

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Výroba nealkoholického piva v minipivovarech

Bakalářská práce

David Doubek

Kvalita produkce

Ing. Luboš Paznocht Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Výroba nealkoholického piva v minipivovarech“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Luboši Paznochtovi, Ph.D. a paní Ing. Daně Ondráškové za umožnění práce na tomto tématu, odborné vedení, dohled, trpělivost a cenné rady. Dále bych rád poděkovala celému kolektivu minipivovaru Hostivar za přátelskou atmosféru a své rodině za finanční a psychické zázemí a umožnění studovat.

Výroba nealkoholického piva v minipivovarech

Souhrn

Pivo je nejvíce konzumovaným alkoholickým nápojem na světě a třetím nejvíce oblíbeným nápojem po vodě a čaji. Zároveň je jedním z nejstarších kvašených nápojů civilizace, který dříve sloužil především k zajištění základních potřeb a s postupem času se stal nedílnou součástí našich jídelníčků. Díky nedostatku některých pivovarských surovin během 20. století a zpříšňování právních předpisů vznikl nový nápoj se sníženým obsahem alkoholu, nízkoalkoholické a následně nealkoholické pivo.

Základními surovinami pro výrobu piva je slad, chmel, voda a kvasnice. Slad je vyráběn z obilných zrn, především z ječmene a pšenice. Chmel se může využívat ve formě sušených šištic, granulovaných pelet nebo extraktu. Varní voda musí být upravena v závislosti na tvrdosti vody a obsahu kovů. Kvasnice se dělí do dvou skupin v důsledku jejich použití, na kvasnice spodního a svrchního kvašení. Jednotlivá kvašení se liší v rozmezí optimálních teplot kvašení a typů vařených piv.

Nealkoholické pivo musí splňovat předepsanou legislativu, která udává obsah alkoholu do 0,5 % obj. Takto vyrobený nápoj lze připravit dealkoholizací alkoholického produktu nebo přímým použitím specifických nebo jiných organismů za účelem produkce piv se sníženým obsahem alkoholu. Produkce nealkoholických piv zahrnuje velké množství metod, které mohou ovlivnit výslednou kvalitu produktu.

Analýza nealkoholického piva z minipivovaru Hostivar byla získána z tří odlišných vzorků, lišící se v závislosti na datu výroby. Analýza byla zaměřena především na měření obsahu alkoholu přístrojem Alcolyzer, ale také na zjištění hodnoty barvy, pH a obsahu iso- α -hořkých kyselin. Z výsledku vyplynula drobná odchylka v obsahu alkoholu od předepsané legislativy.

Klíčová slova: chmel, kvasnice, obsah alkoholu, stupeň prokvašení, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*, Fermentis LA - 01

Non-alcoholic beer craft in microbreweries

Summary

Beer is the most consumed alcoholic beverage in the world and the third most of popular beverage after water and tea. Also, it is one of the oldest fermented beverages of civilization, which was primarily used to provide basic needs and over time has become an integral part of our menus. Due to shortage of some brewing materials during the 20th century and the tightening of legal regulations risen a new drink with a reduced alcohol content, as low-alcoholic and subsequently non-alcoholic beer.

The basic raw materials for beer production are malt, hops, water and yeast. Malt is made from cereal grains, especially barley and wheat. Hops can be used in the form of dried cones, granular pellets or extract. Boiling water must be treated depending on the hardness of the water and the metal content. Yeast is divided into two groups due to their use, the yeast of lower and upper fermentation. Individual fermentations different in the range of optimal fermentation temperatures and types of brewed beers.

Non-alcoholic beer must comply with the prescribed legislation, which states an alcohol content of up to 0.5% by volume. The beverage produced in this way can be prepared by dealcoholization of an alcoholic product or direct use of specific or other organisms to produce beers with reduced alcohol content. The production of non-alcoholic beers involves a large number of methods that can affect the final quality of the product.

The analysis of non-alcoholic beer from the Hostivar microbrewery was obtained from three different samples, differing depending on the date of production. The analysis was focused mainly on measuring the alcohol content with the Alcolyzer device, but also on determining the color value, pH and iso- α -acid content. The result showed a slight deviation in the alcohol content from the prescribed legislation.

