
intenzita					
slovní popis					
světlá piva					
říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
dozrívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
cizí chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
intenzita					
slovní popis					
říz					
tmavá piva					
karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace	1	2	3	4	5

Podpis:

Datum:

Obr. 5 Degustační protokol (Zdroj Zubr a.s.)

## 7 VÝSLEDKY

V této části práce jsou uvedeny výsledky všech provedených analýz během dvanáctiměsíčního experimentu.

Z Obr. 6 - 21 (kapitola 7.1) jsou patrné velké rozdíly mezi různě balenými vzorky piva v rámci sledovaných parametrů během skladovacího pokusu.

V tabulce 2. jsou uvedeny hodnoty obsahu polyfenolů před a po stabilizaci piva, které bylo stabilizováno na koloidní stabilitu po dobu 12 měsíců. Výpočtem bylo zjištěno, že v zásobníku bylo po stabilizaci 209,2 kg stabilizačního prostředku PVPP, což byl obsah splňující požadavek na spolehlivost stabilizace. Tabulka 3. uvádí hodnoty obsahu CO<sub>2</sub>, kyslíku, barvy a čirosti, ve filtrovaném pivu o EPM 11 % (w.w<sup>-1</sup>), které byly stanoveny v přetlačných tancích. Ty obsahovaly pivo určené pro stočení do spotřebitelských obalů pro tento experiment. Cílem bylo ověření spolehlivosti technologie a pracovních postupů při konečných úpravách piva a zjištění konkrétních hodnot parametrů před stočení do obalů.

Tab. 2. Stabilizace piva při dávkování 60 g/hl stabilizačního prostředku PVPP

Obsah polyfenolů před stab. filtrem [mg.l <sup>-1</sup> ]	Obsah polyfenolů před stab. filtrem [mg.l <sup>-1</sup> ]	Úbytek polyfenolů [mg.l <sup>-1</sup> ]	Úbytek polyfenolů [%]
209	152	57	27,3

Tab. 3. Hodnoty kontrolních měření filtrovaného piva v přetlačných tancích

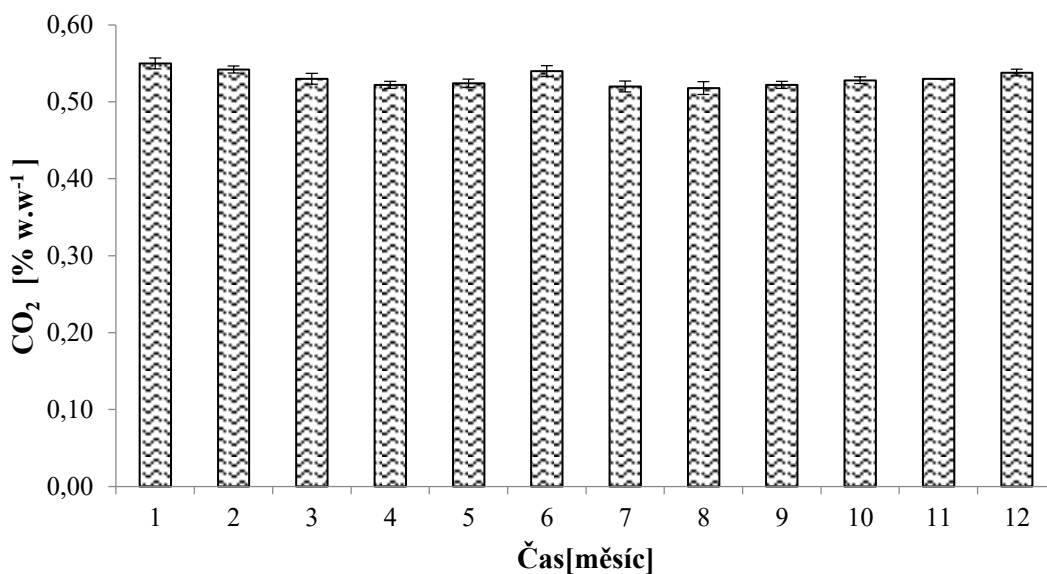
Číslo přetlačného tanku	CO <sub>2</sub> [% w.w <sup>-1</sup> ]	O <sub>2</sub> [g.l <sup>-1</sup> ]	Barva [EBC]	Čírost 90°/25° [EBC]
P 2 (pro plech.)	0,54	0,13	10,6	0,22/0,12
T 1 (pro láhev)	0,56	0,14	11,2	0,24/0,10
T 2 (pro PET a KEG)	0,54	0,16	11,2	0,24/0,10

Z tabulky 2. je patrné, že celkový obsah polyfenolů pocházející ze vstupních surovin byl na vyšší úrovni, která by nezajistila koloidní stabilitu piva po požadovanou dobu, proto byla úspěšně provedena stabilizace, snížením celkového obsahu polyfenolů na požadovanou hladinu 152 mg.l<sup>-1</sup>. V tabulce 3. jsou znázorněny naměřené hodnoty kontrolních parametrů, které byly stanoveny z přetlačných tanků. Tyto hodnoty jsou důležité pro srovnání počátečních organoleptických znaků zjištěných v obalu po stočení, kdy stanovením obdobných hodnot byla potvrzena spolehlivost technologického procesu stáčení piva do spotřebitel-

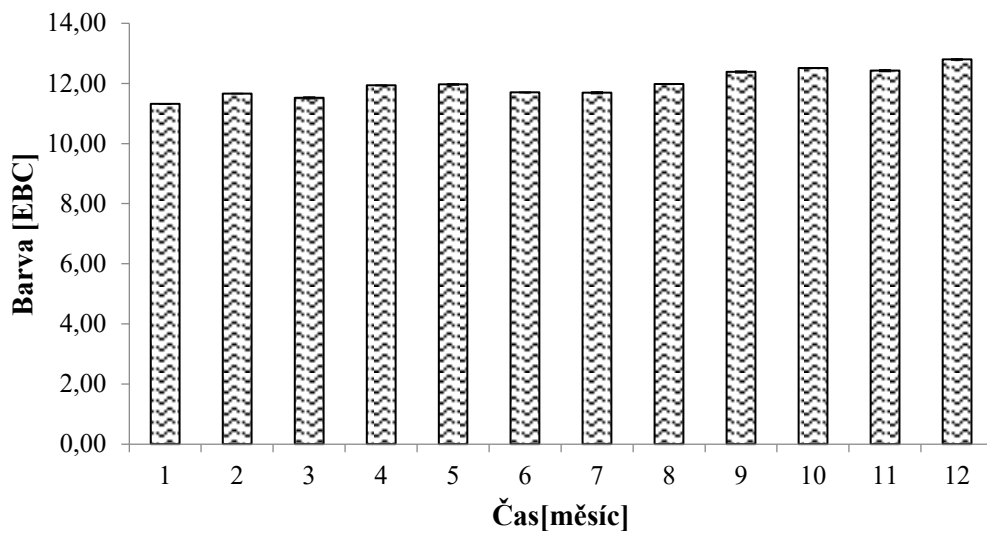
ského obalu. Díky tomu mohlo být prováděno spolehlivé sledování organoleptických a chemických změn v pivu v průběhu stárnutí, které byly způsobeny výhradně rozdílným typem obalového materiálu, při stejných skladovacích podmínkách.

### 7.1 Výsledky fyzikálně-chemických parametrů piva

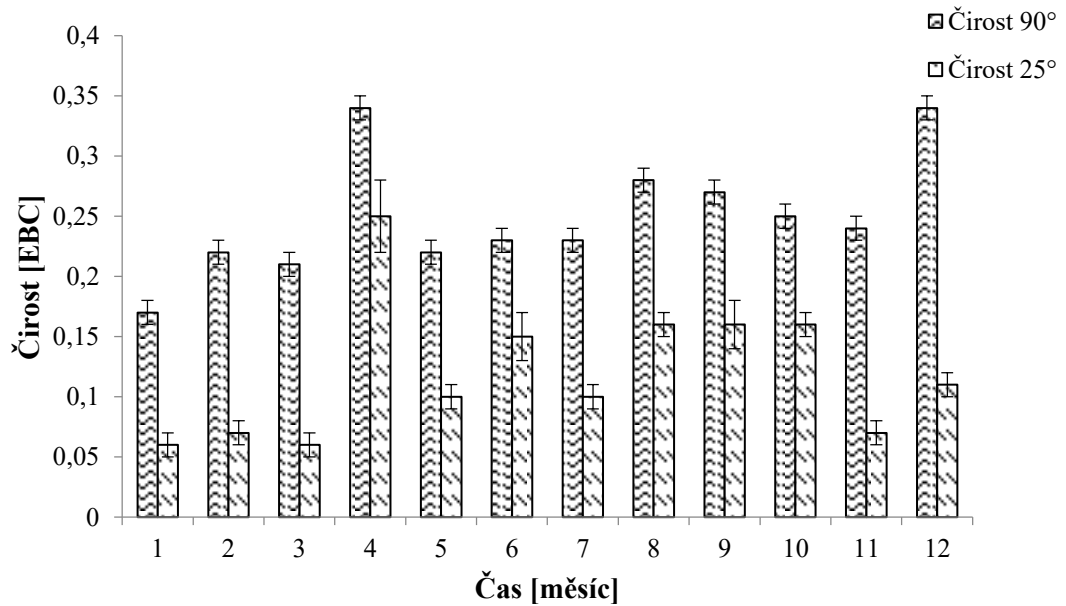
V následujících grafech je uveden průběh změn fyzikálně-chemických vlastností skladovaných vzorků piv v různých typech obalů, v průběhu skladování po dobu 12 měsíců. Grafické vyhodnocení bylo provedeno pro každý obal a sledovaný parametr zvlášť.



