ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA CHEMIE

STANOVENÍ LÁTEK OBSAŽENÝCH V PIVU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Natálie Skálová
Specializace v pedagogice: Chemie se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Ing. Jan Hrdlička Ph.D.

Plzeň, 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, …… 2022

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Velmi ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Hrdličkovi, Ph.D., za vstřícnost, trpělivost, pomoc a odborné vedení při konzultacích a zpracování této práce.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Natálie Skálová

Název tématu: Stanovení látek obsažených v pivu

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s pivovarskou technologií a metodami stanovení látek obsažených v pivu
2. Vybrané metody stanovení látek v pivu ověřte v laboratoři
3. Proveďte stanovení vybraných vzorků piva, výsledky zhodnoťte

Seznam doporučené literatury:

Basař P., Basařová G., Hlaváček I., Hlaváček, J.: České pivo, Havlíček Brain Team, Praha 2011 (3. vyd.), ISBN 978-80-87109-25-0.
Chládek L.: Pivovarnictví, Grada Publishing, a.s., Praha 2007, ISBN 978-80-247-1616-9

Školiltel: Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.

Oponent: Doc. Mgr. Václav Richtr, CSc.

OBSAH

ÚVOD 3
1 TEORETICKÁ ČÁST 4
1.1 HISTORIE PIVA 4
1.1.1 Pivo ve středověké Evropě 4
1.1.2 Pivo v Čechách 5
1.2 DRUHY PIV 7
1.2.1 IPA-India pale ale 7
1.2.2 Bock 8
1.2.3 Tmavý ležák 8
1.2.4 Stout 8
1.2.5 Březňák 8
1.2.6 Lambic 8
1.2.7 Pils 8
1.2.8 Pšeničné pivo 8
1.3 SUROVINY PRO VÝROBU PIVA 9
1.3.1 Voda 9
1.3.2 Chmel a chmelové výrobky 10
1.3.3 Slad 10
1.3.4 Pivovarské kvasinky 11
1.4 LÁTKY OBSAŽENÉ V PIVU 12
1.4.1 Polyfenoly 12
1.4.2 Vitaminy 12
1.4.3 Lipidy 13
1.4.4 Sacharidy 13
1.4.5 Hořké chmelové látky 14
1.4.6 Dusíkaté látky 14
1.5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY PIVA 14
1.5.1 Sladování 14
1.5.2 Šrotování 16
1.5.3 Vystírání 16
1.5.4 Rmutování 17
1.5.5 Scezování sladiny 17
1.5.6 Výroba mladiny – chmelovar 18
1.5.7 Chlazení mladiny a separace hrubých kalů 18
1.5.8 Kvašení mladiny 19
1.5.9 Filtrace piva 21
1.5.10 Stáčení piva 21
1.6 KVALITY PIVA VÝZNAMNÉ PRO SPOTŘEBITELE 23
1.6.1 Barva piva 23
1.6.2 Čirost a zákal 24
1.6.3 Pěnivost piva 24
1.6.4 Hořkost piva 25
1.6.5 Obsah alkoholu 25
2 PRAKTICKÁ ČÁST 26

2.1 CHEMICKÁ ANALÝZA PIVA 26
2.1.1 Použité technické pomůcky 26
2.1.2 Použité chemikálie 26
2.1.3 Stanovení pH 26
2.1.4 Stanovení barvy 27
2.1.5 Stanovení hořkosti 27
2.1.6 Stanovení stability pěny a pěnivosti 27
2.1.7 Stanovení obsahu alkoholu 28
2.2 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ 29
ZÁVĚR 40
SEZNAM LITERATURY 41
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK 43
CIZOJAZYČNÉ RESUMÉ 44

ÚVOD

Pro svoji bakalářskou práci jsem si zvolila téma stanovení látek obsažených v pivu. Pivo je slabě alkoholický nápoj, vyrobený řízeným kvašením cukernatého roztoku povařeného s chmelem. Zdrojem cukru pro kvašení je škrob získávaný zejména z ječmene a pšenice.
Pro měření byly vybrány vzorky piv a bude se stanovovat jejich pH, barva, hořkost, pěnivost a obsah alkoholu v hmotnostních a objemových procentech.
U naměřených výsledků se bude hodnotit, zda zkoumané vzorky odpovídají podle naměřených hodnot svému pivnímu stylu, zda se výrazně neliší od uváděných hodnot na etiketě lahve a budou porovnány rozdíly hodnot mezi pivy z velkovýroby a malovýroby. U vzorků z menších pivovarů předpokládám větší vyhýbání se normám pro určitý pivní styl a u piv z velkovýroby předpokládám držení se norem a standardů.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 HISTORIE PIVA

Kvašené nápoje pilo lidstvo odnepaměti. Začátek výroby piva pravděpodobně sahá mnohem hlouběji do historie, než se ve starších literaturách udává. Na začátku 20. století se domnívali, že kolébkou výroby piva je starověký Egypt, odkud se nápoj dále rozšiřoval. Tato domněnka byla však vyvrácena na základě archeologických nálezů ve starověké Mezopotámii, kde se pivo vařilo již v období 4000 až 3000 let před naším letopočtem. Podstatným dílem k tomu přispěly práce českého orientalisty Bedřicha Hrozného, který rozluštil jazyk starověkých Chetitů a maloasijské obrázkové písmo. Podle dnešní představy se doba vzniku piva klade do období, kdy naši předci přestali vést kočovný život, začali se usazovat a obstarávat si obživu pěstováním obilí, což by odpovídalo době přibližně 10 000 až 15 000 let před Kristem. Existují různé teorie, jak první kvašený nápoj vznikl. Jedna z teorií tvrdí, že kdosi zapomněl nádobu s obilnou kaší mimo obydlí, při dešti se do nádoby dostala voda a na sluníčku kaše samovolně vykvasila. Jiná teorie předpokládá, že ve starověké pekárně zůstal kousek těsta rozmíchaný ve vodě, který opět samovolně vykvasil a náhodnému nálezci zkvašený nápoj zachutnal. Též v jiných částech světa začínala výroba kvašených nápojů, která vznikala nezávisle na sobě, např. v jihovýchodní Asii se pilo rýžové pivo, v Africe kvašený nápoj z prosa a na území dnešního USA používali pro výrobu kukuřici. Dále se nezávisle na sobě našly kvašené nápoje u Germánů, Keltů a Slovanů. [1]

1.1.1 PIVO VE STŘEDOVĚKÉ EVROPĚ

Benediktini, nejstarší mnišský řád, který byl založen sv. Benediktem v roce 529, řídící se řádovým heslem „Ora et labora!“, tj. „modli se a pracuj“, si ve smyslu povinnosti zajistit obživu vlastníma rukama snadno našel naplnění druhé části svého hesla ve výrobě piva. A tak došlo k velmi rychlému rozkvětu pivovarnictví nejdříve v benediktinských a poté i ostatních klášterech. Byly to právě kláštery, kde se začal cíleně pěstovat chmel a piva s přísadou chmelu našla rychle své následovatele. Pivovarnictví benediktinů mělo velký vliv zejména na Bavorsko a České země, protože na obou územích začala v devátém století fungovat řada benediktinských klášterů s pivovary.

V průběhu dvanáctého až šestnáctého století vedl nedostatek pšenice pro výrobu chleba panovníky k vydávání řady dekretů a nařízení pro výrobu piva s cílem jednak omezit množství pšenice pro výrobu a jednak omezit či dokonce zakázat používání řady dnes až odpudivých surovin pro výrobu piva. Například v roce 1156 byl v Augšpurku vydán zákon,

tzv. „Justitia Civitatis“, který praví: „Kdo prodává špatné pivo nebo dává podměrnou míru bude potrestán…“. Další zákon byl vydán v Norimberku v roce 1393 a praví se v něm: „Pro výrobu piva se může používat pouze ječmen“. Nejznámějším a doposud funkčním zákonem bavorského vévody Viléma IV. je tzv. „Zákon o čistotě piva“ (Reinheitsgebot) z roku 1516. Tento zákon nařizoval pivo vyrábět pouze ze sladu, chmele a vody. Nejstarším doposud fungujícím pivovarem v Německu, ale i na celém světě, je pivovar stojící na místě starého benediktinského pivovaru ve Freisingu jménem Bayerische Staatsbrauerei Weihen Stephan, který je v provozu od roku 1040. [1, 4]

1.1.2 PIVO V ČECHÁCH

Až do konce 9. století na našem území bylo vaření piva zcela běžná domácí práce. Pivo přestalo být domácím produktem až koncem 9. století, kdy začalo být předmětem obchodu. Domácí výroba piva však nikdy nadobro nevymizela. Při těžkých dobách, zejména během válek, se pivo v domácnostech vařilo dál a řada kuchařek přinášela osvědčené recepty.

V 10. století došlo ke zdokonalení pivovarnictví díky klášterním pivovarům. Nejstarší klášterní pivovar u nás byl založen v roce 970 u sv. Jiří na Pražském hradě. Tou dobou byly kláštery centry kultury, měly své knihovny a školství. Díky pravidelným výměnám zkušeností mezi kláštery se zlepšovala též receptura výroby piva.

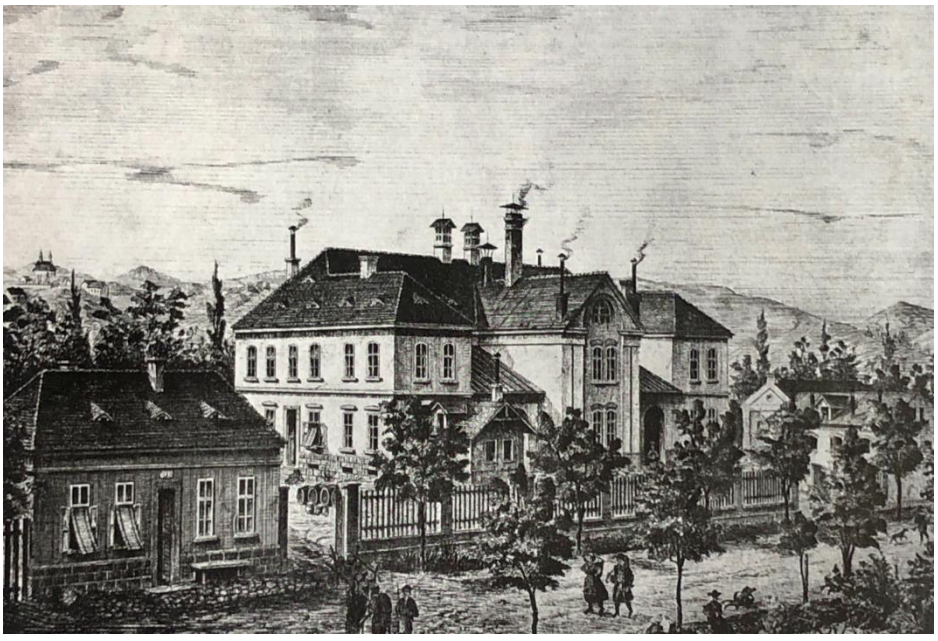
Rozvoj pivovarnictví na našem území je spojen se zakládáním královských měst. Protože si panovník chtěl zajistit loajalitu obyvatel těchto nových měst ustanovil nové privilegium vaření piva, právo várečné. Právo várečné dostali pouze ti, kteří ve městě vlastnili svůj dům. Tito měšťané si mohli ve svém domě vyrábět slad i pivo, skladovat jej a samozřejmě i prodávat. Takto začalo pivovarství v mnoha královských městech, mezi které patří Svitavy, Žatec, České Budějovice nebo Plzeň. Město Plzeň bylo založeno králem Václavem II. roku 1295. V té době bylo právo várečné uděleno 260 plzeňským měšťanům. Nejdříve se pivo vařilo v každém várečném domě, ale roku 1307 si měšťané postavili první společný pivovar i se sladovnou. [1, 4]