Keywords: hop, yeast, volume of alcohol, degree of fermentation, *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*, Fermentis LA - 01

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Pivo	10
3.1.1 Rozdělení piva.....	10
3.1.2 Nealkoholická a nízkoalkoholická piva	11
3.1.3 Legislativa nealkoholického piva	11
3.2 Historie piva	12
3.3 Sladařské a pivovarské suroviny.....	12
3.3.1 Kvalita sladovnického ječmene a výroba sladu	12
3.3.1.1 Sladování.....	13
3.3.2 Chmel.....	15
3.3.3 Pivovarské kvasnice	16
3.3.4 Voda.....	16
3.3.5 Surogáty.....	17
3.4 Výroba piva	17
3.4.1 Výroba sladiny a mladiny	17
3.4.1.1 Šrotování.....	18
3.4.1.2 Vystírání a rmutování.....	18
3.4.1.3 Scezování sladiny	19
3.4.1.4 Chmelovar.....	19
3.4.1.5 Chlazení mladiny.....	19
3.4.2 Kvašení a zrání piva.....	20
3.4.2.1 Hlavní kvašení	20
3.4.2.2 Dokvašování piva	20
3.4.3 Filtrace, pasterace, balení.....	21
3.5 Metody produkce piv se sníženým obsahem alkoholu	21
3.5.1 Úprava biologických procesů	21
3.5.1.1 Použití specifických sladů s nepatrnou aktivitou β -amylázy a úpravou rmutovacího postupu	21
3.5.1.2 Zastavení nebo omezení fermentace	22
3.5.2 Použití specifických kvasnic nebo jiných mikroorganismů	22
3.5.2.1 Geneticky modifikované mikroorganismy	22

3.5.2.2	Použití odlišných kmenů <i>Saccharomyces</i>	23
3.5.2.3	Produkce pomocí specifických mikroorganismů.....	23
3.5.2.4	Imobilizace kvasinek (kontinuální fermentace)	24
3.5.3	Dealkoholizace za využití termálních procesů	25
3.5.3.1	Odpaření alkoholu.....	25
3.5.3.2	Odpaření alkoholu s klesajícím filmem	25
3.5.3.3	Tenkvrstvé odstředování	26
3.5.3.4	Vakuová destilace alkoholu.....	27
3.5.4	Membránové separační procesy	28
3.5.4.1	Reverzní osmóza	28
3.5.4.2	Dialýza	29
3.5.4.3	Osmotická destilace	30
3.5.4.4	Nanofiltrace.....	30
3.5.4.5	Pervaporace	30
3.6	Sloučeniny podílející se na stabilitě a kvalitě piva.....	30
3.7	Senzorické vady.....	31
3.7.1	Vznik nežádoucích příchutí	31
3.8	Zdravotní účinky.....	32
4	Materiál a metody	33
4.1	Popis použitých vzorků	33
4.2	Příprava vzorku	33
4.3	Analýza vzorků	34
4.3.1	Analyzátor alkoholických nápojů	34
4.3.2	Stanovení hořkých látek	34
5	Výsledky	34
6	Diskuze	36
7	Závěr	37
8	Literatura.....	38
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	43
10	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Pivem se rozumí pěnivý nápoj, který byl vyroben zkvašením mladiny připravené ze sladu, vody, chmele nebo chmelových výrobků a po kvasném procesu obsahuje ethanol, oxid uhličitý a určité množství neprokvašeného extraktu (Mezerová 2017).

Na základě archeologických nálezů je za zemi původu považována Mezopotámie, kde bylo vařeno již v období 4000 až 3000 let před naším letopočtem. Existuje mnoho teorií, které se přou o vzniku tohoto nápoje. Jedna z hypotéz například tvrdí, že zapomenutá kaše na dešti a následně slunci samovolně zkvasila. Na českém území se datuje první výroba piva v pivovaru pod Vyšehradem rokem 1088. Nejznámějším a v podstatě dosud funkčním zákonem je Reinheitsgebot takzvaný „Zákon o čistotě piva“ z roku 1516. Podle tohoto zákona bylo možné vyrábět pivo pouze ze sladu, chmele, vody a kvasnic (Chládek 2007).

Nápoj na bázi nealkoholického piva se v České republice začal poprvé vařit pivovarem Pito v roce 1975, kterým byly uvařeny pouze tři tisíce hektolitrů. Vznik Pita reagoval na zvyšující se počet automobilů, a tudíž vznikl název kombinací slov pivo a auto. Toto pivo bylo vyráběno způsobem zastavení fermentace, proto jeho sensorický profil připomínal především mladé pivo (Cuřín 1976). V následujících letech byla kvalita nealkoholického piva zlepšená a v roce 2016 bylo pivovary vyrobeno 550 tisíc hektolitrů. V průzkumu z roku 2018 činil prodej nealkoholického piva 755 milionů korun. Nejoblíbenějšími pivy byly značky Birell s příchutěmi („Český statistický úřad | ČSÚ“ n.d.).

