

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

PIVOVARSTVÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

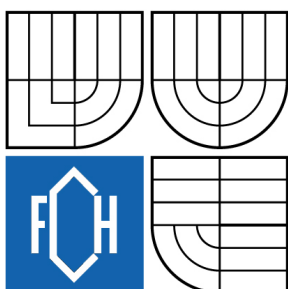
JANA ARTÝSZKOVÁ

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

PIVOVARSTVÍ

BREWING INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

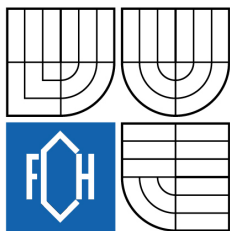
JANA ARTÝSZKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘINA OMELKOVÁ, CSc.

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	FCH-BAK0335/2008	Akademický rok: 2008/2009
Ústav:	Ústav chemie potravin a biotechnologií	
Student(ka):	Jana Artýszková	
Studijní program:	Chemie a technologie potravin (B2901)	
Studijní obor:	Biotechnologie (2810R001)	
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.	
Konzultanti bakalářské práce:		

Název bakalářské práce:

Pivovarství

Zadání bakalářské práce:

- 1) Vypracujte literární přehled k dané problematice
- 2) Popište použité metody hodnocení
- 3) Zpracujte naměřené výsledky z experimentů
- 4) Zhodnoťte získané výsledky formou diskuse

Termín odevzdání bakalářské práce: 29.5.2009

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Jana Artýszková
Student(ka)

doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.
Vedoucí práce

doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2008

doc. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo prostudovat a zpracovat problematiku výroby piva se zaměřením na české podmínky a klasickou technologii. V teoretické práci byla stručně shrnuta historie tohoto průmyslového odvětví a některé moderní metody, které umožňují větší efektivitu práce a současně ekonomickou výhodnost.

Experimentální část práce byla provedena v malém pivovaru v České republice s výstavem přibližně 10 000 hl za rok. V pivovaru byly sledovány vybrané parametry jak v průběhu vaření a kvašení piva, tak při výstupní kontrole při stáčení do sudů a plastových lahví. Sledované znaky byly: sacharizace předku a mladiny, kontrola mikrobiologické kontaminace na spilce a ve sklepě, obsah oxidu uhličitého při dokvašování a u hotového produktu pH a barva piva.

ABSTRACT

The aim of the theoretical part of the thesis is the study and the treatment of the problem of the manufacturing of beer, focused on the czech conditions and classical Czech technology. Within the theoretical part the history of this branch of industry together with the modern methods, enabling greater productivity of beer production, are summarized.

Experimental part of the thesis was carried out in a small brewery in Czech republic, producing approximately 10 000 hl per year. In this brewery the selected parameters were studied not only in the course of cooking and fermentation of beer, but during the output control in racking to the drums and plastic bottles, as well. The studied parameters were as follows: the sugar content of front and wort, the control of microbiological contamination in fermenting cellar and in beer-storage cellar, the content of CO₂ by last stage of fermentation and pH- value and color by the end-product.

KLÍČOVÁ SLOVA

pivo, pivovarství, dekokční rmutování, mladina, kvašení, kvasinky, filtrace, barva piva, pH

KEYWORDS

beer, brewing, decoction mashing, wort, fermentation, yeast, filtration, color of beer, pH

ARTÝSZKOVÁ, J. *Pivovarství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Jiřině Omelkové, CSc. za pomoc, praktické rady a připomínky při psaní mé bakalářské práce. Dále děkuji vedení pivovaru v Kácově za umožnění měření experimentální části práce.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1	Historie pivovarství ve světě	8
2.2	Historický vývoj pivovarství v Českých zemích.....	8
2.3	Suroviny pro výrobu piva.....	10
2.3.1	Voda	10
2.3.2	Sladovaný ječmen	10
2.3.2.1	Ječmen	10
2.3.2.2	Výroba sladu	10
2.3.2.3	Druhy sladu	11
2.3.3	Chmel	11
2.3.3.1	Složení chmele	11
2.3.3.2	Chmelové výrobky	11
2.3.4	Suroviny nahrazující ječný slad	12
2.4	Biochemické děje při výrobě piva.....	12
2.4.1	Štěpení složitých molekul	12
2.4.1.1	Štěpení škrobu na zkvasitelné cukry	12
2.4.1.2	Štěpení bílkovin.....	13
2.4.1.3	Další štěpné procesy	13
2.4.2	Kvašení cukrů.....	14
2.4.2.1	Pivovarské kvasinky.....	14
2.4.2.2	Glykolýza cukrů	14
2.4.3	Klasická technologie výroby piva	16
2.4.3.1	Šrotování	16
2.4.3.2	Varní zařízení	16
2.4.3.3	Vystírání	16
2.4.3.4	Rmutování	16
2.4.3.4.1	Infuzní způsob rmutování.....	16
2.4.3.4.2	Dekokční způsob rmutování.....	16
2.4.3.5	Scezování	18
2.4.3.5.1	Zařízení pro scezování	18
2.4.3.5.2	Podrážení	18
2.4.3.5.3	Stékání předku.....	18
2.4.3.5.4	Vyslazování	18
2.4.3.6	Chmelovar	18
2.4.3.7	Chlazení mladiny a čerpání na spilku	19
2.4.3.8	Prostory a vybavení pro kvašení piva	19
2.4.3.8.1	Spilka.....	19
2.4.3.8.2	Kvasné nádoby	19
2.4.3.8.3	„Kvasničkárna“	20
2.4.3.8.4	Ležácký sklep	20
2.4.3.8.5	Ležácké nádoby.....	20
2.4.3.9	Kvašení.....	20
2.4.3.9.1	Zakvašování	20

2.4.3.9.2	Hlavní kvašení.....	20
2.4.3.9.3	Sesudování	21
2.4.3.9.4	Dokvašování.....	21
2.4.3.9.5	Vedlejší produkty kvašení.....	22
2.4.3.10	Filtrace.....	22
2.4.3.11	Úprava piva před stáčením, stabilizace	22
2.4.3.12	Stáčení	23
2.4.3.12.1	Plnění lahví a plechovek	23
2.4.3.12.2	Stáčení do sudů.....	23
2.5	Moderní technologie	23
2.5.1	Výroba koncentrovaných mladín (HGB)	23
2.5.2	Cylindrokónické tanky (CKT)	24
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
3.1	Varna	25
3.1.1	Kontrola zcukření.....	25
3.1.2	Stanovení extraktu.....	25
3.2	Spilka, sklep	26
3.2.1	Mikrobiologie.....	26
3.2.2	Stanovení rozpuštěného CO ₂	27
3.3	Výstupní kontrola	27
3.3.1	pH.....	27
3.3.2	Barva	28
4	VÝSLEDKY A DISKUSE	29
4.1	Varna	29
4.1.1	Kontrola zcukření.....	29
4.1.2	Stanovení extraktu sacharometricky	29
4.2	Spilka.....	30
4.2.1	Stanovení MO	30
4.3	Sklep.....	31
4.3.1	Stanovení MO	31
4.3.2	Stanovení CO ₂	32
4.4	Výstupní kontrola	33
4.4.1	Stanovení pH.....	33
4.4.2	Stanovení barvy.....	34
5	ZÁVĚR.....	35
6	ZDROJE.....	36
7	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	38
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	39

1 ÚVOD

Pivo jako slabý alkoholický nápoj zná lidstvo prakticky od počátku svého vývoje. Zatímco výběr surovin je velmi rozmanitý, základní výrobní postup zůstal v podstatě nezměněn. Základem výroby piva je rozštěpení polysacharidů na zkvasitelné cukry a jejich kvašení na ethanol.

Technologický a společenský vývoj na území dnešní České republiky vedl od domácího vaření k seskupování pivovarů do větších celků, dnešních průmyslových pivovarů. Jejich počet se dnes pohybuje kolem padesáti. V současné době se vedle průmyslových pivovarů objevují tzv. minipivovary. Tento pojem zahrnuje poměrně široký okruh pivovarů, od restauračních, produkujících pivo pouze pro potřebu jedné restaurace, po pivovary, které nabízejí i vlastní lahvové pivo a jsou schopny svým výstavem poskytnout tento nápoj i do dalších restaurací. Minipivovary často experimentují s přísadami a vyrábí speciální piva. Produkují piva typická pro určitý pivovar.

Narozdíl od průmyslových pivovarů, malé pivovary zůstávají u klasických technologií výroby piva, kdy oddělují hlavní kvašení na spilce v otevřených kvasných kádích od dokvašování v ležáckém sklepě.

Pivo z malých pivovarů je alternativou ke konzumaci tohoto nápoje z průmyslových gigantů, a lze ho právem považovat za obohacení našeho trhu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Historie pivovarství ve světě

Historie vaření piva se začala psát přibližně 4 000 až 3 000 let př. n. l. v Mezopotámii, odkud se pivovarství rozšířilo do Egypta, starověkého Řecka a Říma a odtud dále do Evropy. Některé teorie dokonce datují počátek výroby piva jako kvašeného nápoje do doby 15 000 až 10 000 let př. n. l. Suroviny pro přípravu tohoto nápoje byly velmi rozmanité. Kromě ječmene a ječného sladu bylo pivo vyráběno například z pšenice, datlí, rohovníku nebo máku. Často byly využívány tzv. pivní chleby ve formě bochníků nebo placek. Pivo vznikalo i v jiných částech světa, v jihovýchodní Asii to bylo pivo rýžové, v Africe se vyráběl nápoj z prosa a v Americe byla pro jeho výrobu používána kukuřice [1, 2].

V době stěhování národů osídlila Evropu řada národů, které znaly různé způsoby přípravy piva. Pivo se vařilo z různých druhů obilovin a s příměsemi řady bylin, jako pelyněk, máta peprná, zázvor a jiné [3].

Přelom pro vaření piva znamenal použití chmele. Chmel byl nejspíš použit dříve v Asii než v Evropě, neboť Asie je považována za jeho pravlast. Lotyši, kteří vařili pivo z ječného sladu, používali chmel pravděpodobně již v 8. století. V Českých zemích pochází první doklad o chmelení piva z 11. století [3, 4].

Od 14. století se centrum pivovarství přesouvá do střední Evropy, převážně do Českých zemí.

V 19. století vznikají první průmyslové pivovary. Do poloviny 19. st. bylo k výrobě piva používáno výhradně svrchního kvašení, po vynálezu chlazení došlo k obratu na spodní kvašení. Bavorskými pivovarníky bylo zjištěno, že si pivo kvasící v chladnějších podmínkách, kde se uplatňují kvasinky spodního kvašení, lépe uchovává stabilitu. Svrchní kvašení dále zůstává u některých druhů piv [1, 5].

2.2 Historický vývoj pivovarství v Českých zemích

První písemná zmínka o vaření piva v Čechách pochází ze zakládací listiny vyšehradské kapituly, vydané roku 1088 Vratislavem II. Pivo se zpočátku vařilo doma, případně v klášterech. Po vzniku královských měst bylo zavedeno právovárečné a mílové právo. Jednalo se o právo měšťanů vařit pivo, respektive o zákaz vaření piva jinou osobou v okruhu jedné míle od města. Ve 13. st. se jednotliví právovárečníci začali sdružovat a zakládat společné pivovary [4, 5].

Počátkem 14. století začaly vznikat pivovary založené šlechtou. V té době se také zakládali cechy sladovníků a pivovarníků. Mezi měšťany a šlechtou vznikají spory o vaření a prodej piva. V roce 1517 povoluje Ludvík Jagellonský šlechtě vařit pivo pro vlastní spotřebu [4].

