

Organoleptická stabilita piva

Adéla Balgová

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie a mikrobiologie potravin
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Adéla BALGOVÁ**
Osobní číslo: **T07854**
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Téma práce: **Organoleptická stabilita piva**

Zásady pro vypracování:

- 1. Historie a technologie výroby piva.**
- 2. Charakteristika sensorických a chemických změn nastávajících během skladování piva. Vybrané chemické reakce doprovázející stárnutí piva.**
- 3. Možnosti zvyšování sensorické stability piva.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] D. E. Briggs, Ch. A. Boulton, P. A. Brookes, R. Stevens: **Brewing Science and Practise**, CRC Press, 2004.

[2] K. Kosař, S. Procházka a kol.: **Technologie výroby sladu a piva**, VÚPS, 2000.

[3] Dle provedení literární rešerše s využitím databáze Chemical Abstracts.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Rouchal**

Ústav chemie

Datum zadání bakalářské práce: **11. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. května 2011**

Ve Zlíně dne 12. dubna 2011


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Balgová Adéla

Obor: CHTP

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce popisuje historii piva v Českých zemích od starověku až po současnost. Charakterizovány jsou suroviny používané při výrobě piva a technologický postup vedoucí k finálnímu produktu. Dále jsou uvedeny nejvýznamnější skupiny sensoricky aktivních látek piva a vybrané chemické reakce, k nimž dochází během stárnutí piva. V poslední části práce jsou popsány možnosti zvyšování sensorické stability piva.

Klíčová slova: pivo, pivovarské suroviny, pivovarnictví, sensorická stabilita piva, stárnutí piva

ABSTRACT

Presented bachelor thesis describes the history of beer in Czech lands from antiquity up to this day. The materials used during the beer production and technological process in the brewing are also characterised. The main part of this works represents the specification of the most significant groups of sensory active compounds as well as selected chemical reactions accompanying the beer aging. The last chapter describes the options for increasing the stability of beer.

Keywords: beer, brewing materials, brewing, sensory stability of beer, beer aging

Poděkování

Ráda bych velmi poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalovi Rouchalovi za odborné vedení, cenné rady a podporu v průběhu celé práce. Děkuji rodině a příteli za psychickou a finanční podporu a trpělivost během mého studování.

OBSAH

ÚVOD	9
1 HISTORIE A TECHNOLOGIE VÝROBY PIVA	10
1.1 DĚJINY VÝROBY PIVA V ČESKÝCH ZEMÍCH	10
1.2 PIVOVARSKÉ SUROVINY	11
1.2.1 Slad	11
1.2.2 Chmel	13
1.2.3 Voda.....	15
1.2.4 Pivovarské kvasinky.....	15
1.3 TECHNOLOGIE VÝROBY PIVA	16
1.3.1 Výroba mladiny.....	16
1.3.2 Hlavní kvašení mladiny a dokvašování mladého piva.....	18
1.3.3 Závěrečné úpravy a stáčení hotového piva do transportních obalů	18
2 SENZORICKÉ A CHEMICKÉ ZMĚNY NASTÁVAJÍCÍ V PRŮBĚHU SKLADOVÁNÍ PIVA	19
2.1 SENZORICKÁ STABILITA PIVA.....	19
2.2 SENZORICKY AKTIVNÍ LÁTKY PIVA.....	20
2.2.1 Těkavé sloučeniny.....	20
2.2.2 Netěkavé sloučeniny	24
2.3 VYBRANÉ CHEMICKÉ REAKCE DOPROVÁZEJÍCÍ STÁRNUTÍ PIVA	25
2.3.1 Reaktivní formy kyslíku.....	25
2.3.2 Oxidace vyšších alkoholů	26
2.3.3 Streckerova degradace aminokyselin	26
2.3.4 Aldolová kondenzace	27
2.3.5 Degradace hořkých kyselin.....	28
2.3.6 Oxidace nenasycených mastných kyselin.....	29
2.3.7 Vznik (<i>E</i>)- β -damaskenonu	29
2.3.8 Maillardova reakce.....	30
2.3.9 Vznik a hydrolyza těkavých esterů	31
2.3.10 Vznik dimethyltrisulfidu	31
2.3.11 Degradace polyfenolů	31
3 MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ STABILITY PIVA	34
3.1 POLYFENOLOVÉ ANTIOXIDANTY	34
3.2 MELANOIDINY A REDUKTONY.....	35
3.3 OXID SIŘIČITÝ	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	42
PŘÍLOHY	43

ÚVOD

Historie pivovarnictví má původ nejen ve světě, ale i v Českých zemích již od starověku až po současnost. Velký vliv na výrobu piva měl přínos vědecké činnosti českých osobností a bádání sládků po správné chuti tohoto alkoholického nápoje.

Pivo je nápoj vyrobený z obilného sladu, chmele, vody a pivovarských kvasinek. Typickou hořkou chuť dodává finálnímu výrobku chmel různých odrůd pěstovaných v ČR, kdy nejznámější je Žatecký poloraný červeňák. Pivovarské kvasnice jsou významným přírodním zdrojem biologicky aktivních látek a získávají se jako vedlejší produkt při výrobě piva.

Spotřebitel klade čím dál větší důraz nejen na kvalitu, ale také ustálené sensorické vlastnosti piva. Vhodný technologický postup, filtrace a dodržování zásad správné hygienické praxe v průběhu výroby piva patří mezi základní faktory zajišťující koloidní a mikrobiologickou stabilitu finálního výrobku.

Během skladování piva dochází k výrazným změnám jeho organoleptického profilu. Tento fakt je dán zejména nepřeberným množstvím chemických reakcí, ke kterým v průběhu skladování piva dochází a jejichž výsledkem je tvorba široké škály sloučenin, které jsou v určitých koncentracích schopny ovlivnit sensorické vlastnosti finálního výrobku.

Cílem bakalářské práce bylo formou literární rešerše stručně popsat historii a výrobu piva. Dále pak charakterizovat nejvýznamnější sensoricky aktivní látky piva a pojednat o možnosti jejich vzniku. Uvedeny jsou také způsoby zvyšování sensorické stability piva.

1 HISTORIE A TECHNOLOGIE VÝROBY PIVA

1.1 Dějiny výroby piva v českých zemích

Dějiny výroby piva v našich zemích mají dlouhou historii. Vaření piva byla až do konce 9. století zcela běžná domácí práce, kterou mohl vykonávat kdokoliv, kdo měl potřebné suroviny a znalosti. Pivo se podomácku vařilo v těžkých dobách, zejména během válek. Domácí výroba piva byla od 10. století velmi primitivní, k jejímu zdokonalení došlo zřejmě až zakládáním klášterů, které měly nejen vlastní výrobu piva, ale také např. své vlastní pekárny. Rozmach pivovarství se projevil nejen v kláštorech, ale i u šlechticů, měšťanů a dalších vrstev obyvatelstva [1].

První písemné záznamy o vaření piva na území dnešní České republiky pochází z roku 1088, kdy král Vratislav II. vydal nadační listinu, ve které kromě jiného přidělil vyšehradské kapitule desátek pro vaření piva. Nejstarším dokladem o pěstování chmele je pak nadační listina knížete Břetislava z 12. století. Zakládáním nových královských měst ve 13. století se rozvíjela řemeslná výroba piva [2].

O velkou reformu výroby sladu a piva se zasloužil český sládek František Ondřej Poupě (1753–1805), který jako jeden z prvních sládků na světě začal používat teploměr a také tzv. moštové váhy nebo sacharometr, jímž zjišťoval obsah cukru v pivu [3].

Na začátku 19. století se začala ve velkém používat spodní metoda kvašení, která byla do té doby realizovatelná jen čtyři měsíce v roce. Přes léto se pivo vůbec nevařilo a ve zbylých teplejších měsících se muselo tzv. ledovat. Pivo vařené v teplejších měsících bylo rychle prokvašené. Kvasinky se množily velmi rychle a odbourávaly cukr. Od ledování se postupně opouštělo náhradou strojního zařízení, které vynalezl Karl von Linde [2].

Velkým mezníkem pro české i světové pivovarství bylo otevření Měšťanského pivovaru v Plzni roku 1842. Jeho prvním sládkem se stal Josef Groll. Proběhl přerod pivovarnického řemesla v pivovarský a sladovnický průmysl. Důvodem byla daleko vyšší kvalita nových typů piv, která byla uchovávána v prostorách vychlazených ledem jak v pivovaru, tak v hostinci. Významná byla podstatně delší životnost spodně kvašeného piva ve srovnání se svrchně kvašenými pivy. Ve druhé polovině 19. století následoval rozvoj českého pivovarství. Přejít na výrobu piva se spodním kvašením žádal vlastní výrobu

kvasnic. První zařízení na pomnožování kvasnic, tzv. propagační stanici, měl již v roce 1985 schwarzenberský pivovar Protivín [1].

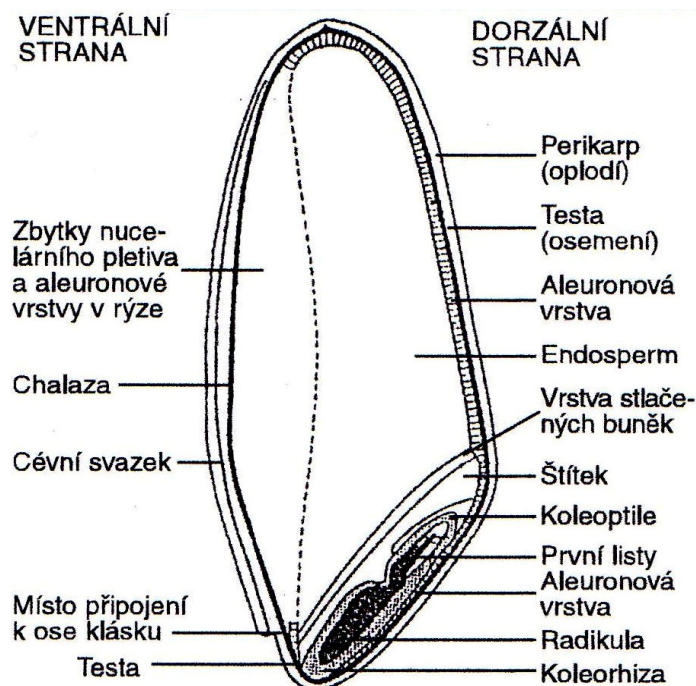
Během I. světové války ukončila svoji činnost řada pivovarů. Po II. světové válce uzavřené pivovary nemohly výrobu piva pro nedostatek surovin obnovit a zanikly. 20. Století bylo obdobím obrovského rozmachu přírodních věd, např. organické, fyzikální a analytické chemie, biologie a biochemie, které s výrobou piva úzce souvisí [3].

1.2 Pivovarské suroviny

Podle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 335/1997 Sb. je pivem pěnivý nápoj vyrobený zkvašením mladiny připravené ze sladu, vody, neupraveného chmele, upraveného chmele nebo chmelových produktů, který vedle kvasným procesem vzniklého alkoholu (ethylalkoholu) a oxidu uhličitého obsahuje i určité množství neprokvašeného extraktu. Slad lze do výše jedné třetiny hmotnosti celkového extraktu původní mladiny nahradit extraktem, zejména cukru, obilného škrobu, ječmene, pšenice nebo rýže; u piv ochucených může být obsah alkoholu zvýšen přidávkem lihovin nebo ostatních alkoholických nápojů [4].

1.2.1 Slad

Pro výrobu sladu a sladových výtažků se na našem území pěstují vybrané odrůdy jarního, dvouřadého a nícího ječmene. Na území ČR jsou pěstovány odrůdy jarních sladovnických ječmenů, např. Akcent, Amulet, Kompakt, Krona, Olbram a další. Pro účely sladovnického průmyslu se využívá ječné zrnko (obilka, **Obrázek 1**), které se skládá z obalových částí (pluch a plušek), zárodku (klíčku, embrya), z něhož při klíčení dochází k aktivaci enzymů v celém zrnku, a z endospermu, který zaujímá největší část obilky. Endosperm je hlavním zdrojem zásobních sacharidů, bílkovin a dalších složek, které hrají významnou roli při vytváření charakteristických vlastností sladu a následně využívaných v pivovarském procesu [5].