Výroba piva se sníženým obsahem alkoholu je rychle rostoucím segmentem na globálním trhu s potravinami. Při vaření se nejvíce používají ječné slady, ale v menší míře také pšenice, rýže, žito, oves a kukuřice. Pšenice a oves se běžně používají jako suroviny schopné podporovat stabilitu pěny (Humia et al. 2019). Vzhledem k celosvětově rozšiřujícímu trendu zdravého životního stylu se v posledním desetiletí vyvinul trh speciálních piv, který nabízí další vlastnosti, jako jsou nové příchutě nebo dostupnost pro zdravotně omezené jedince. Pivovary musí držet krok se zájmy a potřebami spotřebitelů při výrobě nových piv a přizusobit se jim zdokonalováním technologie za účelem minimalizace obsahu alkoholu ve svých produktech (da Costa Jardim et al. 2018).

V posledním desetiletí zároveň vzrostl celosvětový zájem spotřebitelů o řemeslná piva, zejména nepasterizovaná a nefiltrovaná, které mají odlišné sensorické kvality oproti pivům průmyslovým. Souběžně s poptávkou po řemeslných pivech vzrostl zájem o lokální výrobky a suroviny. V dnešní době je o nealkoholická piva na trhu nebývá zájem, který se vyvinul hlavně díky spotřebitelské poptávce (sportovci, řidiči, matky atd.) (Salanță et al. 2020).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce na téma „Výroba nealkoholického piva v minipivovarech“ bylo:

1. Zpracovat literární rešerši pojednávající o možných technologických postupech výroby nealkoholického piva.
2. Prakticky se zaměřit na problematiku výroby nealkoholického piva v rámci spolupráce s minipivovarem Hostivar v Praze – Hostivaři. Sledovat průběh výrobního procesu nealkoholického piva při užití speciálního kmenu kvasnic *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri* (Fermentis LA – 01).
3. Získané výsledky přehledně zpracovat a na jejich základě vyhodnotit vhodnost užití zvoleného kmenu kvasnic pro výrobu nealkoholického piva v minipivovaru Hostivar.

3 Literární rešerše

3.1 Pivo

Pivo je nápoj s nízkým obsahem alkoholu, který se vyrábí z obilných sladů, chmele nebo chmelových výrobků, vody a pivovarských kvasinek procesem zvaným kvašení. Existuje enormní počet druhů a stylů piva, rozdíl je dán především způsobem kvašení (Chládek 2007).

3.1.1 Rozdělení piva

Dle kvašení je nápoj rozdělován do tří skupin na piva svrchně, spodně a spontánně kvašená. Kvasinky pro jednotlivé druhy se liší genetickou výbavou a podmínkami ve kterých nejlépe kvasí (Mezerová 2017).

Spodně kvašená piva jsou nejrozšířenější skupinou vyráběných piv v České republice. K jejich výrobě se využívají kvasinky spodního typu kvašení (*Saccharomyces carlsbergensis*), které prokváší při teplotách od 8 °C do 14 °C. Po ukončení kvašení dochází k sedimentaci kvasinek na dno kádě. Mezi spodně kvašená piva se řadí různé typy ležáků, mnichovské a vídeňské typy. Pro výrobu svrchně kvašených piv se využívají kvasinky svrchního kvašení (*Saccharomyces cerevisiae* var. *cerevisiae*), které mají teplotní optimum 18-22 °C. Po ukončení kvašení je na povrchu díla vytvořena kvasná deka, do které prostoupily kvasnice. Po načepování bývá pěna nízká a rychle padá. Nejnámější typ je Ale, který má velké množství druhů. Tato piva jsou nejvíce rozšířena v Americe a Anglii. Poměrně dost rozšířena jsou také piva typu Stout, Porter a pšeničná (Chládek 2007). Spontánně kvašená piva jsou vyráběna za použití divokých kvasinek obsažených ve vzduchu a těmi, co zbyly po předchozí várce. Jakýkoliv zásah může vést ke změně mikroflóry v prostředí a úpravě konečného výrobku. Jedná se o historicky nejstarší způsob produkce piva. V dnešní době jsou nejvíce rozšířena v Belgii, v oblasti Pajottenland. Příkladem jsou piva typu Lambic nebo Kriek (Mezerová 2017).

Piva lze rozdělit v závislosti na obsahu extraktu původní mladiny (EPM). Extrakt původní mladiny je definován jako množství látek ze sladu a chmele, které se při vaření piva dostane do mladiny. Podle legislativy v České republice se EPM zaokrouhluje vždy směrem dolů. Dle legislativy (tab. č. 1) rozlišujeme piva stolní, výčepní, ležáky, silná a plná (Mezerová 2017).