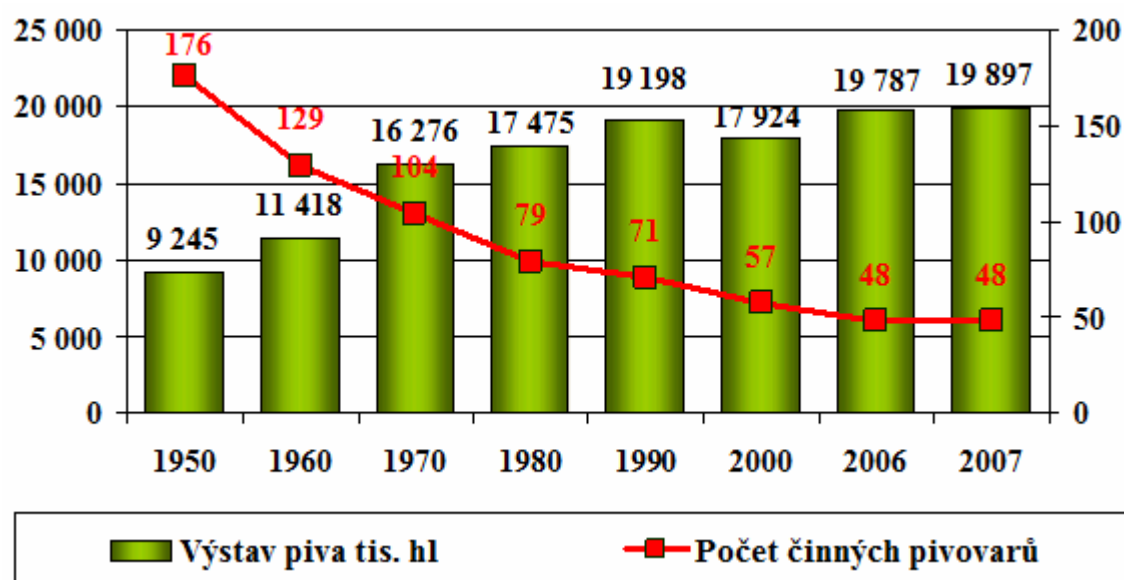
Po bitvě na Bílé hoře nastává úpadek českého pivovarství. Obrat nastává při zlepšení hospodářské situace, kdy se začaly rozvíjet jak městské a obecní, tak i šlechtické pivovary. Nejstabilnější pozici měly klášterní pivovary [4].

Významnou osobností druhé poloviny 18. století se stal František Ondřej Poupě, který zavedl používání teploměru při vaření piva [5].

Roku 1842 je založen pivovar v Plzni, ve kterém se začalo pro výrobu piva používat spodní kvašení. Takto vznikl světlý ležák plzeňského typu. V 19. století dochází k rozvoji českého pivovarství a vzniku řady pivovarů. Některé, zejména menší pivovary zanikly. V polovině 19. století je v Čechách 1 052 pivovarů a do roku 1912 se jejich počet snižuje na 666. Po 1. světové válce zde funguje 526 pivovarů a 260 pivovarů v r. 1946. Po roce 1948 byly pivovary znárodněny. V roce 1989 je v zemi 71 pivovarů [6].

Dnes se počet průmyslových pivovarů pohybuje kolem padesáti. Zároveň nastává rozmach malých pivovarů, popřípadě restauračních pivovarů, které produkují pivo pouze do vlastní restaurace. Piva uvařená v těchto provozech jsou specifická a liší se místo od místa. V malých pivovarech se také často vyrábějí specifické druhy pív.

Restaurační minipivovary začaly vznikat po roce 1989 a v současné době se jich v České republice nachází kolem šedesáti [7].



Obr. 1: Vývoj produkce českého pivovarství v porovnání s počtem činných průmyslových pivovarů v letech 1950 – 2007 [6]

2.3 Suroviny pro výrobu piva

2.3.1 Voda

V pivovarském provozu lze rozlišit vodu varní a užitkovou. Spotřeba užitkové vody mnohonásobně převyšuje objem vyrobeného piva. Je to voda potřebná k sanitaci zařízení, chlazení várky apod. [8].

Varní voda ovlivňuje svým složením výsledné vlastnosti piva. Lze ji získávat z povrchových nebo podzemních vod. Od toho se odvíjí její úprava.

Podzemní vody mohou obsahovat kationty Fe^{2+} a Mn^{2+} a rozpuštěný CO_2 . Oxid uhličitý lze odstranit provzdušňováním nebo chemicky pomocí $\text{Ca}(\text{OH})_2$, kationty železnaté a manganaté se oxidují na trojmocné železo, resp. čtyřmocný mangan a vylučují se ve formě nerozpustných sloučenin. Jako oxidační činidla lze použít Cl_2 , ClO_2 , KMnO_4 atd. Ionty Fe^{2+} je možné oxidovat intenzivním provzdušněním vody [8].

Úprava povrchové vody je vzhledem ke znečištění prostředí složitější. Je nutné odstranit hrubé nečistoty a zajistit mikrobiologickou nezávadnost [8].

2.3.2 Sladovaný ječmen

2.3.2.1 Ječmen

Slad se vyrábí převážně ze zrn vybraných odrůd jarního dvouřadého ječmene (Rubín, Jubilant, aj.). V loňském roce bylo v České republice zastoupeno 21 odrůd jarního a 4 odrůdy ozimého ječmene. Sledované parametry pro posouzení kvality ječmene jsou vlhkost zrna, přepad zrna na síť 2,5 mm, zrnové příměsi sladařsky nevyužitelné a částečně využitelné, nečistoty a neodstranitelné příměsi, dále klíčivost, obsah vody, škrobu a bílkovin [9].

Obilku tvoří zárodek, endosperm a obalová vrstva. Ječmen obsahuje 80 až 88 % sušiny a tedy 12 až 20 % vody. *Zárodek* obsahuje základ listů, kořínků a stébla. V *endospermu* se nacházejí zásobní bílkoviny a škrob. Jádrem tvoří tenkostěnné škrobové buňky obalené bílkovinami a gumovitými látkami. Vnější část se nazývá aleuronová vrstva a představuje buňky obsahující hlavně bílkoviny a tuky. V této vrstvě se aktivují enzymy na počátku klíčení a ty rozšiřují svou činnost do jádra endospermu. *Obalové části* zrna neboli pluchy chrání zárodek [10].

2.3.2.2 Výroba sladu

Sladování je sled technologických operací, jejichž cílem je aktivovat enzymy ovlivňující proces výroby piva. Skládá se z několika navazujících kroků: příjem, třídění a čištění ječmene, dále jeho uskladnění, máčení, klíčení a hvozďení a odkličování sladu. Při *uskladnění* ječmene je nutné jeho provzdušňování, aby nedocházelo k anaerobní respiraci, neboť její produkty (ethanol a CO_2) narušují klíček. Při uskladnění jsou aktivní inhibitory klíčení, tzv. dorminy. *Máčení* probíhá v náduvnících a jeho cílem je zvýšit obsah vody tak, aby mohlo dojít ke klíčení a aby začaly probíhat enzymové reakce. *Klíčení* ječmene probíhá na humnech, případně v Saladinově skříni a produktem je zelený slad. Cílem klíčení je aktivace enzymů. Při *hvozďení* se snižuje obsah vody z 42 až 48 % na 3 až 4 %. Na hvozdech se zelený slad šetrně suší tak, aby byly zastaveny vegetativní pochody při zachování určité enzymové

aktivity a vytvořily se požadované chuťové, barevné a oxidoredukční látky. Posledním krokem sladování je *odkličování*, kdy je od sladu oddělen tzv. sladový květ. Po odklíčení se slad nechává 4 až 6 týdnů odležet. Následuje jeho expedice [1, 8, 10].

2.3.2.3 Druhy sladu

Nejčastěji používanými druhy sladu u nás jsou slad světlý a bavorský. Světlý slad plzeňského typu je sušen vzduchem o teplotě do 85 °C a je charakteristický nízkou barvou, příznivým extraktem a dostatečnou enzymatickou silou. Vyrábí se z něj piva světlá, lehká a speciální. Bavorský slad má vyšší barvu a výraznější aroma. Sladování je odlišné od výroby světlého sladu v délce klíčení, a způsobu hvozdnění. Bavorský slad je pražen při teplotě kolem 105 °C. Dalšími druhy ječného sladu jsou např. diastatický, karamelový (světlý, polosvětlý a tmavý) a barvicí slad [1, 8].

Hlavní složkou pro vaření světlých piv je odleželý světlý slad, tmavá piva jsou vyráběna ze směsi plzeňského, bavorského, karamelového a barvicího sladu [8].

2.3.3 Chmel

Chmel dává pivu charakteristickou hořkou chuť. K výrobě piva jsou používány hlávky samičích rostlin chmele evropského [1]. V České republice se nacházejí tři oblasti, ve kterých se pěstuje chmel, a to žatecká, úštěcká a tršická oblast. Pěstuje se zde především Žatecký poloraný červenák (88,8 % ploch), a dále hybridy, např. Sládek nebo Premiant. Jednotlivé odrůdy se odlišují zejména obsahem α -hořkých kyselin a β -hořkých kyselin. Na obsah hořkých látek má značný vliv i stáří révy a ročník sklizně [11].

2.3.3.1 Složení chmele

Důležité složky chmele pro pivovarství jsou pryskyřice, polyfenoly a silice [8].

Chmelové pryskyřice jsou složité organické sloučeniny. Pro pivovarství jsou nejvýznamější skupiny α -hořké kyseliny (humulon, kohumulon, aj.) a méně účinné β -hořké kyseliny, měkké a tvrdé pryskyřice. Zejména α -hořké kyseliny mají tedy vliv na hořkost piva [8].

Silice jsou směsí organických látek převážně terpenického charakteru. Jednotlivé složky silic vytvářejí při chmelovaru aroma piva. [8].

Polyfenoly se podílejí na vytváření barvy a koloidní stability piva. Účastní se řady reakcí za vzniku nerozpustných tríslo-bílkovinných komplexů [8].

2.3.3.2 Chmelové výrobky

Z provozních důvodů jsou stále více využívány chmelové výrobky. Lze je dělit na výrobky připravené mechanickými úpravami (granulovaný chmel), fyzikálními úpravami (ethanolové extrakty, CO₂-extrakty, preparáty chmelových silic) a chemickými úpravami hlávkového chmele (chemické úpravy jako izomerace, redukce nebo hydrogenace α -hořkých kyselin pro zvýšení účinnosti složek) [8].

2.3.4 Suroviny nahrazující ječný slad

Jako náhražku sladu při vaření piva lze použít rýži, kukuřici, nesladovaný ječmen, případně cukr nebo cukerné sirupy. Tyto náhražky se nazývají surogáty a přidávají se z kvalitativních, případně ekonomických důvodů [8].

Cukr a cukerné sirupy jsou přidávány k dlu ke konci chmelovaru, zatímco rýže se zpracovává při dvourmutovém způsobu výroby s prvním rmutem, případně tvoří samostatný surogátový rmut. Ječmen lze použít do obsahu 15 až 20 % společně se sladem bez přidání enzymů. Kukuřice se ve zdejších podmínkách k vaření téměř nevyužívá [8].

2.4 Biochemické děje při výrobě piva

2.4.1 Štěpení složitých molekul

Před započítím kvašení je nutné převést žádoucí složky extraktu do roztoku. Asi 15 až 17 % extraktu je přímo rozpustných ve vodě a vylouží se tedy do varní vody vlivem míchání a zvýšené teploty, větší část extraktu lze ale převést do roztoku až po rozštěpení katalyzovaném sladovými enzymy [8].

2.4.1.1 Štěpení škrobu na zkvasitelné cukry

Škrob obsažený ve sladu je nutné před začátkem kvašení rozložit na jednoduché cukry, které jsou využitelné pro kvasinky. Tento proces se uskutečňuje na varně tzv. rmutováním, tedy zahříváním dlu na teploty, při kterých jsou aktivní enzymy způsobující rozštěpení škrobu. Účinek enzymů je závislý především na teplotě, pH a době působení. Je nutné nastavit zejména teplotní průběh rmutování tak, aby se dosáhlo optimálního složení mladiny, tzn. převést do roztoku veškerý škrob a vhodný podíl bílkovinných látek. Naopak je snaha omezit obsah některých složek, např. polyfenolů sladových pluch [8].