Obrázek 1: Podélný řez zralou obilkou [6].

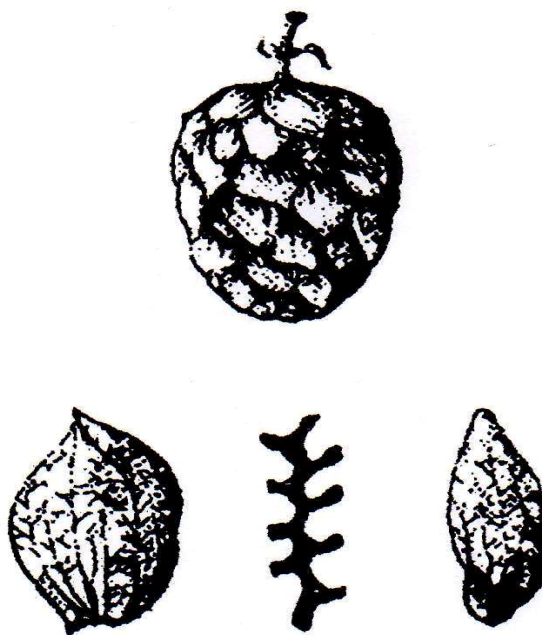
Technologický postup výroby sladu má následující hlavní výrobní fáze:

- **Čištěním a tříděním ječmene** odstraňujeme nečistoty, příměsi a prach. Čistící stanice zahrnuje aspirátor, triér a síťové třídiče. V aspirátorech se odstraní hrubší a jemnější nečistoty, jako jsou zrna a prach na sítích, přes které se odsává vzduch. Částice kulatého tvaru se odstraní v triéru. Síťovými třídiči se dosahuje rovnoměrné velikosti zrn. Vyčištěný ječmen se uskládá v silech [7].
- V průběhu **máčení ječmene** se zvýší obsah vody v zrně (přibližně z 15 % na 46 %), která je potřebná na klíčení a průběh enzymatických reakcí. Zrno ječmene dosahuje více než 40 % vody, zbytek tvoří sušina (škrob, lipoproteiny, lipidy, celulóza, hemicelulóza, pentosany a lignin, bílkoviny, minerální látky a polyfenoly). Máčením zvyšuje zrno svůj objem přibližně 1,5krát [7].
- **Klíčení ječmene** vyvolává aktivaci a tvorbu enzymů, zejména amylasy, fosfatasy, cytasy a proteasy. Průběh enzymatických reakcí je ovlivňován zejména stupněm domočení ječmene, vhodnou teplotou a přístupem kyslíku. Klíčení sladovnického ječmene se provádí na humnech anebo v pneumatických sladovnách [5].

- **Sušení a hvozdění sladu** zastavuje proces klíčení. Obsah vody je nižší a tím se slad konzervuje. Sušením se sníží vlhkost přibližně z 80 % na 10 %. Během hvozdění sladu se vytváří charakteristické látky, které dávají typickou chuť a barvu piva. Vlastní proces je vykonáván na hvozdech a probíhá ve 3 fázích. V první fázi ještě pokračují enzymatické pochody charakteristické pro vlastní klíčení. Ve druhé fázi se enzymatické procesy zastavují a ve třetí fázi probíhají jen fyzikálně-chemické změny [8].
- **Konečnou úpravou sladu** je jeho odklíčení a leštění. Odkličováním se odstraňují ze sladu zárodečné kořínky, které jsou po vysušení sladu velmi křehké a lehce se lámou. Odstraněné kořínky se dopravují do žlabu jako tzv. sladový květ. Hotový slad se váží, balí anebo dopravuje do sil, kde se skladuje. Leštěním sladu nedochází jen k odstranění prachu a poškozených zrn, ale hotový slad získává také vysoký lesk a čistý vzhled [8].

1.2.2 Chmel

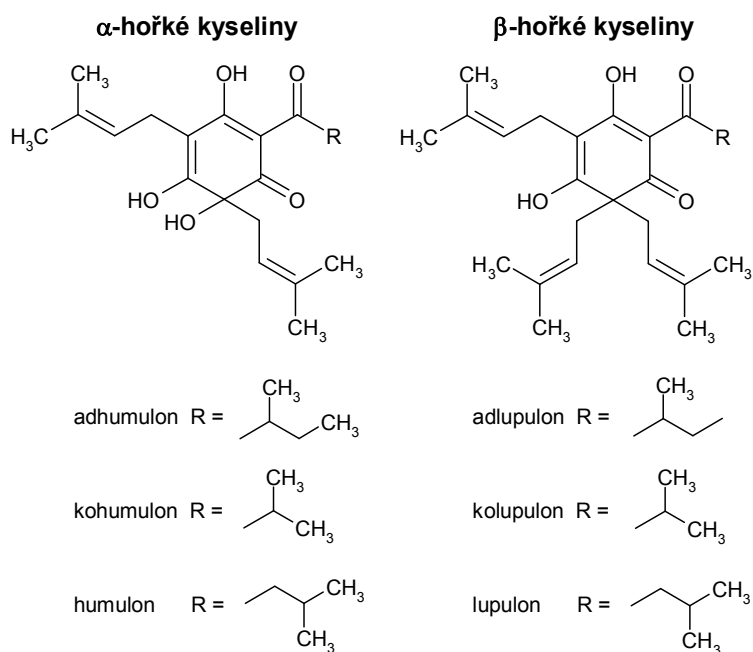
Jsou zralé, usušené šištice popínavé samičí rostliny chmele evropského (*Humulus lupulus* var. *europaeus*) z čeledi konopovitých (*Cannabaceae*) [9]. Na **obrázku 2** je znázorněna chmelová hlávka žateckého poloraného červeňáku, který se skládá ze stopky věténka, pravých a krycích listenů [6].



Obrázek 2: Chmelová hlávka žateckého poloraného červeňáku a její části [6].

Chemické složení chmele je velmi různorodé. Mezi hlavní složky chmele patří pryskyřice, polyfenoly a silice. Z nich nejdůležitější jsou pryskyřice, které dodávají pivu hořkou chuť. Při tomto procesu hrají významnou roli α -hořké kyseliny, (např. humulon, kohumulon a adhumulon). Obsaženy jsou také sloučeniny, které jsou svojí strukturou velmi podobné α -hořkým kyselinám. Tyto látky se obecně nazývají β -hořké kyseliny (např. lupulon, adlupulon, kolupulon). Strukturální vzorce vybraných α - a β -hořkých kyselin jsou uvedeny na **Obrázku 3** [10].

Chmelové silice jsou směsí několika set organických látek terpenického charakteru. Polyfenolové látky chmele a chmelových výrobků se podílejí na reakcích vzniku nerozpustných třísló-bílkovinných komplexů při tvorbě lomu, vylučování hořkých kalů a dále při oxidačně-redukčních reakcích uplatňujících se při vytváření barvy a koloidní stability piva. Polyfenoly ovlivňují charakter hořkosti a působí jako antioxidanty. Zahrnují směs flavonových glykosidů, anthokyanogenů, katechinů a volné fenolové kyseliny odvozené od *p*-hydroxybenzoové kyseliny. Volné fenolové kyseliny snadno oxidují za vzniku chinonů a účastní se procesů hnědnutí mladiny při chmelovaru. Z nežádoucích složek chmele bývají nejvíce zastoupeny dusičnany, těžké kovy nebo rezidua postřikových látek [6].



Obrázek 3: Strukturální vzorce vybraných α - a β -hořkých kyselin chmele [6].

1.2.3 Voda

Voda použitá pro vaření piva musí vyhovovat všem požadavkům na pitnou vodu podle současné legislativy. Dle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. musí mít pitná voda takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví. Pitná voda nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, ohrožující veřejné zdraví [11].

Nejvíce vody se spotřebuje při výrobě sladu, čištění spilky atd. Nejdůležitější rozpuštěné látky představují vápenaté a hořečnaté soli, které ovlivňují tvrdost vody. Pro výrobu světlých piv je vhodnější měkká voda s menším podílem Mg^{2+} iontů. Pro tmavá piva lze použít také vodu tvrdší. Varní voda nemá zásadně obsahovat alkalické uhličitany, chlor a příliš železa, manganu a dusičnanů. Tyto složky jsou nežádoucí, protože negativně ovlivňují jeho kvalitu formou různých zákalů a barevných změn [1].

Vliv vody na enzymatické reakce probíhající při rmutování, a tím i na vlastnosti piva, se projevuje změnami pH sladiny, které způsobují minerální složky vody. Nezávisle na pH mohou také přímo modifikovat chuť piva [12].

1.2.4 Pivovarské kvasinky

Kvasinky jsou heterotrofní eukaryotní mikroorganismy, náležící mezi houby (*Fungi*). Tvar buněk kvasinek souvisí se způsobem vegetativního rozmnožování pučením nebo dělením. Pivovarské kvasinky mají zpravidla tvar oválný anebo kulatý. Technologicky nejdůležitější je rod *Saccharomyces*. Kvasinky nikdy nevyužívají laktosu jako zdroj uhlíku a dusičnanů jako zdroj dusíku [13].

Pojem pivovarské kvasinky zahrnuje dva základní druhy, a to *Saccharomyces carlsbergensis* Hansen a *Saccharomyces cerevisiae* Hansen, lišící se vzájemně především typem zkvašování rafinosy. Pro kvasinky *Saccharomyces carlsbergensis* je typické kvašení spodní, při němž se v konečné fázi kvasinky shlukují ve vločky a sedimentují na dně kvasné nádoby. Kvašení velmi dobře probíhá i za poměrně nízkých teplot (6–8 °C) a ustává při 0 °C. *Saccharomyces cerevisiae* jsou zpravidla využívány při svrchním kvašení, které se vyznačuje tím, že většina kvasinek je vynášena k hladině kvasící mladiny a tvoří na ní hustou pěnu (tzv. kvasnou pokrývku neboli „deku“). Kvašení probíhá za vyšších teplot (až do 25 °C) a ustává při teplotě nižší než 10 °C. Teplota ovlivňuje činnost kvasnic tím, že jejím zvyšováním se zrychluje látková výměna a pomnožení kvasnic. Během kvašení mladiny

(kapitola 1.3.2) ovlivňují chemické složení piva, jeho trvanlivost a organoleptické vlastnosti. [14].

1.3 Technologie výroby piva

Výrobu piva lze rozdělit do těchto výrobních úseků: výroba mladiny, hlavní kvašení mladiny a dokvašování mladého piva, závěrečné úpravy a stáčení hotového piva do transportních obalů [15].

1.3.1 Výroba mladiny

První soubor operací v pivovarském procesu vede k výrobě mladiny. Jednotlivé dílčí kroky tohoto procesu jsou kondicionování a šrotování, vystírání a rmutování, scezování, vyslazování a chmelovar. Po chmelovaru je nutné mladinu upravit v technologickém bloku tzv. mladinové linky tak, aby byla připravena k zakvašení. Mladinová linka sestává z následujících technologických kroků, a to odloučení hrubých kalů, chlazení mladiny, separace jemných kalů a provzdušnění [15].