Tab. č. 1: Členění piva dle vyhlášky č. 248/2018 Sb. (248/2018 Sb. Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí 2021)

Název	Parametry
Nealkoholické pivo	S obsahem alkoholu nejvýše 0,5 % obj.
Nízkoalkoholické pivo	S obsahem alkoholu více než 0,5 % a nejvýše 1,2 % obj.
Stolní pivo	S extraktem původní mladiny do 6 % hmot.
Výčepní pivo	S extraktem původní mladiny 7 až 10 % hmot.
Ležák	Spodně kvašené pivo s extraktem původní mladiny 11 až 12 % hmot.
Plné pivo	Svrchně kvašené pivo s extraktem původní mladiny 11 až 12 % hmot.
Silné pivo	S extraktem původní mladiny 13 % hmot. a více

Členění podle barvy piva závisí zejména na druhu použitého sladu. Pro piva světlá se využívají světlé slady, především Plzeňský, u polotmavých typ je část světlého sladu nahrazena tmavším Mnichovským, pro tmavá piva je typické použití karamelových a barvicích sladů (Chládek 2007).

3.1.2 Nealkoholická a nízkoalkoholická piva

Odlišení nealkoholického a nízkoalkoholického piva není ve světě jednotné. Ke sjednocení došlo pouze v zemích Evropské unie, kde je pivo označováno jako nealkoholické, pokud je obsah alkoholu nejvýše 0,5 % obj. a za nízkoalkoholické s obsahem alkoholu od 0,6 % do 1,2 % obj. V USA a Kanadě musí být výrobky s obsahem alkoholu pod 0,5 % obj. označovány jako lehký sladový nápoj (Basařová 2010).

Nízkoalkoholická piva jsou produkována limitovanou fermentací často charakterizované jako sladké a odlišné chuti, které obvykle nemají společné rysy jako piva alkoholická. Ovocné chuťové vlastnosti mohou být u některých konzumentů benefitem ve srovnání s typickými alkoholickými pivy (Salanță et al. 2020). Nízkoalkoholická piva mohou obsahovat maximálně 1,2 % obj. alkoholu. Tato piva mohou být známá jako „piva s nulovým obsahem alkoholu“ (Sohrabvandi et al. 2010).

Spotřebitel u nealkoholického piva většinou očekává podobné sensorické vlastnosti jako u piva alkoholického, mezi které patří barva, pěna, chuť, aroma a pocit během konzumace. Některé z těchto sensorických vlastností jsou mimo sládkovu kontrolu, avšak jsou přímo ovlivňované vařením piva a skladovacím procesem. Nealkoholická piva by měla být co nejvíce podobná obvyklému pivu, ale proces dealkoholizace dává těmto pivům odlišnou chuť a celkově odlišné sensorické vlastnosti (Salanță et al. 2020).

V posledních letech došlo ke zvýšení podílu nízkoalkoholických a nealkoholických piv na trhu. Na současnou rostoucí poptávku po nízko a nealkoholických pivech lze pohlížet z mnoha hledisek, jako je zdraví, bezpečnost na pracovišti a silničního provozu. Existují země, kde je konzumace alkoholu zcela zakázána. Piva bez alkoholu se doporučují lidem s onemocněním jater a kardiovaskulárního systému na rozdíl od piv alkoholických (Sohrabvandi et al. 2010).

3.1.3 Legislativa nealkoholického piva

V České republice je nealkoholické pivo legislativně řízeno pomocí zákonu č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích, který je dále upraven vyhláškou č. 248/2018 Sb. o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Pro účely vyhlášky se rozumí pivem pěnivý nápoj vyrobený zakvašením mladiny připravené ze sladu, vody, neupraveného chmele, upraveného chmele nebo chmelových výrobků, který kromě vzniklého ethanolu a oxidu uhličitého během kvasného procesu obsahuje určité množství neprokvašeného extraktu. Slad lze nejvýše z jedné třetiny hmotnosti celkového extraktu původní mladiny nahradit extraktem cukru, obilného škrobu nebo rýže (Vyhláška č. 248/2018 Sb. 2018).

3.2 Historie piva

Výroba piva se datuje do období, kdy lidé přestali vést kočovný život a začali se usazovat a cíleně pěstovat obilniny pro svou obživu (Chládek 2007). Podle dochovaných dokumentů se v některých zemích jako byly Egypt, Řím, Čína, Indie a Írán průmyslově vyráběly četné druhy pív a pivních nápojů z různých zrn (Sohrabvandi et al. 2010).

Prohibice v letech 1920 až 1933 v USA se zasloužila o rozvoj výroby pív s nízkým obsahem alkoholu. V těchto letech bylo zakázáno americkým pivovarům vařit pivo, proto zaměřily své úsilí na odlišné produkty, které se vyráběly za využití totožné technologie. Mezi produkty, které pivovary v té době vyráběly, patřila barviva, sladové výtažky a sladový nápoj nazývaný „near beer“, který obsahoval méně než 0,5 % obj. alkoholu (Bamforth 2006). Současně s obdobím severoamerického zákazu došlo ke snížení produkce obilovin na evropském trhu v důsledku změn způsobených první světovou válkou. Nedostatek obilovin v Evropě vedl kromě produkce pív s nižším obsahem alkoholu také k nižší dostupnosti základních potravin jako je například pečivo (Briggs et al. 2004).