Škrob je polysacharid, jehož základní jednotkou je molekula glukosy. Skládá se z molekul amylosy (20 až 25 %) a amylopektinu (75 až 80 %). Škrob je při rmutování štěpen sladovými amylasami tak, že molekuly amylosy jsou štěpeny převážně účinkem β -amylasy na maltosu a molekuly amylopektinu štěpí α -amylasa společně s β -amylasou na dextriny a maltosu [8].

Štěpení škrobu probíhá ve třech stupních: mazovatění, ztekucení a zcukření.

Mazovatění probíhá u ječného sladu při teplotách 55 až 60 °C. V tomto stupni dochází k bobtnání a praskání škrobového zrna, amylosa se rozpouští v koloidní roztok a z amylopektinu vzniká škrobový maz. Ten je štěpen amylolytickými enzymy na maltosu a dextriny [8].

Při *ztekucení* škrobu dochází ke štěpení α -1,4-glukosidických vazeb za působení α -amylasy. Vznikají oligosacharidy se 6 až 7 glukosovými jednotkami u amylosy, respektive 6 až 13 u amylopektinu [8].

Zcukření katalyzuje β -amylasa, která odštěpuje maltosu od štěpů amylosy a amylopektinu. Pokud mají zbytky amylosy lichý počet glukosových jednotek, končí štěpení u zbytkové molekuly maltotriosy. U amylopektinu dochází k obdobnému štěpení z více postranních

řetězců, kdy se štěpení zastavuje u glukosových jednotek ve vzdálenosti 2 až 3 glukosy od větvení s vazbou 1,6. Takto vznikají tzv. hraniční dextriny, které mohou být dále katalyzovány hraniční dextrinase [8].

Tab. 1: Optimální teploty a pH amylolytických enzymů [8]

Tab. 16–2 Optimální teploty a pH působení amylolytických enzymů ve výstírce				
Enzym	Štěpené vazby	Optimální pH	Optimální teplota [°C]	Teplota in-aktivace [°C]
α -amylasa	α -1,4, nespecificky uprostřed řetězců	5,6–5,8	72–75	>80
β -amylasa	α -1,4, od neredukujících konců řetězců	5,4–5,6	60–65	>70
hraniční dextrinasa	α -1,6 hraničních dextrinů	5,1	55–60	>65
maltasa (α -glukosooxidasa)	α -1,4 v molekule maltosy	6	35–40	>40
sacharasa (β -fruktosidasa, zastarale invertasa)	α_1, β_2 v molekule sacharosy	5,5	50	>55

2.4.1.2 Štěpení bílkovin

Bílkoviny se ve sladu nacházejí jak v podobě vysokomolekulárních bílkovin z ječmene, tak i jako makropeptidy, polypeptidy, oligopeptidy, dipeptidy a volné aminokyseliny, vzniklé účinkem proteolytických enzymů při sladování [8].

Vysokomolekulární dusíkaté látky zvyšují pěnovost, plnost chuti a zlepšují vazbu CO_2 , špatný vliv mají naopak na koloidní trvanlivost piva. Volný aminodusík je nezbytný pro výživu kvasnic a tím pro zdravý průběh kvašení [8].

Bílkoviny jsou štěpeny za katalýzy endopeptidasami a exopeptidasami, jejichž činnost je nejvýznamnější v teplotním rozmezí 40 až 60 °C. Proteolýza se zastavuje při teplotě kolem 80 °C [8].

2.4.1.3 Další štěpné procesy

Při rmutování se štěpí i další typy makromolekul. Jsou jimi hemicelulosa a gumovité látky, organické fosforečnany a lipidy.

Hemicelulosa se skládá z vysokomolekulárních β -glukanů a pentosanů vázaných v buněčných stěnách na vysokomolekulární bílkoviny. β -glukany a další gumovité látky zvyšují viskozitu sladiny a mohou tedy ztížit scezování a filtrovatelnost piva [8].

Organické fosforečnany způsobují spolu s aminokyselinami kyselost výstírky a dále pokles pH během rmutování na hodnotu vhodnou pro činnost sladových enzymů [8].

Lipidy jsou štěpeny za katalýzy lipasami při teplotním optimu 35 až 40 °C a 65 až 70 °C. Vyrůstá tak obsah glykogenu a volných mastných kyselin [8].

2.4.2 Kvašení cukrů

2.4.2.1 Pivovarské kvasinky

Kvasinky jsou jednobuněčné organismy, jejichž taxonometrické zařazení je: nadříše *Eukaryota*, říše *Fungi*, třída *Ascomycetes*, čeleď *Saccharomycetaceae*, podčeleď *Saccharomycoideae* [8].

Pivovarské kvasinky nejsou taxonometricky odlišovány od divokých. Podle typu kvašení lze rozdělit kvasinky na kvasinky spodního kvašení (*Saccharomyces cerevisiae* subsp. *uvarum carlsbergensis*) a svrchní pivovarské kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae* subsp. *cerevisiae*) [8].

Kvasinky svrchního kvašení se v současné době používají jen pro speciální druhy pív, jako jsou např. „ale“, „porter“ nebo „stout“. Teplota kvašení se pohybuje v rozsahu od 20 do 24 °C a kvasinky jsou po ukončení kvašení unášeny vznikajícím oxidem uhličitým na hladinu [1].

Kvasinky spodního kvašení mají kulatý nebo středně až podlouhle oválný tvar. Buňky mají zrnitou plazmu a obvykle jednu vakuolu. Rozmnožují se pučením [12]. Optimální teplota kvašení je 8 až 14°C a po ukončení kvasného procesu klesají buňky na dno kvasných nádob. Tyto kvasinky tvoří kvasinkami chudou pěnu, během kvašení i po kvašení snadno sedimentují ke dnu, čímž se kvasící médium snadno vyčiřuje. Vzhledem k nižší teplotě a nedokonalému styku s kvasícím médiem probíhá spodní kvašení pomaleji [1, 8].

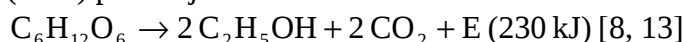
2.4.2.2 Glykolýza cukrů

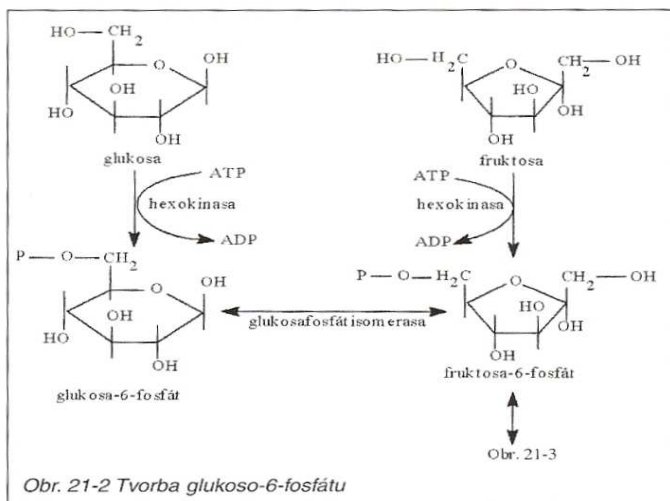
Glykolýza, neboli Embden-Meyerhofova metabolická cesta je základním anaerobním katabolickým procesem sacharolytických mikroorganismů [13].

Kvasinky využívají monosacharidy, disacharidy a některé trisacharidy jako uhlíkaté zdroje. Ty jsou dále transportovány do buněk, kde se s výjimkou monosacharidů štěpí na jednoduché cukry. Ty se v buňce přeměňují na fruktosu-6-fosfát, který vstupuje do glykolýzy. Cílem glykolýzy je získání stavebních kamenů pro buněčnou syntézu a získání energie [8].

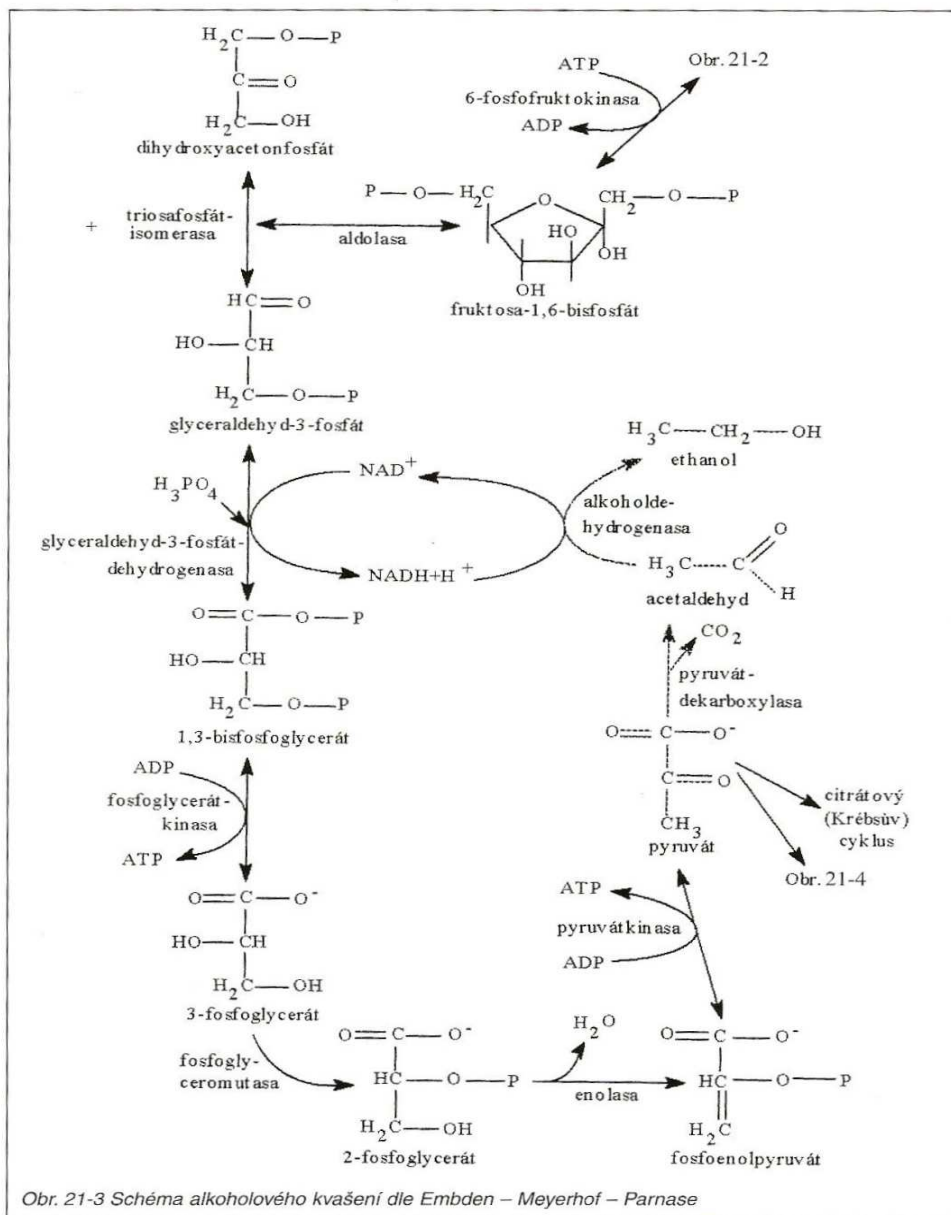
Důležitým meziproduktem glykolýzy je pyruvát. Od pyruvátu může metabolismus probíhat buď citrátovým cyklem (v aerobním prostředí) nebo kvašením, což je přeměna pyruvátu na alkohol a oxid uhličitý v anaerobním prostředí [13].