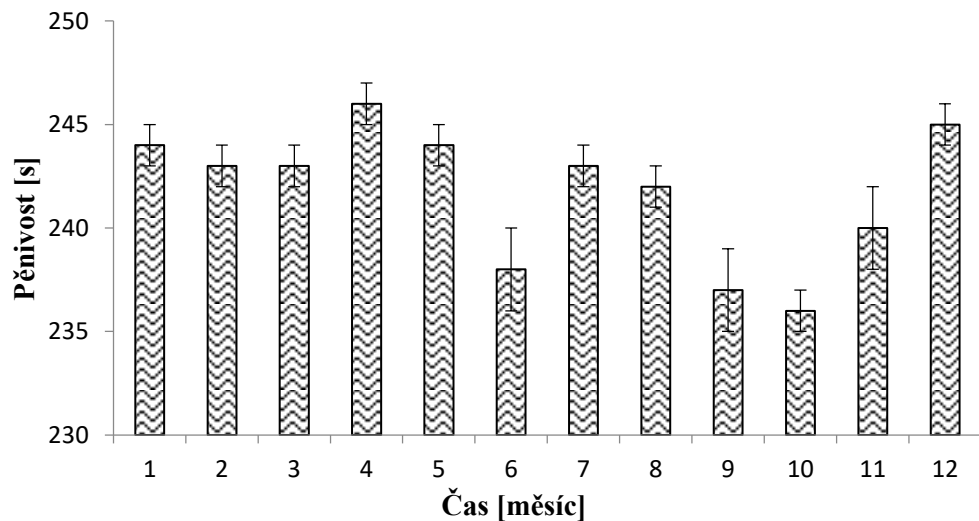
Obr. 6 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> [% w.w<sup>-1</sup>] na čase v láhvi



Obr. 7 Závislost barvy [EBC] na čase v láhvi



Obr. 8 Závislost čírosti [EBC] na čase v láhvi

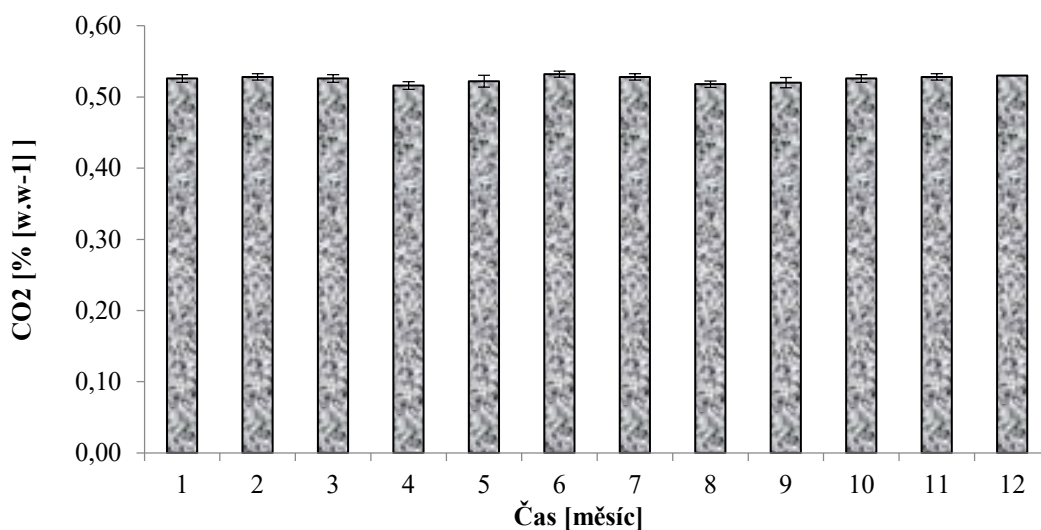


Obr. 9 Závislost pěnivosti [s] na čase v láhvi

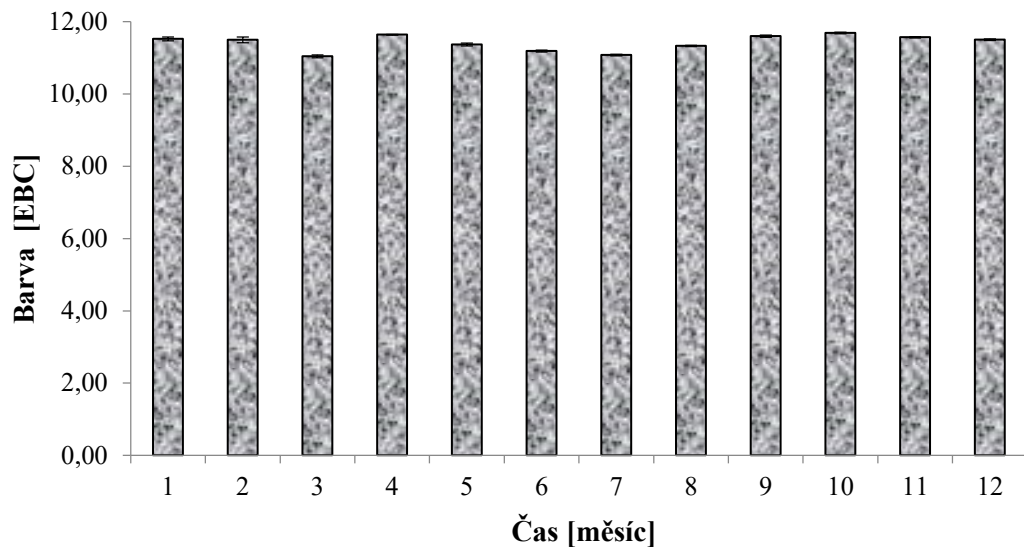
Obrázky 6 – 9 ukazují změny sledovaných parametrů piva, které bylo stočeno ve skleněné láhvi. Z grafu Obr 6. je patrné, že hodnoty  $\text{CO}_2$  v láhvi mírně kolísaly v rozmezí  $\pm 0,02\%$  ( $\text{w.w}^{-1}$ ). Tyto výkyvy mohly být způsobeny netěsností uzavírací korunky. Zaznamenané odchylky od počáteční hodnoty  $\text{CO}_2$  na začátku experimentu však nebyly významné z hlediska sensorického hodnocení. Proto tyto naměřené hodnoty nemohou být pro běžného spotřebitele postřehnutelné, protože se neprojeví na řízu (viz sensorická analýza vzorků, kapitola 7.2). Obr. 7 vyjadřuje závislost změny barvy v průběhu skladování. Z naměřených hodnot je patrné konstantní zvyšování barvy v průběhu celého roku. Nárůst hodnot mohl být způsoben oxidačními reakcemi, při kterých vznikají barevné melanoidiny, které mění charakter zbarvení piva, zvyšováním hodnot EBC. Oxidační reakce probíhají za působení světla, které v určitém množství prochází i přes hnědé zbarvení skleněné láhve [5]. Tento nárůst barvy však nezpůsobil výrazné negativní sensorické změny a proto byl tento organoleptický znak pro uchování piva v láhvi vyhodnocen jako ucházející po celou dobu experimentu. Obr. 8 vyhodnocuje změny čirosti, které byly stanoveny pro úhly  $90^\circ$  a  $25^\circ$ . Úhel  $90^\circ$  detekuje zvýšení čirosti, která byla způsobena koloidním zákalem. Pro úhel  $25^\circ$  jsou stanoveny hodnoty prokazující výskyt částic o větší velikosti [1]. Ze závislosti je patrné, že při stárnutí piva dochází spíše k tvorbě koloidního zákalu, který se po

dobu skladování zvyšoval. Tvorba částic o větších velikostech nebyla ve srovnání s koloidní stabilitou výrazná. Zvýšené hodnoty však nepřesáhly stanovené parametry pro vyhovující čírost piva, která je pro úhel  $90^\circ$  0,50 EBC a pro úhel  $25^\circ$  0,30 EBC. Na Obr. 9 je vyjádřeno sledování znaku pěnivosti piva ze skleněné láhve do bodu jednoho roku. Naměřené hodnoty kolísaly v průběhu sledování kolem hodnoty 242 s, kdy rozdíl mezi jednotlivými měření nebyl vyšší než 10 s. To prokazuje, že se pěnivost v době sledování vlivu obalového materiálu na vlastnosti piva, výrazně neměnila a sledovaný organoleptický znak byl po celou dobu vyhovující.

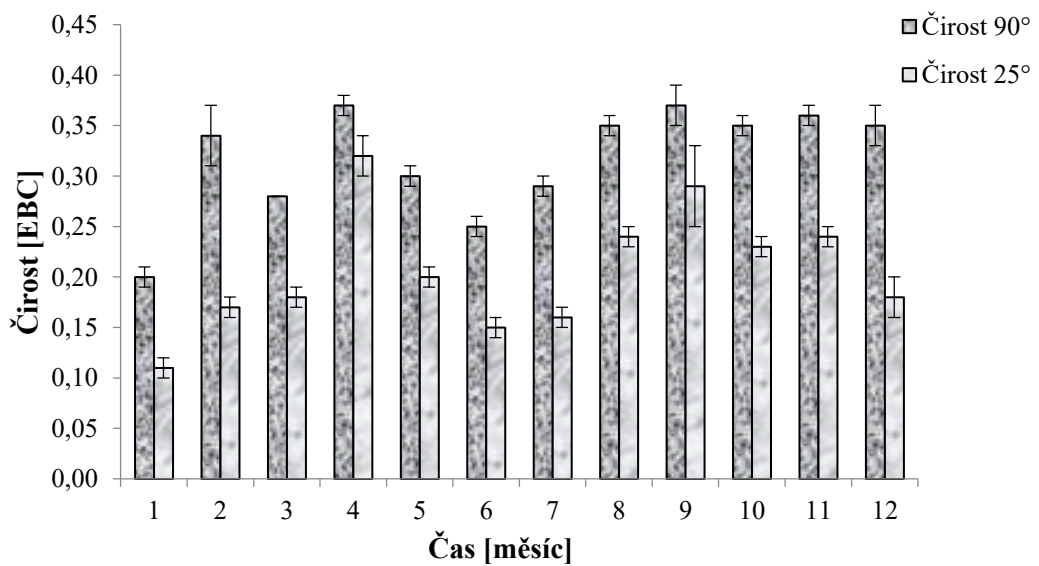
Dalším sledovaným obalem byla plechovka, u které byly sledovány stejné organoleptické znaky a jejich hodnoty byly vloženy do následujících grafů.