- Samotnému šrotování předchází **příjem sladu** na lince, během které se slad kromě dopravy a skladování také zbavuje prachu (aspirátor), ostatních nežádoucích nečistot (odkaménkovač, magnet) a nakonec se váží (automatická výklopná váha). Obecně lze šrotování sladu provést za sucha, za sucha po kondicionování sladu, nebo za mokra. Cílem kondicionování je zvýšenou pružností pluch snížit jejich poškození během šrotování a snížit prašnost šrotovny. K zvlhčení vnějších obalových vrstev zrna dochází v tzv. kondicionérech, což jsou nejčastěji šneková koryta, nebo šachty, které zajišťují rovnoměrný kontakt a zvlhčení sladu pomocí vlažné vody, nebo páry [15].
- **Šrotování** je mechanický proces desintegrace sladového zrna s cílem dokonale vymlít endosperm sladu na vhodný poměr částic, jenž se od nejjemnějších po nejhrubší nazývají: moučka, mouka, jemná krupice, hrubá krupice a pluchy. Poměr jednotlivých frakcí šrotu ovlivňuje rychlost následných procesů (např. rmutování a scezování). Nejčastěji používaná technologická zařízení pro mletí sladu či jeho náhražek jsou válcové šrotovníky (dvou až šestiválcové), nebo kladívkové mlýny. Šestiválcový šrotovník představuje nejlepší a nejvíce používaný typ zařízení pro

suché šrotování ve větších pivovarech. Kladívkové mlýny poskytují obvykle jemně rozemleté šroty, a proto je lze vhodně kombinovat se sladinovými filtry pro scezování [15].

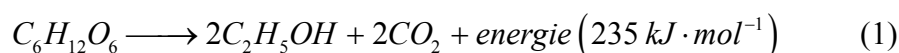
- **Vystíráním** začíná složitý technologický postup výroby piva. Sladový šrot se ve vystírací kádi dokonale rozmíchá s vodou. Při výrobě světlých piv se připravuje řidší vystírka a rmuty. Pivo z řidších rmutů prokvasí hlouběji. U tmavého piva, které si žádá nižší prokvašení, se používá na vystírku méně vody [8].
- Při **rmutování** se pevné složky rozpustí ve vodě, přičemž se lze setkat se dvěma metodami zahřívání. Při **infuzní** metodě se používá jedna rmutovací pánve, v níž se rmut nejprve zahřeje na 50 °C. Tato teplota se po určitou dobu udržuje, pak se rmut dále zahřívá na 75 °C. Při teplotě 65 °C se škrob přemění na kvasitelné cukry, které později z velké míry určují obsah alkoholu v pivu. Při 75 °C se zbylý škrob přeměňuje v cukry. Ty určují plnost a sladkost konečného piva. Druhá metoda se nazývá **dekokční** způsob. V tomto systému jsou využívány dvě nebo tři rmutovací pánve. Rmut se opět zahřívá na 50 °C. Třetina rmutu se přečerpá do další pánve, kde se tato část přivede k varu. Vařící rmut se přečerpá zpět k prvnímu podílu rmutu, čímž se dosáhne zvýšení teploty na 65 °C. Tento proces se opakuje do dosažení teploty 75 °C [16].
- **Scezování** je pivovarský termín odpovídající procesu filtrace pro specifický případ separace odrmutovaného díla na pevný podíl (částice mláta) a vodní roztok extraktivních látek (sladina). Scezování probíhá ve dvou krocích. Prvním je oddělení tzv. předku, což je roztok extraktu sladu, jenž se vytvořil v průběhu rmutování. Po jeho stečení následuje vyslazování, což představuje promytí mláta horkou vodou (75–78 °C). Takto získaná zředěná sladina (výstřelky) se shromažďuje spolu s předkem ve sběrači sladiny, nebo v mladinové pánvi. Vyslazování mláta se zpravidla opakuje 2–3krát s klesajícím obsahem extraktu ve výstřelcích [15].
- Vařením sladiny s chmelem, tzv. **chmelovarem**, vzniká mladina. V porovnání se sladinou je mladina koncentrovanější, sterilní a neobsahuje žádné aktivní enzymy. Z chemického hlediska je chudší o vykoagulované bílkoviny, vytvářející za varu tzv. lom, a obsahuje vylouhované a částečně přeměněné sloučeniny z chmele. Celková doba chmelovaru je asi 1,5–3 hodiny. Kratší var snižuje trvanlivost, naproti tomu

delší doba varu může vést ke zhoršení chuti piva. Vyrobená mladina se musí před zakvašením ochladit. Z technologického hlediska je důležité, aby se mladina při chlazení zároveň provzdušnila a vyloučily se z ní horké kaly [8].

1.3.2 Hlavní kvašení mladiny a dokvašování mladého piva

Ochlazená mladina zbavená kalů je ve výrobním procesu meziproduktem, který se zpracovává na pivo kvašením, zaváděným várečnými kvasnicemi [12].

Principem hlavního kvašení je přeměna zkvasitelných cukrů mladiny (glukosa, maltosa, maltotriosa) na ethanol a oxid uhličitý procesem anaerobního kvašení:



Hlavní kvašení probíhá v kádích umístěných ve větraných, chlazených místnostech zvaných spilka a jeho doba je 6–10 dní dle původního extraktu mladiny. Při dokvašování a zrání mladého piva dochází ke spotřebě zbývajících zkvasitelných cukrů, což vede k nasycení piva vznikajícím CO_2 pod tlakem. Dále pak probíhají fyzikálně-chemické děje vedoucí k vyčereání piva (vylučování a sedimentace kalů, sedimentace kvasinek) a biochemické procesy tvorby sensorického charakteru finálního výrobku. Tradiční dokvašování a zrání mladého piva probíhá v ležatých válcovitých nádobách umístěných v ležáckém sklepě při teplotě -2 až 3 °C. Celková doba dokvašování a zrání kolísá v závislosti na typu piva a koncentraci mladiny v rozmezí 1–10 týdnů [15].

1.3.3 Závěrečné úpravy a stáčení hotového piva do transportních obalů

U dokvašeného piva se nejprve posoudí jakost. Čiřost, obsah CO_2 a další fyzikálně-chemické vlastnosti se před stáčením upravují. Je důležité, aby pivo mělo především dobrou pěnivost. Posuzuje se také vyčereání finálního výrobku [12].

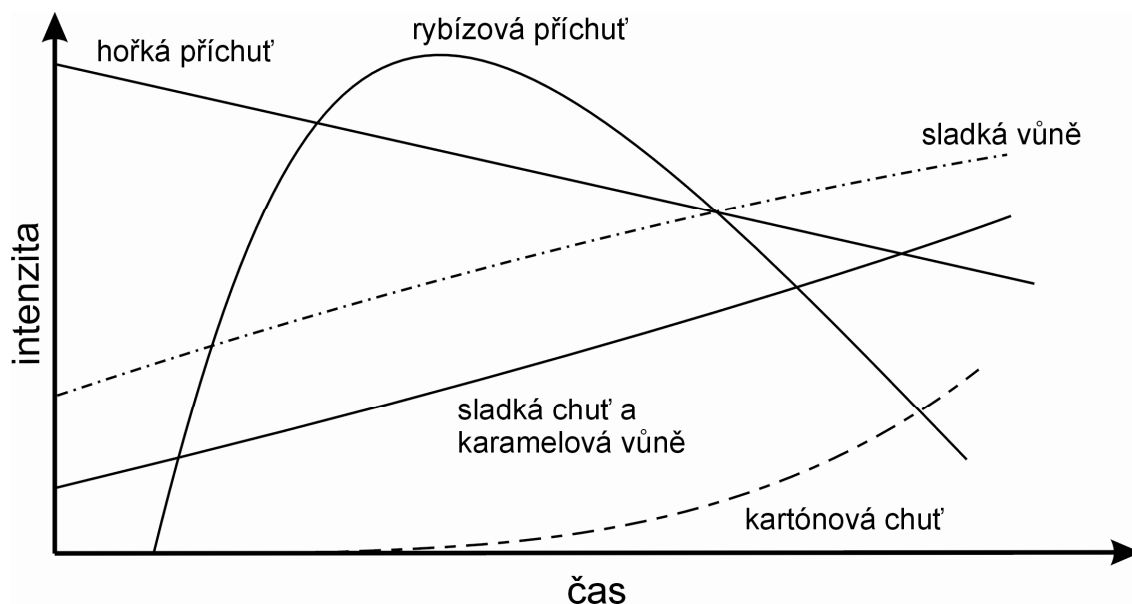
Pivo, které se filtruje (nejčastěji na membránových filtrech), je čistší a zbavené všech kvasnic [8].

Pro delší trvanlivost, potlačení růstu vegetativních forem nežádoucích mikroorganismů a látek způsobujících zákal v pivu se provádí pasterace. Aktivita látek podílejících se na tvorbě zákalu může být snížena také dávkováním enzymů nebo absorbentů, které se přidávají před filtrací piva [1].

2 SENZORICKÉ A CHEMICKÉ ZMĚNY NASTÁVAJÍCÍ V PRŮBĚHU SKLADOVÁNÍ PIVA

2.1 Sensorická stabilita piva

Během skladování ztrácí pivo svoje charakteristické sensorické vlastnosti a získává tzv. starou chuť. Kvalita piva se může negativně měnit v důsledku tvorby nepříjemných vůní a chutí, které se obecně nazývají cizí. Sensorické změny, které nastávají během stárnutí piva popsal detailně Dalgliesh (**Obrázek 4**). Jak je z obrázku patné, dochází ke konstantnímu poklesu hořkosti a zároveň k postupnému zvyšování se sladké chuti. Vznik karamelových a připálených chutí a vůní se překrývá se sladkou chutí. Dále dochází k rapidnímu nárůstu rybízové příchuti, která postupem času klesá. K rozvinutí kartónové příchuti dochází až po poklesu intenzity příchutě rybízové. Kartónová příchut' konstantně stoupá dokud nedosáhne maxima, potom také klesá. Sensorické změny, ke kterým dochází během stárnutí piva, jsou velmi komplexním problémem a závisí hlavně na typu piva, koncentraci kyslíku a teplotě skladování [17].



Obrázek 4: Sensorické změny nastávající během stárnutí piva [17].

2.2 Senzoricky aktivní látky piva

Kromě chemického složení a fyzikálně-chemických vlastností piva jsou velmi důležité také jeho smyslové vlastnosti. Mezi základní organoleptické vlastnosti piva patří barva, čírost, pěnovost (stálost pěny) a dále vůně a chuť piva [6].

Senzoricky aktivní látky se běžně rozdělují do čtyř skupin, a to na základě poměru mezi běžnou koncentrací dané látky v pivu a její prahovou hodnotou. Do první skupiny se řadí sloučeniny nejvíce ovlivňující chuť a vůni piva, tj. ethanol, oxid uhličitý a hořké látky. Druhou skupinu tvoří sekundární sensorické sloučeniny, mezi které patří např. diacetyl, ethyl-acetát, 3-methylbutyl-acetát, dimethylsulfid a některé mastné kyseliny. Typickými zástupci sloučenin, jež byly zařazeny do terciární skupiny sensoricky aktivních látek piva jsou například 2-fenylethylacetát, 3-methylbutanal, 3-hydroxybutan-2-on nebo 3-(methylsulfanyl)propanal. Skupina kvartérních sensoricky aktivních látek zahrnuje několik set sloučenin organického původu [18].

Proces stárnutí piva, a s ním spojený vznik sensoricky aktivních látek, má složitý průběh, při kterém dochází k řadě chemických reakcí. Jednotlivé sloučeniny podílející se na sensorickém charakteru finálního výrobku lze dělit dle různých hledisek. Pro potřeby této práce bylo rozhodnuto sensoricky aktivní látky obsažené v pivu rozdělit dle jejich tenze nasycených par na sloučeniny těkavé a netěkavé [19].

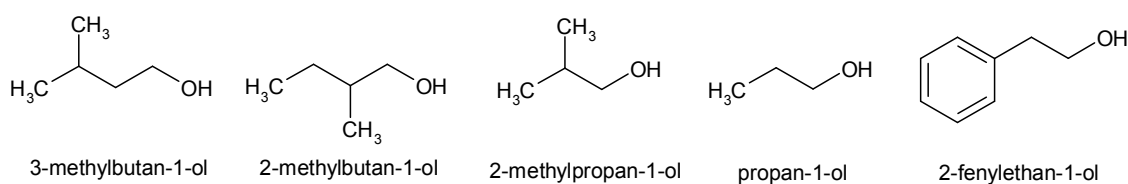
2.2.1 Těkavé sloučeniny

Těkavé sloučeniny mají větší tlak nasycených par než netěkavé a jsou zodpovědné za aroma piva [19].