U kvasinek je pyruvát dekarboxylován na acetaldehyd, který je za pomoci redukováného kofaktoru nikotinamidadenin dinukleotidu (NADH) a enzymu redukován na ethanol. Ethanolové kvašení probíhá za vzniku energie ve formě dvou molekul adenosintrifosfátu (ATP) podle zjednodušené rovnice:





Obr. 2: Tvorba glukoso-6-fosfátu [8]



Obr. 3: Schéma alkoholového kvašení [8]

2.4.3 Klasická technologie výroby piva

2.4.3.1 Šrotování

Cílem šrotování je rozdrčení sladu na sladový šrot. Šrotuje se na dvou- nebo víceválcových šrotovnicích a převládá snaha minimálně poškodit pluchu a dobře vymlít endosperm. Takovýto výsledek šrotování je vhodný při použití scezovací kádě [1, 8].

2.4.3.2 Varní zařízení

Varny pro dekokční způsob rmutování lze dělit dle základních znaků na varní soupravu jednoduchou a varní soupravu dvojitou. Používají se ale i šesti nebo osminádobové varny [14]. Materiálem pro výrobu nádob je dnes prakticky výhradně nerezocel, lze se však stále setkat s nádobami měděnými [8].

Jednoduchá varní souprava se skládá ze dvou varních nádob, a to z jedné vyhřívané pánve, která funguje současně jako rmutová a mladinová, a z vystírací a scezovací kádě. Na tomto typu soustavy lze vyrobit denně maximálně dvě várky [14].

Dvojitá varní souprava představuje čtyři nádoby, a to vystírací kád', rmutovou pánev, scezovací kád', respektive sladínový filtr a mladinovou pánev [14].

2.4.3.3 Vystírání

Vystíráním se rozumí sypání sladového šrotu do vystírací kádě (respektive do rmutovystírací pánve, dle typu varního zařízení) naplněné vodou o vystírací teplotě 37 °C [1, 8].

Poměr sypání k množství použité vody je volen tak, aby výsledná sacharizace předku byla u světlých piv asi o 4 % vyšší, než je požadovaná stupňovitost piva [14].

2.4.3.4 Rmutování

Cílem vystírání je převést do roztoku požadované látky. Jedná se o postupné zahřívání rmutů na enzymaticky významné teploty, po jejichž dosažení jsou zařazeny časové prodlevy. Tzv. rmutovací teploty jsou: 37 °C: kyselinotvorná teplota, 52 °C: peptonizační teplota, 62,5 až 65 °C: (nižší) cukrotrvorná teplota, 72,5 až 75 °C: dextrinotvorná teplota (vyšší cukrotrvorná teplota) [14].

Rmutování lze provést více způsoby. Základním dělením je rozdělení na infuzní a dekokční postup. Oba postupy se liší nejen technologicky, ale i nároky na vybavení varny [1].

2.4.3.4.1 Infuzní způsob rmutování

Tento postup rmutování není v našich podmínkách obvyklý. Zahřívá se při něm celá vystírka najednou, tudíž proces rmutování probíhá v jedné nádobě. Při jednotlivých rmutovacích teplotách se ponechávají potřebné prodlevy a rmut se nepovaňuje. Výsledné pivo má světlejší barvu a méně výraznou chuť než u dekokčních postupů [8, 14].

2.4.3.4.2 Dekokční způsob rmutování

Část objemu vystírky (tzv. rmut) je oddělen tak, aby se po jeho navrácení do původního objemu dosáhlo požadované teploty díla. Rmut se následně zahřívá na enzymaticky

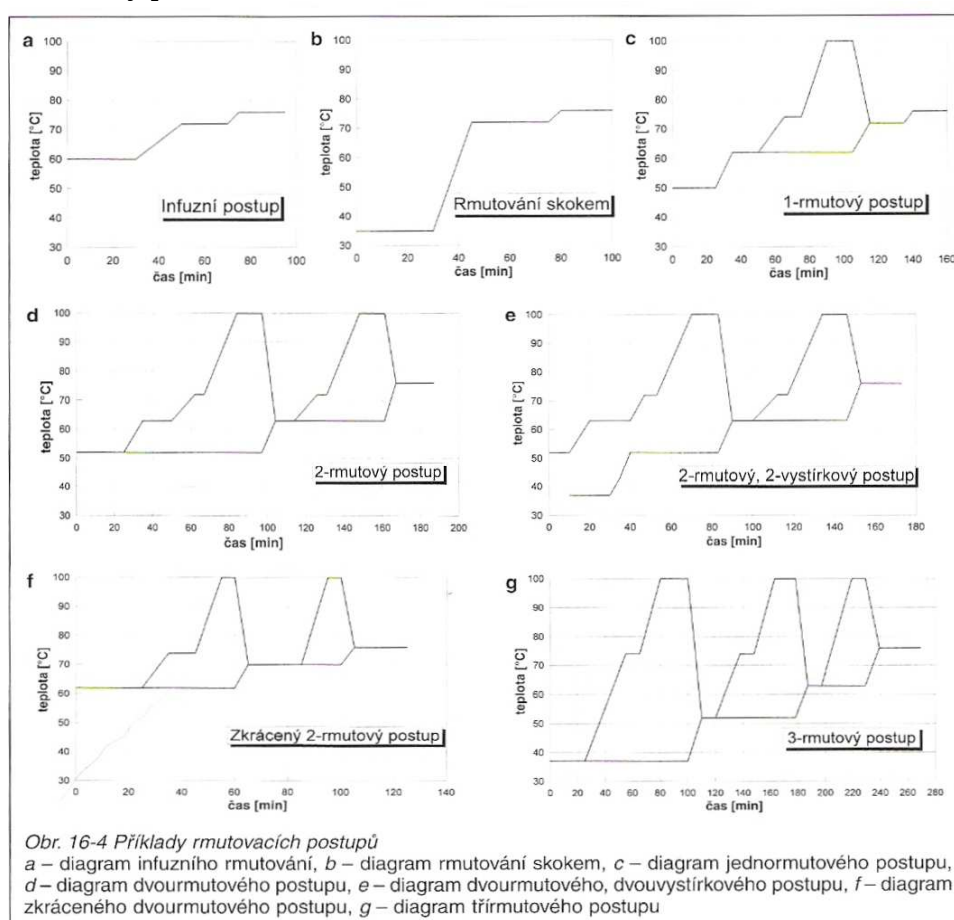
významné teploty a poté se povaří. Podle počtu rmutů se dekokční způsob dále dělí na jednormutový, dvourmutový a třírmutový postup, přičemž tradičním v České republice je postup dvourmutový [8, 14].

Objemy spouštěného rmutu lze vypočítat z rovnice $V_r = \frac{V_{vy}(T_3 - T_1)}{T_2 - T_1}$, kde V_r je požadovaný

objem rmutu v hl, V_{vy} je objem vystírky [hl], T_1 je teplota zbytku vystírky ve vystírací kádi [°C], T_2 je teplota vráceného rmutu [°C] a T_3 je požadovaná teplota vráceného rmutu [°C]. Objem vystírky je součet objemu vody a sladu [8].

Dvourmutový způsob rmutování začíná ohřevem vystírky z 37 °C na 52 °C (tzv. zapárka). Poté se přibližně jedna třetina objemu přečerpá do rmutovací pánve. První rmut je zahříván rychlostí asi 1 °C za minutu na teplotu 63 °C. Při této teplotě je ponechána prodleva 10 až 20 min. Následuje ohřívání rychlostí asi 0,7 °C za minutu na 72 až 74 °C. Zde je prodleva 5 až 10 min. Rmut je přiveden k varu a vaří 15 až 20 minut. Poté je první rmut vrácen do vystírací pánve. Tím je dosaženo teploty 62 až 64 °C. Poté je do rmutovací pánve přečerpán druhý rmut, který se zahřeje na 72 až 74 °C, kde se nechá zcukřit a po přivedení k varu se nechá 15 minut vařit. Při přečerpání do vystírací pánve je dosaženo *odrmutovací teploty* 75 až 78 °C [1, 8].

Vaření piva na dva rmuty je tradičním českým výrobním postupem, ostatní možnosti jsou naznačeny přehledně na obrázku č. 4.



Obr. 4: Rmutování [8]

2.4.3.5 Scezování

Cílem scezování je oddělit vzniklou sladinu od pevného podílu, mláta. Mláto se zde využívá jako filtrační vrstva, přes kterou stéká sladina do mladinové pánve, případně do sběrače sladiny. Tento proces má dvě hlavní fáze, a to scezování předku a vyslazování mláta. Přípravné fáze před vlastním scezováním jsou čerpání díla do scezovací pánve, odpočinek a podrážení [1, 8, 14].

2.4.3.5.1 Zařízení pro scezování

Scezovací souprava obsahuje scezovací kád' (případně sladinový filtr), zařízení pro transport mláta a může obsahovat sběrač patoků. Ten se používá pro sběr přebytečné vyslazovací vody a v případě vhodně zvoleného objemu není nutný. Častěji používaná scezovací kád' je válcová nádoba z nerezoceli, případně mědi. Na dně nádoby je uloženo perforované scezovací dno, které slouží jako záchytná plocha pro mláto. Scezovací kád' je vybavena kopačkou, která slouží ke kypření mláta a následně k jeho výhozu. K transportu mláta jsou používána excentrická lopatková nebo šneková čerpadla, která dopravují mláto z násypky pod scezovací kádí do venkovního mlátníku [8].

2.4.3.5.2 Podrážení

Cílem podrážení je odstranění kalů mezi pevným a perforovaným dnem. Kalná sladina se přitom scezovacím čerpadlem vrací do scezovací kádě [8].

2.4.3.5.3 Stékání předku

Po poklesu zákalu je ukončeno podrážení. Sladina stéká přes filtrační vrstvu mláta do mladinové pánve nebo sběrače sladiny. Tento proces trvá 60 a více minut do doby, kdy hladina předku klesne pod mláto. Rychlost stékání předku je maximálně $0,15 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Mláto lze při stékání předku promíchávat kopačkou [1, 8, 14].

2.4.3.5.4 Vyslazování

Po poklesu hladiny ve scezovací kádí je scezování přerušeno a začíná se napouštět vyslazovací voda o teplotě 76 až 78 °C. Poté je zahájeno vyslazování. Rychlost vyslazování je zpočátku stejná jako u stékání předku a lze postupně zvyšovat až na $0,25 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. V průběhu vyslazování je kopačka v chodu a postupně je spouštěna do spodních vrstev mláta [8].

Vyslazování probíhá nepřetržitě nebo na 2 až 3 výstřelky. Při nepřetržitém vyslazování se napouští tolik vody, kolik jí odtéká ve výstřelcích. Ve druhém případě se nechá napuštěný objem stéci do obnažení mláta a poté se zahajuje další vyslazování. Tímto postupem se dosahuje vyšší varní výtěžek, výhodou nepřetržitého vyslazování je vyšší rychlost. Objem vyslazovací vody se upravuje tak, aby bylo při dosažení požadovaného objemu pohromadě nad vrstvou mláta co nejméně vody. Po vyslazování následuje výhoz mláta [1, 8].

2.4.3.6 Chmelovar

Chmelovar probíhá v mladinové pánvi. Ta se vyrábí, podobně jako ostatní nádoby ve varně, převážně z nerezoceli. Lze se setkat i s celoměděnými nebo kombinovanými nádobami. Nádoba je opatřena vnitřním nebo vnějším vařákem, popřípadě parním duplikátorem [8, 14].

Jde o vaření sladiny s chmelem po dobu 90 až 120 minut, jehož cílem je získání hořké a stabilizované mladiny. Během chmelovaru dochází k řadě fyzikálně-chemických pochodů. Především se jedná o odpaření přebytečné vody, inaktivaci enzymů a sterilizaci mladiny, pokles pH a nárůst barvy, tvorbu produktů tepelného rozkladu, tvorbu redukujících látek, koagulaci bílkovin a tvorbu lomu, reakci účinných složek chmele s mladinou a změny obsahu dimethylsulfidu a jeho prekurzorů [8].