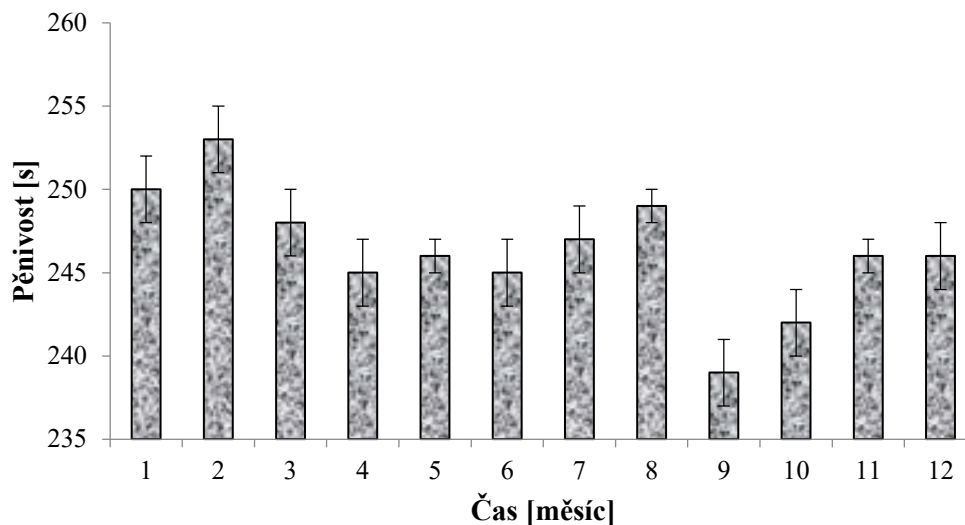
Obr. 10 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> [% w.w<sup>-1</sup>] na čase v plechovce



Obr. 11 Závislost barvy [EBC] na čase v plechovce



Obr. 12 Závislost čírosti [EBC] na čase v plechovce

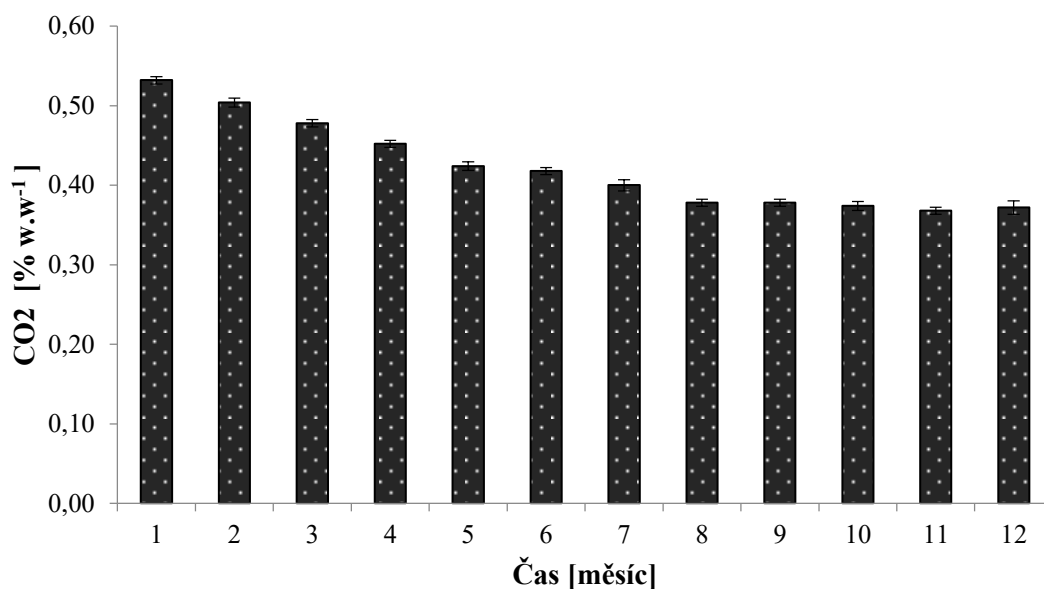


Obr. 13 Závislost pěnovosti [s] na čase v plechovce

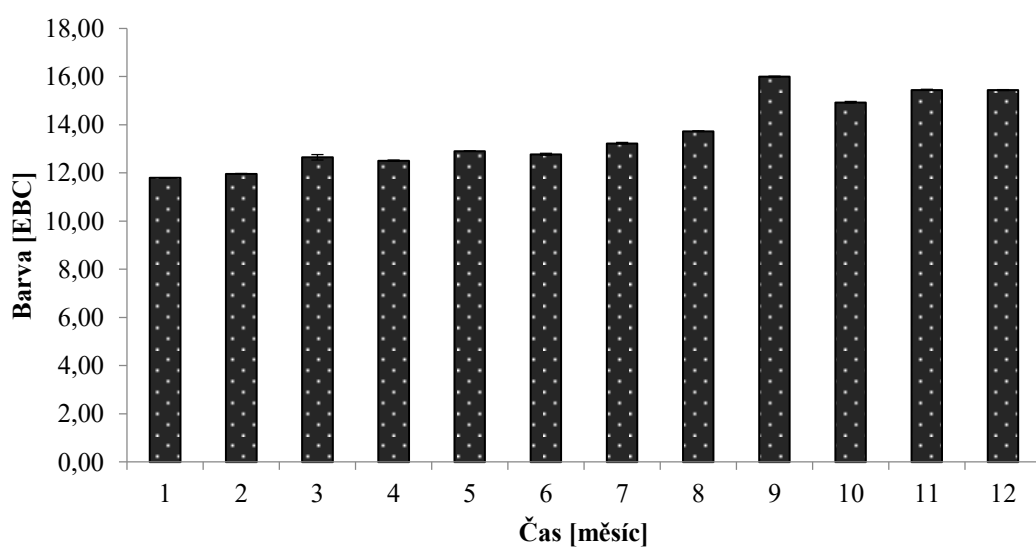
Výsledky experimentu pro plechovkový obal vyznívají velmi pozitivně jak pro výrobce, tak pro konzumenta. Z hlediska změny organoleptických znaků v závislosti na čase se jedná o obal, ve kterém nedocházelo ke změnám. Z Obr. 10 vyplívá, že se obsah  $\text{CO}_2$  v průběhu skladování po dobu celého roku, neměnil a zůstal po celou dobu konstantní. Toto zjištění podporuje studie, která uvedla, že má plechovkový obal vynikající bariérové vlastnosti, které zabraňují úniku plynu z obalu do okolí [44]. Zavičkováním vzniká hermeticky uzavřený obal, který i díky nulové propustnosti světla zachovává barvu piva stejnou po celou dobu skladování, což je patrné z Obr. 11. V průběhu stanovení barvy docházelo pouze k nepatrným odchylkám v rámci desetin EBC, které vznikly měsíčním intervalem mezi měřeními. Hodnoty čirosti vynesené do Obr. 12 vykazují mírné zvýšení v průběhu stárnutí pro oba úhly, avšak nedošlo k překročení stanovených mezí, což ukazuje na koloidní stabilitu po celou dobu 12 měsíců. Stanovení parametru pěnovosti znázorněného v Obr. 13 vykazuje průměrnou hodnotu 246 s, kdy se hodnoty liší mezi jednotlivými stanovení intervalem do 10 s. V rámci časového rozestupu je tento interval vyhovující, což dokazuje, že se pěnovost v průběhu roku výrazně neměnila a proto je plechovkový obal velmi vhodný materiál, který se na ovlivňování organoleptických parametrů v průběhu stárnutí podílí jen ve velmi malé míře.



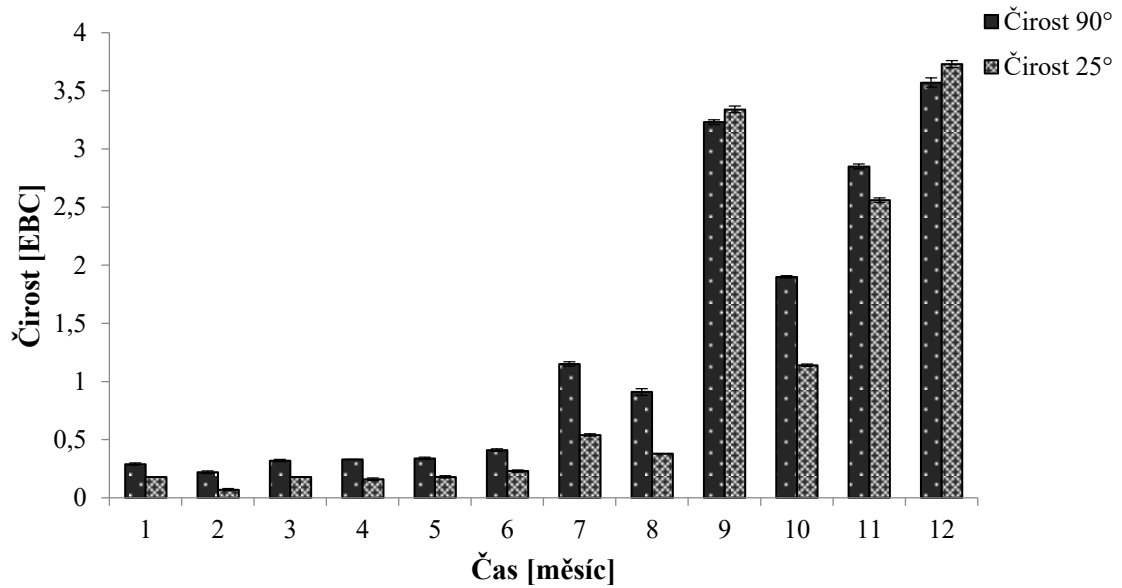
V posledních letech je na trhu často dostupný a spotřebiteli oblíbený obal z plastového materiálu. Pro výrobu lahví pro potravinářský průmysl je využíván polyethytereftelát [1], ze kterého byla vyrobena i láhev využitá pro srovnání obalů v této práci. Následující grafy popisují průběh změn piva pro PET láhev.