V průběhu dalších let však vedla vzrůstající konzumace alkoholu ke zvýšení zdravotních problémů a zprísnění norem omezujících konzumaci alkoholu. V důsledku restrikcí vrostla spotřeba nealkoholických pív po celém světě a v roce 2010 dosáhla 10% podílu z celkového trhu piva (de Gaetano et al. 2016).

3.3 Sladařské a pivovarské suroviny

Pro výrobu sladu jsou základními surovinami ječmen a voda, pro výrobu piva je to navíc chmel, chmelové výrobky, voda, kvasnice a případně náhražky sladu (Basařová 2010).

3.3.1 Kvalita sladovnického ječmene a výroba sladu

Slad se vyrábí z vybraných obilných zrn, především ze sladovnického dvouřadého ječmene nebo z pšenice. Pro výrobu sladu se na území České republiky pěstují vybrané odrůdy jarního dvouřadého ječmene např. Forum, Jubilant nebo Rubín (Chládek 2007). Ječmen (rod *Hordeum*) patří do říše rostlin, oddělení semenných (*Spermatophyta*), pododdělení krytosemenných (*Angiospermae*), třídy jednoděložných (*Monocotyledonae*), čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Hlavní skupinu sladovnických ječmenů tvoří ječmeny dvouřadé nicí (*Hordeum distichum* var. *nutans*) (Basařová 2015).

Endosperm ječné obilky je hlavním zdrojem zásobních sacharidů, bílkovin a dalších složek, nutných pro správný průběh sladovacího procesu. Podle poměru podílu škrobu v endospermu k jiným látkám, především bílkovinám, se určuje sklovitost a moučnatost zrna. Vyšší podíl škrobu je důležitý pro docílení optimální moučnatosti. S postupujícím klíčením se složení endospermu mění v závislosti na biologických a chemických pochodech (Kunze 2016). Dle norem má být zrno sladovnického ječmene nejméně mechanicky poškozeno, proto je zrno udržováno při vlhkosti 15-16 %, kdy dochází k nejmenšímu mechanickému

poškození (Černý et al. 2007). Obsah škrobu je závislý na obsahu bílkovin v zrně a u kvalitních ječmenů by se měl pohybovat okolo 63-64 % v sušině. Škrobová složka je především nositelem extraktivnosti sladu. Obsah dusíkatých látek se v sušině ječmene pohybuje od 8 do 13,5 %, pro sladařské účely se přijímá ječmen s 9 až 11,5 % bílkovin (Basařová 2015). Důležitou složkou ze sladařského hlediska jsou enzymy v zrně. Sklizený sladovnický ječmen obsahuje velké množství enzymů, které mají klíčovou úlohu ve všech fázích vývoje zrna v celém sladařsko-pivovarském procesu. Ječmen ihned po sklizni není schopen klíčit a po dobu několika týdnů posklizňově fyziologicky dozrává, tj. dormance ječmene (Kosař 2000).

Při klíčení sladu působí nejvíce enzymy oxidoreduktasy a transferasy. Ze sladařského i pivovarského hlediska jsou nejdůležitější enzymy hydrolasy. Z hlediska legislativy musí být slad zdravý, vyzrálý, bez škůdců a cizích pachů a nesmí obsahovat plesnivá zrna a cizorodé látky, kterými jsou látky aditivní, kontaminující a rezidua cizorodých látek. Největší skupinu těchto látek tvoří rezidua pesticidů (Basařová 2010).

3.3.1.1 Sladování

Proces sladování se skládá ze tří základních kroků: máčení, klíčení a hvozdění. Před máčením je ječmen očištěn a poté rozdělen v závislosti na šířce zrna (Mulder 2005). V první fázi máčení, zrna pohlcují vodu a hydratují embryo a endosperm. Ve druhé fázi dochází ke klíčení, aktivaci enzymů a rozvíjení embrya. V závěrečné fázi hvozdění je růst obilky zastaven v pecích, kde dochází k vysušení zrna na nízkou vlhkost (MacLeod & Evans 2016). Po hvozdění se slad vyčistí a je smíchán s odlišným sladem, tak aby vyhovoval specifickým požadavkům zákazníků, a následně je skladován (Mulder 2005).

Před sladováním musí být surový ječmen vyčištěn od nežádoucích příměsí, kterými jsou kovy, úlomky zrn, cizí zrna a další nečistoty. Zrna nejdříve procházejí přes magnet, kde dochází k odstranění kovových částí, odsátí plev, prachu a ostatních lehkých nečistot. Vyčištěný ječmen poté prochází přes síta, která zadržují kukuřici a jiná velká semena, malá semena jsou následně oddělena na jiném sítu (Mulder 2005).