Během chmelovaru je do roztoku přidáván chmel. Ten se může dávkovat na dvakrát (70 až 80 % α -hořkých kyselin na začátku chmelovaru, zbytek 20 minut před koncem) nebo častěji na třikrát, tzn. na začátku chmelovaru a 60 a 10 až 15 minut před jeho koncem. Ke chmelení lze použít hlávkový chmel, granule nebo extrakt. Zastoupení těchto produktů je často odrazem jejich ceny, kdy nejlevnější možnost dodání α -hořkých kyselin je použití extraktu a nejdražší je aromatický chmel. Při dávkování chmele se vychází z obsahu α -hořkých kyselin jednotlivých produktů. Časté je použití chmelového extraktu na první chmelení a jemného aromatického chmele na druhé a třetí chmelení [8, 10].

2.4.3.7 Chlazení mladiny a čerpání na spilku

Po ukončení chmelovaru je mladina čerpána do vířivé kádě (válcová nádoba z nerezavějící oceli), kde díky tangenciálnímu čerpání vzniká koláč z hrubých kalů. Z vířivé kádě je mladina po vyčiření (20 až 30 minut) čerpána na spilku. Aby bylo možné ji zakvasit, musí být schlazena na kvasnou teplotu 6 až 9 °C. K těmto účelům se využívají deskové chladiče [1, 8, 10].

2.4.3.8 Prostory a vybavení pro kvašení piva

2.4.3.8.1 Spilka

Spilka je prostor, ve kterém probíhá kvašení piva. Kvašení zde probíhá při klasickém způsobu kvašení v otevřených kvasných kádích. Prostor spilky i jednotlivé nádoby je nutné chladit tak, aby se teplota na spilce pohybovala mezi 5 a 10 °C [8].

Starší spilky se nacházejí ve sklepích, moderní fermentační místnosti jsou umístěny v budovách, které jsou chlazené a tepelně izolované. Spilka musí splňovat přísné hygienické požadavky. Především voda, která kondenzuje na stropě nad kvasnými nádobami, nemá skapávat do těchto nádob. Důležitá je i ochrana proti plísním, např. protiplísňové nátěry nebo keramické obklady [8].

Spilka musí být dostatečně odvětrávána, aby se zde nehromadil oxid uhličitý, který vzniká při kvašení [8].

2.4.3.8.2 Kvasné nádoby

Kvasné kádě se dříve vyráběly ze dřeva, jejich údržba je však velmi náročná. Dnes se potkáme s káděmi železobetonovými, ocelovými, hliníkovými či nerezovými. Nejvýhodnějším materiálem je nerezová ocel, neboť nevyžaduje vyšší nároky na údržbu ani ochranný nátěr [8].

K chlazení kádí se používá plášťové chlazení, případně jsou nádoby opatřeny chladícími hady, jimiž protéká médium, jako např. voda (+1 °C), směs alkohol-voda, glykol nebo roztoky solí (solanky) [8].

2.4.3.8.3 „Kvasničkárna“

Součástí spilky je místnost pro uchování kvasnic, tzv. kvasničkárna. Ideální teplotou pro uchování kvasnic je 0 až 2 °C. V kvasničkárně se teplota udržuje do 5 °C. Počet a velikost zásobníků kvasnic musí odpovídat velikosti kvasných nádob. Kvasničkárna je vybavena přívodem ledové vody, vibračním sítem a zařízením na zakvašování [8].

2.4.3.8.4 Ležácký sklep

Teplota ležáckého sklepa je udržována na –2 až +3 °C. Probíhá zde dokvašování piva. Musí být větrán, aby se uvnitř nehromadil vznikající oxid uhličitý. Chlazení je obvykle řešeno prostorově, s výjimkou betonových nádob není nutné chladit každou nádobu zvlášť. Hygienické podmínky by měly být podobné jako v případě spilky [8].

2.4.3.8.5 Ležácké nádoby

Klasické ležácké nádoby jsou dřevěné sudy o objemu 40 až 150 hl. Sudy se plní vrchem pomocí nástavce s kohoutem.

Moderní ležácké nádoby, ležácké tanky, jsou ležaté válcové nádoby. Materiály jsou obdobné jako u nádob kvasných [8].

2.4.3.9 Kvašení

2.4.3.9.1 Zakvašování

Zakvašování se provádí v průběhu transportu mladiny zchlazené na zákvasnou teplotu (6 až 9 °C) do kvasných kádí [8].

Cílem zakvašování je distribuce kvasinek do celého objemu zchlazené mladiny a zvýšení obsahu rozpuštěného kyslíku tak, aby byl optimálně nastartován metabolismus kvasinek [8].

Zakvašování se provádí asi půl litrem hustých kvasnic na 1 hl mladiny přímo do potrubí dávkovacím čerpadlem. V uzavřených systémech se zakvašování provádí do 24 hodin přímo v kvasných kádích. Zvýšením zákvasné dávky se zkracuje doba kvašení, ale současně dochází ke snížení výtěžku kvasnic a zhoršení jejich fyziologického stavu [8].

2.4.3.9.2 Hlavní kvašení

Celková doba hlavního kvašení je obvykle 6 až 10 dní. Počet dnů by měl být stejný nebo nižší než původní extrakt (stupňovitost) mladiny [8].

Při kvašení probíhá několik procesů. Nejdůležitějším procesem je přeměna extraktu na alkohol a oxid uhličitý, kdy dochází ke zpracování podstatné části zkvasitelného extraktu v metabolismu kvasnic. CO₂ se rozpouští v pivu dle Henryho zákona a reaguje s ostatními polárními látkami v pivu. V mladině dále dochází ke vzniku senzoricky aktivních látek a ke změnám oxidačně-redukčních vlastností [8].

Hlavní kvašení se dělí na několik stádií:

Po 12 až 24 hodinách hlavního kvašení se objevují první vizuální projevy. Jde o *zaprašování a odrážení*, což znamená, že se na povrchu objevuje pěna, která je prouděním kvasící mladiny odnášena od stěny kádě. Mírně stoupá teplota a klesá pH a extrakt [8][10].

Stádium *nízkých bílých kroužků* se vytváří 24 až 36 hodin od naplnění kádě. Na povrchu kvasícího extraktu vzniká hustá bílá pěna [14]. Klesá extrakt a pH a teplota stoupá o 0,5 až 0,8 °C za den [10].

Stádium *vysokých hnědých kroužků* začíná tři až čtyři dny od začátku kvašení. Barva přechází v hnědou a pH klesá na 4,6 až 4,4. V tomto stádiu je intenzita kvašení maximální. Do pěny jsou vynášeny mrtvé kvasinky a kaly. Vyvíjí se značné množství tepla a teplota dila dosahuje až 12 °C. Tato teplota je chlazením udržována dva dny. Následně se obsah kádě ochlazuje rychlostí do 1 °C za den [8, 10, 14].

V dalším stádiu zvaném *propadání deky* se snižuje intenzita kvašení a s ní i výška pěny na povrchu kádě. Na konci tohoto stádia zůstává na povrchu mladiny 2 až 3 cm vysoká vrstva tmavé pěny (deka). Ta obsahuje vyloučené látky, kvasnice a kontaminanty. Sběr se provádí pomocí dřevé lžice, díky které jsou odstraněny nežádoucí látky, které by při propadnutí deky mohly způsobit nepříjemnou hořkost piva. Sbírání se provádí opakovaně den před sudováním a těsně před sudováním. Hladina na konci hlavního kvašení tmavne, tj. přechází ze zeleného mladého piva do propadlého [8, 14].

Po vyprázdnění zůstává na dně kvasných kádí sediment kvasnic. Ten se skládá ze tří vrstev. Spodní a horní vrstva obsahují více nečistot a mrtvých kvasinek a nazývají se špínka. Největší část je prostřední, které se říká jádro. Má charakteristickou barvu kvasnic a lze ho použít k dalšímu zakvašení [8].

2.4.3.9.3 Sesudování

Po hlavním kvašení následuje sesudování piva. Mladé pivo nemá být při sesudování ani příliš „zelené“, ani „propadlé“. Z toho důvodu se provádí výběr různých partií a jejich mícháním se dosahuje požadovaných parametrů sudovaného piva tak, aby byl obsah kvasničných buněk 10 až 12 · 10⁶ ml⁻¹. K transportu mladého piva se používá samospádu potrubím o minimální délce nebo čerpadel. Nemělo by dojít k velkému napěnění piva a ztrátám CO₂. Teplota sudování je 4 až 6° C. Po ukončení je mladé pivo vytlačováno z potrubí vodou. Provádí se sběr kvasnic usazených na dně kádí a sanitace celého zařízení [8].

2.4.3.9.4 Dokvašování

Cílem dokvašování piva je dosažení optimálních organoleptických vlastností, nasycení oxidem uhličitým a vyčiření [8].

Dokvašování je pomalejší fází kvašení. Probíhá za nízkých teplot, tj. -2 až 3 °C v ležáckém sklepě. Z chemického pohledu je zrání piva odbouráváním chuti mladého piva. V této fázi klesá obsah SO₂, merkaptanů, acetaldehydu a mastných kyselin. Obsah diacetylu nejdříve díky sesudování roste, následně opět klesá. Významnou reakcí jsou interakce polyfenolů a

bílkovin, při kterých vznikají nerozpustné komplexy. Nejdříve vzniká chladový zákal, který lze odstranit zahřátím nad 20 °C, po delší době vzniká trvalý zákal [8].

Při dokvašování je důležité číření. Ovlivňuje průběh filtrace, pěnivost a chuť piva a jeho koloidní stabilitu. Je to soustava procesů, při které dochází k mechanickému vylučování kalů, adsorbci na povrchu a k řadě fyzikálně-chemických reakcí [8].

Ležácké nádoby se uzavírají po jednom až dvou dnech. Vytváří se přetlak CO₂.

Klasická technologie doporučuje dobu dokvašování u výčepních piv 21 dnů, u ležáků 70 dnů. Celková doba dokvašování může kolísat v rozmezí 1 až 10 týdnů [1, 8, 14].

2.4.3.9.5 Vedlejší produkty kvašení

Byla popsána řada vedlejších produktů při kvašení. Tyto produkty ovlivňují složení a vlastnosti piva. Jsou jimi především vyšší alkoholy, estery, aldehydy, volné mastné kyseliny, vicinální diketony a sloučeniny síry [8].

2.4.3.10 Filtrace

Po ukončení dokvašování se, s výjimkou nefiltrovaného piva, odstraňují neusazené látky a kvasinky filtrací [14]. Kapalina protéká filtrační přepážkou, která zachytává pevné částice. Existují různé filtrační hmoty i konstrukce filtrů, přičemž často využívanou filtrační hmotou je např. křemelina. Z filtračních zařízení lze použít např. naplavovací, deskový nebo svíčkový filtr [10].

Vzhledem k energetické náročnosti filtrace a vznikajícím odpadům se výrobci zařízení pro pivovarský průmysl snaží o vývoj a zavedení nových způsobů filtrace bez použití filtračních materiálů, jak je například křemelina. Firma ALFA LAVAL ve spolupráci s čínským pivovarem Zhujiang Beer Group vyvinula „cross-flow“ filtr, neboli filtr s příčným průtokem. Jeho použitím se eliminují ztráty vody, energie a množství odpadu [15].

2.4.3.11 Úprava piva před stáčením, stabilizace

Po filtraci se pivo dále stabilizuje za účelem zvýšení koloidní stability a zachování organoleptických vlastností [10]. Ke stabilizaci koloidní soustavy se používají křemičité gely (vážou na sebe zákalotvorné frakce bílkovin) nebo polyvinylpolypyrrolidon (PVPP), který váže třísloviny obsahující fenolické složky piva. Chuťovým změnám lze zamezit antioxidanty, zejména kyselinou askorbovou a SO₂ ve formě siřičitanů. Uvedené složky lze kombinovat [8].