Těkavými látkami běžně se vyskytujícími v pivu jsou:

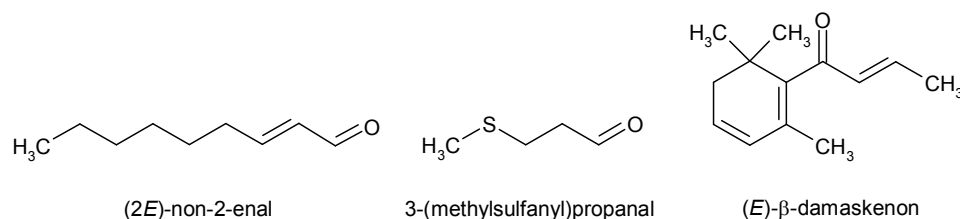
- alkoholy
- karbonylové sloučeniny
- cyklické acetaly
- heterocyklické sloučeniny
- estery
- sírné sloučeniny [19].

Alkoholy (R-OH) jsou hydroxy deriváty uhlovodíků, vznikající náhradou jednoho či více atomů vodíku na atomu uhlíku alifatického řetězce hydroxylovou skupinou. Za významné členy této skupiny sloučenin obsažených v pivu lze považovat převážně primární alkoholy. Z nich pak např. 3-methylbutan-1-ol, 2-methylbutan-1-ol, 2-methylpropan-1-ol, propan-1-ol a fenylethan-1-ol (**Obrázek 5**). Dalšími zástupci této skupiny látek jsou např. 4-ethenyl-2-methoxyfenol, a 4-ethenylfenol, které jsou považovány za původce cizích příchutí ve většině piv. Oxidací vyšších alkoholů vznikají aldehydy a dále kyseliny [19].



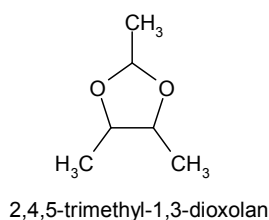
Obrázek 5: Strukturální vzorce významných alkoholů obsažených v pivu.

Karbonylové sloučeniny jsou deriváty uhlovodíků obsahující acylovou skupinu, R-C(=O)-, vázanou k dalšímu atomu (např. C, H, O, X, N, S). Typickými zástupci této skupiny látek jsou aldehydy (sloučeniny obsahující aldehydovou funkční skupinu; -CH=O) a ketony (látky nesoucí karbonylovou skupinu vázanou ke dvěma atomům uhlíku). Jednou z nejvýznamnějších aldehydových sloučenin obsažených v pivu je acetaldehyd, který vzniká oxidací ethanolu. Kartónovou příchutí ve finálním výrobku může vyvolat zvýšená koncentrace (2*E*)-non-2-enalu (**Obrázek 6**). Při procesu stárnutí piva dochází také ke vzniku alkadienů (acyklické uhlovodíky se dvěma dvojnými vazbami ve své molekule), např. (2*E*,6*Z*)-nona-2,6-dienalu a (2*E*,4*E*)-deka-2,4-dienalu. Další skupina významných aldehydů, jejichž výskyt v pivu byl prokázán, se nazývá Streckerovy aldehydy. Do této skupiny látek patří např. 3-methylbutanal, 2-methylbutanal, 2-methylpropanal, 3-(methylsulfanyl)propanal (**Obrázek 6**), benzaldehyd nebo fenylacetaldehyd. Obecně platí, že jejich obsah v pivu roste při zvýšené koncentraci kyslíku. Nejčastěji vznikajícími ketony v průběhu stárnutí piva jsou pravděpodobně 3-methylbutan-2-on a 4-methylpentan-2-on; dále pak také některé diketony, např. butan-2,3-dion a pentan-2,3-dion. Významný je také degradační produkt karotenoidů (2*E*)-1-(2,2,6-trimethylcyklohex-1-en-1-yl)but-2-en-1-on neboli (*E*)- β -damaskenon, jehož strukturální vzorec je uveden na **Obrázku 6** [20].



Obrázek 6: Významné karbonylové sloučeniny.

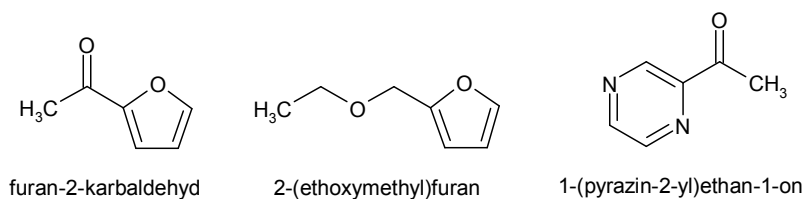
Aldehydy a ketony reagují se dvěma molekulami alkoholu v přítomnosti kyselého katalyzátoru vratnou reakcí na acetaly $[RCH(OR')_2]$ nebo ketaly $[R_2C(OR')_2]$. Při oxidaci piva vznikají zejména **cyklické acetaly**, např. 2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolan (**Obrázek 7**), 2-isopropyl-4,5-dimethyl-1,3-dioxolan nebo 2-isobutyl-4,5-dimethyl-1,3-dioxolan [20].



Obrázek 7: Strukturální vzorec pro pivo typického cyklického acetalu.

Cyklické organické sloučeniny obsahující ve své molekule kromě atomů uhlíku ještě jeden nebo více atomů jiných prvků, tzv. heteroatomů, se nazývají **heterocyklické sloučeniny**. Heteroatomem je často dusík nebo kyslík, ale může to být i síra, fosfor a jiné prvky [21].

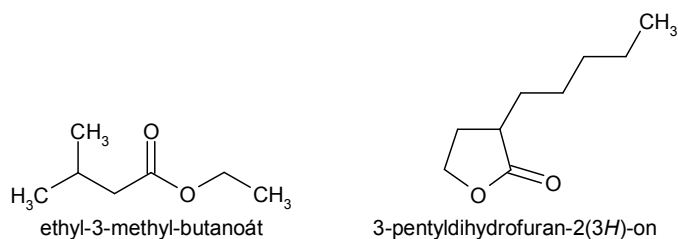
Tyto sloučeniny představují širokou skupinu organických látek. Pětičlenná heterocyklická sloučenina obsahující ve své molekule jeden atom kyslíku se nazývá furan. V pivu se nachází celá řada derivátů furanu, např. furan-2-karbaldehyd (**Obrázek 8**), 5-hydroxyfuran-2-karbaldehyd, 5-methylfuran-2-karbaldehyd, 1-(furan-2-yl)ethan-1-on, 1-(5-methylfuran-2-yl)ethan-1-on nebo 2-(ethoxymethyl)furan (**Obrázek 8**). Pyraziny (šestičlenné heterocykly obsahující dva atomy dusíku) tvoří další skupinu látek, které podléhají změnám během stárnutí piva, přičemž s prodlužující se délkou skladování výrobku dochází k poklesu jejich koncentrace. Typickými zástupci této skupiny látek jsou např. 2-ethyl-6-methylpyrazin, 2-ethyl-5-methylpyrazin, 1-(pyrazin-2-yl)ethan-1-on (**Obrázek 8**), 2,3-dimethylpyrazin, 2,5-dimethylpyrazin, 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazin a 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazin [20].



Obrázek 8: Strukturální vzorce vybraných heterocyklických sloučenin piva.

Estery (RCOOR') jsou organické sloučeniny, ve kterých je $-\text{OH}$ skupina karboxylové kyseliny ($\text{R}-\text{COOH}$) nahrazena organickým zbytkem ($-\text{OR}'$) pocházejícím z alkoholu, u něhož došlo k odštěpení atomu vodíku. Z uvedeného vyplývá, že estery vznikají reakcí organické kyseliny s alkoholem, přičemž dle mechanismu, kterým tato reakce probíhá ji lze nazvat kyselé katalyzovanou nukleofilní acylovou substitucí. Obecně však bývá označována jako esterifikace, avšak lze se setkat také s názvem alkoholýza [21].

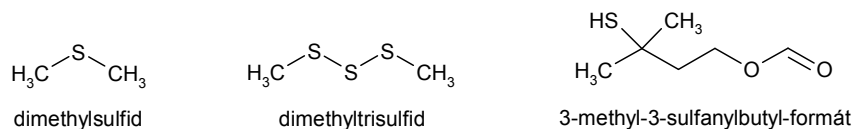
Těkavé estery jsou pravděpodobnými původci ovocné příchutě piva. Během procesu stárnutí piva dochází ke vzniku celé řady esterů. V různých typech piva tak byla detekována přítomnost ethyl-3-methyl-butanoátu (**Obrázek 9**), ethyl-2-methyl-butanoátu, ethyl-2-methyl-propanoátu, ethyl-pyridin-3-karboxylátu, diethyl-butandioátu, ethyl-2-hydroxy-propanoátu, ethyl-fenylacetátu, ethyl-formátu, ethyl-furan-2-karboxylátu či ethyl-(2*E*)-3-fenylprop-2-enoátu. Netradiční typy esterů představují laktony. Jedná se o intramolekulární estery hydroxykarboxylových kyselin vznikající reakcí karboxylové skupiny s hydroxylovou skupinou téže molekuly. Ze skupiny těchto látek se v pivu nachází např. γ -hexalakton a γ -nonalakton (3-pentyldihydrofuran-2(3*H*)-on, **Obrázek 9**) [20].



Obrázek 9: Strukturální vzorce vybraných esterů [20].

Sírné sloučeniny jsou látky, které ve své molekule obsahují atom síry a mohou být odvozeny postupně substitucí a formální oxidací od sulfanu. Thioly ($\text{R}-\text{SH}$) jsou sloučeniny obsahující ve své molekule skupinu $-\text{SH}$, z čehož vyplývá, že se jedná o sírné deriváty alkoholů. Podobně sulfidy, které mají obecný vzorec $\text{R}-\text{S}-\text{R}$ jsou sírnými deriváty etherů. Thioestery neboli estery thiokarboxylových kyselin mají obecný vzorec $\text{R}-\text{COS}-\text{R}'$ [22].

Mezi sirné sloučeniny, které mohou i při jejich nízké koncentraci výrazně ovlivnit chuť piva patří dimethylsulfid, dimethyltrisulfid a 3-methyl-3-sulfanylbutyl-formát (**Obrázek 10**). Původcem rybízové příchuti ve starém pivu je 4-methyl-4-sulfanypentan-2-on [20].



Obrázek 10: Strukturní vzorce významných sirných sloučenin piva [20].

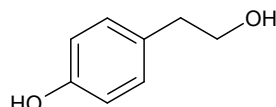
2.2.2 Netěkavé sloučeniny

Mezi hlavní netěkavé sloučeniny obsažené v pivu patří netěkavé alkoholy a netěkavé karboxylové kyseliny, anorganické soli, cukry, aminokyseliny, nukleotidy, polyfenoly a chmelové pryskyřice. Tyto látky jsou doprovázeny různými typy makromolekul, např. polysacharidy, proteiny a nukleovými kyselinami [19].

Pivo obsahuje také některé netěkavé alkoholy, např. butan-2,3-diol a pentan-2,3-diol, které vznikají redukcí vicinálních ketonů (v tomto případě butan-2,3-dionu a pentan-2,3-dionu). Dalším netěkavým alkoholem piva je např. 4-(2-hydroxyethyl)fenol neboli tyrosol (**Obrázek 11**), vznikající degradací tyrosinu [19].