1.1.2.1 ZALOŽENÍ MĚŠŤANSKÉHO PIVOVARU V PLZNI ROKU 1839

Založení Měšťanského pivovaru v Plzni bylo velkým mezníkem pro české i světové pivovarství. K založení došlo hlavně z důvodu, že se do té doby v Plzni vařilo pivo tak špatné kvality, že i sami právováreční měšťané se rozhodli tento problém řešit. Plzeňští měšťané tehdy poslali stavitele Stelzera do Bavorských pivovarů na zkušenou a aby se naučil jejich výrobě. Stelzer se z Německa vrátil společně s bavorským sládkem Josefem Grollem, který

uvařil dne 25. února 1842 první várku světlého spodně kvašeného piva se zvýšeným dávkováním chmelu. Kvalita nového typu piva předčila všechna očekávání a v podstatě se dá říci, že proběhl přerod pivovarnického řemesla. Úspěch Měšťanského pivovaru v Plni byl pravděpodobně impulsem k zakládání dalších pivovarů v tomto městě a jeho okolí, protože v prvních desetiletích 12. století bylo v plzeňském regionu šest pivovarů v provozu. Byly jimi: [1, 4, 6]

- Měšťanský pivovar, který byl založen roku 1839 a výrobu zahájil v roce 1842. Od roku 1898 má pivovar zapsánu ochrannou známku „Plzeňský Prazdroj“. [6]
- V roce 1870 byl uveden do provozu pivovar firmy První plzeňský akciový pivovar v Plzni-PPAP Gambrinus. [6]
- Akciový pivovar Starý Plzenec zahájil výrobu v roce 1872. [6]
- V roce 1910 Agrární banka a Plzeňská banka založily Akciovou společnost Štěnovický pivovar. [6]
- První várka piva v Plzeňském společenském pivovaru, spol. s. r. o. Prior byla uvařena v roce 1896. [6]
- Posledním plzeňským pivovarem byl První český akciový pivovar v Plzni, PČAP Světovar, založený v roce 1910, který zahájil výrobu v roce 1913. [6]



Obrázek 1 **Měšťanský pivovar v Plzni v době založení** [6]

1.1.2.2 PIVOVARNICTVÍ 19. A 20. STOLETÍ

V druhé polovině 19. století české pivovarnictví výrazně vzkvétalo. Staré nemoderní závody se uzavíraly a místo nich se stavěly na tehdejší dobu moderní průmyslové pivovary. Když přišla první světová válka, výroba piva se silně omezila. Pracovníci pivovarů odcházeli na frontu a pivovary musely odevzdat koně a voly armádě, čímž byl ochromen rozvoz piva a dovoz surovin. Začal být velký nedostatek surovin a pivo se vařilo z různých náhražek. Během první světové války poklesl v českých zemích předválečný počet pivovarů z 648 na poválečný počet 526. V době po první světový válce se české pivo nejvíce exportovalo do Německa, Afriky a Indie. Poté, co v Americe roku 1933 skončila prohibice, mohl začít export i do této země. V důsledku světové krize nastal velký pokles pivovarů, takže v letech 1933-1937 bylo v provozu jen 366 pivovarů. Příchod druhé světové války byl pro počet pivovarů ještě více devastující v důsledku zabrání Sudet, takže Československo opět přišlo o řadu pivovarů. Poválečné období přineslo řadu nepříjemných změn. Vytvořil se celostátní ústřední orgán „Československé pivovary, národní podnik“ se sídlem v Praze a pivovary se začaly znárodňovat. V roce 1948 bylo ustanoveno 22 národních podniků, které sdružovaly pivovary v jednotlivých regionech. Na západ v tomto období exportovaly pouze pivovary Plzeňský Prazdroj, Budějovický Budvar nebo Staropramen a do bývalého Sovětského svazu Samson z Českých Budějovic. Po roce 1989 začaly probíhat privatizace pivovarů, kdy se největší pivovary dostaly do rukou zahraničních majitelů. Většina pivovarů se díky investicím nových majitelů dostala na velmi dobrou technickou úroveň, což se odrazilo v kvalitě vyráběného piva, rostoucím objemu výroby a exportu.

Na tuzemském trhu začaly také vzkvétat minipivovary, u kterých stále vzrůstá procento z celkové spotřeby piva u nás. Malé pivovary představují pro spotřebitele rozmanitost chutí a jiných pivních stylů, než je klasický český ležák. [1, 4, 6, 20]

1.2 DRUHY PIV

1.2.1 IPA-INDIA PALE ALE

Svrchně kvašená piva s vyšší hořkostí. Vyznačují se světlou barvou a ovocnou příchutí po citrusech. Obsah alkoholu se pohybuje v průměru od 4,5-6,5 % obj. [1, 2]

1.2.2 BOCK

Spodně kvašené světlé nebo tmavé pivo. Pivo má sladkou chuť a hořkost. Vyšší obsah alkoholu zanechá dojem velmi silného piva. Barva se pohybuje v širším rozmezí EBC[1] stupnice. [1]

1.2.3 TMAVÝ LEŽÁK

Velmi tmavá spodně kvašená piva. Jeho vyšší stupňovitost způsobuje vyšší obsah alkoholu okolo 4 až 5,5 objemových procent. Přidaný pražený ječmen dává pivu typickou chuť. [2]

1.2.4 STOUT

Velmi tmavé svrchně kvašené pivo podobné stylu Porter. Barva piva je tmavě červená až černá. Nahořklá chuť je dána vyšším přídavkem barvících sladů. [1, 2]

1.2.5 BŘEZŇÁK

Sezonní, v březnu vařené spodně kvašené velmi silné pivo. Barva je jantarová. Při pití je závěr piva sušší díky vysokému stupni prokvašení. [1]

1.2.6 LAMBIC

Zcela zvláštní druh piva, který se vyrábí z pšeničného a ječného sladu. Rozdílem od normálního piva je především to, že se mladina infikuje mikroorganismy přítomnými ve vzduchu, což se nazývá spontánní kvašení, kdežto normální pivo se pod kontrolou zakvašuje pivovarskými kvasnicemi. Odlišná je také doba ležení, která se může počítat až na roky. [1]

1.2.7 PILS

Převážně světlá piva s plnou hořkou chutí. Původním vzorem je pivo uvařené v Plzeňském pivovaru v roce 1842 a je napodobováno po celém světě. [1, 2]

1.2.8 PŠENIČNÉ PIVO

Svrchně kvašené středně silné pivo. Vyznačuje se nakyslou chutí, menší hořkostí, udávanou v jednotkách IBU[2], a silným aroma. [1]

[1] EBC – European Brewery Convention
[2] IBU – International Bittering Unit

Tabulka 1 **Vybrané druhy piv** [2]

	IPA	**Bock**	**Tmavý ležák**	**Stout**	**Březňák**	**Lambic**	**Pils**	**Pšeničné**
Alkohol (%obj.)	4,5–6,5	6,4–7,7	4–5,5	7–12	5,3–5,9	5–6	4,6–5,6	2,5–12
Hořkost (IBU)	>20	18–30	14–20	50–80	18–25	11–23	25–30	<10
Barva (EBC)	10–28	9–60	28–50	>40	8–30	12–26	5,5–10	10–100

1.3 SUROVINY PRO VÝROBU PIVA

Základními surovinami pro výrobu piva jsou voda, chmel a obilný slad. Pivovarské kvasinky slouží k přeměně mladiny v pivo. [2, 3]

1.3.1 VODA

Společně se sladem, chmelem a kvasnicemi patří k základním surovinám pro výrobu piva. Vodu v pivovarství můžeme rozdělit na varní, mycí, sterilační a provozní. Voda varní se používá na výrobu piva a v podstatě musí splňovat požadavky jako pitná voda podle současné legislativy. Tato voda představuje 70–80 % hmotnosti piva. U mycí a sterilační vody, určené pro výplachy a sterilaci, je doporučeno ji chlorovat. Provozní voda odpovídá standardům pro různá zařízení a operace.

Pivovary mají z přírodních vod k dispozici povrchové a podzemní vody. Povrchová voda se jímá z řek, jezer, přehrad, rybníků a je z hlediska čistoty podstatně horší kvality než voda podzemní. Obsahuje velké množství nerozpuštěných látek i větší množství anorganických a organických kontaminantů. Podzemní voda se získává z pramenů nebo studní. V porovnání s povrchovou vodou obsahuje méně organických látek a mikroorganismů, obsah rozpuštěných látek je vyšší.

Mezi nejdůležitější anionty a kationty obsažené v přírodních patří:

- **anionty:** OH^-, Cl^-, HCO_3^-, CO_3^{2-}, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, SiO_3^{2-}
- **kationty:** H^+, Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}

Důležitým faktorem posuzování kvality vody je její tvrdost, která je tvořena obsahem iontů kovů alkalických zemin, a to zejména vápníku a hořčíku. Můžeme ji rozdělit na tvrdost stálou a tvrdost přechodnou. Tvrdost stálá je tvořena stálými vápenatými a hořečnatými

solemi (chloridy, sírany, křemičitany aj.), zatímco tvrdost přechodná, tvořená hydrogen uhličitany, se při varu částečně či úplně rozkládá. Celková tvrdost je pak součtem tvrdosti stálé a přechodné. [1, 2, 3]

1.3.2 CHMEL A CHMELOVÉ VÝROBKY

Chmel je surovina, která se používá výhradně při výrobě piva. V podstatě jsou to usušené chmelové hlávky samičích rostlin chmele. Tato nezastupitelná surovina dává pivu díky hořkým kyselinám typickou hořkost a aroma, jimiž se odlišuje od všech ostatních alkoholických i nealkoholických nápojů. Hořké kyseliny můžeme rozdělit na α-hořké kyseliny a β-hořké kyseliny.

Sklizený chmel se suší za teploty 50 °C tak, aby konečná vlhkost nebyla vetší než 8 %. Poté se skladuje tak, aby přijímal vzdušnou vlhkost, čímž se obsah vody zvedne přibližně na 11 %, následuje třízení a lisování.

Rozhodujícím kritériem pro kvalitu chmele je obsah pivovarnicky cenných složek, jako jsou pryskyřice obsahující α- a β-hořké kyseliny, polyfenoly a silice. Většina těchto látek podléhá snadno chemickým změnám, a proto se v posledních desetiletích přešlo na zpracování hlávkového chmelu na granulované chmely, tzv. pelety, nebo extrakty získané vyluhováním chmelu. [1, 2]

1.3.3 SLAD

Po celém světě se vyrábějí především světlé slady pro piva světlá, často nazývané jako českého nebo plzeňského typu, a tmavé slady mnichovského typu pro piva tmavá. Pšeničné slady z pšenice seté se používají na výrobu pšeničných piv typu Lambic apod. Další speciální slady se používají pro zvýraznění určitých vlastností základních typů světlých a tmavých piv.

Speciální slady se používají při výrobě tmavých a speciálních piv a k úpravě sladiny ze základních sladů. Jejich přidáním do výroby se dosahuje úpravy barvy, pěnivosti, chuti apod. Mezi speciální druhy patří karamelové slady, barvicí slady, nakuřované slady, melanoidinové slady, diastatické slady, proteolytické slady, slady zvyšující redoxní kapacitu piva a krátké slady.

Karamelový slad je typický vysokým obsahem aromatických a barevných látek. Aroma silně ovlivňují obsažené dusíkaté heterocyklické sloučeniny.

K výrobě silně tmavých piv se používají **barvicí slady**, jejichž barvy nelze dosáhnout klasických sladem mnichovského typu. Postupem upražení se zajišťuje tvorba melanoidinů,

karamelu a hořkých látek. Speciální odrůdou tohoto sladu je slad čokoládový s typickou tmavě hnědou barvou.

Pro výrobu whiskey se ve speciálních sladovnách vyrábějí z ječného sladu sušením přímými spalinami rašeliny **nakuřované slady**.

Melanoidinové slady slouží pro výrobu tmavých piv. Na rozdíl od karamelových a barvicích sladů se docílí jen vyšší barvy bez nahořklé příchutě.

Diastatické slady se používají při výrobě společně s enzymově chudými slady nebo při výrobě sladových výtažků.

K úpravě kyselosti se vyrábějí **proteolytické slady**. Způsobují zlepšení pěnivosti a trvanlivosti piva.