Pasterace je tepelné ošetření piva prodlužující jeho biologickou trvanlivost. Rozlišuje se pasterace průtoková, kdy se pasteruje pivo před plněním a tunelová, u které je tepelně ošetřeno pivo i s obalem. V Evropě se používá pasterace na 20 až 30 pasteračních jednotek (PJ), kdy 1 PJ odpovídá pasteračnímu účinku tepla působícího přesně 1 minutu při teplotě 60 °C [8].

2.4.3.12 Stáčení

Hotové pivo se plní do lahví a plechovek, případně se stáčí do sudů.

2.4.3.12.1 Plnění lahví a plechovek

Plnění probíhá na lahvárenských linkách z přetlačných tanků (zásobárna upraveného piva před plněním do obalů). Součástí linky je u vratných obalů myčka lahví. Plnění lahví se skládá z vytvoření protitlaku v lahvi, plnění, ukončení plnění a odlehčení tlaku. Následuje uzavíračka lahví a případná pasterace v tunelovém pastéru. Pojem lahvárenská linka zahrnuje i nakládání a vykládání lahví a jejich uskladnění [8].

Pivní lahve mohou být skleněné a plastové. *Skleněné lahve* jsou výhodné pro opakovatelnou použitelnost (30 až 50 použití), snadné čištění a inertnost skla vůči obsahu. Pivní lahve mají nejčastěji objem 0,33 a 0,5 l a jsou zbarveny zeleně nebo hnědě. Pro výrobu *plastových lahví* se používá polyethylentereftalát (PET) nebo polyethylennaftalát (PEN). Nevýhodou PET lahví je propustnost stěn pro kyslík a CO₂, což snižuje kvalitu a trvanlivost piva. Lahve z PEN nevykazují propustnost těchto plynů, jsou odolné k vyšším teplotám a tedy schopné pasterace a mytí při 85 °C. Jejich nevýhodou je cena, neboť jsou asi osmkrát dražší než PET lahve. Příznivé vlastnosti plastových lahví jsou především nižší hmotnost, nerozbitnost a možnost opakovaného uzavření lahve [8].

Plechovky na pivo jsou dvoudílné. Spodní díl je vyroben z hliníku, víčko je ocelové nebo hliníkové. Nejčastější objemy jsou 0,33, 0,44 a 0,5 l. Vnitřní povrch plechovky je lakován, aby nedocházelo k reakci s obsahem [8].

2.4.3.12.2 Stáčení do sudů

Do roku 1990 byly požívány většinou hliníkové sudy, které byly postupně nahrazeny KEG sudy z nerezoceli. KEG sudy jsou hermeticky uzavřené nádoby různých objemů (nejčastěji 30 a 50 l), jejichž mytí, plnění a vyprazdňování se provádí přes uzávěr a tyto sudy jsou pod stálým tlakem. Plnění sudů probíhá na stáčecí lince následně po sanitaci sudu [8].

2.5 Moderní technologie

S rozvojem techniky a snahou o docílení ekonomických úspor byly vyvinuty technologie umožňující větší využití prostoru a energetické úspory.

2.5.1 Výroba koncentrovaných mladin (HGB)

Technika spočívá v tom, že se uvaří mladina o koncentraci 14 až 16 % hm., která se dále ředí před kvašením nebo při filtraci piva. Mezní hodnoty jsou 18 až 24 % hm. při ředění před kvašením, resp. 14,5 až 15 % při ředění při filtraci. K ředění se používá upravená sterilní voda. Složení vody musí odpovídat danému pivu, musí být zbavena kyslíku a dosycena oxidem uhličitým na stejnou koncentraci, jako má dané pivo. Tímto způsobem lze provést i jemnou korekci stupňovitosti piva vyrobeného standardním způsobem [8].

2.5.2 Cyindrokónické tanky (CKT)

Výhodou kvašení v CK tankách je snadná automatizace a sanitace. Předností CKT je také zvýšení produktivity díky možnosti vyrobit větší objem piva a rychlejší fermentaci. CKT jsou uzavřené válcové nádoby z nerezoceli s kuželovitým dnem. Jsou většinou chlazeny válcovým chlazením. Systém chlazení CKT umožňuje optimální regulaci teplot při kvasném procesu [8].

CKT lze využívat současně pro hlavní kvašení a dokvašování. Nejprve se naplní zakvašenou a provzdušněnou mladinou, která se nechá kvasit při teplotě do 12 °C. Po proběhnutí hlavního kvašení následuje tzv. odstřel kvasnic, kdy se kvasnice usazené ve spodní části tanku odpustí. Obsah tanku je poté ochlazen na 0 °C [16].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V pivovare byly sledovány vybrané parametry v průběhu výroby piva a při výstupní kontrole.

3.1 Varna

Ve varně je třeba zjistit, zda proběhlo dokonalé zcukření při rmutování. Dále se zjišťuje sacharizace při stékání předku a po chmelovaru, tzn. koncentrace mladiny.

3.1.1 Kontrola zcukření

Metoda:

Vizuální jodová zkouška.

Princip:

Zabarvení štěpných produktů při reakci s roztokem jodu je závislé na jejich molekulové hmotnosti. Čím jsou molekuly menší, tím se původní modré zbarvení mění postupně na modrofialové, červenohnědé až žlutohnědé. Nižší dextriny a sacharidy se roztokem jodu nebarví. Dokonalému zcukření odpovídá světle žluté zbarvení roztoku [17].

Chemikálie:

Lugolův roztok

Postup:

Při rmutování se po dosažení 70 °C odebere vzorek sladiny a kápne se na kapkovací destičku. Přidá se kapka jodového roztoku. Pokud je zbarvení (kanárkově) žluté, je rmut zcukřen. Pokud je zbarvení modré nebo hnědé, opakuje se postup po pěti minutách, až do žluté reakce [17].

3.1.2 Stanovení extraktu

Metoda:

Sacharometrická.

Princip:

Extrakt mladiny tvoří rozpuštěné látky, které přešly do roztoku při rmutování a varním procesu z použitých surovin. Největší podíl rozpuštěných látek vzniká působením enzymů na nerozpustné složky sladu [17].

Postup:

Stanovuje se jednak extrakt předku a jednak extrakt mladiny. K vlastnímu měření sacharizace se používá Ballingův cukroměr kalibrovaný na 20 °C. V případě, že teplota testovaných vzorků v rámci technologického procesu není 20 °C, je použita tabulka na korekci sacharizace podle teploty.

Vyhodnocení:

Extrakt předku má být přibližně o 4 % hm. vyšší než požadovaný extrakt mladiny. Extrakt původní mladiny ležáku se má pohybovat od 11,00 do 12,99 % hm. [18].

3.2 Spilka, sklep

3.2.1 Mikrobiologie

Provádí se mikroskopické stanovení kontaminujících buněk v kvasící mladině na spilce a ve sklepe při dokvašování.

Princip:

Při koncentraci NaOH 10 % zůstávají kvasinky i bakterie v podstatě neporušeny, přičemž bakterie částečně zvětšují objem. Nečistoty, např. bílkoviny a látky vyloučené při kvašení se rozpustí, takže preparát obsahuje pouze kulturní kvasinky a cizí mikroorganismy (MO). Tuková tělíska jsou viditelná a plasma nezřetelná [19].

Přístroje:

Světelný mikroskop
Centrifuga

Chemikálie:

10% NaOH

Postup:

Mladina, resp. pivo z ležáckého tanku, je centrifugována 10 minut při 2 200 otáčkách za minutu. Supernatant se slije a sediment se rozsuspenduje v 10% NaOH na podložním sklíčku tak, aby počet v 1 zorném poli bylo přibližně 200 buněk. Poté je přiloženo krycí sklíčko tak, aby nebyl vytlačen hydroxid. Vzorek je mikroskopicky pozorován při zvětšení 40 x 12.

Vyhodnocení:

Přítomnost nežádoucích MO (infekce) se zjišťuje v 50 zorných polích a využívá se Willovy stupnice:

Tab. 2: Willova stupnice [19]

Počet cizích MO	Stupeň infekce
1	stopa
3	velmi nepatrná
6	nepatrná
8	mírná
nad 8	silná až velmi silná

Přípustná infekce se liší podle druhu MO: u divokých kvasinek je přípustná velmi nepatrná infekce, u bakterií (tyčinkovité mléčné bakterie, pediokoky) nepatrná infekce a u neškodných MO (koky, torula) mírná infekce [19].

3.2.2 Stanovení rozpuštěného CO₂

Princip:

Metoda je založena na aplikaci Henryho zákona – parciální tlak plynu, který je v rovnováze s kapalinou, je přímo úměrný obsahu plynu rozpuštěného v kapalině. Koncentrace CO₂ je určena měřením tlaku plynu, uvolněného v určitém objemu, jež je v rovnováze s kapalinou, za určité teploty.

Přístroj:

Digitální CO₂ Gehaltemeter, typ DGM-03

Postup:

Pivo z tanku se nechá protékat přístrojem, poté je tok zastaven a po 30 s je odečtena na displeji hodnota rozpuštěného CO₂ v jednotkách g·l⁻¹.

Vyhodnocení:

Obsah CO₂ se udává v % hm. nebo v g·l⁻¹, kdy 1 % hm. odpovídá 10 g·l⁻¹. Méně sycená piva mají obsah pod 0,35 %, dobře sycená více než 0,45 % [8].

3.3 Výstupní kontrola

3.3.1 pH

Princip:

Měření pH skleněnou elektrodou je založené na využití vlastností skleněné membrány. Na té se vytváří potenciál, jehož hodnota závisí na koncentraci vodíkových iontů v roztoku. Potenciál skleněné elektrody je měřen proti referenční kalomelové elektrodě [17].

Přístroj:

pH-metr

Postup:

Před použitím se pH-metr kalibruje. Poté se elektroda opláchne zkoušeným vzorkem a ponoří se do jeho roztoku. Hodnota pH se odečte po ustálení.

Vyhodnocení:

Optimální hodnota pH se pohybuje v rozmezí 4,3 až 4,7, podle potravinového zákona je přípustné pH 4,0 až 4,9 [8].

3.3.2 Barva

Princip:

Barva se měří objektivně spektrofotometricky při vlnové délce 430 nm [8].

Přístroj:

Dr. Lange Lasa 30 (spektrofotometr)

Chemikálie:

voda

Postup:

Na přístroji se nastaví program pro stanovení barvy světlého piva. Do kyvety se nalije voda a kyveta je vložena do přístroje, který se vynuluje. Poté je do přístroje vložena kyveta se stanovovaným pivem, resp. mladinou a z displeje se odečte hodnota barvy piva, resp. mladiny.

Vyhodnocení:

Barva světlého výčepního piva se má pohybovat v rozmezí hodnot 7 až 16 j. EBC, u ležáků 8 až 16 j. EBC (European Brewery Convention) [18].

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

Experimentální část práce byla provedena v malém pivovaru v České republice s výstavem přibližně 10 000 hl za rok. Pivovar používá k výrobě piva klasický dvourmutový postup a zachovává oddělené hlavní kvašení a dokvašování, kdy hlavní kvašení probíhá v otevřených kvasných kádích a dokvašování v ležáckých tancích.

Pivovar produkuje světlé výčepní pivo, světlý ležák a sezónně speciální tmavé 13% pivo. Tyto výrobky dodává jak ve filtrované, tak v nefiltrované podobě. Pivo je stáčeno do sudů a plastových lahví.

Cílem práce bylo stanovit stálost vybraných parametrů.

4.1 Varna

Ve varně se provádí rozklad složitých molekul ze škrobu na zkvasitelné sacharidy. Při rmutování je nutné zjistit, zda proběhlo dokonalé zcukření.

Při stékání předku se stanovuje extrakt, který má být přibližně o 4 % vyšší, než je požadovaný konečný extrakt, kterého se dosáhne vyslazováním.