Mezi netěkavé sloučeniny piva patří také někteří zástupci pestré rodiny karboxylových kyselin obsahujících ve své molekule hydroxylovou nebo karbonylovou skupinu a také různý počet karboxylových skupin. Pro pivo typické druhy látek jsou kyseliny pyrohroznová, jablečná, mléčná a citrónová. Významný je také obsah kyseliny šťavelové, a to z toho důvodu, že její nerozpustné vápenaté soli způsobují zákal a rychlé uvolňování CO_2 ve finálním výrobku [19].

Pivo obsahuje stopové množství lipidů, např. mono-, di- a triglyceridy, steroly a volné mastné kyseliny. Autooxidací kyseliny linolové vznikají izomery dihydroxy- a trihydroxyoktadecenové kyseliny. Tyto hydroxykyseliny jsou potencionálními prekurzory (2*E*)-non-2-enalu (**Obrázek 5**, str. 20), který způsobuje kartónovou příchutí zvětralého piva. Fenolové kyseliny spolu s polyfenoly jsou extrahovány ze sladu a chmele. Pivo také obsahuje proantokyanidiny, ze kterých převládají dimery prokyanidinu B₃ [19].



4-(2-hydroxyethyl)fenol

Obrázek 11: Strukturní vzorec vybraného netěkavého alkoholu [19].

2.3 Vybrané chemické reakce doprovázející stárnutí piva

Vnímání chuti piva je výsledkem interakce mnoha chemických sloučenin se smyslovými vjemy. Značná část chemických reakcí, jako jsou oxidace vyšších alkoholů, Streckerova degradace aminokyselin, aldolová kondenzace, degradace hořkých kyselin či Maillardova reakce a hydrolyza esterů, má za následek zestárnutí, zhoršení chuti piva a snížení svěžesti finálního výrobku. Kromě toho je zřejmé, že tyto reakce různých druhů pív během skladování závisí na použitých surovinách během výrobního procesu, vlastností (pH, obsah kyslíku) a vnějších podmínkách (teplota a světlo) [23].

2.3.1 Reaktivní formy kyslíku

Chut' piva během skladování může být ovlivněna reaktivními formami kyslíku (angl. Reactive Oxygen Species, ROS), tj. singletovým kyslíkem $^1\text{O}_2$, superoxidovým radikálem O_2^- , hydroperoxylovým radikálem OOH^\cdot , hydroxylovým radikálem OH^\cdot a peroxidem vodíku H_2O_2 . Tyto reaktivní formy mohou vznikat z molekulárního kyslíku v základním stavu $^3\text{O}_2$ katalytickým účinkem částic, které mohou poskytovat elektrony (např. ionty železa a mědi), případně dodáním energie ve formě tepla nebo světla [23].

Exogenním zdrojem kovů v pivu může být kontaminace pivovarnického zařízení, tj. trubky, linky, plavidla a nádrže, které se používají pro různé manipulace s pivem, včetně fermentace, klimatizace, filtrace, nasycení oxidem uhličitým a balení. Je známo, že se v přítomnosti Cu^{2+} a Fe^{2+} iontů stabilní molekuly kyslíku (O_2) rozpouštějí, přijmou elektrony a vznikají superoxidové radikály. Vzniklé kovové kationty (Cu^{2+} , Fe^{3+}) mohou být opět redukovány. Další protonizací O_2^- aniontů se tvoří hydroperoxylové radikály, které jsou známy pro jejich vysokou oxidační aktivitu [24].

Kromě toho, vysoce reaktivní hydroxylové radikály (OH^\cdot) mohou vznikat z H_2O_2 nebo ze superoxidového aniontu O_2^- za přítomnosti kovových iontů Fentovými a Haberovými-Weissovými reakcemi [25].

Reaktivní formy kyslíku (O_2^- , OOH^- , H_2O_2 , OH^-) mají zásadní význam během stárnutí piva, protože reagují s organickými látkami např. polyfenoly, isohumulony, alkoholy, aminokyselinami, mastnými kyselinami, iso- α -kyselinami, α - a β -hořkými kyselinami, čímž trvale mění jeho organoleptický profil. Koncentrace mědi a železa by měly být kontrolovány (Cu^+/Cu^{2+} , Fe^{2+}/Fe^{3+}). Čím vyšší je jejich množství, tím více se tvoří reaktivní formy kyslíku. Polyfenoly mohou také reagovat s jinými sloučeninami přítomnými v pivu za vzniku radikálů, čímž spoluvytvářejí nepříjemné cizí příchutě. Polyfenoly v přítomnosti kovů snadno polymerují a vytvářejí ireverzibilní zákal piva [24].

2.3.2 Oxidace vyšších alkoholů

Vyšší alkoholy se přirozeně vyskytují jako produkty alkoholového kvašení, mají více než dva atomy uhlíku a jsou tvořeny metabolismem kvasinek z aminokyselin. Oxidací alkoholů do prvního stupně vznikají aldehydy (při oxidaci primárního alkoholu) nebo ketony (oxidací sekundárního alkoholu). Následná oxidace aldehydů poskytuje příslušné karboxylové kyseliny. Nutno podotknout, že ve většině případů nedochází při oxidaci primárních alkoholů k zastavení reakce v prvním oxidačním stupni za tvorby aldehydu, ale přímo ke vzniku odpovídající karboxylové kyseliny [25].

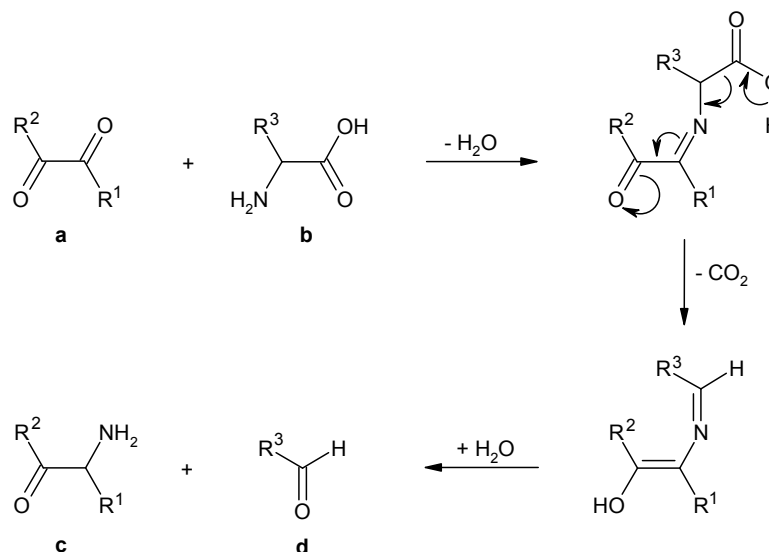
Oxidaci alkoholů urychluje molekulární kyslík. V procesu oxidace vyšších alkoholů slouží jako akceptory vodíku melanoidiny, což jsou barevně se jevící a senzory významné vysokomolekulární heterogenní polymery [26].

2.3.3 Streckerova degradace aminokyselin

Tato reakce vede obecně ke vzniku karbonylové sloučeniny (zpravidla aldehydu) o jeden atom uhlíku kratší, než byla původní aminokyselina, oxidu uhličitého a amoniaku.

Na **Schématu 1** je znázorněno Streckerovo odbourávání aminokyselin, které patří mezi nejdůležitější reakce vedoucí ke konečné tvorbě sloučenin vzniklých v Maillardově reakci. Při tomto typu reakce vzniká nejprve Schiffova báze, a to reakcí α -dikarbonylové sloučeniny (**Schéma 1**, sloučenina **a**) s aminokyselinou (**Schéma 1**, sloučenina **b**). Následným přesmykem, dekarboxylační a hydrolyzační reakcí dochází k tvorbě α -aminokarbonylové sloučeniny (**Schéma 1**, sloučenina **c**) a příslušného Streckerova aldehydu (**Schéma 1**, sloučenina **d**) [27, 28].

Schéma 1



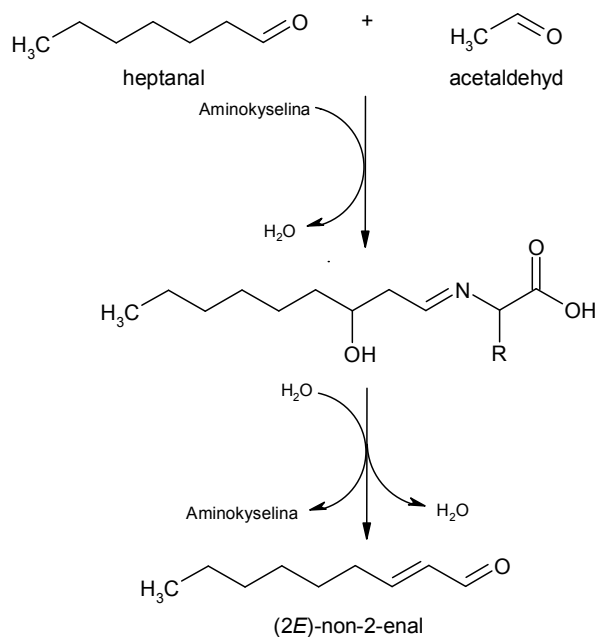
Streckerovy aldehydy mohou vznikat také reakcí aminokyselin s oxidovanými lipidy, např. epoxyalkenaly, epoxyketony a hydroxyalkenaly. Tyto sloučeniny reagují (podobně jako je uvedeno na **Schématu 1**) s aminoskupinou aminokyselin, kdy následnou dekarboxylací a hydrolýzou vzniká odpovídající aldehyd. Je-li směs oxidovaných lipidů a aminokyselin zahřívána v přítomnosti kyslíku vznikají alkadieny a ketodieny, které jsou degradovány až na fenylacetaldehyd. Lipidové hydroperoxydy vznikají na základě oxidace, při které jsou aminokyseliny degradovány. Hydroperoxydy, hydroxydieny, ketodieny, nenasycené epoxyhydroxy deriváty, nenasycené epoxyketo deriváty a aldehydy s krátkými řetězci jsou schopny degradovat fenylalanin na fenylacetaldehyd ve velké míře. Studie prokázaly, že ketodieny oxidují nenasycené epoxyketoderiváty, které jsou sloučeniny pro další degradaci aminokyselin [29].

2.3.4 Aldolová kondenzace

Jednou z významných reakcí, která doprovází stárnutí piva je také aldolová kondenzace. Jedná se o bazicky nebo kyselě katalyzovanou reakci, která dovoluje kombinovat dvě molekuly obsahující karbonylovou skupinu za vzniku C–C vazby. Nutno podotknout, že ke vzniku této vazby dochází pouze mezi α -atomem uhlíku jedné a karbonylovým atomem uhlíku druhé reakční komponenty [21].

Aldolovou kondenzací, a sice reakcí heptanalů s acetaldehydem, dochází v konečném důsledku k tvorbě (2*E*)-non-2-enalu (**Schéma 2**), jehož koncentraci ve finálním výrobku se v praxi věnuje značná pozornost. Tato sloučenina může vznikat také oxidací lipidů a nenasycených mastných kyselin, zejména pak kyseliny linolové a linolenové [30].

Schéma 2



2.3.5 Degradace hořkých kyselin

Hořké chmelové látky jsou zodpovědné za hořkou chuť a aroma piva a zároveň vykazují antimikrobiální účinky proti některým grampozitivním bakteriím a houbám. Účinek chmelových látek může být bakteriostatický nebo baktericidní, v závislosti na koncentraci a době expozice. Iso- α -hořké kyseliny a jejich redukované deriváty jsou slabé kyseliny, které zvyšují propustnost lipidové dvojvrstvy biologických membrán pro protony. Do buněk se iso- α -hořké kyseliny dostávají ve své nedisociované formě pasivní difuzí přes plazmatickou membránu. Intracelulární pH vyšší než hodnota pK_a iso- α -hořkých kyselin ($pK_a = 3,1$) způsobí jejich disociaci na anionty a protony. Vnitrobuněčná acidifikace způsobí snížení aktivity některých enzymů a může nepříznivě ovlivnit buněčné proteiny a DNA. Uvolněné anionty vytváří s dvojmocnými kationty elektroneutrální komplexy, které mohou pasivně opustit buňku. Dochází tak k elektroneutrální výměně protonů za buněčné dvojmocné kationty, jako je např. Mn^{2+} nebo Mg^{2+} [31].