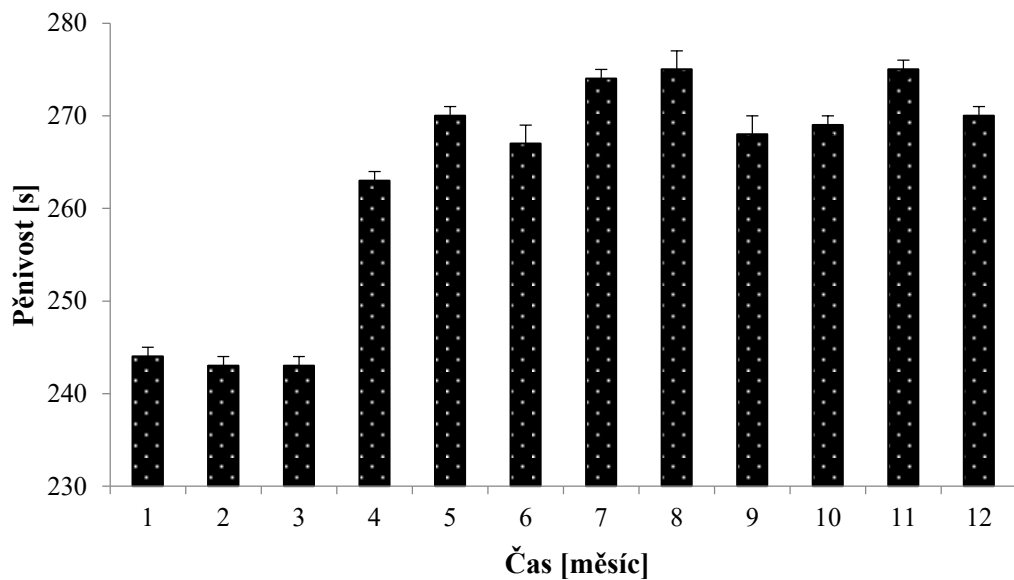
Obr. 14 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> [% w.w<sup>-1</sup>] na čase v PET láhvi



Obr. 15 Závislost barvy [EBC] na čase v PET láhvi



Obr. 16 Závislost čírosti [EBC] na čase v PET láhvích

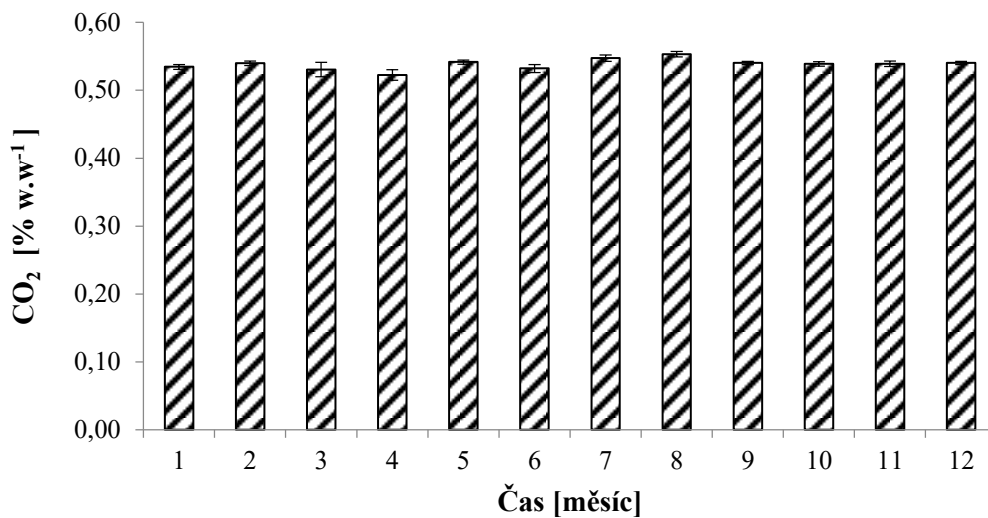


Obr. 17 Závislost pěňivosti [s] na čase v PET láhvích

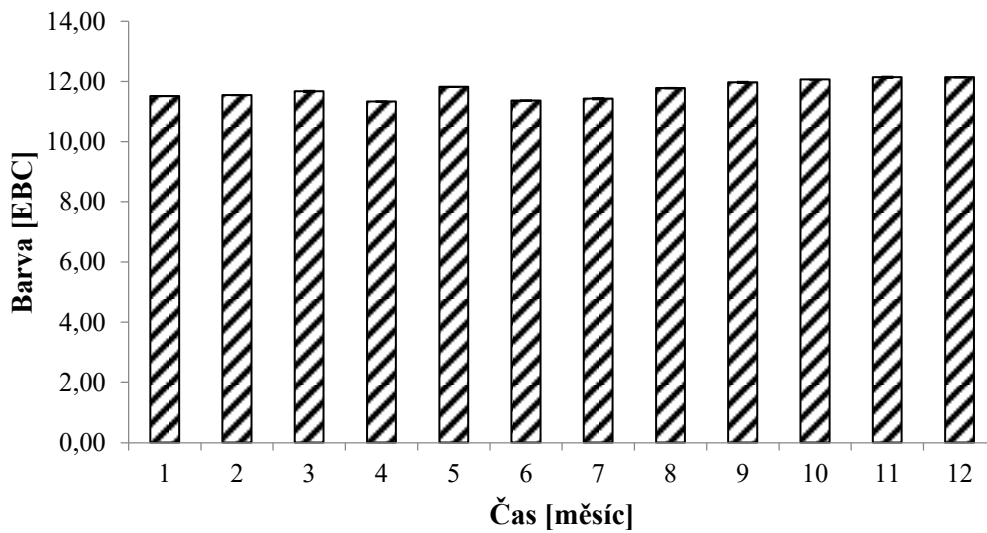
Dle Obr. 14 - 17, které znázorňují změny sledovaných parametrů v PET obalu, je jednoznačné, že kvalita piva byla velmi negativně ovlivněna ve všech sledovaných parametrech. Tento materiál není vhodný pro dlouhodobé skladování, protože nedisponuje dobrými ba-

riérovými vlastnostmi, což je znázorněné v Obr. 14. Z něj je patrná neustále klesající tendence obsahu koncentrace CO<sub>2</sub> po celou dobu sledování experimentu. Tento vliv se projevil při sensorické analýze (viz Tab. 4) v rámci vnímání řízu, kdy pivo nevykazovalo žádoucí perlivý vjem v ústech, což by spotřebitel vnímal jako nevyhovující. Nevhodnou bariérovou vlastností byl také způsoben prostup vzdušného kyslíku dovnitř PET láhve, který podporoval velmi výrazné oxidační reakce, díky nimž vznikaly po celý čas skladování produkty Maillardových reakcí. Ty výrazně zvyšovaly barvu piva, jak je znázorněno v Obr. 15. Barva byla ovlivněna i prostupujícím světlem, které k těmto reakcím přispívalo. Celková intenzita barvy byla zvýšena až o dvě jednotky EBC, což je velký rozdíl, který je postřehnutelný okem a proto se jedná o organoleptický znak, který negativně působí na smysly spotřebitelů. Společně s vysokou koncentrací prostupujícího vzdušného kyslíku a působícího světelného faktoru, došlo vlivem stárnutí i k prudkému zvyšování hodnot čírosťi piva pro oba úhly. Tato koloidní nestabilita se dle zjištěných hodnot v Obr. 16 začala projevovat již v šestém měsíci skladování, kdy se hodnoty začaly blížit doporučenému limitu EBC pro úhel 90° 0,50 EBC a pro úhel 25° 0,30 EBC. Poté však docházelo po každém uplynulém měsíci k rapidním negativním změnám, kdy již od sedmého měsíce byl zákal vnímán jako sensoricky nežádoucí. Vliv plastového obalového materiálu se projevoval i na organoleptickém znaku pěnivosti, která vykazovala zvyšující se hodnotou času (s), za který pěna poklesla o danou vzdálenost. Tento nárůst byl překvapivý, kdy bylo očekáváno, že se bude kvalita piva v průběhu stárnutí zhoršovat, ale naopak docházelo k prodloužení času rozpadu pěny. Tento projev mohl být způsoben vlivem vysokého obsahu produktů Maillardových reakcí, kdy bylo zjištěno dle studie, že vzniklé melanoidiny disponují stabilizační vlastností [22]. Z Obr. 17 je patrný nárůst hodnot již od čtvrtého měsíce skladování, což koreluje s časem, kdy došlo ke zvýšení barvy (EBC) vlivem vzniku melanoidinů při oxidačních reakcích.

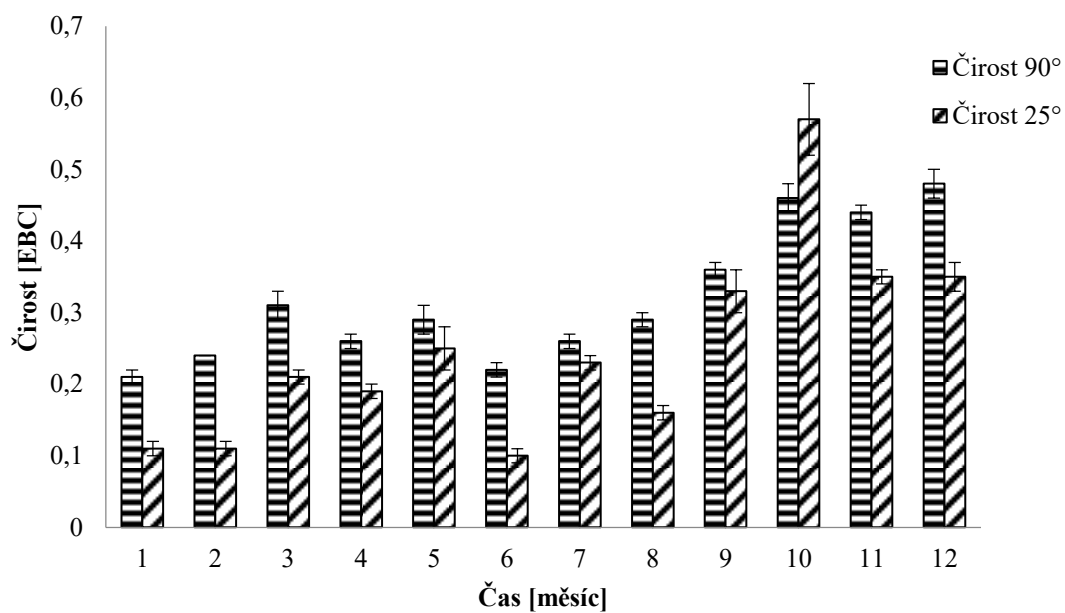
Posledním sledovaným typem obalu byl nerezový KEG sud. Změnu sledovaných parametrů piva stočeného do tohoto druhu obalu popisují následující grafy.