Slady zvyšující redoxní kapacitu piva vykazují vysoké redukční vlastnosti a přispívají k oddálení stárnutí chuti a k zvýšení trvanlivosti piv při skladování.

Krátké slady ovlivňují plnost chuti a pěnivost a neovlivňují barvu sladiny.

Výroba sladu se skládá z máčení, klíčení a sušení ječmene. Během máčení dochází ke zvýšení obsahu vody v zrnu z původních 10-15 % na 40-47 %, a tím začne zrno klíčit. Při klíčení, které trvá asi pět až sedm dní, se mění chemické složení v zrnu působením enzymů. Důležité jsou zejména komplexy enzymů štěpící vysokomolekulární látky na nízkomolekulární např. rozštěpené bílkoviny na aminokyseliny jsou živinami pro kvasinky během kvašení. Po klíčení se vzniklý produkt suší. Při sušení neboli hvozdění při teplotách 80-85 °C pro světlý slad a okolo 100 °C pro tmavý slad se postupně snižuje obsah vody na 3-5 % a vzniká skladovatelný sklad. Regulací teplot v průběhu sušení se ve sladu vytvářejí barevné a aromatické látky, především melanoidiny. [2, 3]

1.3.4 PIVOVARSKÉ KVASINKY

Při pivovarské výrobě se používají převážně kvasinky druhu Saccharomyces cerevisiae (kvasinka pivní), které z hlediska taxonomie řadíme do oddělení Acomycota (houby vřeckovýtrusné) a jejich nejžádanější schopností je rozklad cukrů na ethanol a oxid uhličitý. [2, 3, 13]

1.3.4.1 DRUHY PIVOVARSKÝCH KVASINEK

Pivovarské kvasinky jsou v pivovarnictví definovány jako kulturní kvasinky používané k produkci spodně nebo svrchně kvašených piv a podle toho je můžeme rozdělit na spodní pivovarské kvasinky a svrchně pivovarské kvasinky. Spodní pivovarské kvasinky Saccharomyces pastorianus (dříve S. cerevisiae) se používají při výrobě piva typu ležák se

sedimentací kvasnic na dně kvasné nádoby. Svrchní pivovarské kvasinky Saccharomyces cerevisiae se využívají při výrobě svrchně kvašených piv, kdy se kvasnice vynášejí do kvasničné deky. Mezi základní rozdíly mezi spodními a svrchními kvasinkami patří rozdílné složení buněčných stěn, složení genetického materiálu, růst na specifických půdách, tepelná odolnost a maximální teplota, kdy jsou kvasinky schopny růstu. [2, 3]

Hlavní kvašení začíná zakvašováním, tj. rozptýlení buněk kvasinek do mladiny. Kvasinky se začínají rozmnožovat pučením a je spuštěn anaerobní proces, kdy se sacharidy oxidují bez přístupu kyslíku (anaerobní glykolýza). Při degradaci sacharidů je uvolněna energie, která se skladuje ve formě sloučenin s makroenergetickými vazbami s vysokým obsahem volné energie. Řadíme sem zejména ATP (adenosintrifosfát), NAD^+ a jeho redukovaná forma NADH (nikotinamidadenindinukleotid). Hlavními metabolity kvašení jsou ethanol a oxid uhličitý, vznikající podle rovnice (cit. [2, 3, 12]):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ C_2H_5OH + \text{vedlejší metabolity} + \text{teplo}$$

1.4 LÁTKY OBSAŽENÉ V PIVU

1.4.1 POLYFENOLY

Polyfenoly pocházejí ze sladu, chmele a chmelových výrobků, kdy polyfenoly chmele jsou v pivu obsaženy v menším množství než sladové. V kvalitě piva mají polyfenoly pozitivní i negativní význam. Nezoxidované polyfenoly slouží jako přirozené antioxidanty a oddalují tak stárnutí chuti piva a tvorbu zákalů. Dále také přispívají k vylučování kalů během chlazení mladiny a dodávají pivu hořkost, plnost a takzvanou pitelnost. Při přiměřené konzumaci piva se předpokládá i jakási prevence proti kardiovaskulárním onemocněním. Oxidované polyfenoly zvyšují barvu piva, přispívají k tvorbě zákalů a zhoršují jeho chuť. [2]

1.4.2 VITAMINY

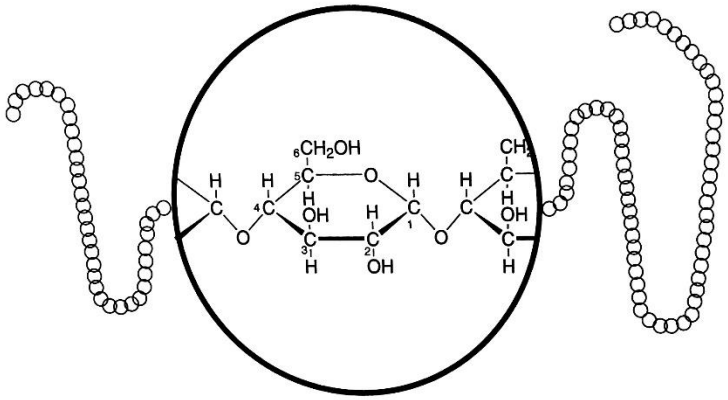
Pivo je jedním z mála alkoholických nápojů, který obsahuje významné množství vitaminů. Pivo obsahuje především všechny vitaminy skupiny B, které získáváme ze sladu a během fermentace. Mezi nejdůležitější patří vitamin B2 riboflavin a vitamin B6 pyridoxin. Výzkumy potvrzují, že konzumace 1 l piva denně pokrývá 25 až 50 % denní potřeby těchto vitaminů. Vitaminy skupiny B také účinně působí na snižování homocysteinu, který zvyšuje riziko kardiovaskulárních chorob. [15]

1.4.3 LIPIDY

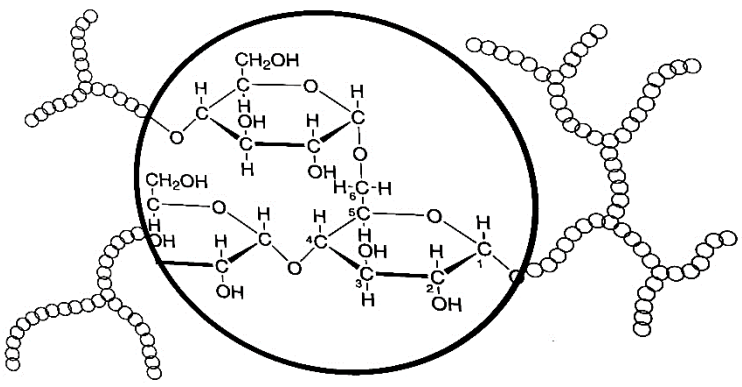
Lipidy obsažené v pivu pocházejí ze sladu a chmele, přičemž chmelové lipidy nemají podstatný vliv na kvalitu piva. Mezi významné lipidy se řadí mastné kyseliny, fosfolipidy, acylglyceroly, lipoproteiny a lipopolysacharidy. Největší význam pro pivo mají mastné kyseliny, a to především kyselina linolová, která tvoří 50 % až 60 % z celkového obsahu lipidů v pivu. Pozitivní význam mají lipidy na metabolismus pivovarských kvasinek a vznik esterů. Negativně ovlivňují stabilitu pěny a chuť piva. [2]

1.4.4 SACHARIDY

Nejvíce zastoupeným sacharidem je škrob v endospermu sladu, který se nachází ve škrobových zrnech, jejichž stěny jsou během sladování v ideálním případě dokonale degradované a tím je škrob snáze přístupný amylolytickým enzymům. Škrob je polysacharid tvořený z lineárních amylosových (Obr. 2) a větvených amylopektinových (Obr. 3) řetězců, kde je v obou případech základní složkou disacharid maltosa.



Obrázek 2 **Struktura amylosy** [2]



Obrázek 3 **Struktura amylopektinu** [2]

10 % až 14 % sacharidů v ječném zrnu tvoří neškrobové polysacharidy jako například celulosa, hemicelulosa a lignin. Neškrobové polysacharidy sladu ovlivňují viskozitu sladiny i piva. Cukry z chmele nemají ve výrobě piva zásadní vliv. [2]

1.4.5 HOŘKÉ CHMELOVÉ LÁTKY

Specifická hořkost piva je způsobena zejména přítomností α-hořkých kyselin z chmele, které během varného procesu přecházejí do mladiny. Obsah α-hořkých kyselin v chmelu závisí na podmínkách při pěstování, ale především na odrůdě chmelu. Nejpodstatnějším procesem, který probíhá při chmelovaru, je izomerace α-hořkých kyselin na iso-α-hořké kyseliny. Ty jsou oproti α-hořkým kyselinám mnohem rozpustnější ve vodě a z to vyplývá mnohem vyšší hořkost piva. Iso-α-hořké kyseliny zodpovídají za přibližně 70 % hořké chuti piva a zbývající podíl tvoří vedlejší produkty izomerační reakce, označované jako allo-, anti- a abeo-iso-α-hořké kyseliny. [16]

1.4.6 DUSÍKATÉ LÁTKY

Dusíkaté látky sladu představují širokou skupinu sloučenin od makromolekulárních proteinů přes polypeptidy až po jednoduché aminokyseliny. Tyto látky přispívají k plnosti chuti piva, podporují pěnivost a stabilitu pěny, ovlivňují barvu a nízkomolekulární látky jsou nezbytné pro množení a metabolismus kvasinek při kvašení. Vysokomolekulární sloučeniny negativně ovlivňují senzorické vlastnosti piva jako je zákal a jsou také prekursory v tvorbě aldehydů zodpovědných za nežádoucí starou chuť piva. V chmelu je v nízkých koncentracích přítomen amin histamin, který snižuje krevní tlak. [2]

1.5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY PIVA

Pivo je slabší alkoholický nápoj vyroben řízeným kvašením cukernatého roztoku, vařeného s chmelem, pomocí vybraných pivovarských kvasinek. Zdrojem zkvasitelných cukrů je škrob, který je obsažený ve sladu.

Výroba piva je rozdělena do následujících fází: sladování, šrotování, vystírání a rmutování, scezování, výroba mladiny, chlazení mladiny, zakvašování a hlavní kvašení mladiny, ležení a stáčení. [1, 2]

1.5.1 SLADOVÁNÍ

Cílem sladování je vyrobit z ječmene slad, který obsahuje barevné a aromatické látky charakteristické pro výrobu určeného druhu piva. Při sladování se vytvářejí ideální podmínky pro klíčení ječmene, přičemž dochází v zrnu k aktivaci a tvorbě důležitých

enzymů. Tak vzniká tzv. zelený slad, který se následným hvozděním mění v hotový slad. Výrobní postup sladu lze rozdělit do 4 základních etap:

- Příjem, čištění a skladování ječmene
- Máčení ječmene
- Klíčení ječmene
- Sušení a hvozdění zeleného sladu

Ječmen se přijímá na přijímací rampě sladovny, kdy se z každé dodávky odebírá vzorek k analýze. Zkoumanými ukazateli jsou obsah vody, bílkovin, klíčivost, podíl nečistot, napadení škůdci nebo kontaminace mikroorganismy.

Čištění a třídění ječmene slouží ke zbavení ječmene prachu, nečistot a přimísenin a roztřídění podle velikosti a kvality.

Sklizený a roztříděný ječmen se při skladování nachází ve stavu dormance a není schopen klíčit díky přítomnosti inhibitorů klíčení tzv. dorminů. Po jejich odbourání pomocí oxidace začínají působit gibereliny jako stimulátory klíčení. Ječmen se dnes většinou skladuje v silech, vybavených provzdušňovacím zařízením.

Při máčení ječmene se zvyšuje obsah vody v zrnu z 12–15 % na 42–48 %, čímž se docílí tzv. stupně domočení, který se liší typem vyráběného sladu. Zvýšením obsahu vody se zahájí enzymatické reakce pro klíčení zrna. Máčení probíhá v kovových náduvnících, nad kterým je zabudován zásobní koš s vytříděným ječmenem. Náduvník se naplní vodou asi do jedné poloviny a ječmen se ze zásobního koše spustí do náduvníku.