Třídění ječmene podle velikosti zrn má vysoký technologický význam pro docílení jednotného máčení, klíčení a získání dokonale homogenního sladu (Kosař 2000).

Třídíče zrna se rozdělují na základě velikosti zrn na I. a II. třídu:

- I. třída – velikost zrn nad 2,5 mm (prima)
- II. třída – velikost zrna 2,2 – 2,5 mm (sekunda)

Propad (zadina) – obsahuje zrna pod 2,2 mm a jiné příměsi, které nebyly odstraněny při čištění, využívá se jako krmivo (Kunze 2016).

Po vyčištění a vytrídění je ječmen uložen na půdách nebo na podlahových skladištích, kterými jsou sýpky a sila. Sklady musí být aktivně větrány, aby byla zachována jeho kvalita pro další zpracování. Skladovaný ječmen nesmí mít obsah vody vyšší než 14 %, protože tato hodnota představuje kritický bod, při kterém se uvedou do pochodu biochemické reakce.

Čerstvě sklizené a odleželé zrna dýchá a dochází k produkci oxidu uhličitého a vody. Část vodních par kondenzuje a usazuje se na povrchu zrna v podobě kapiček. Obilky, u kterých došlo k mechanickému poškození, představují rizikový prostor pro růst plísní (Kosař 2000).

Základním vybavením máčírny je náduvník s kónickým dnem. Nad namáčecím náduvníkem je zabudován zásobní koš, do něhož je připraven vytříděný a odvážený ječmen k namočení. Spodní kónická část musí být vybavena vzduchovými průduchy, kterými je zajištěn přívod stlačeného vzduchu. Cílem provzdušňování během ponoření je udržování kyslíku na 0,0005 – 0,0008 % a minimalizování rizika „udušení“ zrna, které může vést k poškození nebo umrtvení embrya zrna (Mulder 2005).

Vyčištěný tříděný ječmen je ze skladu přesunut do máčírny a ponořován do vody, díky čemuž dochází ke zvýšení obsahu vlhkosti na 42–47 % což umožní zrna vyklíčit. Tento proces také zaručí odstranění splavků a lehkých nečistot, umyje zrna a ze zrna vyloučí nežádoucí látky. Embryo zrna je primární živou částí zrna, které nasává vodu. Cílem máčení je dosažení rychlého a rovnoměrného příjmu vody a kyslíku za účelem stimulace embrya k dýchání a zahájení enzymatické aktivity. Dýcháním dochází k produkci oxidu uhličitého a tepla (MacLeod & Evans 2016). Vyprání ječmene je technologicky velmi významným dějem, neboť se z obilky vyloučí barevné a hořké látky, kyselina křemičitá a bílkoviny z pluch. Tyto látky jsou nežádoucí, jelikož zhoršují sensorické vlastnosti piva a podporují tvorbu zákalu piva (Kosař 2000).

Klíčení je fyziologický proces, při kterém se v zárodečné části zrna vyvíjí zárodky kořínků za využití zásobních látek endospermu. Klíčení trvá obvykle 5 dní, během kterých je regulována teplota mezi 14 až 18 °C, obsah vody je udržován v závislosti na požadovaném výsledném produktu. Klasický slad plzeňského typu obsahuje během klíčení 43–45 % vody, při výrobě tmavého (bavorského) sladu se obsah vody udržuje na 48 %. Konečným produktem fáze klíčení je tzv. zelený slad (Kunze 2016).

Cílem sladařského klíčení je aktivace a syntéza enzymů a docílení požadovaného rozluštění zrna při minimálních nákladech a sladovacích ztrátách. Ze sladařského i pivovarského hlediska jsou nejdůležitější enzymy hydrolasy. (Basařová 2015). Rozluštěním se rozumí rozrušení buněčných stěn endospermu, následné rozštěpení škrobových zrn a solubilizace uloženého dusíku (MacLeod & Evans 2016). Při klíčení sladu působí nejvíce enzymy oxidoreduktasy a transferasy.

Namočené zrna ječmene se přenáší do klíčících nádob jako tzv. mokrá hromada. V minulosti se klíčení provádělo rozšířením zrna v místnosti s podlahou z hlazeného betonu, kterou lze snadno omývat a dezinfikovat, tzv. humna. Některé sladovny využívají tento postup klíčení dodnes, je vhodný především k výrobě sladu pro produkci jednosladových whisky nebo řemeslného piva. V humnových sladovnách se mokré hromady obracely ručně tzv. vidrováním pomocí sladovnické lopaty, kterou byla zajištěna cirkulace čerstvého vzduchu a zabránění přehřátí. Dnes je vidrování zajištěno pomocí maltomobilů nebo širokozáběrových obracečů (MacLeod & Evans 2016).