4.1.1 Kontrola zcukření

Při rmutování je prováděna vizuální jodová zkouška po dosažení teploty 70 °C. Zkouška je opakována do dosažení světle žluté barvy roztoku. V případě pozitivního výsledku lze pokračovat ve rmutovacím procesu.

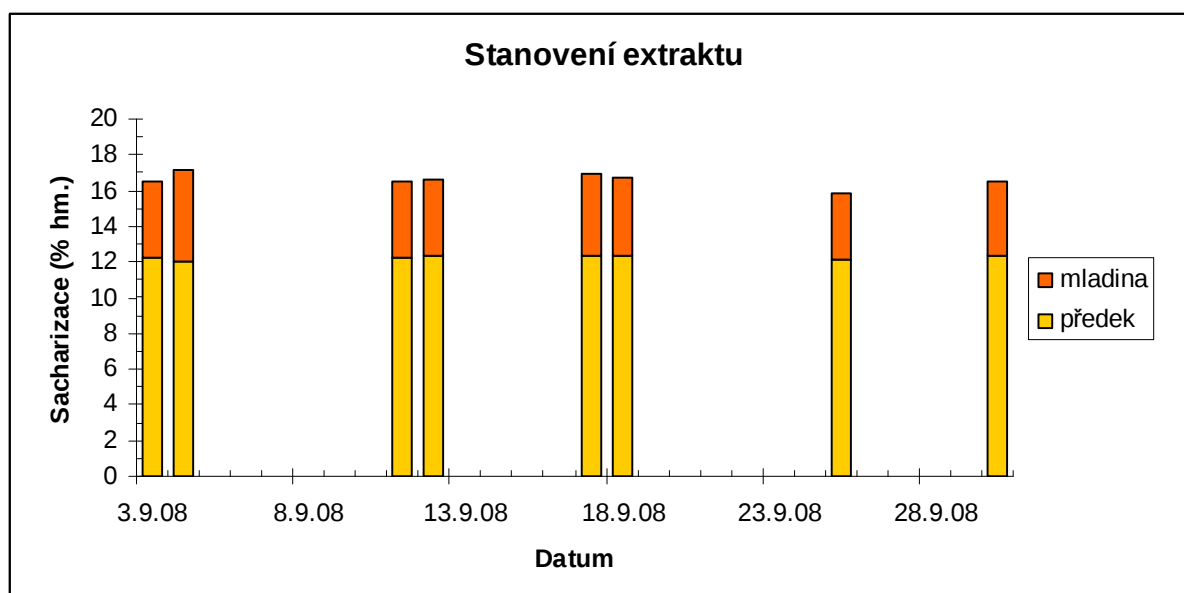
4.1.2 Stanovení extraktu sacharometricky

Vyhodnocení:

V tabulce č. 3 a grafu (obr. č. 5) jsou zaznamenány hodnoty sacharizace předku a mladiny za časové období 3. 9. až 30. 9. 2008. Získané hodnoty se výrazně neliší, podle čehož lze usuzovat na konstantní kvalitu sladu a dodržování rmutovacího a vyslazovacího postupu.

Tab. 3: Stanovení extraktu

Datum	Extrakt (% hm.)	
	předek	mladina
3.9.08	16,55	12,20
4.9.08	17,20	12,07
11.9.08	16,52	12,27
12.9.08	16,60	12,30
17.9.08	16,90	12,40
18.9.08	16,77	12,30
25.9.08	15,88	12,12
30.9.08	16,50	12,30
průměr	16,615	12,245



Obr. 5: Stanovení extraktu

4.2 Spilka

Mladina nepřichází na spilku sterilní. Možným zdrojem kontaminace je již mladinové potrubí a vzduch na provzdušnění mladiny. Kvašení probíhá v otevřených kvasných kádích, kde také hrozí riziko infekce cizími mikroorganismy, a to z várečných kvasnic nebo okolního vzduchu [20]. Je proto nutné sledovat výskyt cizích MO v kultuře kulturních kvasinek.

4.2.1 Stanovení MO

Vyhodnocení:

Stanovení cizích MO v kvasných kádích při hlavním kvašení bylo prováděno podle kap. 2.2.1. Mikroskopicky byl stanoven průměrný počet koků a tyčinek v zorném poli mikroskopu. V tabulce č. 4 jsou uvedeny průměrné počty sledovaných mikroorganismů. V žádné kvasné kádi nepřesahovala kontaminace přípustnou mez stanovenou Willovou stupnicí.

Tab. 4: Stanovení MO v kvasných kádích, měřeno 17. 9. 2008

Číslo kvasné kádě	Počet MO	
	Tyčinky	Koky
1	2	0
2	2	1
3	0	2
4	2	4
5	0	5
6	0	0
7	1	4
8	0	4
9	1	3
10	3	2
11	2	3

4.3 Sklep

Mladé pivo se může kontaminovat v potrubí, v ležáckých nádobách nebo ze vzduchu. Mikroorganismy mohou být přítomny již při sudování mladého piva [20]. Proto se v ležáckém sklepě také sleduje kontaminace cizími MO.

Dále se zjišťuje nasycení oxidem uhličitým. Při nižších hodnotách nasycení je třeba pivo dosytit při stáčení požadovaným množstvím CO₂.

4.3.1 Stanovení MO

Vyhodnocení:

Přítomnost nežádoucích mikroorganismů byla sledována mikroskopicky při zvětšení 40 x 12 v padesáti zorných polí. Průměrný počet mikroorganismů v jednom zorném poli byl porovnán s Willovou stupnicí (viz kap. 2.2.1) a výsledky byly shrnuty do tabulky č. 5. Počet tyčinek i koků lze v této stupnici zařadit do kategorie nepatrná infekce. Kontaminace cizími MO v ležáckém sklepě tedy nepřesahovala při daném měření přípustnou mez.

Tab. 5: Stanovení MO v tancích v ležáckém sklepě, měřeno 17. 9. 2008

Číslo tanku	Počet MO	
	Tyčinky	Koky
4	0	4
11	5	1
12	0	3
13	2	4
14	1	5
15	1	0
16	1	0
17	0	4
18	1	3
20	3	3
21	2	4
22	1	0

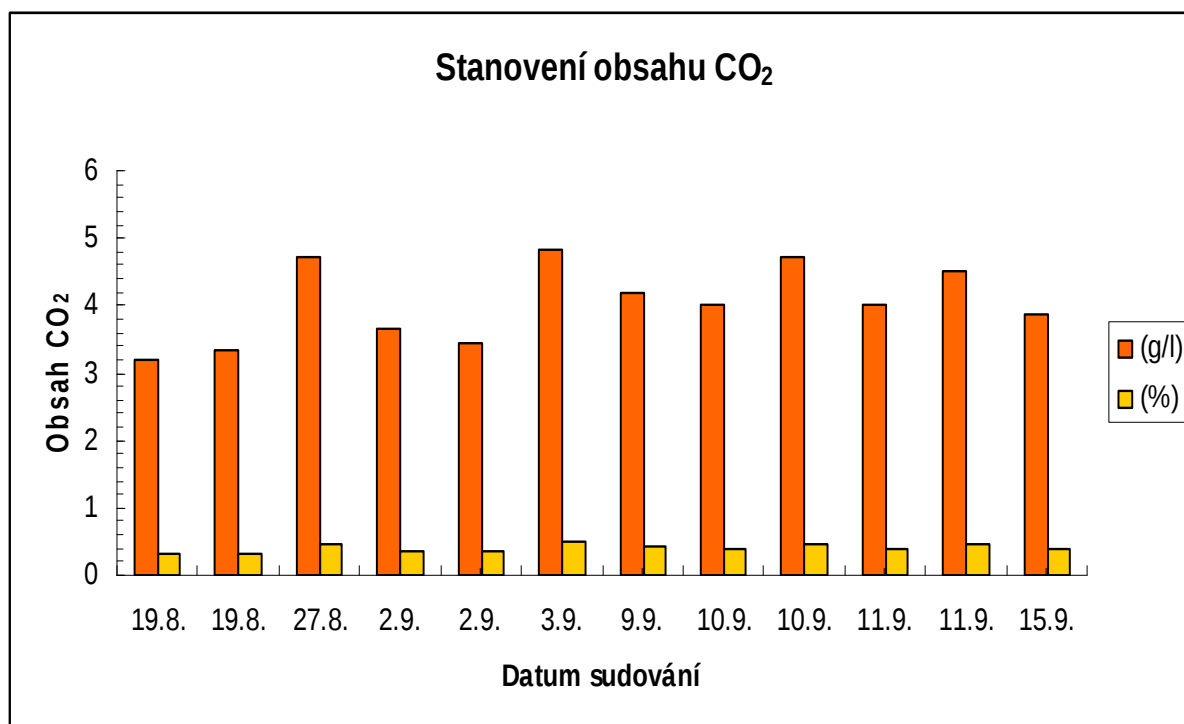
4.3.2 Stanovení CO₂

Vyhodnocení:

Měření obsahu CO₂ bylo provedeno ve 12 ležáckých tancích. Průměrná hodnota 0,4043 % odpovídá střednímu nasycení (viz kap. 3.2.2). Z tabulky č. 6 a obrázku č. 6 je patrné, že mezi jednotlivými tanky byly rozdíly v obsahu CO₂, žádná z hodnot ale neklesla pod 0,35 %. Lze tedy říct, že hodnoty odpovídají požadavkům na obsah oxidu uhličitýho.

Tabulka 6: Obsah CO₂ v tancích v ležáckém sklepe, měřeno 17. 9. 2008

Číslo tanku	Datum sudování	CO ₂ (g·l ⁻¹)	CO ₂ (%)
4	2.9.	3,66	0,366
11	10.9.	4,19	0,419
12	15.9.	3,88	0,388
13	3.9.	4,82	0,482
14	10.9.	4,01	0,401
15	10.9.	4,71	0,471
16	19.8.	3,20	0,320
17	2.9.	3,45	0,345
18	11.9.	4,01	0,401
20	11.9.	4,51	0,451
21	19.8.	3,35	0,335
22	27.8.	4,73	0,473
průměr		4,043	0,4043



Obr. 6: Stanovení obsahu CO₂

4.4 Výstupní kontrola

Pivo se stáčí do KEG sudů a PET lahví. U každého stáčení je provedena kontrola, jejímž výstupem je kontrolní list. Do listu se zapisuje pH a barva piva a subjektivně hodnocená chuť a pěnivost piva.

4.4.1 Stanovení pH

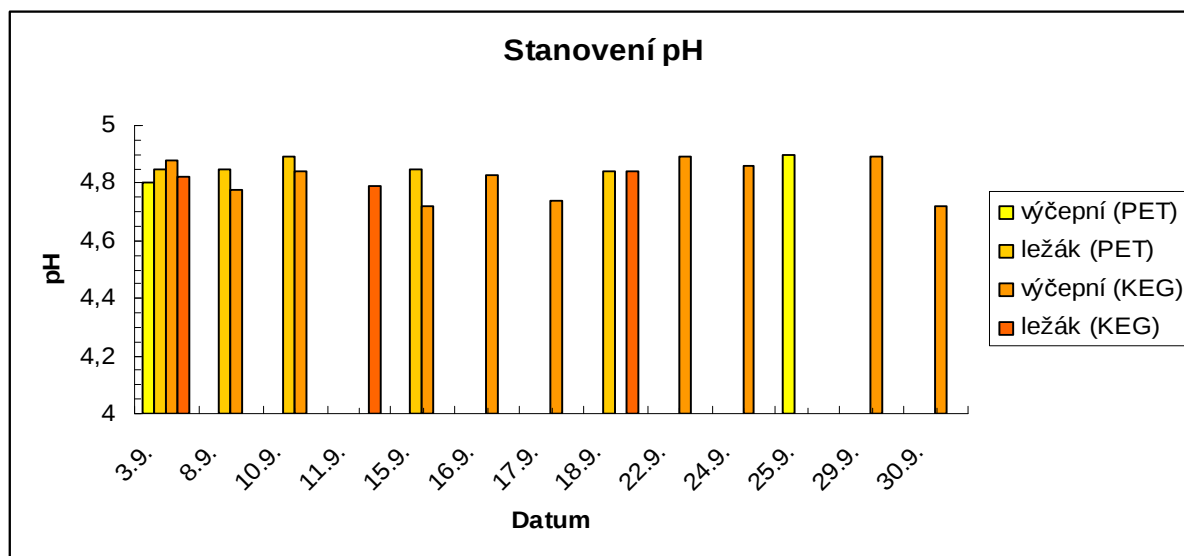
Přípustné pH hotového piva odpovídá hodnotám 4,0 až 4,9. Hodnoty mimo tento interval mohou ukazovat na vadu piva. Piva s nižším pH než 4 jsou chuťově kyselá. Nízké pH je důsledkem infekce octových bakterií [21].