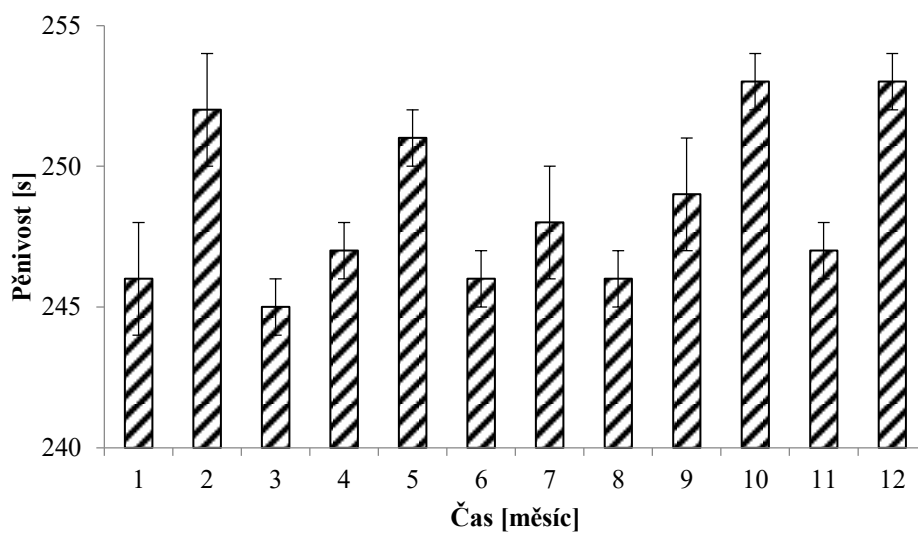
Obr. 18 Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> [% w.w<sup>-1</sup>] na čase v KEG sudu



Obr. 19 Závislost barvy [EBC] na čase v KEG sudu



Obr. 20 Závislost čírosti [EBC] na čase v KEG sudu



Obr. 21 Závislost pěňivosti [s] na čase v KEG sudu

Typ obalu KEG sud může být dle výsledků experimentu vyhodnocen jako velmi vhodný obal i pro dlouhodobé uchování piva. Z Obr. 18 - 21 je zřejmé, že vlivem obalového materiálu z nerezové oceli nedocházelo k výraznému ovlivňování organoleptických a fyzikálně-chemických vlastností skladovaného piva. Obsah koncentrace CO<sub>2</sub>, znázorněného v Obr. 18, nebyl změněn po celou dobu skladování, což zaručuje požadovaný stálý říz piva, po dobu deklarované minimální trvanlivosti. Nerezová ocel disponovala výbornými bariérovými vlastnostmi, a proto nedocházelo k žádným prostupům plynů během skladování. Dobré bariérové vlastnosti zahrnují i nulový prostup světelných paprsků i UV záření [44]. Z tohoto důvodu nebyly podporovány oxidační reakce, a díky tomu nedošlo k žádnému ovlivnění barvy piva, která zůstala po celou dobu experimentu nezměněná (Obr. 19). Sledování čirosti piva znázorněné v Obr. 20 vykazovalo mírně se zvyšující hodnoty do devátého měsíce experimentu. Po tomto měsíci, však došlo k výraznějšímu nárůstu hodnot obou úhlů, avšak toto zvýšení ještě nebylo postřehnutelné sensorickým vnímáním. Posledním sledovaným parametrem byla pěnivost, jejíž hodnoty se pohybovaly kolem průměrné doby poklesu pěny za 246 s. Rozdíly v měření v průběhu roku nepřesahovali 10 sekund, čímž bylo prokázáno, že se pěnivost piva uskladněného v KEG sudu po dobu 12 měsíců nezměnila (Obr. 21). Proto je KEG sud vhodným obalem, který výrazně neovlivňuje charakter piva.

## 7.2 Výsledky sensorické analýzy piva

Prováděné analýzy jednotlivých parametrů byly porovnávány po celou dobu vypracování této praktické části se sensorickým hodnocením panelu o počtu 12 odborných hodnotitelů. Během hodnocení byla věnována pozornost základním charakteristickým znakům piva a po zhodnocení byla vzorku přiřazena známka celkového subjektivního dojmu. Z jednotlivých známek byl poté vytvořen aritmetický průměr, který je vyobrazen v následující tabulce. Tabulka 4. popisuje celkový sensorický charakter piva v průběhu stárnutí.

Tab. 4. Průměrné známky sensorické analýzy v průběhu stárnutí piva v různých obalech

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
<b>Plechovka</b>	3,6	3,4	3,8	4,1	3,6	4,8	3,7	4,9	6,8	6,3	6,5	6,6
<b>Láhev</b>	3,0	3,5	4,8	5,0	4,7	5,6	4,7	5,8	5,8	5,4	7,5	6,7
<b>PET láhev</b>	3,5	3,3	4,4	5,6	6,3	8,3	8,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
<b>KEG sud</b>	2,4	2,3	3,0	3,5	3,3	4,3	4,3	5,5	4,7	5,4	7,3	7,0

Z výsledků sensorických analýz, které jsou shrnuty v tabulce 4. je patrné, který z využívaných obalových materiálů nejvíce ovlivňoval sensorický charakter piva a naopak, který z materiálů je pro dlouhodobou úchovu piva, dle zjištěných výsledků, vhodný. Jako nejméně vhodný obal lze považovat PET láhev. Vzorek piva z obalu PET láhve vykazoval ještě ucházející sensorické vlastnosti do třetího až čtvrtého měsíce. Poté docházelo ke zhoršování sensorické kvality, kdy po degustaci v sedmém až osmém měsíci stáří bylo pivo hodnoceno nejhorším možným známkováním. Ze spotřebitelského hlediska však tento experiment prokázal, že po deklarovanou dobu minimální trvanlivosti, která činí tři měsíce, je pivo ve velmi dobré kvalitě, která je jak pro výrobce, tak pro konzumenty známkou kvalitního produktu.

Nejlépe hodnoceným typem obalu jak ze stanovených analytických hodnot, tak z pohledu sensorické analýzy, byla plechovka a nerezový KEG sud. Plechovka je vyrobena z materiálu, který svými vlastnostmi dokáže spolehlivě zachovat všechny charakteristické znaky, které jsou pro konzumenta důležité. Z dlouhodobého sensorického sledování byla plechovka nejlépe hodnocena, i když v poslední třetině sledovaného času byly zaznamenávány vyšší hodnoty známkování, které poukazyvaly na již se vyskytující sensorické změny (Tab. 4). Ty však byly vyhodnoceny ještě jako uspokojivé na to, aby výrobce mohl zaručit požadovanou kvalitu po dobu minimální trvanlivosti, která pro plechovkový obal činí 12 měsíců.

KEG sud vykazoval pro dobu zpracování experimentu velmi podobné chování jako plechovkový obal. Tyto dva typy obalů vykazovaly podobné vlastnosti, které ovlivňovaly charakter piva ve srovnatelných mezích. Dle Tab. 4 došlo v posledních dvou měsících sledování vzorků z KEG sudu k nepatrně vyšším sensorickým hodnocením než u plechovek. Z pohledu výrobce se ale nejedná o problém, protože je u KEG sudů deklarována kratší doba minimální trvanlivosti (DMT). Ta je výrobcem stanovena na čtyři až šest měsíců. Proto je konzumentům k dispozici pivo o velmi dobré sensorické kvalitě.

Vzorky piva ve skleněné láhvi dle laboratorně stanovených parametrů i sensorického hodnocení vykazovaly změny, které může spotřebitel vnímat negativně i naopak, a to vzhledem k různorodému deklarovanému datu minimální trvanlivosti, která bývá stanovována v širokém intervalu od šesti až do dvanácti měsíců. Skleněná láhev bývá na trhu dostupná jak v tuzemsku, tak pro export, a z tohoto důvodu stanovuje výrobce DMT dle požadavků

zákazníka. I přes to byla kvalita zhodnocena jako vyhovující pro všechny sledované parametry.



## 8 DISKUZE

Problematika, které byla v této práci věnována pozornost, je velmi zásadní pro zajištění kvality piva, které je skladováno v různých typech obalů. V dostupné literatuře zatím nejsou známy žádné studie, které by se tímto problémem zabývaly z tak dlouhodobého hlediska. Z pohledu výrobce jde o provedení správné výrobní technologie, která je složena z několika složitých částí. Požadované vlastnosti piva, jsou určovány již při prvních výrobních procesech.

V praktické části experimentu byl sledován obsah  $\text{CO}_2$  v pivu. Jeho koncentrace je ovlivněna již při hlavním technologickém procesu kvašení a také při ležení piva v ležáckém sklepě [1]. Celkový obsah bývá kontrolován i při konečných úpravách piva po filtraci (Tab. 3), kdy může dojít k jeho nežádoucímu úbytku vlivem špatných technologických postupů [32]. Při skladování piva, ale dochází vlivem obalového materiálu ke snižování jeho obsahu. Každý použitý typ materiálu má odlišné vlastnosti, které únik  $\text{CO}_2$  z obalu umožňují či nikoliv. Pro skladování piva jsou vhodné materiály, které mají dobré bariérové vlastnosti a znemožňují tím prostup plynu do vnějšího prostředí [25]. Mezi ně patří hliník a nerezová ocel, které jsou využívány pro výrobu plechovek a KEG sudů. Jejich výborné bariérové vlastnosti byly potvrzeny v tomto experimentu, jak dokazují výsledky zobrazené v Obr. 10 a 18, kdy nedocházelo v průběhu skladování piva ke změnám koncentrací  $\text{CO}_2$ . Tyto výsledky jsou podporovány studií Robertson (2016) [44]. Naopak nejnižší funkci bariéry pro propustnost plynů má PET láhev, která je předmětem dalších probíhajících výzkumů, při nichž probíhá vývoj pro zlepšení těchto bariérových vlastností, jak uvádí článek Folz a kol. (2011) [31]. V průběhu sledování došlo ke snížení koncentrace  $\text{CO}_2$  (Obr. 14), která již byla vnímána senzorickeou analýzou. Toto zjištění podporuje i studie Licciardello a kol. (2011), která se zabývala propustností  $\text{CO}_2$  přes povrch PET láhve u nealkoholických nápojů [58]. V experimentu byla zkoumána i skleněná láhev, která má propustnost pro plyny velmi omezenou, ale k úniku  $\text{CO}_2$  může docházet přes uzávěr, což je patrné i z naměřených výsledků (Obr. 6), kdy docházelo k mírnému kolísání obsahu  $\text{CO}_2$  [44].