V dnešní době se klíčení provádí v pneumatických sladovadlech, které jsou bubnová nebo skříňová. V bubnových sladovadlech se zrna pomalu převrací a tím se zabráni

poškození růstu kořenů. Bubnová sladovadla mají vysokou pořizovací cenu a omezenou kapacitu. Nejvíce rozšířenou technologií je Saladinova skříň, která je vybavena vlastním ventilátorem, chladicí a klimatizační jednotkou a obračečem (Swanston et al. 2014).

Po vyklíčení se zelený slad suší v peci do snížení obsahu vlhkosti na 4-5 % po dobu 24 hodin, která stabilizuje enzymy produkované během prvních dvou fází sladování a umožňuje bezpečné skladování sladu. Cílem hvozďení je zastavení enzymatických pochodů a vytvoření chuťových, barevných a oxidoredukčních látek, které tvoří charakter sladu (Mulder 2005).

Hvozďení je rozdělováno na tři fáze:

1. Růstová fáze – dochází k rychlému úbytku vody až do 25 % při nízkých teplotách vstupujícího vzduchu do 40 °C (MacLeod & Evans 2016). Tyto podmínky jsou příznivé pro finální rozluštění zrna (Kunze 2016).
2. Enzymová fáze – během této fáze se po několik hodin pomalu zvyšuje teplota až do poklesu obsahu vody na 12 % při teplotách 40-60 °C (MacLeod & Evans 2016). Dochází k zastavení růstu kořínků, ale v zrně dále pokračují enzymatické reakce, především amylolytické, proteolytické a v menší míře cytolytické (Basařová 2015).
3. Chemická fáze – obsah vody je snížen na 4 % při teplotách vzduchu 80 °C, při kterých probíhají chemické reakce k tvorbě barevných, chuťových látek a zastavují se enzymatické reakce (MacLeod & Evans 2016).

Jakmile je hvozďení dokončeno, odstraní se malé kořínky a nevyklíčená zrna. Odstranění kořínků je důležité z důvodu negativní svíravé chutě. Odstraněné kořínky jsou dále využívány jako krmivo. Pohyb sladu by měl být minimalizován a rychlost dopravy optimalizována tak, aby byla snížena možnost poškození (MacLeod & Evans 2016).

3.3.2 Chmel

Chmel je jedna ze tří základních surovin pro výrobu piva, jedná se o usušené chmelové hlávky samičích rostlin chmele evropského (*Humulus lupulus var. europeus*) z čeledi konopovitých (*Cannabaceae*) (Chládek 2007). Chmel je rostlina vlhkomilná, pro jeho pěstování jsou vhodné hlinité až jílovito-hlinité půdy. Půdy v chmelařských oblastech obsahují vyšší obsah železnatých sloučenin, které způsobují typické červené zbarvení. Sklizený chmel obsahuje 72-82 % vody, suší se při 50 °C proudem vzduchu do docílení maximální vlhkosti 8 %. Skladuje se na půdách, kde je chmelem přijímána vzdušná vlhkost a tím stoupá obsah vody ve chmelu na 11 %, následně se třídí a lisuje (Chládek 2007).

Chmel a vyrobené přípravky z této suroviny jsou doposud nenahraditelnou surovinou poskytující pivu typickou hořkost a aroma odlišující jej od jiných alkoholických a nealkoholických nápojů. Technologie a kvalitativní kritéria piva jsou chmelem rovněž ovlivněny. Nejdůležitějšími složkami chmele jsou chmelové pryskyřice, polyfenoly a silice. Nositelem hořkosti jsou chmelové pryskyřice složené z řady chemicky podobných sloučenin, z nichž nejvýrazněji ovlivňují hořkost produkty izomerie α -hořkých kyselin (Basařová 2010).

Chmelové produkty lze rozdělit do tří skupin podle způsobu výroby:

Chmelové přípravky vyrobené mechanickou úpravou hlávkového chmele – do této skupiny jsou zahrnuty mleté a granulované šišťice chmele. Takto zpracované hlávky jsou označovány jako chmelové pelety, které jsou nejčastěji používány v pivovarech a tvoří téměř 60 % z celkového využití chmele na světě (Roberts 2016).

Přípravky vyrobené extrakcí hlávkového chmele zahrnují chmelové extrakty vyráběné za použití organických rozpouštědel. V nynější době jsou využívána pouze dvě rozpouštědla, mezi která patří oxid uhličitý a ethanol (Roberts 2016).