Při varném procesu α -hořké kyseliny přecházejí na iso- α -kyseliny zodpovědné za hořkou chuť piva. Iso- α -kyseliny jsou formovány do dvou geometrických isomerů: *cis*- a *trans*-, a to ve prospěch *cis*- formy (poměr *cis*- : *trans*- forem bývá přibližně 70 : 30). Během stárnutí piva je *cis*- forma stabilnější na rozdíl od formy *trans*-, která podléhá snadněji oxidačním reakcím vedoucím k tvorbě těžkých sloučenin, včetně ketonů, které dále podléhají kondenzačním reakcím aldolového typu s aldehydy. Vznikající sloučeniny podstatně ovlivňují sensorické vlastnosti piva. Je proto důležité sledovat souvislosti nejen mezi počáteční přeměnou α -kyselin na iso- α -kyseliny, ale také dále sledovat koncentrace iso- α -kyselin ve vyrobeném pivu a jejich stabilitu během skladování. Jednotlivé formy *cis*- a *trans*- iso- α -kyselin má význam pro stárnutí piva, kdy forma *trans*-, která je náchylnější k oxidaci, vypovídá také o časové stabilitě hořkosti piva. Problém úbytku iso- α -kyselin a stability hořkosti piva může být řešen přidáváním stabilních hydrogenovaných iso- α -kyselin. V některých státech EU se proto redukované iso- α -kyseliny (zejména tetrahydroiso- α -kyseliny) přidávají do piva ve formě komerčně dostupných preparátů [32].

2.3.6 Oxidace nenasyčených mastných kyselin

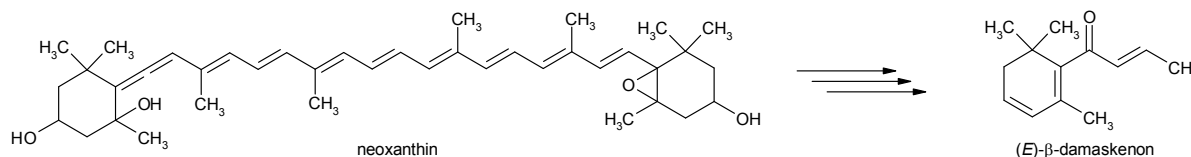
Hydroxidy a hydroperoxy jsou schopny reagovat s nenasyčenými mastnými kyselinami, jako např. s kyselinou linolenovou. Oxidační degradace linolové a linolenové kyseliny prostřednictvím enzymatických reakcí nebo reakcí s volnými radikály vede ke vzniku charakteristické staré chuti piva. Autooxidací nenasyčených mastných kyselin vznikají hydroperoxy, které jsou nestabilní a rozkládají se na nízkomolekulární sloučeniny (např. aldehydy, ketony a karboxylové kyseliny). Karboxylové kyseliny obsahující ve své molekule 12–15 atomů uhlíku hrají důležitou roli při tvorbě a stálosti pивní pěny. 9,12,15-Trihydroxyoktadecenová kyselina vzniká oxidací kyseliny linolenové a snižuje tvorbu pивní pěny. Katechin je akceptorem volných radikálů a zabraňuje tak oxidaci nenasyčených mastných kyselin. Reakce volných radikálů v pivu jsou odpovědné za rozklad nenasyčených mastných kyselin [33, 34, 35].

2.3.7 Vznik (*E*)- β -damaskenonu

(2*E*)-1-(2,2,6-Trimethylcyklohex-1-en-1-yl)but-2-en-1-on známý pod označením (*E*)- β -damaskenon (**Obrázek 4**, strana 18) může vznikat několika stupňovou kysele katalyzovanou přeměnou polyolů, k jejichž tvorbě dochází enzymatickou transformací

známého karotenoidového barviva neoxanthinu, jak je naznačeno na **Schématu 4** [36]. Tato sloučenina však může během stárnutí piva vznikat také neenzymatickou hydrolyzou glykosidů, tedy látek, které se významnou měrou podílí na sensorickém profilu piva v průběhu skladování. To se však týká zejména speciálních druhů piv (zejm. ovocných a bylinných), pro něž je vyšší podíl glykosidů typický [20].

Schéma 3



2.3.8 Maillardova reakce

Během výroby a skladování finálního výrobku dochází také k reakci označované jako Maillardova. Maillardova reakce patří mezi nejrozšířenější reakce sacharidů (u piva vstupuje do tohoto typu reakce především disacharid maltosa) a sloučenin obsahujících aminoskupinu (bílkoviny, aminokyseliny, aminy a amoniak) za vzniku heterocyklických sloučenin a pigmentů nazývaných melanoidiny [37].

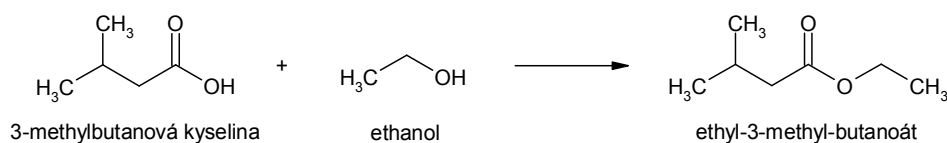
Maillardova reakce udávají barvu piva a vznikají v endospermu ječmene během jeho skladování a mohou pokračovat také v průběhu chmelovaru. Meziprodukty Maillardovi reakce vedou ke vzniku významných sensoricky aktivních látek, jako je furan-2-karbaldehyd nebo 5-hydroxyfuran-2-karbaldehyd. Tyto nízkomolekulární sloučeniny mají nezanedbatelný podíl na vzniku karamelové a připálené vůně piva [37].

Maillardova reakce je zahájena vznikem Shiffovy báze, k jejíž tvorbě dochází v důsledku reakce mezi karbonylovou skupinou redukujících sacharidů a amino skupinou příslušné aminokyseliny za vzniku iminu. Imin se Amadoriho přesmykem transformuje na 1-amino-1-deoxyketosu, která podléhá enolizaci za následného uvolnění aminoskupiny. Dalšími reakcemi, např. kondenzací, dehydratací a izomerací vznikají již zmíněné melanoidiny [38].

2.3.9 Vznik a hydrolýza těkavých esterů

Některé druhy piva se vyznačují vysokým obsahem esterů, jako jsou např. ethyl-3-methyl-butanoát nebo ethyl-acetát. Estery jsou produkovány kvasinkami v průběhu kvašení piva. Koncentrace esterů klesá v průběhu hydrolýzy [39]. Již zmíněný ethyl-3-methyl-butanoát vzniká reakcí 3-methylbutanové kyseliny s ethanolem, jak je znázorněno na **Schématu 4**.

Schéma 4



Estery vznikají intracelulárním procesem, přičemž jejich vznik je katalyzován enzymy (např. acyltransferasou). Tvorba esterů během fermentace závisí na enzymatické aktivitě a množství acetyl-CoA [39].

2.3.10 Vznik dimethyltrisulfidu

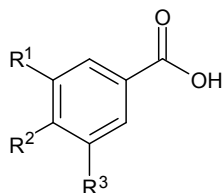
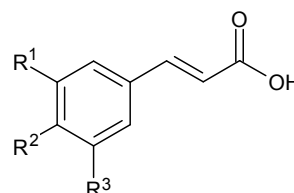
Dimethyltrisulfid (DMTS) je organická sloučenina síry (**Obrázek 11**, strana 23), která se nachází především v pivech s vyšší stupňovitostí. Vzniká degradací methionalu a methionolu v čerstvém pivu. Methional pochází ze Streckerovy degradace aminokyseliny methioninu, k níž dochází při sladování ječmene [40, 41].

DMTS je obsažen převážně ve sladu a také představuje sensoricky aktivní složku chmelové silice. Má vysoký bod varu (183 °C). Jeho koncentrace se neustále mění během jednotlivých procesů výroby piva, tzn., že stoupá během delší doby chmelovaru a klesá v průběhu kvašení piva. Piva vyrobená ze silně provzdušněných mladin vykazují vyšší obsah této sloučeniny [42].

2.3.11 Degradace polyfenolů

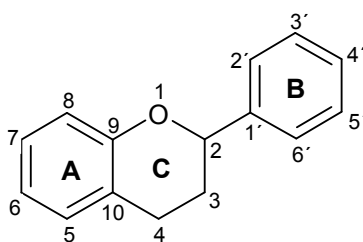
Polyfenolické látky se obecně podílejí na chemicko-fyzikální stabilitě piva, na formování pěny a na odolnosti proti stárnutí a oxidaci piva. Z celkového množství polyfenolů obsažených v mladině, jich pouze 20–30 % pochází z chmele, ostatní pochází ze sladu [43].

Polyfenolické látky lze, pro potřeby pivovarnictví, rozdělit do dvou skupin. První velká skupina zahrnuje fenolické kyseliny, deriváty kyseliny benzoové a skořicové obsahující ve své molekule nejčastěji jednu či více hydroxylových a methoxylových skupin. Do první podskupiny patří, např. kyselina salicylová, *p*-hydroxybenzoová, protokatechová a gallová. Do druhé podskupiny náleží, např. kyselina *p*-kumarová, kávová, sinapová kyselina a jiné.

benzoová kyselina $R^1 = R^2 = R^3 = H$ *p*-hydroxybenzoová kyselina $R^1 = R^3 = H, R^2 = OH$ kávová kyselina $R^1 = H, R^2 = R^3 = OH$ gallová kyselina $R^1 = R^2 = R^3 = OH$ skořicová kyselina $R^1 = R^2 = R^3 = H$ *p*-kumarová kyselina $R^1 = R^3 = H, R^2 = OH$ sinapová kyselina $R^1 = R^3 = OCH_3, R^2 = OH$ kávová kyselina $R^1 = H, R^2 = R^3 = OH$ **Obrázek 12:** Strukturální vzorce vybraných organických kyselin [43].

Druhou velkou skupinou jsou flavonoidy, které se dále dělí na flavany, anthokyany a flavonoly [44].

Strukturální vzorec flavanového skeletu je uveden na **Obrázku 13** a skládá se ze dvou benzenových jader (A a B) a z jádra odvozeného od pyranu (C). Benzenové jádro B je spojeno s pyranovým kruhem v poloze C2. Všechny tři jádra jsou substituována hydroxy- nebo methoxyskupinami [45].

**Obrázek 13:** Struktura flavanového skeletu [44].

Chemické přeměny polyfenolických sloučenin probíhají během chmelovaru, kvašení, filtrace, stabilizace koloidních vlastností piva a v průběhu stárnutí piva. Jsou to např. reakce hydrolytické, isomerační, oxidoredukční, polymerizační a kondenzační. Hydrolytické reakce vedou ke štěpení glykosidů na aglykon a sacharidovou část. Typickou isomerační reakci představuje přeměna xanthohumolu na isoxanthohumol. Během kondenzačních a polymeračních reakcí bílkovin může docházet k tvorbě koloidního zákalu. Stabilizační postupy jsou založeny na adsorpci zákalotvorných prekurzorů na inertní filtrační materiály. Polyfenoly, zejména flavonoidy, jsou považovány za nejúčinnější přirozené antioxidanty

obsažené v pivu. Vliv polyfenolických látek na chuťovou stabilitu piva závisí na absolutní i relativní koncentraci dihydroxy- a trihydroxyflavonoidů. Antioxidační účinek je závislý na druhu ječmene a postupu technologie sladování [44].