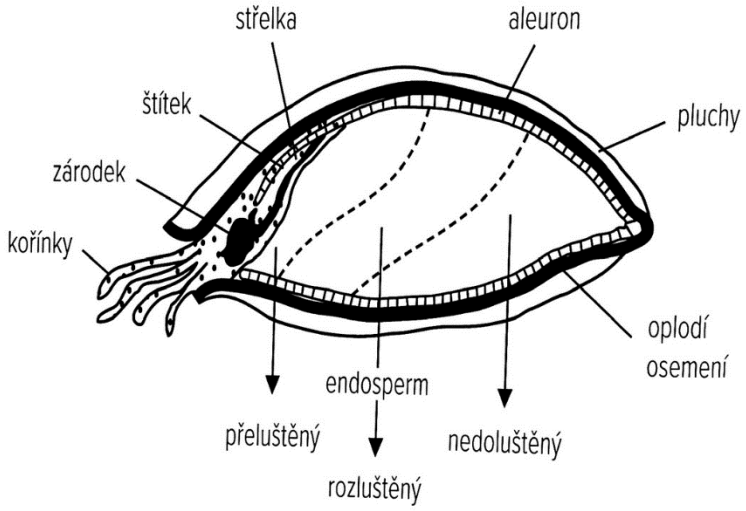
Cílem klíčení je aktivace a syntéza enzymů. Syntéza nových enzymů, především α-amylasy, je iniciována fytohormony ječmene. S pomocí amylas jsou v pozdějším rmutování odbourávány škroby. Důležitým procesem je tzv. rozluštění neboli rozštěpení vysokomolekulárních látek. Jde především o rozluštění buněčných stěn tvořených z molekul hemicelulos a bílkovin a rozštěpení škrobových zrn.

Hvozdění zeleného sladu probíhá v zařízení zvaném hvozd, kde je hlavním prvkem vyhřívací systém. Během hvozdění se snižuje obsah vody ve sladu pod 4 %, zastavují se enzymatické pochody a vytváří se chuťové a barevné látky tvořící určený typ sladu. Toho se dosahuje řízeným sušením nejprve při teplotách 20–60 °C a poté slabým proudem horkého vzduchu při teplotách 60–80 °C u světlého sladu a 60–105 °C u tmavého sladu. [17]

1.5.2 ŠROTOVÁNÍ

Účelem šrotování neboli mletí sladu je zpřístupnění endospermu sladových zrn a při tom zachování celistvosti obalových pluch. Rozrušením zrna jsou zpřístupněny extraktivní látky sladu a je urychleno jejich rozpuštění a chemické, fyzikální a biochemické reakce, které probíhají při dalších fázích přípravy mladiny. Po šrotování nesmí šrot obsahovat žádná celá zrna.

Sladové zrno je nestejnoměrně rozluštěné. Při sladování se nejvíce rozluští endospermální část a nejméně špičky zrna. Proto jednotlivé části získané mletím mají rozdílné vlastnosti a složení.



Obrázek 4 **Postup rozluštění klíčícího zrna** [21]

Zařízením pro mletí sladu jsou šrotovníky, které jsou umístěny v prostorách šrotoven v blízkosti varen. Šrotovníky mají dva až šest hladkých nebo rýhovaných válců, které se pohybují podle účelu buď stejnou rychlostí nebo rozdílnými rychlostmi. Výkon šrotovníků je dán právě délkou válců, rychlostí a rýhováním. [1, 2]

1.5.3 VYSTÍRÁNÍ

Pří vystírání se sladový šrot smíchává s varní vodou ve vystírací kádi. Této směsi se říká dílo nebo vystírka. Pro docílení dobrého varního výtěžku je důležité převést do roztoku maximální množství rozpustných látek. Rozpustné jsou hlavně cukry, sacharosa, maltosa, glukosa, fruktosa, lipidy, polyfenoly, většina anorganických sloučenin, nízkomolekulární dusíkaté látky, a malé množství enzymů. Přenesené látky do roztoku při vystírání dále ovlivňují celý další proces výroby piva a jeho kvalitu. Množství přenesených látek závisí na

sypání (množství a složení použitých surovin na danou várku) a na objemu varní vody v hlavním nálevu (množství vody použité na vystření, tj. smíchání se sladovým šrotem).
V průběhu vystírání se smísí sypání s hlavním nálevem varní vody. Důležitým faktorem je teplota vody použité pro vystírku, protože ovlivňuje rychlost průběhu následujících rmutovacích postupů. **Studené vystírání vodou o teplotě 20 °C** se doporučuje pro zpracování špatně rozluštěných sladů, u kterých se předpokládá delší uvolňování dusíkatých látek. **Teplé vystírání vodou o teplotě 35 °C až 38 °C** je vhodné pro dobře rozluštěné slady. Při této teplotě rozemleté části zrn změknou a částečně se rozpustí. Dalším krokem je zapařování, při kterém se teplota vystírky zvýší na 50 °C až 52 °C přidáním vody o teplotě přibližně 80 °C. Konečný objem vody použité na vystírku a zapářku odpovídá celkovému objemu vypočteného nálevu. [1, 2, 3]

1.5.4 RMUTOVÁNÍ

Při rmutování působí děje mechanické, chemické, fyzikální a enzymové, jejichž cílem je rozštěpit a převést potřebné zastoupení látek důležitých pro další postup a kvalitu piva, do roztoku. Nejdůležitější jsou zkvasitelné cukry.
Nejvýznamnějším procesem je štěpení škrobu na zkvasitelné cukry působením amylolytických enzymů. Štěpení probíhá ve třech stupních. **Bobtnání a zmazovatění** škrobu je děj, který je závislý na teplotě a rychlosti zahřívání a také na druhu ječmene použitého k výrobě sladu. Vzniklý škrobový maz se dalším zvyšováním teploty **ztekucuje**. Díky enzymům se postupně zkracují řetězce molekul amylosy a amylopektinu až dojde **ke zcukření**, kdy jsou v roztoku přítomné jen produkty škrobu, které se již nezbarvují modře při reakci s jodovým roztokem. Tento postup lze provádět buď dekokčním nebo infuzním rmutováním. Dekokční rmutování se vyznačují postupným povařováním jednoho až tří podílů rmutů a podle toho je dělíme na jednormutové, dvourmutové a třírmutové. V českých pivovarech se nejčastěji využívá dvourmutový postup. Při infuzním rmutování se štěpení extraktu sladu zajišťuje dlouhodobějším působením enzymů bez povařování jednotlivých rmutů. [1, 3]

1.5.5 SCEZOVÁNÍ SLADINY

Po skončení rmutování se vzniklé dílo musí rozdělit na dvě fáze, kapalnou fázi neboli sladinu a pevnou fázi, tzv. mláto. Scezování se provádí ve scezovací kádi, do které se dílo přečerpá z vystírací kádě po vystírání a rmutování. V kádi mláto sedimentuje na dno a vytvoří vrstvu, přes kterou začíná protékat a čistit se sladina. Sladina neboli předek se v kádi scezuje, dokud

nedosáhne požadované čirosti. Poté potrubím přeteče do mladinové pánve. Následuje vyslazení mláta, protože obsahuje ještě hodně extraktu, tj. zkvasitelného cukru. Vyslazení se provádí prolitím horkou vodou, tzv. výstřelkem. [1]

1.5.6 VÝROBA MLADINY – CHMELOVAR

Scezená sladina s výstřelky se začne vařit v mladinové pánvi. Během tohoto varu se postupně přidává chmelový granulát nebo granulát s chmelovým extraktem. Přírodní chmel se používá jen výjimečně, protože vyžaduje přídatné zařízení na separování chmelových šištic. Povařenou sladinu s chmelem označujeme jako mladinu. Chmelovar trvá přibližně 90 minut a jeho cílem je převedení hořkých látek z chmele, odstranění těkavých látek, inaktivace enzymů a odpaření přebytečné vody, tak aby se dosáhlo požadované stupňovitosti vyrobené mladiny. Po ukončení chmelovaru se zkoumá konečná stupňovitost a sleduje se, zda se bílkoviny během chmelovaru dobře vysrážely a vytvořily shluky pevných vloček v jinak čiré mladině. [1, 2, 3]

1.5.7 CHLAZENÍ MLADINY A SEPARACE HRUBÝCH KALŮ

Mladina po chmelovaru obsahuje hrubé neboli horké kaly, tj. vysrážené bílkovinné vločky, a částečně jemné neboli chladové kaly, tj. částečky ze sladu a chmele. Kaly je nutné odstranit, protože by při kvašení způsobovaly problémy. Odstranění probíhá při ochlazování na zákvasnou teplotu a provzdušňování. Pro odlučování hrubých kalů se využívá sedimentace, odstřeďování a filtrace. Převažujícím způsobem odlučování hrubých kalů je uzavřená, tepelně izolovaná vířivá káď, do které je vysokou rychlostí načerpána tangenciálně mladina, která se v kádi roztočí. Síla, vyvolaná pohybem rotující mladiny, vynese kaly ke středu kádě, a tam se ukládají ve formě tzv. „koláče“. Po zastavení rotace se vyčeřená mladina odčerpává otvory ve stěně kádě do chladiče mladiny. Rychlost přečerpání je zvolena tak, aby se neporušil vzniklý „koláč“ ve středu vířivé kádě. Přečerpaná mladina je stále horká (přibližně 95 °C). Mladinu je nutné zchladit na zákvasnou teplotu okolo 6 °C, protože horká mladina by várečné kvasnice usmrtila. Při zákvasné teplotě se mladina provzdušňuje, aby kvasnice během procesu kvašení měly kyslík. Dříve se používaly způsoby chlazení v otevřených systémech. Dnes se využívají postupy v uzavřených systémech v podobě jedno- a dvoustupňového chladiče mladiny. Uzavřené systémy jsou výhodnější z hlediska menšího rizika kontaminace a tím zachování biologické čistoty. U zavřené systémy neposkytují nasycení kyslíkem ze vzduchu, proto je nutné provést provzdušnění dodatečně. Principem dochlazování mladiny v deskových chladičích je uzavřené vyměňování tepla

mezi mladinou a chladícím médiem. Mladina proudí v tenké vrstvě mezi plochami desek v chladiči a z druhé strany protiproudně protéká chladící médium. Zchlazená mladina na zákvasnou teplotu se pak provzdušňuje vzduchem nebo kyslíkem na tak, aby byl obsah kyslíku v mladině 5–7 mg/l. [1, 2]

1.5.8 KVAŠENÍ MLADINY

Kvašení, které dá vzniknout pivu, probíhá v zásadě ve dvou stupních. První stupeň označujeme jako hlavní kvašení a druhý stupeň jako dokvašování. [2]

1.5.8.1 HLAVNÍ KVAŠENÍ

V průběhu prvního stupně tzv. hlavního kvašení, jehož cílem je převedení extraktu na alkohol a oxid uhličitý, se pomnoží mikroorganismy (pivovarské kvasinky) na potřebnou koncentraci a zkvasí většinu cukernatých látek extraktu mladiny za tvorby základních produktů kvašení-ethanol, oxid uhličitý a řadu vedlejších metabolitů, které mají vliv na charakteristické aroma a chuť vyráběného piva. Základní metabolity kvašení, oxid uhličitý a ethanol, vznikají podle rovnice $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ C_2H_5OH$ + vedlejší metabolity + teplo. Uvolňované vedlejší metabolity působící pozitivně jsou estery, alkoholy a mastné kyseliny v poměru typickém pro určitý druh piva, ale také přirozené antioxidanty jako je například oxid siřičitý.