Předmětem sledování organoleptických parametrů byla také barva piva. To, jakou barvou bude pivo disponovat, závisí nejen na technologickém procesu, ale také na použitých surovinách a to zejména na sladu a chmelu [2]. Dle studie Callemien a Collin (2007) se na barevném profilu piva podílí polyfenoly, zejména flavonoidy, které barvu ovlivňují, a také ovlivňují koloidní stabilitu piva v průběhu stárnutí [36]. Tyto látky mají velmi důležitý

význam jak na začátku výroby piva, tak po celou dobu jeho skladování (stárnutí) [36]. Na změnu barvy piva mají největší vliv oxidační reakce, jejichž produkty jsou látky tmavé barvy, melanoidiny, které způsobují zvyšování hodnot barvy v průběhu stárnutí, což potvrzují naměřené hodnoty v experimentu (Obr. 7 a 15) i studie Šavela (1996). Tyto barevné změny jsou však iniciovány působením světla [11]. Proto k výrazným barevným změnám došlo při sledování experimentu pouze u skleněných láhví a PET láhví, které díky svým vlastnostem nedokáží zabránit účinkům světelného záření, tak jako plechovkový obal a KEG sud [5]. Se změnami barvy souvisí vlivem společných iniciátorů tepla, světla a přístupu kyslíku i ke změnám čirosti. Po dobu skladování docházelo ke zvyšování hodnot prakticky u všech typů obalů (Obr. 8, 12, 16 a 20). Vznik koloidního zákalu je způsoben reakcí polyfenolů s bílkoviny [10], která je podporována právě vnějšími podmínkami. Tvorbu koloidního zákalu lze ovlivnit snížením celkového obsahu polyfenolů v pivu stabilizací (Tab. 2). Přesto dochází vlivem stárnutí ke zvyšování hodnoty zákalu. Velkou roli může hrát právě typ obalu, který tvorbu zákalu také ovlivňuje. Vlastností propouštět kyslík a světelné záření disponují skleněné láhve a PET láhve, kdy docházelo k podporování tvorby zákalu díky špatným bariérovým vlastnostem (Obr. 8 a 16), naopak k tvorbě zákalu téměř nedocházelo u obalů plechovek a KEG sudů (Obr. 12 a 20).

Charakteristická pěnivost piva je způsobena celkovou surovinovou skladbou pro výrobu piva, avšak nejvíce se na tvorbě pěny podílí bílkoviny obsažené ve sladu, které interagují s dalšími komponenty v pivu zejména s izo- $\alpha$ -hořkými kyselinami [24]. Dle výsledků analýz v experimentu nedošlo k ovlivnění pěnivosti vlivem použitého typu obalu, a to skleněnou láhví, plechovkou a KEG sudem. Výjimkou byla PET láhev. Díky nedostačujícím bariérovým vlastnostem došlo k tak rozsáhlým oxidačním reakcím, že množství vzniklých melanoidinů ovlivnilo pěnivost piva stabilizací pивní pěny (Obr. 17). Na tuto vlastnost melanoidinů poukazuje studie Bamforth (1985) [22].

Důležitou částí experimentu byla senzorická analýza, která byla porovnávána s výsledky změn fyzikálně-chemických parametrů (koncentrace CO<sub>2</sub>, EBC, pěnivost). Senzorickou analýzou lze vyhodnotit jeden z organoleptických znaků, na který nelze aplikovat analytické stanovení, a to je chuť. Charakteristickou chutí piva je hořkost, která je získána z různých typů chmele [15]. Hořká chuť je způsobena zejména obsahem  $\alpha$ -hořkých kyselin, které během chmelovaru mění svoji strukturu na izo- $\alpha$ -hořké kyseliny a během stárnutí dochází k jejich změnám, které se podílí na charakteru hořkosti, jak uvádí studie Carlos a

Porras (2012) [19]. Proto je chuť piva jedním z hlavních znaků, který je stárnutím negativně ovlivněn. Sensorické hodnocení, které je shrnuto v Tab. 4, poukazuje na nejlépe hodnocený obal, kterým byla plechovka a KEG sud. U těchto obalů došlo k tvorbě oxidačních chutí a vůní v nejmenší míře a to až ke konci průběhu experimentu. Byla sledována slabá až střední oxidační chuť a vůně, probíhala mírná změna v hořkosti, kdy docházelo k jejímu slabšímu doznívání, a charakter se změnil z jemné příjemné hořkosti na drsnější, která ulpívala v ústech. Změnou hořkosti a chuťovou nestabilitou se zabývala studie Carlos and Porras (2012), která potvrzuje vliv typu obalu a prostředí na chuťovou kvalitu piva [19]. K negativním sensorickým změnám piva v průběhu sledování experimentu došlo u skleněné láhve a hlavně u PET láhve. Tyto typy obalů měly nejvýraznější vliv na změnu sensorických vlastností piva v průběhu stárnutí. Dle tabulky 4 na str. 70 je patrné, že pivo ve skleněné láhvi procházelo změnou ve srovnání s kovovými obaly již od třetího měsíce skladování. V této době se objevily první známky oxidačních reakcí, které se projevovaly oxidační chutí i vůní a nabíraly na intenzitě až do skončení sledování experimentu. Sensorické hodnocení PET láhve bylo v průběhu sledování nejvíce ovlivněno výraznými změnami v celkovém charakteru piva. Typ obalového materiálu i vnější prostředí se na sensorickém hodnocení projevilo již ve třetím měsíci skladování jako u skleněné láhve, avšak s každým přibývajícím měsícem stárnutí docházelo k tak výrazným sensorickým změnám, že od osmého měsíce (viz Tab. 4) bylo pivo hodnoceno nejhorší známkou 9 jako mimořádně špatné. Již od počátku sledování prvních změn pivo vykazovalo oxidační chuť i vůni, jejichž charakter se s dalším stárnutím měnil až k letinkovému, květinovému, mýdlovému či jablečnému aroma. Letinková příchut' bývá způsobena vlivem světelného záření, kdy dochází ke světelné degradaci látek obsažených v pivu [5].

Zhoršující se hodnocení v rámci sensorické analýzy a klesající obsah oxidu uhličitého byly ukazateli, že PET láhev není vhodným obalem pro dlouhodobé skladování piva. Zjištění, že PET láhev nemá vhodné vlastnosti pro zamezení prostupu kyslíku a úniku CO<sub>2</sub>, obecně uvádí studie Folz (2011) [31].

Studie, zmíněné v diskuzi i výsledky praktické části diplomové práce se shodují na tvrzení, že ani správná kontrola a technologický proces výroby piva nemůžou zaručit dlouhodobou sensorickou stabilitu piva, které je uchováno ve spotřebitelských obalech. K nežádoucím chuťovým a dalším změnám může dojít po velmi krátkém čase skladování, i po uplynutí doby několika měsíců skladování, v závislosti na použitém typu obalu.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá stabilitou fyzikálně-chemických a organoleptických vlastností piva. Cílem práce bylo zhodnotit vliv různých druhů obalového materiálu během ročního skladovacího pokusu na stabilitu vybraných parametrů. V dostupné literatuře doposud neexistuje žádná podobná práce, která by zmapovala vývoj změn různě balených sycených nápojů v takovém rozsahu.

Na základě výsledků praktické části diplomové práce lze vyvodit následující závěry:

- Obalový materiál ovlivňuje fyzikálně-chemické a organoleptické vlastnosti piva
- K největším změnám organoleptických znaků během skladování docházelo při stanovení obsahu CO<sub>2</sub>, barvy a čirosti
- Jako nejvhodnější materiál pro úchovu piva byl vyhodnocen hliník, ze kterého byla vyrobena plechovka. Plechovkový obal je vhodný na dlouhodobé skladování piva, kdy zaručuje uspokojivou kvalitu do konce DMT
- Dalším vhodným obalem vzhledem ke stabilitě sledovaných parametrů během experimentu je nerezový KEG sud
- I přes případnou netěsnost korunkových uzávěrů je skleněný obal dle výsledků vhodný ke skladování piva po dobu DMT
- Nejméně vhodným obalem pro skladování piva byla stanovena PET láhev, kdy její vlastnosti neumožňují dlouhodobé zachování kvalitních organoleptických znaků

Aby bylo pivo považováno za výrobek s dobrou kvalitou, je nutno zajistit správný průběh technologických operací jak při výrobě piva, tak při jeho konečných úpravách. Za zachování těchto parametrů zodpovídá výrobce. Druh obalu ovlivňuje kvalitu piva, která je závislá na dobrých bariérových vlastnostech materiálu, ze kterého je vyroben. Nicméně pokud je pivo (bez ohledu na druh obalu) špatně skladováno, dochází k nežádoucím změnám. Dalším možným pokračováním experimentu by mohlo být sledování společného působení různých faktorů, např. různých skladovacích teplot a obalových materiálů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BASAŘOVÁ, G., ŠAVEL J., BASAŘ P. a T. LEJSEK. *Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva*. Praha: Nakladatelství VŠCHT. 2010. ISBN 978-80-7080-734-7.
- [2] KOSAŘ, K. a S. PROCHÁZKA. *Technologie výroby sladu a piva*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský. 2000. 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [3] ČEJKA P. a D. HAŠKOVÁ. *Kvasný průmysl*. Studium změn při stárnutí piva. Praha. roč. 39. 1993. s. 292-299. ISSN: 0023-5830.
- [4] NÁDASKÝ P. a D. ŠMOGROVIČOVÁ. *Chemické listy*. Senzorická stabilita piva. Praha. 2010. s. 838-845. ISSN: 1213-7103.
- [5] ŠKODA J., GABRIEL P. a M. DIENSTBIER. *Chemické listy*. Světelná degradace piva a tvorba letinkové příchuti. Praha. 2016. s. 112-117. ISSN: 1213-7103.
- [6] OLŠOVSKÁ J., ČEJKA P., ŠTĚRBA K., SLABÝ M. a F. FRANTÍK. *Senzorická analýza piva*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský. 2017. ISBN 978-80-86576-74-9.
- [7] ŠAVEL J., KOŠIN P. a A. BROŽ. *Kvasný průmysl*. Změny barvy při stárnutí piva. Praha. 2008. roč. 54. s. 30-37. ISSN: 0023-5830.
- [8] OLŠOVSKÁ J., ŠTĚRBA K., VRZAL T., JURKOVÁ M. a P. ČEJKA. *Kvasný průmysl*. Senzorické stárnutí piva. Praha. 2016. roč. 62. s. 250-257. ISSN: 0023-5830.
- [9] VOBORSKÝ J. a M. KAHLER. *Kvasný průmysl*. Změny karbonylových látek při dokvašování piva. Praha. 1987. roč. 33. s. 269-274. ISSN: 0023-5830.
- [10] KOTLÍKOVÁ B., JELÍNEK L., KARABÍN M. a P. DOSTÁLEK. *Chemické listy*. Prekurzory a vznik koloidního zákalu piva. Praha. 2013. roč. 107. s. 362-368. ISSN: 1213-7103.
- [11] ŠAVEL J., ZDVIHALOVÁ D. a M. PROKOPOVÁ. *Kvasný průmysl*. Změny barvy při oxidaci piva. Praha. 1996. roč. 42. s. 93-99. ISSN: 0023-5830.
- [12] ŠKODA JAKUB. *Diplomová práce*. Studium tepelné a světelné degradace piva a dalších fermentovaných nápojů. Univerzita Karlova v Praze. Praha. 2014.
- [13] ČULÍK J., HORÁK T., SLABÝ M., ČEJKA P. a J. OLŠOVSKÁ. *Kvasný průmysl*. Stanovení izomerů nižších mastných kyselin, senzorycky aktivních produktů stárnutí chmele, v pivu. Praha. 2013. roč. 59. s. 86-90. ISSN: 0023-5830.