3 MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ STABILITY PIVA

Každé pivo podléhá přirozenému procesu stárnutí. Chuť neupraveného piva se časem zhoršuje. Pivovar proto musí garantovat po celou dobu záruky trvanlivost piva ve všech směrech, tj. trvanlivost biologickou (mikrobiologickou), koloidní a chuťovou. Biologické stability piva můžeme docílit několika způsoby, např. pasterací v tunelovém nebo průtokovém pastéru, stáčením za horka, studenou sterilizací nebo aseptickým plněním hotového výrobku do transportního obalu. Každý způsob tepelného ošetření piva je spojen s rizikem následných chuťových změn. Metabolity nežádoucích mikroorganismů nelze odstranit žádným z uvedených způsobů. Po celou dobu výroby piva je důležité dodržovat všechny zásady hygieny a sanitace. Také u piv s dobrou biologickou stabilitou může docházet k tvorbě koloidních zákalů a sedlin. Tyto zákalů lze odstranit, např. omezením vzniku vysokomolekulárních bílkovin nebo jejich enzymatického štěpení, oddělením polyfenolů, studeným dokvašováním, vyloučením oxidace piva při filtraci a stáčení piva, omezením působení solí těžkých kovů (železo, měď), šetrnou manipulací a omezením přístupu světla [6].

Na složení nebiologických zákalů se podílí zejména polyfenoly, polypeptidy, polysacharidy a minerální látky. Významnou roli při tvorbě koloidních zákalů hrají polyfenoly, kdy čím vyšší mají molekulovou hmotnost, tím jsou reaktivnější [46].

Méně významnou složku nebiologických zákalů představují polysacharidy, především typu β -glukanu. Jedná se o polysacharid s glukosovými jednotkami spojenými β -1,3- a β -1,4-glykosidovými vazbami. Kromě nebiologických zákalů, které β -glukany tvoří reakcemi s jinými polymery, např. polypeptidy a polyfenoly, zhoršuje jeho vyšší koncentrace v pivu také filtraci při jeho závěrečných úpravách [47].

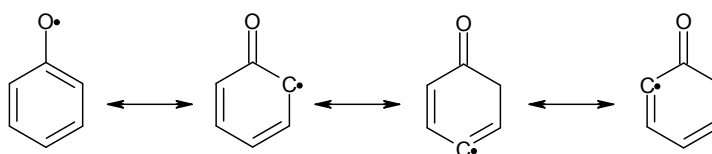
Koloidní stabilizace piva sorbenty polyfenolových látek je účinným prostředkem vedoucím k zajištění relativně dlouhé garance čirosti piv. Polyfenolové látky, cukerné reduktony, melanoidiny a během kvašení vzniklý oxid siřičitý jsou důležitými přirozenými antioxidanty v pivovarství [48].

3.1 Polyfenolové antioxidanty

Hlavními antioxidanty piva jsou polyfenolové látky pocházející z chmele. Určitá redukční schopnost byla prokázána také u hořkých kyselin. Obsah celkových polyfenolů ve chmelu je přibližně 2 až 6 % hm. a závisí na odrůdě chmele. Polyfenolové látky chmele

ovlivňují antioxidační aktivitu piva a tím potenciálně i sensorickou stabilitu piva. Karbonylové látky podílející se na vzniku staré chuti jsou tvořeny sérií radikálových reakcí, kde vznikají působením aktivních forem kyslíku na mastné kyseliny, aminokyseliny, vyšší alkoholy nebo sacharidy. Průběh reakcí závisí na redukčním potenciálu reagujících látek. Polyfenoly mohou působit např. jako lapače kyslíkových volných radikálů, reaktivních forem kyslíku (ROS) inhibitory lipoxxygenas, katalyzujících oxidaci mastných kyselin [49].

Rozdíl mezi antioxidanty a lapači volných radikálů je ten, že antioxidanty zabráňují oxidaci nenasycených mastných kyselin ještě před vznikem alkylových radikálů, a tím nedochází ke vzniku hydroperoxidů. Lapače volných radikálů nezabráňují přímo vzniku alkylových radikálů. Po reakci těchto radikálů s kyslíkem vznikají peroxidové radikály, které podléhají rychlým přeměnám vedoucím k tvorbě hydroperoxidů, které jsou stabilní. Polyfenoly reagují s volnými radikály za vzniku fenoxu radikálů, které jsou v důsledku delokalizace elektronů na aromatickém kruhu relativně stabilní (**Obrázek 14**) [17].



Obrázek 14: Stabilizace fenoxu radikálu delokalizací [17].

3.2 Melanoidiny a reduktony

Mezi nejdůležitější reakce nastávající během hvozdění sladu patří tvorba chuťových (aromatických) a barevných (oxidoredukčních) látek. Tyto látky vytváří charakter sladu, zejména jeho vůni, chuť a barvu. Při vyšších teplotách vznikají interakcemi štěpných produktů polysacharidů a bílkovin (monosacharidů a aminokyselin) aromatické a oxidoredukční látky. Maillardovou reakcí se vytváří od výchozích hexos a aminokyselin přes několik meziproductů nejdříve reduktony a poté melanoidiny. Bezdušičaté barevné a aromatické látky mohou vznikat při hvozdění karamelizací sacharidických složek, enzymatickou oxidací za vzniku melaninů a neenzymatickým hnědnutím (komplexy polyfenolů a železa). Pro dostatečnou tvorbu těchto sloučenin je důležité hluboké rozštěpení polysacharidů a bílkovin během klíčení ječmene. Melanoidiny, reduktony, melaniny, karamelizační produkty i ostatní barevné a aromatické látky mají koloidní charakter. Jmenované látky chrání složky koloidních roztoků vůči změnám disperzity a mají

oxidoredukční vlastnosti, čímž zlepšují koloidní stabilitu piva. V konečném důsledku svým zbarvením vytváří typickou barvu sladu a z něj vyrobených finálních výrobků [50].

3.3 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý je všeobecně známý jako látka s antioxidačními vlastnostmi a slouží k úpravě potravin za účelem zlepšení především jejich trvanlivosti i vzhledu. Oxid siřičitý je přirozenou složkou sladu a údaje o jeho obsahu se pohybují v rozmezí 0 až 64 mg·kg⁻¹. Obsah oxidu siřičitého ve sladu je závislý na tom, zda byl slad sířen v průběhu hvozdní a jaký druh paliva byl použit k vytápění hvozdu s přímým otopem. V současnosti se oxid siřičitý považuje za jednu z nejdůležitějších látek, které mají vliv na senzorickou stabilitu vůně a chutě piva [51].

Množství oxidu siřičitého v pivu lze zvýšit sířením chmele, avšak podstatná část takto přidaného oxidu siřičitého vytěká během varním procesu. Množství oxidu siřičitého vyskytujícího se v hotovém výrobku pochází z metabolických změn probíhajících při kvašení [52].

Vznik siřičitanů a oxidu siřičitého během kvašení je dán množstvím aminokyselin v mladině. Zvýšený obsah methioninu během kvašení potlačuje vznik siřičitanů. Vznikající siřičitany jsou plně využívány tvořením sirných aminokyselin, které jsou nezbytné pro růst kvasinek. V další fázi kvašení jsou sirné aminokyseliny z mladiny vyčerpány a aktivita siřičitanové reductasy dosahuje velmi nízké úrovně. Za těchto okolností se akumuluje největší množství siřičitanů, proto je tato fáze vzhledem ke koncentraci oxidu siřičitého v pivu rozhodující [19].

ZÁVĚR

V dnešní době je závažným problémem pivovarského průmyslu zajištění dostatečně dlouhodobé trvanlivosti finálního výrobku, aniž by v průběhu skladování došlo k výrazným změnám jeho kvalitativních vlastností, jako je např. čirost, barva, chuť, vůně či pěnovost.

Během skladování piva dochází k řadě chemických reakcí, v jejichž důsledku vzniká široké spektrum sloučenin podílejících se na organoleptickém profilu finálního výrobku. Některé skupiny látek mohou při vyšších koncentracích ovlivňovat sensorické vlastnosti piva samy o sobě, většina z nich však mění charakter piva až v okamžiku interakce s jinými typy sensoricky aktivních látek.

Pivo je koloidní roztok, který obsahuje až několik tisíc látek a z čirého finálního výrobku stáčeného do spotřebitelských obalů, se může snadno vytvořit zákal. Dnešní technologie filtrování a pasterace omezují tvorbu mikrobiologických zákalů, které jsou příčinou růstu mikroorganismů vyskytujících se v pivu, avšak nebiologickým zákalům zcela zabránit nelze. Koloidní stabilitu ovlivňuje kvalita a kvantita použitých surovin, optimální technologické podmínky a omezení přístupu kyslíku během závěrečných úprav finálního výrobku. V případě oxidace se přidávají antioxidanty, které zabrání tvorbě zákalů reakcí s volnými radikály. Mezi přirozené antioxidanty řadíme polyfenolové látky, melanoidiny vznikající v průběhu Maillardovi reakce a oxid siřičitý, který se tvoří aktivitou kvasinek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] L. Chládek: *Pivovarnictví*. Praha: Grada Publishing, a.s., **2007**. 208 s.
- [2] J. Nováková, F. Richter: *Pivo jako křen: domácí vaření piva a vše o pivu*. Praha: Radioservis, a.s., **2009**. 131 s.
- [3] A. Kratochvíle: *Pivovarství v českých zemích v proměnách 20. století*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s., **2005**. 265 s.
- [4] Vyhláška Mze ČR č. 335/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro nealkoholické nápoje a koncentráty k přípravě nealkoholických nápojů, ovocná vína, ostatní vína a medovinu, pivo, konzumní líh, lihoviny a ostatní alkoholické nápoje, kvasný ocet a droždí. Sbíрка zákonů 2003.
- [5] P. Kadlec a kol.: *Technologie potravin II*. Praha: VŠCHT, **2007**. 236 s.
- [6] K. Kosař, S. Procházka: *Technologie výroby sladu a piva*. Praha: VÚPS, **2000**. 400 s.
- [7] M. Drdák; J. Studnický; E. Mόrová: *Základy potravinářských technologií*. Bratislava: MALÉ CENTRUM, **1996**. 512 s.
- [8] F. Dudáš a kol.: *Skladování a zpracování rostlinných výrobků*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, **1981**. 384 s.
- [9] J. Hospr: *Příručka pro výčepníky*. Praha: Merkur, **1986**. 120 s.
- [10] M. Jackson: *Encyklopedie piva*. Praha: Volvox Globator, **1994**. 256 s.
- [11] Vyhláška MZe ČR č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Sbíрка zákonů 2006.
- [12] F. Hlaváček, A. Lhotský: *Pivovarství*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, **1972**. 540 s.
- [13] L. Šilhánková: *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology*. Praha: Academia, **2002**. 363 s.
- [14] O. Bendová, M. Kahler: *Pivovarské kvasinky*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, **1981**. 272 s.