Teplota hlavního kvašení se volí podle typu kvasnic, zpravidla 10–12 °C, jsou však výjimky, kdy teplota při hlavním kvašení dosáhne mnohem vyšších hodnot, což má za následek zvýšenou aktivitu kvasinek, zhoršení trvanlivosti pěny, barvy piva, prudší pokles hodnot pH, vyšší ztrátu hořkých látek, zhoršení aroma a chuti piva. [1, 3]

1.5.8.1.1 TECHNOLOGICKÁ STÁDIA HLAVNÍHO KVAŠENÍ

1. Zaprašování mladiny začíná po 12 až 24 hodinách od začátku hlavního kvašení, to znamená, že se začíná uvolňovat oxid uhličitý a vytváří na povrchu mladiny pěnu. Toto stádium končí, když se vznikající pěna stahuje směrem ke středu kvasné kádě.
2. Druhé stadium hlavního kvašení je rychlejší. V 24. až 40. hodině kvašení se začínají objevovat nízké bílé kroužky. Jejich bílá barva je dána lomem světla a nezávisí na barvě kvasící mladiny. Je to období maximálního vývinu oxidu uhličitého a pH klesá z původních hodnot 5,2 až 5,7 na 4,7 až 4,9.Toto stadium trvá dva až tři dny.
3. Třetí stadium se nazývá stadium vysokých nebo hnědých kroužků, které se tvoří v období třetího až pátého dne kvašení. Barva kroužků přechází z bílé do hnědé a tato změna je dána uvolňovanými kaly z kvasící mladiny, které zbarvují pěnu na

povrchu. Hodnota pH dále klesá až na 4,3, teplota vzrůstá na své maximum, které se udržuje asi dva dny a následně se musí začít včas chladit s poklesem asi o 1 °C denně.

4. Poslední, čtvrté stadium tzv. propadání deky je fáze, ve které se kroužky propadávají a na hladině zůstává asi 2 cm až 3 cm tlustá tmavá vrstva pěny, zvaná deka, která se musí zavčasu sebrat, aby se látky v ní obsažené nerozptýlily v kvasícím médiu a nepříznivě neovlivnily především hořkost piva. V kvasných dekách jsou obsaženy polyfenoly, hořké látky, polysacharidy, výšemolekulární dusíkaté látky a mrtvé kvasinky. Deka se sbírá opakovaně den před sudováním a ve dnu sudování děrovanou lžící s otvory o rozměru 2 mm, nebo se stahuje lakovanou tyčí. Tímto stadiem je proces hlavního kvašení ukončen a z mladiny se stává mladé pivo. [3]

1.5.8.1.2 VYBRANÉ ZMĚNY PROBÍHAJÍCÍ V MLADINĚ BĚHEM HLAVNÍHO KVAŠENÍ

Změna acidity při kvašení je způsobena posunutím tlumivé schopnosti zkvašované mladiny do kyselejší oblasti tvorbou těkavých a organických kyselin. Původní hodnoty pH mladiny jsou 5,2 až 5,7 a sníží se na 4,3 až 4,7.

Při hlavním kvašení se snižuje **hodnota barvy**, protože se z roztoku vylučují látky s barvicími schopnostmi (melanoidiny, polyfenoly a hořké chmelové látky). Barva výsledného piva je proto o 3 až 4 jednotky EBC nižší než výchozí mladina.

Změna hořkosti je dána snížením obsahu hořkých chmelových látek, především α-hořkých kyselin, ty se při poklesu pH během kvašení z roztoku vysrážejí, protože klesne jejich rozpustnost. Vysráží se i velký podíl iso-α-hořkých kyselin (asi 30 %). [2]

1.5.8.2 DOKVAŠOVÁNÍ A LEŽENÍ PIVA

Při druhé fázi fermentace je mladé pivo přečerpáno do ležáckých nádob v podzemních sklepích nebo v izolovaných chlazených budovách. Dokvašování tedy probíhá při nízkých teplotách a mírném přetlaku, kdy dochází k pozvolnému zkvašování zbylého extraktu kvasnicemi, které zůstaly ve vznosu a tím se pivo dosycuje oxidem uhličitým a zrají chutě a vůně piva způsobené změnou složení. Při sudování piva s nedostatečným obsahem aktivních buněk pro zajištění úměrného dokvašování se přidává 2 % až 8 % kroužků z hlavního kvašení, které zajistí sycení piva oxidem uhličitým. Metodu nazýváme jako kroužkování. Pivo se přirozeně čeří vylučováním vysokomolekulárních látek z roztoku. [2]

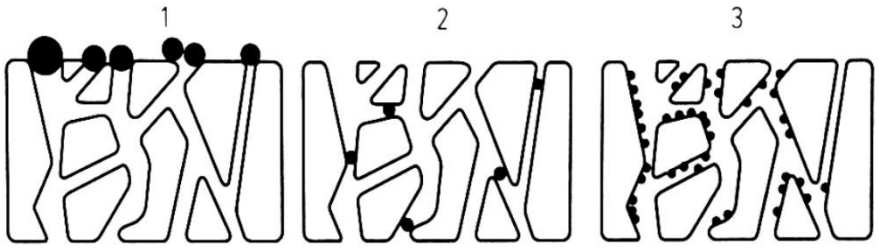
1.5.9 FILTRACE PIVA

Důvodem filtrace je jednak získání průzračnosti nápoje, jednak zvýšení biologické a koloidní trvanlivosti. Filtrací se tedy prodlužuje doba životnosti piva, která se v novějších dobách pivovarnictví zvyšuje zařazením pasterace, tzn. tepelná inaktivace mikroorganismů. Filtrace nesmí snižovat pěnivost piva, dodávat do piva kyslík ani další sloučeniny, které by negativně ovlivnily chemické složení a vlastnosti piva. V současnosti se v pivovarnictví uplatňuje membránová technika. Při této metodě je možné přesně stanovit velikost pórů v membráně, takže se mohou oddělit látky o určité velikosti molekul.
Filtrací se oddělují kalové částice v pivu od čirého filtrátu. Kalové částice zahrnují:

- Mikroorganismy (kvasinky, bakterie)
- Zákalotvorné částice (bílkoviny, fenoly, polyfenoly)

K zachycování kalových částic filtrací přes filtrační přepážku lze využít některý z následujících principů:

1. Částice se zachycují na povrchu přepážky
2. Částice se zachycují v pórech filtrační přepážky
3. Částice se adsorbují na vnitřní stěny pórů

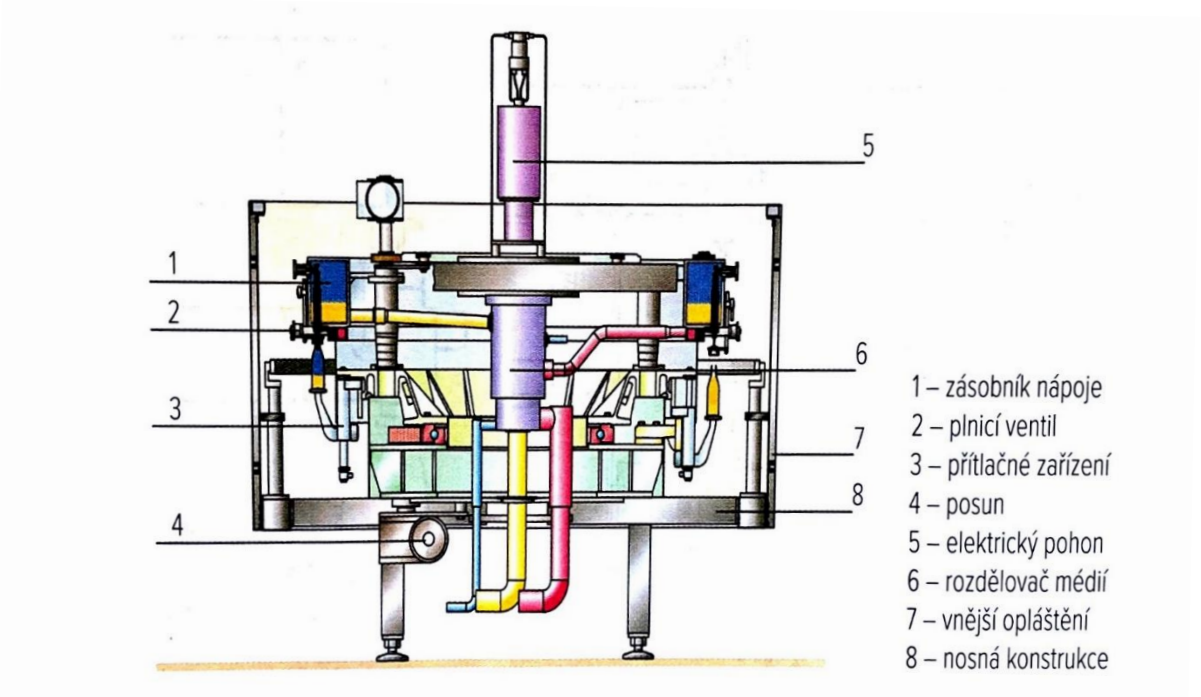


Obrázek 5 **Schéma zachycování kalových částic na filtrační přepážce** [2]

1.5.10 STÁČENÍ PIVA

Stáčení piva je poslední operací řetězce výroby piva před jeho následnou expedicí k zákazníkovi či přímo k cílovému spotřebiteli. Účelem tohoto posledního kroku je dostat hotové pivo do přepravních, případně také spotřebitelských obalů tak, aby kvalita piva při jeho stáčení neutrpěla. Zachování kvality piva spočívá v dodržení optimálních podmínek stáčení, aby se zamezilo nežádoucí výměně plynů a látek utvářejících charakteristický chuťový profil piva. Přesun piva do malých spotřebitelských obalů, jako jsou lahve, PET lahve a plechovky, souvisí se změnou životního stylu obyvatelstva a s jeho potřebou konzumovat pivo i při jiných příležitostech než jen v restauračním zařízení.

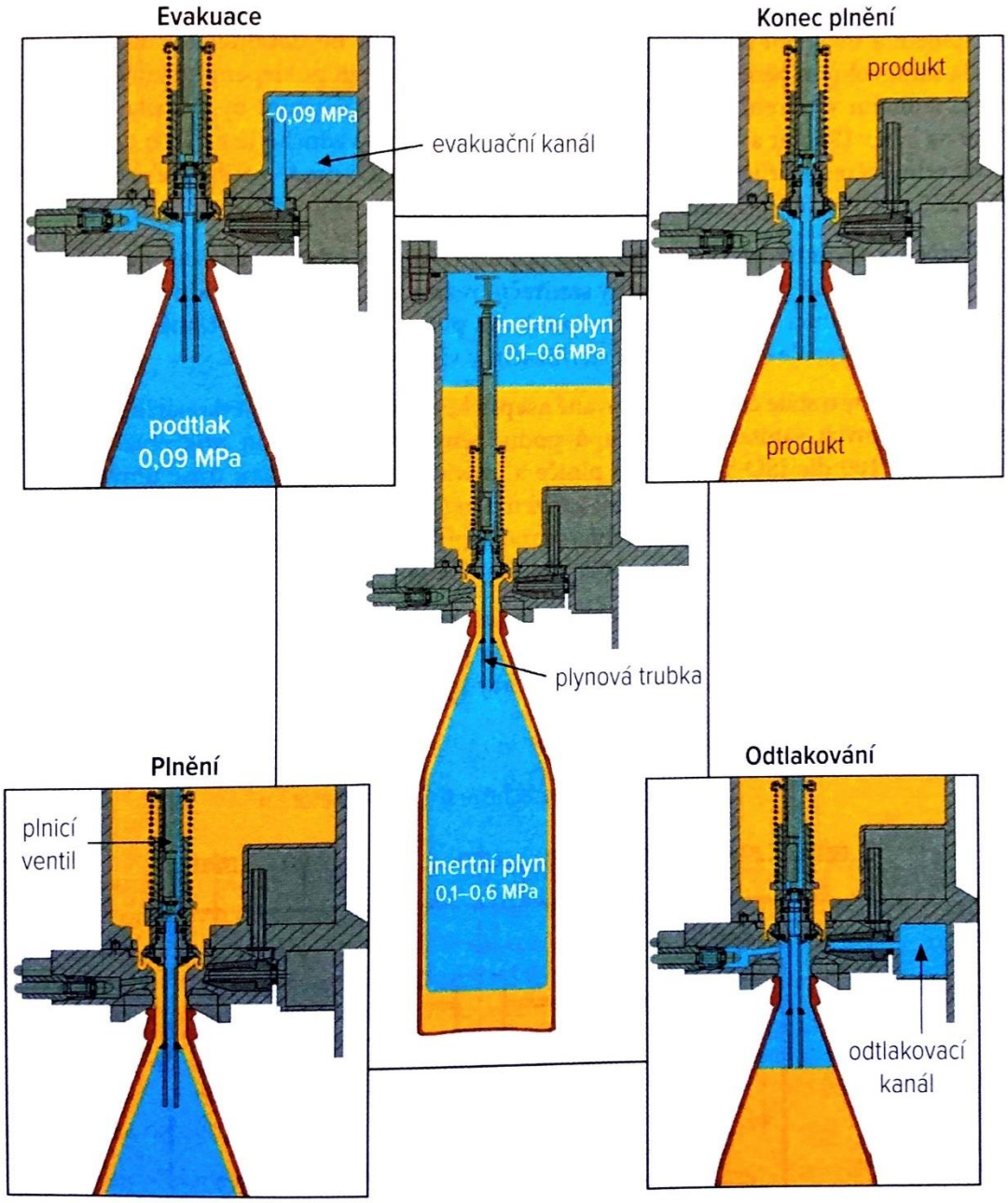
V současné době jsou stáčírny součástí pivovaru a jsou do značné míry automatizovány. Pivo i další sycené nápoje se musí plnit za přetlaku. Plniče jsou obvykle automatické, rotační, s plnícími ventily. Po naplnění do obalu musí ihned následovat uzavření, proto jsou plniče spojené s uzavíracím strojem do monobloku složeného z nosné konstrukce, pohonu, přísunu lahví, rotačního zásobníku nápoje s plnícími a přítlačnými ventily (Obr. 6, převzato z cit. [2]).