- [14] RODRIGUES, J. A., BARROS A. S., CARVALHO B., BRANDAO T. and A. M. GIL. *Analytica Chimica Acta*. Probing beer aging chemistry by nuclear magnetic resonance and multivariate analysis. 2011. vol. 702. p. 178-180. ISSN: 0003-2670.
- [15] ANDRÉS-IGLESIAS, C., MONTREO O., SANCHO D. and C. A. BLANCO. *Journal of the Science Food and Agriculture*. New trends in beer flavour compound analysis. 2015. vol. 95. p. 1571-1576. ISSN: 1097-0010.
- [16] KUCHEL, L., BRODY A. L. and L. WICKER. *Packaging technology and science*. Oxygen and Its Reactions in Beer. 2006. vol. 19. p. 25-32. ISSN: 1099-1522.
- [17] LI, H., ZHAO M., CUI CH., SUN W. and H. ZHAO. *International Journal of Food Science and Technology*. Antioxidant activity and typical ageing compounds: their evolutions and relationships during the storage of lager beers. 2016. vol. 51. p. 2026-2033. ISSN: 1365-2621.
- [18] MISSBACH, B., MAJCHRZAK D., SULZNER R., WANSINK B., REICHEL M. and J. KOENIG. *Food science and nutrition*. Exploring the flavor life cycle of beers with varying alcohol content. 2017. p. 889-895. ISSN: 2048-7177.
- [19] CARLOS, I. C. and A. B. M. PORRAS. *Trends in Food Science & Technology*. Iso- $\alpha$ -acids, bitterness and loss of beer quality during storage. 2012. vol. 26. p. 21-30. ISSN: 0924-2244.
- [20] DOSTÁLEK, P., KOTLÍKOVÁ B., FIALA J., JELÍNEK L., ČERNÝ Z., ČÁSENSKÝ B. a J. MIKULA. *Kvasný průmysl*. Stabilizační prostředky pro zvýšení koloidní stability piva. 2011. Praha. roč. 57. s. 290-259. ISSN: 0023-5830.
- [21] BLASCO, L., VIÑAS M. and T. G. VILLA. *International microbiology*. Proteins influencing foam formation in wine and beer: the role of yeast. 2011. vol. 14. p. 62-71. ISSN: 1139-6709.
- [22] BAMFORTH, C. W. *Journal of The institute of Brewing*. The foaming properties of beer. 1985. vol. 91. p. 370-383. ISSN: 2397-3331.
- [23] OLŠOVSKÁ, J., ŠTĚRBA K. a P. ČEJKA. *Kvasný průmysl*. Srovnání různých metod stanovení oxidu uhličitého v pivu. 2013. Praha. roč. 59. str. 63-68. ISSN: 0023-5830.
- [24] KAPP, G. R. and CH. W. BAMFORTH. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. The foaming properties of proteins isolated from barely. 2002. vol. 82. p. 1276-1281. ISSN: 1097-0010.

- [25] LUNDQUIST, L., PELLETIER C. and Y. WYSER. Oxygen Transmission Rate Measurement Using Oxygen Sensitive Fluorescent Tracers. 2004. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.tappi.org/content/enewsletters/eplace/2004/03-6Lundquist.pdf>.
- [26] HUBER, CH., NGUYEN T. A., KRAUSE CH., HUMELE H. and A. STANGELMAYER. *Monatsschrift für Braunwissenschaft*. Oxygen Ingress Measurement into PET Bottles using Optical-Chemical Sensor Technology. 2006. p. 5-15. ISSN: 0723-1520.
- [27] WELLE, FRANK. *Resources, Conservation and Recycling*. Twenty years of PET bottle to bottle recycling - An overview. 2011. vol. 55. p. 866 – 875. ISSN: 0921-3449.
- [28] QINGCHUN, H., WENJIAN S., YANHUI L. and W. YONGSHENG. *Advanced Materials Research*. Structural Optimization and Lightweight Design of PET Bottle Based on ABAQUS. 2012. vol. 346. p. 558 – 563. ISSN: 1662-8985.
- [29] WEI, Y., Y. HUI and X. LIHUA. *Advanced Materials Research*. Lightweight Design and Analysis of Beer Packaging Material. 2011. vol. 411. p. 46 – 49. ISSN: 1662-8985.
- [30] BOUTROY, N., PERNEL Y., RIUS J. M., AUGER F., BARDELEBEN H. J., CANTIN J. L., ABEL F., ZEINERT A., CASIRAGHI C., FERRARI A. C. and J. ROBERTSON. *Diamond and related materials*. Hydrogenated amorphous carbon film coating of PET bottles for gas diffusion barriers. 2006. vol. 15. p. 921 – 927. ISSN: 0925-9635.
- [31] FOLZ, R., HOFMANN R. and U. STAHL. *Brewing science*. Impact of Permeation of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on the Growth Behaviour of *Saccharomyces diastaticus* in Beer. 2011. vol. 64. p. 52 – 60. ISSN: 1613-2041.
- [32] ŠA VEL, JAN. *Kvasný průmysl*. Manometrické přístroje pro měření oxidu uhličitého v pivě. 1987. roč. 33. s. 36 – 39. ISSN: 0023-5830.
- [33] ŠA VEL, J., KOŠIN P. a A. BROŽ. *Kvasný průmysl*. Samovolný únik oxidu uhličitého z piva a gushing. 2013. roč. 59. s. 33 – 38. ISSN: 0023-5830.
- [34] OLŠOVSKÁ, ŠTĚRBA J. K. a P. ČEJKA. *Kvasný průmysl*. Srovnání různých metod stanovení oxidu uhličitého v pivu. 2013. roč. 59. s. 63 – 68. ISSN: 0023-5830.
- [35] ŠA VEL, JAN. *Kvasný průmysl*. Rychlé odstranění oxidu uhličitého z nápojů. 1998. roč. 44. s. 311 – 312. ISSN: 0023-5830.

- [36] CALLEMIEN, D. and S. COLLIN. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Involvement of Flavanoids in Beer Color Instability during Storage. 2007. vol. 55. p. 9066 – 9073. ISSN: 0021-8561.
- [37] ANONYM. What is Visible Light. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/50678-visible-light.html>.
- [38] ANONYM. What is Ultraviolet Light. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/50326-what-is-ultraviolet-light.html>.
- [39] SOSNOVCOVÁ, J. *Státní zdravotní ústav*. Informace vědeckého výboru pro potraviny ve věci: Aktivní a inteligentní obalové systémy pro balení potravin. 2008. Brno. s. 1-15.
- [40] SANTOS, R. R., ANDRADE M., DE MÊLO N. R. and A. SANCHES-SILVA. *Trends in Food Science & Technology*. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. 2017. vol. 61. p. 132 – 140. ISSN: 0924-2244.
- [41] MARTÁK, RADEK. Obalové materiály vhodné pro použití v potravinářském průmyslu. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. 2008.
- [42] VELA, M. M., TOMA R. B., REIBOLDT W. and A. PIER. *Food Chemistry*. Detection of aluminum residue in fresh and stored canned beer. 1998. vol. 63. p. 235-239. ISSN: 0308-8146.
- [43] REIMANN, C., BRIKE M. and P. FILZMOSER. *Applied Geochemistry*. Temperature-dependent leaching of chemical elements from mineral water bottle materials. 2012. vol. 27. p. 1492-1498. ISSN: 0883-2927.
- [44] ROBERTSON, G. L. *University of Queensland and Food, Packaging, Environment*. Brisbane. Australia. Packaging and Food and Beverage Shelf Life. 2016. p. 77-106. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00003-4>.
- [45] JOHN, A., NAUMANN F., PUTH P. and S. WIEMER. *Brauwelt*. Scuffing-Aktive: Verbesserung des Flaschenbildes. 1998. vol. 45. p. 2174-2179. ISSN:1439-5185.
- [46] MOHR, W. and F. W. PÜSCHEL. *Brauwelt*. 32:1 für die Mehrweg-Bierflasche. 1996. vol. 136. p. 1979-1980. ISSN: 1439-5185.



- [47] NOVÝ, P. a A. KRATOCHVÍLE. *Kvasný průmysl*. Sudy KEG - prostředek k racionalizaci sudové manipulace a zvýšení kvality sudového piva. 1985. Praha. roč. 31. s. 124-129. ISSN: 0023-5830.
- [48] SLABÝ, M., OLŠOVSKÁ J. a P. ČEJKA. *Kvasný průmysl*. Vliv tlačného média na obsah plynů v pivu a na senzorické vlastnosti piva. 2015. roč. 61. s. 186-194. ISSN: 0023-5830.
- [49] GIZZLE, R. and P. CLEVELAND. *Technology for engineers and management*. Keeping track of beer kegs. 1989. vol. 62. p. 91-92. ISSN:0746-2395.
- [50] BAILEY,R.T. and W. L. ELBAN. *Heat Transfer Engineering*. Thermal Performance of Aluminum and Glass Beer Bottles. 2008. vol. 29. p. 643-650. ISSN: 0145-7632.
- [51] IVU, F., GJELDUM M. S., NEMET Z., GRACIN L. and V. MARI. *Food Technology and Biotechnology*. Aluminium and Aroma Compound Concentration in Beer During Storage at Different Temperatures. 2006. vol. 44. p. 499-505. ISSN 1330-9862.
- [52] ALAR, V., RUNJE B., IVUŠIĆ F., HORVATIĆ A. and M. MIHALJEVIĆ. *Journal Metalurgia*. Corrosion behaviour of stainless steel in contact with wine and beer. 2016. vol. 55. p. 437-440. ISSN: 0543-5846.
- [53] FIRMA HAFFMANS B. V. Návod k použití. Digitální CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Gehaltmeter Typ: c – DGM.
- [54] HAFFMANS INPACK 2000. *Inpack 2000 sampling device*. Návod k obsluze.
- [55] HAFFMANS INPACK 2000 Typ: ISD 2000. Návod k použití.
- [56] HAFFMANS NIBEM-T. Návod k použití.
- [57] SIGRIST. *Optické měřící technologie SIGRIST pro aplikace v pivovarech*. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:  
[http://www.technoprocur.cz/underwood/download/files/Sigrist\\_pivovary.pdf](http://www.technoprocur.cz/underwood/download/files/Sigrist_pivovary.pdf)
- [58] LICCIARDELLO, F., CORIOLANI C. and G. MURATORE. *Italian Journal of Food Science*. Improvement of CO<sub>2</sub> retention of PET bottles for carbonated soft drinks. 2011. p. 115-117. ISSN: 1120-1770.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PET	Polyethylentereftalát
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
PS	Polystyren
EPM	Extrakt původní mladiny
EBC	European Brewery Convention
LTP1	Non specific Lipid-transfer protein 1
LOX	Lipooxygenáza
MBT	3-methylbut-2-en-1-thiol
kDa	Kilo Dalton
PVPP	Polyvinylpolypirrolidon
ROS	Reactive Oxygen Species
RNOS	Reactive Oxygen and Nitrogen Speciec
UV	Ultrafialové záření
EDTA	Kyselina ethylendiamintetraoctová