- [15] P. Kadlec, K. Melzoch, M. Voldřich: *Co byste měli vědět o výrobě potravin? Technologie potravin*. Ostrava: KEY Publishing s.r.o., **2009**. 536 s.
- [16] B. Verhoef: *Encyklopedie piva*. Dobřeovice: Rebo Productions s.r.o., **2004**. 304 s.
- [17] P. Nádaský, D. Šmogrovičová: Senzorická stabilita piva. *Chemické listy*. Praha: VŠCHT, **2010**, roč. 104, s. 838–845.
- [18] P. Čejka: Faktory ovlivňující sensorické vlastnosti piva. *Kvasný průmysl*. Praha: VÚPS, **1997**, roč. 43, s. 168–173.
- [19] D. E. Briggs, Ch. A. Boulton, P. A. Brookes, R. Stevens: *Brewing Science and Practise*. Cambridge England: Woodhead publishing limited, **2004**. 881 s.
- [20] B. Vanderhaegen, H. Neven, H. Verachtert, G. Derdelinckx: The chemistry of beer aging – a critical review. *Food Chemistry*. **2006**, vol. 95, p. 357–381.
- [21] J. McMurry: *Organická chemie*. Brno: VUTIUM, **2007**. 1260 s.
- [22] F. Liška: *Konstituce, konformace, konfigurace v názvech organických sloučenin*. Praha: VŠCHT, **2008**. 248 s.
- [23] D. Saison, N. Vanbeneden, D. P. De Schutter, L. Daenen, T. Mertens, F. Delvaux, and F. R. Delvaux: Characterisation of the Flavour and the Chemical Composition of Lager Beer after Ageing in Varying Conditions. *Brewing Science*. **2010**, vol. 63, p. 41–53.
- [24] P. Pohl: Determination and fractionation of metals in beer. *Food Additives and Contaminants*. **2008**, vol. 25, p. 69–703.
- [25] N. Motohashi, I. Mori: Superoxide-dependent formation of hydroxyl radical catalyzed by transferrin. *Federation of European Biochemical Societies*. **1983**, vol. 157, p. 197–199.
- [26] N. Hashimoto, et al.: Proposed pathways for the formation of volatile aldehydes during storage of bottled beer. *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists*. **1975**, vol. 33, p. 104–111.
- [27] R. Zamora, E. Gallardo, J. L. Navarro, F. J. Hidalgo: Strecker-type Degradation of Phenylalanine by Methyl 9,10-Epoxy-13-oxo-11-octadecenoate and Methyl 12,13-Epoxy-9-oxo-11-octadecenoate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2005**, vol. 53, p. 4583–4588.

- [28] F. J. Hildago, R. Zamora: Strecker-type Degradation Produced by the Lipid Oxidation Products 4,5-Epoxy-2-Alkenals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2004**, vol. 52, 7126–7131.
- [29] R. Zamora, E. C. Gallardo, F. J. Hidalgo: Model studies on the degradation of phenylalanine initiated by lipid hydroperoxides and their secondary and tertiary oxidation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2008**, vol. 56, p. 7970–7975.
- [30] D. Tichit, D. Lutic, B. Coq, R. Durand, R. Teissier: The aldol condensation of acetaldehyde and heptanal on hydrotalcite-type catalysts. *Journal of Catalysis*. **2003**, vol.219, p. 167–175.
- [31] D. Matoulková, K. Sigler, M. Němec: Vliv tetrahydro-iso- α -hořkých kyselin na růst bakterií kazících a nekazících pivo. *Kvasný průmysl*. Praha: VÚPS, **2010**, roč. 56, s. 396–403.
- [32] M. Jurková, T. Horák, J. Čulík, P. Čejka, V. Kellner: Současné stanovení iso- α -kyselin ve formě jejich cis- a trans- forem a tetrahydroiso- α -kyselin. *Kvasný průmysl*. Praha: VÚPS, 2010, roč. 56, s. 163–166.
- [33] H. Kaneda, J. Y. Kano, M. Kamimura, T. Osawa, S. Kawakishis: Analysis of long-chain fatty acids in beer by HPLC-Fluorescence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **1990**, vol. 38, p. 1363–1367.
- [34] E. D. Baxter, P. S. Hughes: *Beer: quality, safety and nutritional aspects*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, **2001**. 138 p.
- [35] Ch. W. Bamforth, I. Russell, G. Stewart: *Beer: a quality perspective*. Oxford: Academic Press, **2008**. 288 p.
- [36] F. Chevance, Ch. G. Declerck, J. Dupont, S. Collin: Investigation of the β -Damascenone level in fresh aged commercial beers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2002**, vol. 50, p. 3818–3821.
- [37] Victor R. Preedy: *Beer in health and disease prevention*. London: Elsevier Inc., **2009**. 1101 p.
- [38] B. Vanderhaegen, F. Delvaux, L. Daenen, H. Verachtert, F. R. Delvaux: Aging characteristics of different beer types. *Food chemistry*. **2007**, vol. 103, p. 404–412.

- [39] H. M. Eßlinger: *Handbook of brewing*. Weinheim: Wiley-VCH., **2009**. p. 746.
- [40] L. Gijs, F. Chovance, V. Jerkovic, S. Collin: How low pH can intensify β -Damascenone and dimethyl trisulfide production through beer aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2002**, vol. 50, p. 5612–5616.
- [41] Perpete, P., Collin, S: How to improve the enzymatic flavour reduction in a cold contact fermentation. *Food Chemistry*, **2000**, vol. 70, p. 457–462.
- [42] P. Perpete, L. Melotte, S. Dupir, S. Collin: Varietal discrimination of hop pellets by essential oil analysis. I. Comparison of fresh samples. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, **1998**, vol. 56, p. 104-108.
- [43] P. Hofta, P. Dostálek, G. Basařová: Xanthohumol - chmelová pryskyřice nebo polyfenol? *Chemické listy*. Praha: VŠCHT, **2004**, roč. 98, s. 825–830.
- [44] J. Čepička, M. Karabin: Polyfenolové látky piva jako přirozené antioxidanty. *Chemické listy*. Praha: VŠCHT, **2002**, roč. 96, s. 90–95.
- [45] J. Velíšek: *Chemie potravin 3* **2002**, 368 s.
- [46] H. Grayg, J. Van Roon: Prevence bílkovinných a polyfenolových zákalů piva užitím prolin-specifické proteasy. *Kvasný průmysl*. Praha: VÚPS, **2006**, roč. 52, s. 273.
- [47] J. Velíšek: *Chemie potravin 1*. Tábor: OSSIS, **2002**. 331 s.
- [48] A. Mikyška, D. Hašková, J. Čulík, M. Jurková, P. Čejka: Studium vlivu koloidní stabilizace piva sorbentem Polyclar 10 na polyfenolové antioxidanty a senzorickou stabilitu piva. *Kvasný průmysl*. Praha: VÚPS, **2010**, roč. 56, s. 167–174.
- [49] A. Mikyška, D. Hašková, T. Horák, M. Jurková: Vliv typu chmelové suroviny na antioxidační vlastnosti piva. *Kvasný průmysl*. Praha: VÚPS, **2010**, roč. 56, s. 294–302.
- [50] J. Čepička a kol.: *Obecná potravinářská technologie*. Praha: VŠCHT, **1995**. 246 s.
- [51] S. Landaud, S. Helinek, P. Bonnarme: Formation of volatile sulphur compounds and metabolism of methionine and other sulphur compounds in fermented food. *Food Chemistry*, **2008**, vol. 77, p.1191–1205.
- [52] G. Basařová, A. Mikyška: Význam a původ oxidu siřičitého v pivu. *Kvasný průmysl*, Praha: VÚPS, **1982**, roč. 28, s 218–220.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ROS reaktivní formy kyslíku (z angl. Reactive Oxygen Species)

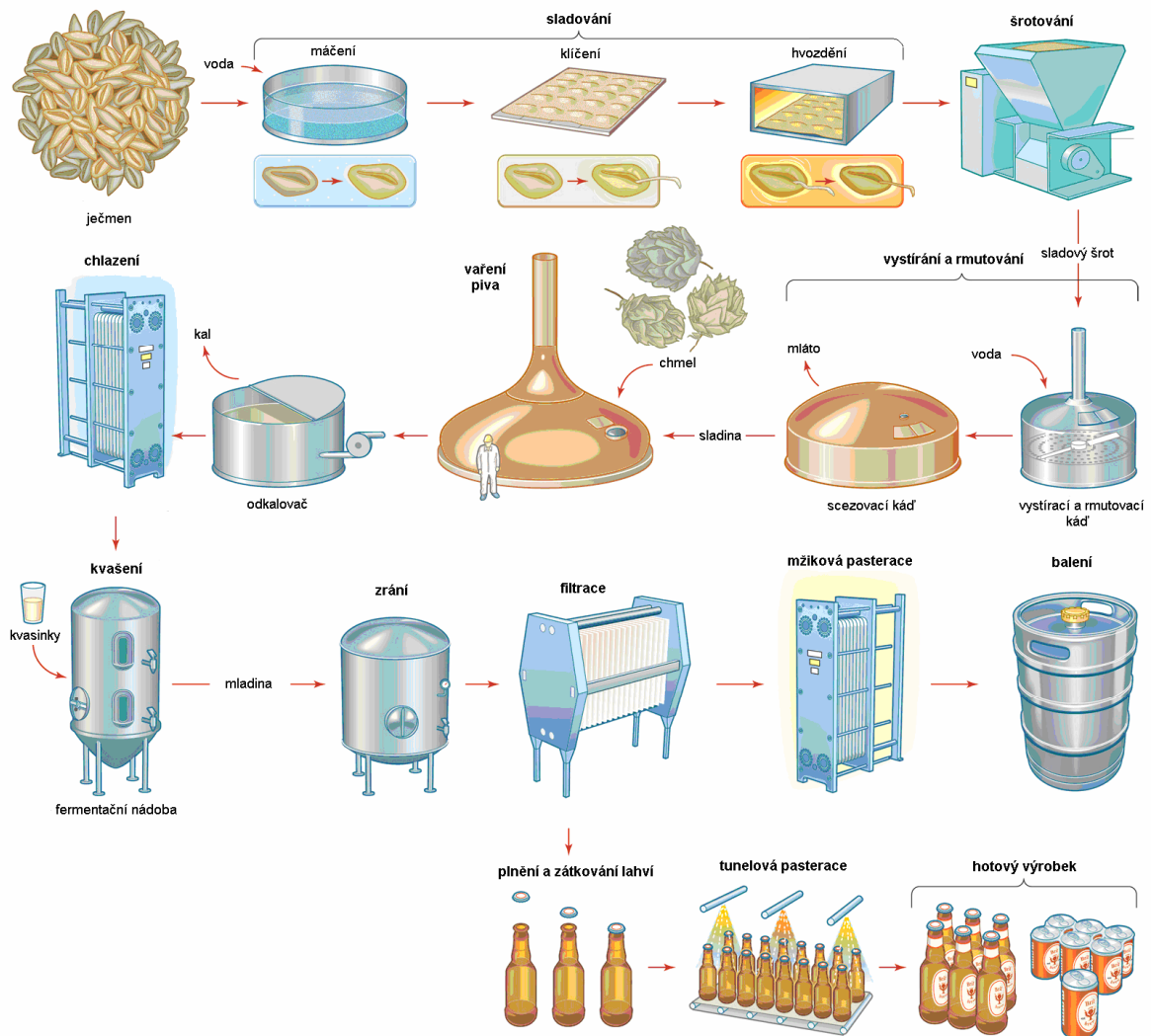
DMTS dimethyltrisulfid

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Podélný řez zralou obilkou.....	12
Obr. 2	Chmelová hlávka žateckého poloraného červeňáku a její části.....	13
Obr. 3	Strukturní vzorce α - a β -hořkých kyselin.....	14
Obr. 4	Senzorické změny během stárnutí piva.....	19
Obr. 5	Strukturní vzorce významných alkoholů obsažených v pivu.....	21
Obr. 6	Významné karbonylové sloučeniny.....	22
Obr. 7	Strukturní vzorec pro pivo typického cyklického acetalu.....	22
Obr. 8	Strukturní vzorce vybraných heterocyklických sloučenin.....	23
Obr. 9	Strukturní vzorce vybraných esterů.....	23
Obr. 10	Strukturní vzorce významných sírných sloučenin.....	24
Obr. 11	Strukturní vzorec vybraného netěkavého alkoholu.....	25
Obr. 12	Strukturní vzorce vybraných organických kyselin.....	32
Obr. 13	Strukturní vzorec heterocyklického flavanu.....	32
Obr. 14	Stabilizace fenoxi radikálu delokalizací.....	35

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA P I: TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY PIVA



www.britannica.com [online]. 14.10.2010 [cit. 2011-01-30]. Britannica Beer and the Brewing process (Picture of the Day). Dostupné z WWW: <<http://www.britannica.com/blogs/2010/10/britannica-beer-and-the-brewing-process-picture-of-the-day/>>.