Obrázek 6 **Schéma plniče** (Firemní materiály Sidel Corporative, Octeville s. M., F)

Plnění můžeme rozdělit na výškové a objemové. Při výškovém plnění se přítok zastavuje tehdy, když hladina piva uzavře odvodu plynu z lahve. Potom už plyn nemůže unikat a hladina kapaliny se, tak ustálí na určené výšce. Novějším způsobem je elektronické měření výšky hladiny s navazujícím uzavřením průtoku. U objemového plnění se lahev buď plní po okraj lahve a po vytažení trubky hladina klesne a v hrdle lahve se vytvoří volný prostor. Nebo je také možné kapalinu odměřovat průtokoměrem. Objemové plnění se též užívá k plnění plechovek.

Podstatný je také přetlak během plnění. Přetlak v plněných lahvích a v zásobníku plniče při plnění sycenými nápoji je podmínkou k plnění bez pěnění. Lahve jsou zvednuty k ventilu, kde se z lahve odsává vzduch a znovu se tlakuje oxidem uhličitým a plní se pivem, pak se uvolní z plnících ventilů a přesunují se k uzavíracímu zařízení (Obr. 7, převzato z cit. [2]). Vakuování a plnění inertním plynem je podstatné k zamezení příjmu kyslíku do piva během plnění. Styk s kyslíkem v konečné fázi by ovlivnil chuť, mikrobiální stálost a barvu piva. [2, 3]



Obrázek 7 **Plnící proces s vakuováním** (Archiv NATE, a. s., Chotěboř)

1.6 KVALITY PIVA VÝZNAMNÉ PRO SPOTŘEBITELE

Významné znaky piva, které působí na konzumenta v okamžiku prvního setkání s nápojem označujeme jako znaky první linie. Patří mezi ně barva, čirost a pěnivost piva, těsně následovaná vůní a chutí. [5]

1.6.1 BARVA PIVA

Barvu piva lze exaktně posuzovat podle stupnice EBC. Vytváří v nás ale také dojem estetický. S tímto prvkem řada pivovarů vědomě pracuje, kdy se zákazníka snaží přitáhnout

sytější barvou, která vzbuzuje iluzi silného, chuťově výrazného piva. Barvy se dá tradičně dosáhnout použitím různých sladů, cukrů a tolerovat lze i využívání přírodních látek získaných například z ovoce (višně, třešně, rybíz, maliny, broskve a další). Metoda měření piva se měnila během vývoje pivovarské výroby. Používalo se např. porovnávání s barevnými roztoky (např. jodu, dichromanu draselného, síranu hlinito-železitého) nebo zbarvenými skly či fóliemi z plastů. V současnosti se nejčastěji barva hodnotí analyticky podle hodnoty absorbance při 430 nm. Měří se v kyvetách proti destilované vodě. [2, 5]

1.6.2 ČIROST A ZÁKAL

Čirost a zákal způsobují nerozpustné částice, na nichž se může rozptylovat světlo, což spotřebitel vnímá jako zákal. Ten se nejčastěji vyjadřuje v jednotkách EBC (Tab. 2). Zákalotvorné částice zahrnují mikroorganismy, sacharidové a bílkovinné kaly a jejich konglomeráty s ostatními látkami. Dále zákal mohou vytvářet sedimenty různého původu, částice z filtračních materiálů, částice skla z lahví nebo částice ze zátky nebo víčka. Pro měření zákalu se používají přístroje měřící jeho absorpci nebo rozptyl světla. [3, 5]

Tabulka 2 **Slovní vyjádření hodnoty zákalu**[3]

Popis	**Zákal (j. EBC)**
Velmi kalné	8–10
Kalné	4–8
Slabě kalné	2–4
Slabý opál	1–2
Čiré	0,5–1
Jiskrné	0–0,5

1.6.3 PĚNIVOST PIVA

Při pozorování pěny spotřebitel vnímá výšku pěny, strukturu, barvu, ulpívání na stěně sklenice a vzhled a stabilitu poslední vrstvy pěny na hladině piva do vzniku tzv. lysinky.
Při měření pěnivosti piva se uplatňují tyto principy:

- Vizuální posouzení, popis pěny,
- Měření rychlosti poklesu pěny,
- Měření nárůstu objemu piva během rozpadu pěny,
- Měření dalších fyzikálních vlastností pěny (elektrická vodivost).

Pivo obsahuje látky, které působí pro pěnivost, tak proti ní. Pozitivně pěnivost ovlivňují dusíkaté látky, především hydrofobní bílkoviny z chmele a sladu, polysacharidy nebo melanoidiny. Negativně působí obzvlášť lipidy, vyšší obsah alkoholu, oxid uhličitý a proteinasa A vylučovaná kvasnicemi při fermentaci, která štěpí pěnotvorné bílkoviny. Pěnivost také negativním způsobem ovlivňuje čepování a nalévání z lahve a správně zvolená sklenice. Pivo se nalévá zásadně do čerstvě opláchnutého skla. Rychlý rozpad pěny zpravidla zaviní nedostatečně vymyté pivní sklo.

Požadavky na pěnivost se velmi liší podle regionu a pivních tradic k němu vztažených. Konzument piva v Čechách, Rakousku nebo Německu vyžaduje vysokou a hustou pěnu. S minimálním množstvím pěny se čepuje pivo například ve Velké Británii. [3, 5]

1.6.4 HOŘKOST PIVA

Hořkost je jedním z nejdůležitějších aspektů chuti piva. Hořkost je závislá na obsahu hořkých kyselin v chmelu, jejichž obsah se může u jednotlivých druhů chmele lišit. Schopnost chmele udělat pivo hořké klesá s teplotou, proto se hořké chmely používají na začátku chmelovaru, naopak aromatické chmely až na konci nebo až po hlavním kvašení. Hořkost se měří v jednotkách IBU (International Bittering Unit). Hodně chmelená piva jako je např. IPA mohou mít hořkost i vysoko nad 100 IBU. Většinou platí, že čím je pivo silnější, tím je méně hořké.[19]

Většinou se hořkost stanovuje klasickou spektrofotometrickou metodou, kdy se hořké látky vytřepávají do izooktanu a měří se se jejich absorbance při 275 nm. [2]

1.6.5 OBSAH ALKOHOLU

Hlavním analytickým znakem piva je obsah alkoholu uváděný v hmotnostních nebo objemových procentech. Alkohol se dá stanovovat pyknometricky. V českém pivovarnictví se tradičně měří relativní hustota 20/20, což znamená poměr hustoty destilátu vzorku piva při 20 °C a hustoty vody při 20 °C. Váží se tedy pyknometr s destilátem a s vodou. Důležité je zbavení vzorku oxidu uhličitého, protože zbytkový rozpuštěný oxid uhličitý může zvyšovat hustotu piva, ale na druhé straně nešetrné odstranění oxidu uhličitého může pivo ochudit o alkohol. Ethanol v pivu se dá dále stanovovat např.: spektrometrií v blízké infračervené oblasti, kryoskopií nebo plynovou chromatografií. [2]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 CHEMICKÁ ANALÝZA PIVA

Chemickou analýzou rozumíme činnost vedoucí ke zjištění přítomnosti či množství chemických látek. [14]

U vybraných vzorků piva bylo stanoveno pH, barva, hořkost, pěnivost a obsah alkoholu. Metody byly vybrány z popsaných metod pro tyto stanovení dle ČSN. Pro stanovení barvy a hořkosti byla vybrána spektrofotometrická metoda měření absorbance. Pěnivost byla stanovována tzv. skleničkovou metodou, kdy pivo nalijeme do sklenice a změří se výška pěny a čas, který uplyne od nalití po vznik první lysinky na hladině piva. Stanovované pH bylo měřeno pomocí skleněné elektrody a alkohol byl stanovován pyknometricky po vydestilování alkoholu. Všechny metody byly před samotným měřením do bakalářské práce vyzkoušeny a problémy, které se při zkoušení objevily byly vyřešeny vhodnou alternativní metodou. Například při zkoušení destilace alkoholu se vyskytl problém s odtěkáváním alkoholu z baňky, která byla použita pro destilát. Baňka byla tudíž pro měření do bakalářské práce nahrazena odměrnou baňkou s menším průměrem hrdla a alkohol byl vydestilován přímo do destilované vody.

2.1.1 POUŽITÉ TECHNICKÉ POMŮCKY

Spektrofotometr Hitachi UV-2010/2001 s ovládacím programem UV Solutions 2.1, pH senzor Vernier PH-BTA s rozhraním LabQuest Mini a ovládacím programem Logger Pro 3, odstředivka Eppendorf 5702, třepačky Sklárny Kavalier PT, stopky, kádinky, zábrusové kádinky, odměrná baňka, varná baňka, stojan, chladič, teploměr, kruh, azbestová síťka, držáky, zkumavky se zátkami, stojan na zkumavky, křemenné kyvety, automatické pipety, odměrný válec, pyknometr, nálevka, filtrační papír, váhy.

2.1.2 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE

Izooktan, kyselina chlorovodíková, kalibrační roztoky.