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1	Vznik reaktivních forem kyslíku [4].....	36
Obr. 2	Polymerační reakce – vznik polyethyltereftalátu [27].....	46
Obr. 3	Zařízení pro stanovení obsahu CO <sub>2</sub> Haffamns Inpack 2000 (Foto Iveta Černošková).....	54
Obr. 4	Zařízení pro stanovení pěnivosti piva NIBEM (Foto Iveta Černošková)...	56
Obr. 5	Degustační protokol (Zdroj Zubr a.s.).....	57
Obr. 6	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> [w.w <sup>-1</sup> ] na čase v láhvi.....	59
Obr. 7	Závislost barvy [EBC] na čase v láhvi.....	60
Obr. 8	Závislost čirosti [EBC] na čase v láhvi.....	60
Obr. 9	Závislost pěnivosti [s] na čase v láhvi.....	61
Obr. 10	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> [w.w <sup>-1</sup> ] na čase v plechovce.....	62
Obr. 11	Závislost barvy [EBC] na čase v plechovce.....	63
Obr. 12	Závislost čirosti [EBC] na čase v plechovce.....	63
Obr. 13	Závislost pěnivosti [s] na čase v plechovce.....	64
Obr. 14	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> [w.w <sup>-1</sup> ] na čase v PET láhvi.....	65
Obr. 15	Závislost barvy [EBC] na čase v PET láhvi.....	65
Obr. 16	Závislost čirosti [EBC] na čase v PET láhvi.....	66
Obr. 17	Závislost pěnivosti [s] na čase v PET láhvi.....	66
Obr. 18	Závislost koncentrace CO <sub>2</sub> [w.w <sup>-1</sup> ] na čase v KEG sudu.....	68
Obr. 19	Závislost barvy [EBC] na čase v KEG sudu.....	68
Obr. 20	Závislost čirosti [EBC] na čase v KEG sudu.....	69
Obr. 21	Závislost pěnivosti [s] na čase v KEG sudu.....	69

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1	Vybrané sloučeniny, jejich prahové hodnoty vnímání a běžné koncentrace v pivu [8].....	28
Tab. 2	Stabilizace piva při dávkování 60 g/hl stabilizačního prostředku PVPP.....	58
Tab. 3	Hodnoty kontrolních měření filtrovaného piva v přetlačných tancích.....	58
Tab. 4	Průměrné známky sensorické analýzy v průběhu stárnutí piva v různých obalech.....	70

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I Degustační protokol – PET láhev 1 měsíc
- P II Degustační protokol – PET láhev 2 měsíc
- P III Degustační protokol – PET láhev 3 měsíc
- P IV Degustační protokol – PET láhev 4 měsíc
- P V Degustační protokol – PET láhev 5 měsíc
- P VI Degustační protokol – PET láhev 6 měsíc
- P VII Degustační protokol – PET láhev 7 měsíc
- P VIII Degustační protokol – PET láhev 8 měsíc
- P IX Degustační protokol – PET láhev 9 měsíc
- P X Degustační protokol – PET láhev 10 měsíc
- P XI Degustační protokol – PET láhev 11 měsíc
- P XII Degustační protokol – PET láhev 12 měsíc

# PŘÍLOHA P I: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 1 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno:

*DUBODOLA*

*7ET 11/1*

Vzorek:

Senzorické kritérium						
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis			<i>KVAN</i>		
chut'	světlá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
čut'	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis			<i>KVAN.</i>	<i>U.P. HEDY</i>	
tmavá piva	karamelová chut'	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dosti dobrý	4
prostřední	5
dosti špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Podpis:

*[Signature]*

Datum: *10. 4. 2014*

# PŘÍLOHA P II: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 2 MĚSÍC

Vzorek: 3

11% PET láhev

Příloha č. :

Jméno: Frédéric Sulek

Jméno:

Celkový subjektivní dojem

Senzorické kritérium		velmi slabá					slabá					střední					silná					velmi silná				
		velmi slabá					slabá					střední					silná					velmi silná				
		velmi slabá					slabá					střední					silná					velmi silná				
vůně	cizí vůně																									
	intenzita																									
	slovní popis																									
	světlá piva																									
	říz																									
	plnost																									
chuť	hořkost																									
	intenzita																									
	doznívání																									
	intenzita																									
	slovní popis																									

# PŘÍLOHA P III: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 3 MĚSÍC

Vzorek: U 7E  
 Příloha č. : 403 DVA  
 Jméno: 403 DVA

Senzorické kritérium		Celkový subjektivní dojem				
		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	slovní popis			<u>střední</u>		
	světlá piva					
	říz					
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
tmavá piva	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					
karamelová chuť	sladkost					
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dost dobrý	4
prostřední	5
dost špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Datum: 15.6.14  
 Podpis: [Signature]



# PŘÍLOHA P IV: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 4 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno: *Frídařová*

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dost dobrý	4
prostřední	5
dost špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Vzorek: *PE*

Senzorické kritérium		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	<u>střední</u>	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	slovní popis				<i>pevná</i>	
	světlá piva					
	řiz	velmi slabá	<u>slabá</u>	<u>střední</u>	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
hořkost	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
cizí chuť	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis				<i>pevná</i>	
tmavá piva	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Datum:

*14. 4.*

Podpis:

*Frídařová*

*ST*

# PŘÍLOHA P V: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 5 MĚSÍC

Příloha č. : *1*

Jméno: *ŠROBODORA*

Vzorek: *PET*

Senzorické kritérium		Celkový subjektivní dojem				
		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	intenzita					
	slovní popis				<i>sladký</i>	
	světlá piva					
	říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
cizí chuť	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
tmavá piva	karamelová chuť					
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobý	3
dostí dobrý	4
prostřední	5
dostí špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Datum: *7.8.2017*

Podpis: *[Signature]*

# PŘÍLOHA P VI: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 6 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno: *DOBROVA*

Vzorek: *PED*

Celkový subjektivní dojem

Senzorické kritérium		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					<i>střední</i>
chuť	světlá piva					
	říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
tmavá piva	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis		<i>velmi slabá</i>	<i>střední</i>	<i>silná</i>	<i>velmi silná</i>
číselná transformace	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dost dobrý	4
prostřední	5
dost špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Podpis: *[Signature]*

Datum: *20.9.2014*

# PŘÍLOHA P VII: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 7 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno:

*ŠUBO 2014*

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobý	3
dostí dobrý	4
prostřední	5
dostí špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Vzorek:

*PET*

Senzorické kritérium		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	slovní popis					
	světlá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis				<i>střední</i>	<i>střední</i>
tmavá piva	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Datum:

*19. 10. 2014*

Podpis:

*Šub*

# PŘÍLOHA P VIII: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 8 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno: *MAJLÉOVÁ*

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dosti dobrý	4
prošřední	5
dosti špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Podpis: *Majl. 2*

Vzorek: *4. PET*

Senzorické kritérium		velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita					
	slovní popis					<i>středně silná</i>
	světlá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	řiz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita					
	slovní popis					<i>středně silná</i>
	tmavá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Datum: *22. 11. 17*



# PŘÍLOHA P IX: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 9 MĚSÍC

Příloha č. :  
 Jméno: MALI KOVA

Vzorek: 4. PET

Senzorické kritérium		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					<u>peřovka</u>
chuť	světlá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
cizí chuť	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis				<u>jablečn. / peřovka</u>	
tmavá piva	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dosti dobrý	4
prostřední	5
dosti špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Datum: 14. 12. 17

Podpis: Mali Kova

# PŘÍLOHA P X: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 10 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno: MALIKOVA

Vzorek: 4 PET

Senzorické kritérium		velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					
	světlá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					
	tmavá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dosti dobrý	4
prostřední	5
dosti špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Datum: 19.1.18

Podpis:

*Malikova*

# PŘÍLOHA P XI: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 11 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno: MALÍKOVÁ

Vzorek: 4. PET

Senzorické kritérium						
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					<u>ok, čistota</u>
chuť	světlá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
chuť	doznívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					<u>není charakter. pro pivo</u> <u>ok, čistota</u>
tmavá piva	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dost dobrý	4
prostřední	5
dost špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Podpis: MALÍKOVÁ

Datum: 24.2.13



# PŘÍLOHA P XII: DEGUSTAČNÍ PROTOKOL – PET LÁHEV 12 MĚSÍC

Příloha č. :

Jméno: MALÍKOVÁ

Vzorek: 4 PET

Senzorické kritérium		1	2	3	4	5
vůně	celková intenzita	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí vůně	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	intenzita					
	slovní popis					
chuť	světlá piva říz	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	plnost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	hořkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	dozrívání	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	cizí chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	slovní popis					
	tmavá piva	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	karamelová chuť	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
	sladkost	velmi slabá	slabá	střední	silná	velmi silná
Číselná transformace		1	2	3	4	5

Celkový subjektivní dojem

mimořádně dobrý	1
velmi dobrý	2
dobry	3
dosti dobrý	4
prostřední	5
dosti špatný	6
špatný	7
velmi špatný	8
mimořádně špatný	9

Podpis: MALÍKOVÁ

Datum: 15. 3. 18