Vyhodnocení:

Hodnota pH dosahovala průměrné hodnoty 4,829. Všechny hodnoty splňují zákonné požadavky (viz 3. 3. 1) a blíží se spíše k horní hranici. Výsledky jsou shrnuty v tabulce č. 7 a na obrázku č. 7.

Tabulka 7: Stanovení pH ve stáčeném produktu

Datum stáčení	výčepní (PET)	ležák (PET)	výčepní (KEG)	ležák (KEG)
3.9.	4,8	4,85	4,88	4,82
8.9.		4,85	4,78	
10.9.		4,89	4,84	
11.9.				4,79
15.9.		4,85	4,72	
16.9.			4,83	
17.9.			4,74	
18.9.		4,84		4,84
22.9.			4,89	
24.9.			4,86	
25.9.	4,9			
29.9.			4,89	
30.9.			4,72	
průměr	4,829			



Obr. 7: Stanovení pH ve stáčeném produktu

4.4.2 Stanovení barvy

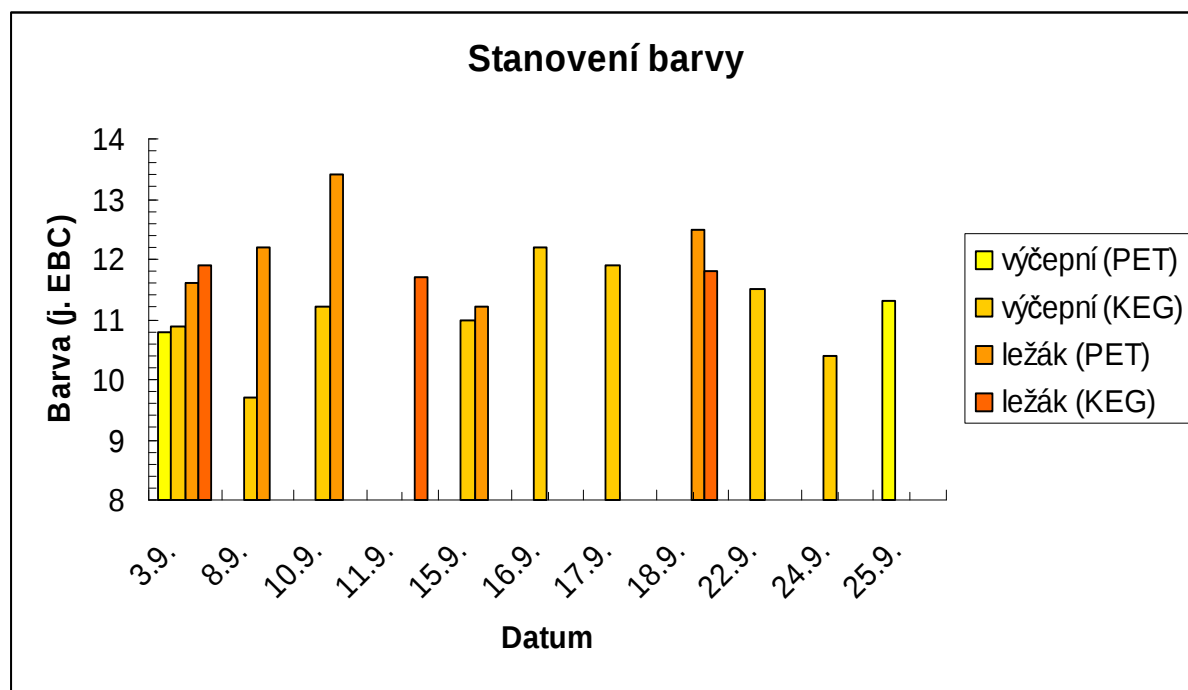
Barva piva ovlivňuje celkový dojem. Odlišují se podle ní tmavá a světlá piva. Rozdíly v odstínu se vyskytují i mezi jednotlivými značkami a proto je barva jednou z charakteristických vlastností piva [10].

Vyhodnocení:

Průměrná barva výčepního piva činila 11,09 j. EBC, ležáku 12,04 j. EBC. Tyto hodnoty barvy odpovídají požadavkům na světlá piva (viz. kap. 3.3.2). Z tabulky č. 8 a obrázku č. 8 je patrné, že hodnoty u výčepního piva kolísaly mezi 9,7 a 12,2 j. EBC, barva ležáku se pohybovala od 11,2 do 13,4 j. EBC.

Tabulka 8: Stanovení barvy ve stáčeném produktu:

Datum stáčení	výčepní (PET)	výčepní (KEG)	ležák (PET)	ležák (KEG)
3.9.	10,8	10,9	11,6	11,9
8.9.		9,7	12,2	
10.9.		11,2	13,4	
11.9.				11,7
15.9.		11,0	11,2	
16.9.		12,2		
17.9.		11,9		
18.9.			12,5	11,8
22.9.		11,5		
24.9.		10,4		
25.9.	11,3			
průměr	11,09		12,0375	



Obr. 8: Stanovení barvy ve stáčeném produktu

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vyhodnotit stálost sledovaných parametrů při výrobě a stáčení piva. Získané výsledky v průběhu sledování vybraných parametrů za období 1. 9. 2008 až 30. 9. 2008 vyhovovaly požadovaným hodnotám jak v meziprovozní kontrole, tak při kontrole hotového produktu.

Sledované parametry byly: sacharizace předku a mladiny, kontrola mikrobiologické kontaminace na spilce a ve sklepě, obsah CO₂ při dokvašování a u hotového produktu pH a barva.

Získané výsledky potvrdily jak kvalitu vstupních surovin, tak i dodržení technologických postupů.

6 ZDROJE

- [1] CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. 1. vyd. Praha : Grada Publihing, a. s., 2007. 208 s. ISBN 978-80-247-1616-9.
- [2] CICHÁ, Irena. *Pivovary Moravy a Slezska*. 1. vyd. Český Těšín : Region Silesia, s. r. o., 2002. 109 s. ISBN 80-238-9776-4.
- [3] BASAŘOVÁ, Gabriela, HLAVÁČEK, Ivo. *České pivo*. 1. vyd. Pacov : NUGA, nakladatelství a vydavatelství, 1998. 195 s. ISBN 80-85903-08-3.
- [4] *Historie pivovarnictví v České republice* [online]. 2007 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.svet-piva.cz/clanky/historie-pivovarnictvi.php>>.
- [5] JACKSON, Michael. *Encyklopedie piva*. Ladislav Šenkyřík. 1. vyd. Praha : VOLVOX GLOBATOR, 1994. 256 s. ISBN 80-85769-37-9.
- [6] *Český svaz pivovarů a sladoven* [online]. [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.cspas.cz/pivo.asp?lang=1>>.
- [7] VEČERKOVÁ, Hana, KISS, Jan. *Abeceda piva*. 1. vyd. Praha : Česká televize - Edice ČT, 2007. 216 s. ISBN 978-80-85005-86-8.
- [8] KOSAŘ, Karel, et al. *Technologie výroby sladu a piva*. 1. vyd. Praha : VÚPS a. s., 2000. 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [9] PROKEŠ, Josef, HELÁNOVÁ, Alena. Výsledky průzkumu jakosti ječmene sklizně 2008 v České republice podle odrůd a regionů. *Kvasný průmysl*. 2009, č. 2, s. 37-41.
- [10] BASAŘOVÁ, Gabriela, ČEPIČKA, Jaroslav. *Sladařství a pivovarství*. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1985. 256 s.
- [11] MIKYŠKA, Alexandr. Pivovarská hodnota českých a moravských chmelů ze sklizně 2008. *Kvasný průmysl*. 2009, č. 2, s. 30-36.
- [12] VESELÁ, Mária. *Praktikum z obecné mikrobiologie*. 3. vyd. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta chemická, 2004. 100 s. ISBN 80-214-2567-9.
- [13] ŠILHÁNKOVÁ, Ludmila. *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology*. 3. dopl. vyd. Praha : Academia, 2002. 363 s. ISBN 80-200-1024-6.
- [14] DANĚK, Josef, BROŽEK, Karel. *Technologie sladu a piva : pro 4. ročník středních průmyslových škol potravinářské technologie*. 3. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1980. 320 s.

- [15] ALFA LAVAL. Beer filtration: Top end beer from cross-flow filters. *Filtration & Separation* [online]. 2007, vol. 44, no. 2 [cit. 2009-05-03], s. 40-41. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VJM-4N9NM5X-12/2/f2e72616c68e55a78d105e4350c3fc18>>. ISSN 0015-1882.
- [16] *Radegast* [online]. [cit. 2009-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.radegast.cz/o-pivovaru/cash-and-carry/>>.
- [17] BASAŘOVÁ , Gabriela, et al. *Pivovarsko-sladařská analytika*. 2. vyd. Praha : Merkanta s. r. o., 1993. 3 sv. (388, 248, 332 s.).
- [18] Ochrana označení České pivo v Evropské unii přijata. *Kvasný průmysl*. 2008, č. 11-12, s. 148-351.
- [19] HLAVÁČEK, František, et al. *Pivovarské kvasnice*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1958. 184 s.
- [20] KOCKOVÁ-KRATOCHVÍLOVÁ, Anna, TOMÁŠEK, Karol, ONDRIŠEKOVÁ, Margita. *Biologická kontrola výroby piva a nealkoholických nápojov*. 1. vyd. Bratislava : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. 336 s.
- [21] *Slovník A-Z* [online]. 2008 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.agronavigator.cz/az/vis.aspx?id=92132>>.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky:

- Obr. 1: Vývoj produkce českého pivovarství v porovnání s počtem činných průmyslových pivovarů v letech 1950 - 2007 [6]
Obr. 2: Tvorba glukoso-6-fosfátu [8]
Obr. 3: Schéma alkoholového kvašení [8]
Obr. 4: Rmutování [8]
Obr. 5: Stanovení extraktu
Obr. 6: Stanovení obsahu CO₂
Obr. 7: Stanovení pH ve stáčeném produktu
Obr. 8: Stanovení barvy ve stáčeném produktu

Tabulky:

- Tab. 1: Optimální teploty a pH amylolytických enzymů [8]
Tab. 2: Willova stupnice [19]
Tab. 3: Stanovení extraktu
Tab. 4: Stanovení MO v kvasných kádích, měřeno 17. 9. 2008
Tab. 5: Stanovení MO v tancích v ležáckém sklepě, měřeno 17. 9. 2008
Tab. 6: Obsah CO₂ v tancích v ležáckém sklepě, měřeno 17. 9. 2008
Tab. 7: Stanovení pH ve stáčeném produktu
Tab. 8: Stanovení barvy ve stáčeném produktu

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ATP	adenosintrifosfát
CKT	cylindrickokónický tank
E	energie
EBC	European Brewery Convention
HGB	High Gravity Brewing
MO	mikroorganismus
NADH	redukováná forma nikotinamidadenindinukleotidu
PEN	polyethylennaftalát
PET	polyethylentereftalát
PJ	pasterační jednotka
PVPP	polyvinylpolypyrrolidon