2.1.3 STANOVENÍ PH

2.1.3.1 POSTUP METODY

Vzorek piva (přibližně 150 ml) o laboratorní teplotě byl převeden do kádinky. Kádinka byla vložena do třepačky. Vzorek byl třepán 25-30 minut, abychom pivo zbavili oxidu uhličitého. Po vytřepání měříme pH pomocí pH senzoru Vernier s pH elektrodou. Pro kalibraci

elektrody byly použity kalibrační roztoky o přesně daném pH: vinan draselný (pH=3,56) a tetraboritan sodný (pH=9,21). Po kalibraci následovalo samotné měření pH piva podle návodu na použití přístroje. [10, 18]

2.1.4 STANOVENÍ BARVY

2.1.4.1 POSTUP METODY

Při postupu podle ČSN (cit. [7]) vzorek piva převedeme do 150ml kádinky a necháme třepat ve třepačce 15-20 minut, abychom se zbavili oxidu uhličitého, který by se při měření mohl uvolňovat a vzniklé bubliny by mohly ovlivnit průchod měřícího paprsku vzorkem a zkreslit tak naměřené hodnoty absorbance. Vzorek musí být čirý. Nefiltrované vzorky se zbaví pevných částic pomocí filtrace. Vzorek převedeme do měřící kyvety s tloušťkou 10 mm a absorbanci měříme oproti čisté destilované vodě při 430 nm. Barva se vyjadřuje v jednotkách EBC a vypočítáme jí podle vzorce:

$$\text{Barva (EBC)} = 25 \cdot \text{Abs}_{430}$$

2.1.5 STANOVENÍ HOŘKOSTI

2.1.5.1 POSTUP METODY

Při postupu podle ČSN (cit. [8]) vzorek piva převedeme do 150ml kádinky a necháme ho třepat ve třepačce 15-20 minut. Po třepání odpipetujeme do zkumavky 2,5 ml vzorku piva, 5 ml isooktanu a 0,125 ml kyseliny chlorovodíkové. Zkumavku uzavřeme víčkem a necháme třepat ve třepačce přibližně 15 minut. Poté zkumavku vložíme do odstředivky a odstředíme obsah při 3000 min^{-1} po dobu tří minut. Po oddělení vrstev se změří absorbance izooktanového extraktu proti čistému isooktanu v 10mm křemenné kyvetě při 275 nm. Výsledná hořkost v jednotkách IBU se vypočítá podle vzorce: [8]

$$\text{Hořkost (IBU)} = 50 \cdot \text{Abs}_{275}$$

2.1.6 STANOVENÍ STABILITY PĚNY A PĚNIVOSTI

2.1.6.1 POSTUP METODY

Vzorek piva o laboratorní teplotě se bezprostředně po otevření lahve nalije z výšky 5 cm do středu dokonale odmaštěné kádinky se zabroušeným hrdlem tak, aby osa lahve svírala s horizontální rovinou úhel 45 °. Nalévání je nutné přerušit v okamžiku naplnění kádinky. Bezprostředně po nalití se změří výška pěny. Současně se začne měřit čas, který uplyne od okamžiku, kdy bylo ukončeno nalévání do vzniku lysinky na povrchu piva. Tyto dva faktory

jsou ukazatelé stability pěny a pěnivosti piva. Výsledky se vyjadřují v podobě záznamu o výšce pěny po nalití v celých centimetrech a stabilitě pěny v celých minutách. [11]

2.1.7 STANOVENÍ OBSAHU ALKOHOLU

2.1.7.1 POSTUP METODY

Při postupu podle ČSN (cit. [9]) ze vzorku vydestilujeme alkohol a pyknometricky stanovíme hustotu destilátu, ze které vypočítáme obsah alkoholu v hmotnostních a objemových procentech.

Vzorek zbavíme oxidu uhličitého třepáním ve třepačce po dobu 20-30 minut. Do varné baňky odměříme 100 ml vzorku piva a přidáme 50 ml destilované vody. Do předlohy, do které destilujeme, předem přidáme 5-10 ml destilované vody. Destilujeme 30-40 minut při rovnovážném varu. Po ukončení destilace se konec chladiče opláchne do předlohy a destilát se doplní v odměrné baňce do 100 ml. Zbytek po destilaci se využije pro stanovení hustoty skutečného extraktu, kterou využijeme při výpočtu objemových procent alkoholu ve vzorku. K určení hustoty destilátu zvážíme prázdný suchý pyknometr (m_1), pyknometr naplněný destilovanou vodou (m_2) a pyknometr s destilátem (m_3). Hustotu poté vypočteme ze vzorce (cit. [2]):

$$\rho_A = (m_3 - m_1) / (m_2 - m_1)$$

Pro výpočet obsahu alkoholu v hmotnostních procentech se uvádí vyrovnávací vzorec (cit. [2]):

$$A\ (\text{hm. \%}) = 517{,}4\ (1 - \rho_A) + 50\ 841\ (1 - \rho_A)^2 + 33\ 503\ (1 - \rho_A)^3$$

Pro výpočet obsahu alkoholu v objemových procentech je třeba stanovit hustotu skutečného extraktu (ρ_E), která se určí ze zbytku po destilaci pyknometricky stejným způsobem jako u destilátu, kdy místo destilátu zvážíme pyknometr se zbytkem po destilaci, který byl do odměrné baňky doplněn do 100 ml. Obsah alkoholu v objemových procentech poté spočítáme ze vzorce (cit. [2]):

$$A\ (\text{obj. \%}) = A\ (\text{hm. \%}) \cdot (\rho_p / 0{,}791)$$

kde ρ_p je relativní hustota piva, kterou vypočítáme ze vzorce (cit. [2]):

$$\rho_p = \rho_A + \rho_E - 1$$

2.2 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ

U vzorků piva bylo stanoveno pH, pěnivost a obsah alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Měření barvy a hořkosti bylo vždy provedeno třikrát a z hodnot byl vypočítán aritmetický průměr. Naměřené hodnoty všech vzorků jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 3 **Naměřené hodnoty vzorku piva Pilsner Urquell 12°**

Pilsner Urquell 12°		Naměřené hodnoty
pH		4,41
Barva [EBC]		11,9
Hořkost [IBU]		31,2
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	320
	Výška pěny [cm]	8
Obsah alkoholu v hmotnostních %		3,78
Obsah alkoholu v objemových %		4,82

Pivo Pilsner Urquell je světlý ležák typu Pils. V tabulce č. 3 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Stanovené hodnoty určených parametrů vyhovují pivnímu stylu Pils, kam pivo také řadíme. Obsah alkoholu v objemových procentech bylo naměřeno o 0,42 % větší, než uvádí etiketa piva. Pěna se rozpadla po 320 s a pH odpovídá standardním hodnotám pH piva, které se pohybuje v rozmezí 4,1 až 4,9. Vyhovující výsledky pivnímu stylu Pils jsou jistě dány pevně danými standardy ve výrobě ve velkopivovaru Plzeňský Prazdroj.

Tabulka 4 **Naměřené hodnoty vzorku piva Březňák 12°**

Březňák 12°		Naměřené hodnoty
pH		4,46
Barva [EBC]		10,5
Hořkost [IBU]		26,7
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	260
	Výška pěny [cm]	6
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,07
Obsah alkoholu v objemových %		5,17

Pivo Březňák je, jak napovídá název, světlý ležák pivního stylu Březňák. V tabulce č. 4 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Naměřená hodnota pro hořkost v jednotkách IBU se pohybuje těsně nad horní hranicí rozmezí hodnot hořkosti pro pivní styl Březňák. Pěna se rozpadla po 260 s a pH odpovídá standardnímu pH piva. Naměřené hodnoty odpovídají hodnotám uvedených na etiketě piva, což připisuji daným standardům ve výrobě v pivovaru Velké Březno, kde se pivo Březňák vyrábí, a který patří k větším pivovarům s celosvětovým vývozem.

Tabulka 5 **Naměřené hodnoty vzorku piva Krušnohor 11°**

Krušnohor 11°		Naměřené hodnoty
pH		4,47
Barva [EBC]		15,5
Hořkost [IBU]		36,0
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	323
	Výška pěny [cm]	8
Obsah alkoholu v hmotnostních %		3,74
Obsah alkoholu v objemových %		4,77

Pivo Krušnohor 11° je světlý ležák pivního stylu Pils. V tabulce č. 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Hodnoty naměřené pro barvu a hořkost jsou nad hranicí rozmezí hodnot pro pivní styl Pils, avšak odpovídají hodnotám uvedených na etiketě lahve piva. Pěna se rozpadla po 423 s a pH odpovídá standardům. Naměřená hodnota obsahu alkoholu v objemových procentech byla pyknometricky stanovena o 3 až 4 desetiny procenta vyšší, než uvádí pivovar Krušnohor na etiketě.

Tabulka 6 **Naměřené hodnoty vzorku piva speciál Krušnohor 14°**

Speciál Krušnohor 14°		Naměřené hodnoty
pH		4,39
Barva [EBC]		90,1
Hořkost [IBU]		24,92
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	340
	Výška pěny [cm]	7
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,22
Obsah alkoholu v objemových %		5,41

Pivo Tmavý speciál Krušnohor 14° se řadí do pivního stylu tmavý ležák. V tabulce č. 6 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Pěna se rozpadla po 340 s a pH odpovídá standardnímu pH piva. Hodnota alkoholu v objemových procentech byla naměřena o 0,4 % nižší než udává etiketa na lahvi piva od pivovaru Krušnohor. Hořkost byla stanovena mírně vyšší, než je udávána odbornou literaturou pro daný pivní styl. Hodnota pro barvu v jednotkách EBC byla naměřena velmi vysoká, což je ale dáno tím, že se jedná o speciální tmavé pivo, u kterého je vyšší hodnota barvy obvyklá.

Tabulka 7 **Naměřené hodnoty vzorku piva Hijack IPA Krušnohor 15°**

Hijack IPA Krušnohor 15°		Naměřené hodnoty
pH		4,95
Barva [EBC]		32,2
Hořkost [IBU]		72,6
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	553
	Výška pěny [cm]	9
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,77
Obsah alkoholu v objemových %		6,12

Hijack IPA Krušnohor 15° je pivo pivního stylu IPA. V tabulce č. 7 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Pěna se rozpadla po 553 s a pH je těsně nad standardním pH piva, ale jde o převýšení o setiny. Hořkost i barva byly naměřeny vyšší, než udává etiketa na lahvi, avšak u piv typu IPA není vysoká hodnota hořkosti neobvyklá. Obsah alkoholu v objemových procentech souhlasí s hodnotami charakterizující pivní styl IPA, ale byl naměřen o 0,4 % nižší, než udává pivovar Krušnohor na etiketě. Odchylky mohou být způsobeny tím, že se jedná o limitovaný druh piva vyráběný minipivovarem, kde je docílení standardů obtížnější než ve velkovýrobě.

Tabulka 8 **Naměřené hodnoty vzorku Trooper Fear of the Dark 12°**

Trooper Fear of the Dark 12°		Naměřené hodnoty
pH		3,76
Barva [EBC]		60,0
Hořkost [IBU]		79,1
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	348
	Výška pěny [cm]	7
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,08
Obsah alkoholu v objemových %		5,19

Trooper Fear of the Dark 12° je svrchně kvašené pivo pivního stylu Stout. V tabulce č. 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsah alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Jde o prémiové pivo z rodinného pivovaru Robinsons z Velké Británie. Pěna se rozpadla po 348 s a pH je nižší, než je standardní hodnota pH piva, což by poukazovala na nepříznivé bakteriální procesy a na výšší stáří piva. Hodnoty barvy a hořkosti jsou na stupnici EBC a IBU velmi vysoko, což je ale pro pivní styl Stout tradiční. Obsah alkoholu v objemových procentech byl stanoven o 0,3 % nižší, než udává etiketa na lahvi piva.

Tabulka 9 **Naměřené hodnoty vzorku Argus Maestic 12°**

Argus Maestic 12°		Naměřené hodnoty
pH		4,40
Barva [EBC]		11,2
Hořkost [IBU]		28,3
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	300
	Výška pěny [cm]	6
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,09
Obsah alkoholu v objemových %		5,21

Pivo Argus Maestic 12° je světlý ležák pivního stylu Pils. V tabulce č. 9 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Naměřené hodnoty stanovovaných parametrů odpovídají pivnímu stylu Pils. Pěna se rozpadla po 300 s a pH odpovídá standardním hodnotám pH piva. Obsah alkoholu byl naměřen o 0,4 % vetší, než udává etiketa na lahvi piva.

Tabulka 10 **Naměřené hodnoty vzorku František 12°**

František 12°		Naměřené hodnoty
pH		4,61
Barva [EBC]		18,5
Hořkost [IBU]		29,6
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	250
	Výška pěny [cm]	6
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,48
Obsah alkoholu v objemových %		5,71

Pivo František 12° je světlý ležák typu Pils. V tabulce č. 10 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Pěna se rozpadla po 250 s a pH odpovídá standardním hodnotám pH piva. Hodnoty pro barvu v jednotkách EBC byly naměřeny vyšší, než je pro pivní styl Pils obvyklé. Naměřená hořkost a obsah alkoholu souhlasí s parametry pro daný pivní styl a souhlasí s etiketou na lahvi piva z Harrachovského minipivovaru.

Tabulka 11 **Naměřené hodnoty vzorku Huťské výčepní 8°**

Huťské výčepní 8°		Naměřené hodnoty
pH		4,57
Barva [EBC]		14,9
Hořkost [IBU]		18,1
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	285
	Výška pěny [cm]	6
Obsah alkoholu v hmotnostních %		2,33
Obsah alkoholu v objemových %		2,97

Huťské výčepní 8° je světlé výčepní pivo s nižším obsahem alkoholu, které bylo dříve vyráběno pro skláře ke konzumaci při práci ve sklárně, která je součástí minipivovaru v Harrachově. V tabulce č. 11 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Pěna se rozpadla po 285 s a pH odpovídá standardním hodnotám pH piva. Hodnotami barvy a hořkosti pivo odpovídá světlým českým pivům. Hodnota naměřeného obsahu alkoholu v objemových procentech se s hodnotou na etiketě piva liší o 2 desetiny procenta. Nižší procento alkoholu oproti ostatním vzorkům je dáno menším množstvím zkvasitelného extraktu původní mladiny, což udává i jeho výslednou stupňovitost 8°.

Tabulka 12 **Naměřené hodnoty vzorku Čerťák 12°**

Čerťák 12°		Naměřené hodnoty
pH		4,29
Barva [EBC]		94,2
Hořkost [IBU]		48,8
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	355
	Výška pěny [cm]	7
Obsah alkoholu v hmotnostních %		4,08
Obsah alkoholu v objemových %		5,21

Čerťák 12° je pivo typu tmavý ležák. V tabulce č. 12 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Pěna se rozpadla po 355 s a pH odpovídá standardnímu pH piva. Barva i hořkost dosahují vysokých hodnot nad hranici rozmezí hodnot pro daný pivní styl, která je u tmavých speciálních piv, ale jen velmi orientační. Spousta speciálních tmavých piv tuto hranici převyšuje zejména v hodnotách barvy. Naměřená hodnota obsahu alkoholu v objemových procentech koresponduje s pivním stylem a s hodnotou uváděnou na etiketě lahve se liší o 0,4 %.

Tabulka 13 **Naměřené hodnoty vzorku Orange White IPA 14°**

Orange White IPA 14°		Naměřené hodnoty
pH		4,47
Barva [EBC]		29,3
Hořkost [IBU]		87,4
Pěnivost	Stabilita pěny [s]	485
	Výška pěny [cm]	9
Obsah alkoholu v hmotnostních %		5,66
Obsah alkoholu v objemových %		7,27

Orange White IPA 14° je pivo typu IPA. Pivo je vařeno stylem homebrewing neboli vařením piva v domácích podmínkách. V tabulce č. 13 jsou uvedeny naměřené hodnoty pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Pěna se rozpadla po 485 s a pH odpovídá standardním hodnotám pH piva. Stanovená hodnota pro barvu koresponduje s pivním stylem IPA. Hořkost byla naměřena velmi vysoká, což je pro piva typu IPA obvyklé. Obsah alkoholu v objemových procentech byl stanoven oproti ostatním vzorkům velmi vysoký. Vysoké procento alkoholu udává i jeho vysoká stupňovitost 14°, a může být způsobeno také domácí výrobou, kde nejsou pevně stanoveny standardy a technologický postup výroby piva.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést literární rešerši a seznámit se s pivovarskou technologií, s metodami stanovení látek obsažených v pivu a kvalitativních parametrů piva. Tyto metody byly ověřeny v laboratoři a stanovení parametrů bylo provedeno u 11 vzorků piv. Proměřovanými metodami bylo stanovení pH, barvy, hořkosti, pěnivosti a obsahu alkoholu v hmotnostních a objemových procentech. Jako vzorky byly vybrány piva Pilsner Urquell 12°, Březňák 12°, Krušnohor 11°, Speciál Krušnohor 14°, Hijack IPA Krušnohor 15°, Trooper Fear of the Dark 12°, Argus Maestic 12°, František 12°, Huťské výčepní 8°, Čerťák 12° a Orange White IPA 14°.

Z naměřených hodnot u vzorků piv můžeme říci, že hodnoty pH se u vzorků výrazně nelišily a odpovídaly standardním hodnotám pH piva, které se pohybují v rozmezí 4,1 až 4,9. Jediným, svým způsobem, zajímavým naměřeným údajem o pH byla hodnota naměřena u piva Trooper Fear of the Dark 12°, která byla pod hranicí pH=4, což by naznačovalo vyšší stáří piva a možné napadení piva bakteriemi. Barva piv je ovlivněna zejména typem sladů, které jsou použity při výrobě. Vysoké hodnoty barvy v jednotkách EBC samozřejmě vykazovaly vzorky tmavých ležáků a pivo typu Stout, což v této práci byly vzorky Speciál Krušnohor 14°, Trooper Fear of the Dark 12° a pivo Čerťák 12°. Hořkost piva je ovlivněna obsahem hořkých kyselin z chmele, proto u silně chmelených piv jako je IPA byly naměřeny vysoké hodnoty hořkosti, která je udávaná v jednotkách IBU. Vysoká hořkost byla také naměřena u tmavých piv typu tmavý ležák a Stout, tudíž by se dala vyvodit závislost vyšší hořkosti na vyšší barvě, protože piva typu IPA taktéž vykazují vyšší hodnoty u stanovované barvy. Pěnivost neboli stabilitu pěny můžeme hodnotit jako tím lepší, čím je čas rozpadu pěny delší. Nejlepší výsledky pěnivosti byly naměřeny u piv typu tmavý ležák, Stout a IPA, což je především ovlivněno látkami z chmele a melanoidiny z tmavých sladů, tudíž silně chmelená piva jako je IPA a tmavá piva budou v pěnivosti dominovat. Rozdíly v obsahu alkoholu u vzorků jsou dány množstvím zkvasitelného extraktu v původní mladině, což udává i jejich výslednou stupňovitost. Dá se tedy říct, že čím více stupňovité pivo, tím více obsahuje alkoholu.

Při porovnání naměřených hodnot u piv z velkopivovarů a minipivovarů není viditelný výrazný rozdíl. Spousta minipivovarů povýšila na vyšší úroveň a piva z jejich výroby bývají velmi často oceňována. Nejvýznamnější rozdíl od standardů byl naměřen u piva Orange White IPA, což je pivo domácí výroby.

SEZNAM LITERATURY

1. CHLÁDEK L.: *Pivovarnictví*. Grada Publishing, a.s., Praha 2007, ISBN 978-80-247-1616-9.
2. BASAŘOVÁ G., ŠAVEL J., BASAŘ P., LEJSEK T.: *Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva*. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2010, ISBN 978-80-7080-734-7.
3. BASAŘOVÁ G., ŠAVEL J., BASAŘ P., BASAŘOVÁ P., BROŽ A.: *Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva.* Havlíček Brain Team, Praha 2021, ISBN 978-80-87109-71-7.
4. BASAŘOVÁ G., HLAVÁČEK I., BASAŘ P., HLAVÁČEK J.: *České pivo (třetí, doplněné vydání).* Havlíček Brain Team, Praha 2011, ISBN 978-80-87109-25-0.
5. BOROWIEC P., TITZLOVÁ M.: *Kniha o pivu, jak pivo poznávat, ochutnávat a párovat s jídlem.* Smart press, s. r. o., 2017, ISBN 978-80-87049-96-9.
6. KRATOCHVÍLE A.: *Pivovarství českých zemí v proměnách 20. století*. Výzkumný ústav pivovarských a sladařský, a.s., Praha 2005, ISBN 80-86576-16-7.
7. ČSN 560186-8. *Metody zkoušení piva. Část 8: Stanovení barvy piva.*, 2012, 16 s. Třídící znak 560186.
8. ČSN 560186-10. *Metody zkoušení piva. Část 10: Stanovení hořkosti*., 2011, 8 s. Třídící znak 560186.
9. ČSN 560186-5. *Metody zkoušení piva. Část 5: Stanovení alkoholu*., 1986, 28 s. Třídící znak 560186.
10. ČSN 560186-7. *Metody zkoušení piva. Část 7: Stanovení pH*., 1986, 4 s. Třídící znak 560186.
11. ČSN 560186-3. Metody zkoušení piva. Část 3: Stanovení pěnivosti., 1981, 2 s, Třídící znak 560186.
12. Ústav biotechnologie [online]. Praha 2007 [cit. 23.05.2022]. ISBN 978-80-7080-015-7. Dostupné z: https://ub.vscht.cz/files/uzel/0015570/sbor2007.pdf?redirected
13. ROSYPAL S. a kolektiv autorů: *Nový přehled biologie*. Nakladatelství Scientia, spol. s. r. o., Praha 2003, ISBN 978-80-86960-23-4.
14. OPEKAR F., JELÍNEK I., RYCHLOVSKÝ P., PLZÁK Z.: *Základní analytická chemie*. Univerzita Karlova v Praze – Nakladatelství Karolinum, Praha 2005, ISBN 80-246-0553-8.

15. KELLNER V.: *Pivo, vitaminy a další důležité látky pro výživu a zdraví člověka.* Pivovarský ústav Praha, VÚPS, a.s., Praha [cit. 22.05.2022]. Dostupné z: http://www.beers.cz/dokumenty/7.pdf
16. KARABÍN M., BRÁNYIK T., KRULIŠ R., DVOŘÁKOVÁ M., DOSTÁLEK P.: Chemické listy 103, 721-728 (2009): *Využití chemicky modifikovaných hořkých látek v pivovarnictví* [online]. Ústav kvasné chemie a bioinženýrství, VŠCHT Praha, 2009 [cit. 22.05.2022].Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_09_721-728.pdf
17. Ústav biotechnologie [online]. [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: https://ub.vscht.cz/files/uzel/0015847/sladarstvi.pdf?redirected
18. KÜSTER F. W., RULAND A., THIEL A.: *Chemicko-analytické výpočetní tabulky (první vydání).* Academia, Praha 1987, ISBN 21-112-87.
19. Hořkost, Pivní klenoty. [online]. [cit. 11.06.2022]. Dostupné z: http://m.pivniklenoty.cz/vse-o-pivu/slovnik-pojmu/h/horkost/
20. Privatizace, Historie piva v Čechách. [online]. [cit. 25.06.2022]. Dostupné z: https://beerweb.cz/o-pivu/historie-piva-v-cechach#privatization
21. BASAŘOVÁ G., ČEPIČKA J.: *Sladařství a pivovarství.* SNTL, Praha 1985.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 **Měšťanský pivovar v Plzni v době založení** 6
Obrázek 2 **Struktura amylosy** 13
Obrázek 3 **Struktura amylopektinu** 13
Obrázek 4 **Postup rozluštění klíčícího zrna** 16
Obrázek 5 **Schéma zachycování kalových částic na filtrační přepážce** 21
Obrázek 6 **Schéma plniče** 22
Obrázek 7 **Plnící proces s vakuováním** 23

Tabulka 1 **Vybrané druhy piv** 9
Tabulka 2 **Slovní vyjádření hodnoty zákalu** 24
Tabulka 3 **Naměřené hodnoty vzorku piva Pilsner Urquell 12°** 29
Tabulka 4 **Naměřené hodnoty vzorku piva Březňák 12°** 30
Tabulka 5 **Naměřené hodnoty vzorku piva Krušnohor 11°** 31
Tabulka 6 **Naměřené hodnoty vzorku piva speciál Krušnohor 14°** 32
Tabulka 7 **Naměřené hodnoty vzorku piva Hijack IPA Krušnohor 15°** 33
Tabulka 8 **Naměřené hodnoty vzorku Trooper Fear of the Dark 12°** 34
Tabulka 9 **Naměřené hodnoty vzorku Argus Maestic 12°** 35
Tabulka 10 **Naměřené hodnoty vzorku František 12°** 36
Tabulka 11 **Naměřené hodnoty vzorku Huťské výčepní 8°** 37
Tabulka 12 **Naměřené hodnoty vzorku Čerťák 12°** 38
Tabulka 13 **Naměřené hodnoty vzorku Orange White IPA 14°** 39

CIZOJAZYČNÉ RESUMÉ

The bachelor thesis is focused on the chemical analysis of beer and substances contained in beer. The work describes the history of beer, types of beer, raw materials needed for beer production and technological process of beer production. The substances contained in beer and their effect on the quality and taste of beer are also described. The practical part is dedicated to chemical analysis of selected beer samples.