Výrobky získávané chemickými úpravami jsou speciální isoextrakty. Proces zahrnuje přidání hořčnatých solí za alkalických podmínek a za zvýšené teploty, během které dochází k převádění α -hořkých kyselin na iso- α -hořké kyseliny. Takto upravený výrobek zajišťuje vyšší výtěžnost iso- α -hořkých kyselin, ale absenci významných složek chmele, kterými jsou měkké pryskyřice (zahrnující α , β hořké kyseliny a dosud nespecifikované pryskyřice), polyfenoly a silice (Roberts 2016).

Nejčastěji jsou využívány pelety typu 90, ve kterých byly odstraněny cizorodé látky a snížen obsah vody pod 10 %. Chmel se následně rozemele pomocí kladivového mlýnu a vzniklý prášek se vtlačí do otvoru o průměru 6,6 mm. Pelety jsou baleny do vaku (Srečec et al. 2009).

3.3.3 Pivovarské kvasnice

Pivovarské kvasinky se zařazují mezi jednobuněčné houby (*Fungi*), a to ke třídám *Ascomycetes*, tj. k houbám vřekovýtrusným do čeledi *Saccharomycetaceae* a rodu *Sacharomyces* (Tvrdouš 1978). V závislosti na použitém druhu kvasnic rozlišujeme piva na hlavní dvě skupiny. K výrobě piv typu Ale se využívají kvasnice svrchního kvašení, které kvasí při teplotách od 20 °C do 25 °C, po kterém následuje pouze krátké období zrání piva. Naproti tomu piva ležáckého typu se vyrábějí pomocí kvasnic spodního kvašení, které kvasí při nižších teplotách od 8 °C do 15 °C a poté se podrobí delší době zrání (Kodama et al. 2006).

3.3.4 Voda

Voda je vedle chmele, sladu a kvasnic základní surovinou pro výrobu piva (Chládek 2007). Pivo je tvořeno až z 90 % vodou, proto je nutné, aby byla zajištěna dostatečná kvalita této vody (Eumann 2006). Velmi důležitý iont ve varné vodě je vápník, který snižuje pH mladiny, zvyšuje účinnost rmutování, redukuje tvorbu zákalu a podporuje působení kvasinek (Šemík 2002). Optimální pH pro činnost enzymů je 5,2-5,4 (Eumann 2006).

Voda v pivovaru se dělí do tří skupin podle účelu použití:

Varní voda se používá jako jedna ze základních surovin pro výrobu piva. Svými vlastnostmi musí splňovat požadavky na pitnou vodu, především z hygienického a zdravotního hlediska. Biologické a fyzikálně-chemické vlastnosti ovlivňují průběh přípravy, kvalitu i specifické vlastnosti určité značky piva (Basařová 2010). Mýcí a sterilační voda nesmí obsahovat chemické kontaminanty, mikroorganismy a nesmí zapáchat. Vodu pro výplach

a sterilaci se doporučuje chlorovat. Provozní voda musí odpovídat standardům a předepsané potravinářské kvalitě (Basařová 2010). U vody využívané při chlazení se upravuje chemické složení i mikrobiologická čistota. Voda používaná pro přípravu mycích roztoků by měla mít nízký obsah anorganických iontů, vody využívané pro výplach lahví a sudů musí být hygienicky nezávadné (Basařová 2010).

O vhodnosti pivovarské varní vody rozhoduje čistota, zdravotní nezávadnost, celková tvrdost vody a množství obsažených solí. Druh solí ovlivňuje výrobu piva a následně i jeho chuť. Vhodná tvrdost vody je dána vyráběným typem piv. Pro piva typu Ale nebo Stout je vhodná voda tvrdá, oproti tomu pro klasické ležácké typy je vhodná voda měkká. Vodu lze změkčit snížením množství iontů hořčíku a vápníku pomocí filtrů se speciální filtrační směsí (Simate 2015).

Kovy ve varní vodě mohou být přínosné pouze v menší míře. Železité vody jsou pro výrobu piva nevhodné v důsledku snadné oxidace. Mangan působí v menším měřítku přínosně v důsledku aktivace enzymů metabolismu kvasinek, ale ve větším množství škodí podobně jako železo. Odstranění kovů z vody funguje na bázi oxidace vody a jejím následným zfiltrváním (Briggs et al. 2004). Spotřeba vody výrazně převyšuje objem vyrobeného piva, na jeden litr piva je využito od sedmi do dvanácti litrů vody (Chládek 2007).

3.3.5 Surogáty

Náhražky sladu jsou používány v závislosti na snížení výrobních nákladů výrobce nebo při nedostatečné úrodě sladovnického ječmene. Klasický slad je nákladná surovina, proto je v některých případech nahrazován přísadkou sladu z jiných obilovin nebo cukrem. Informace o surogaci musí být uvedeny na etiketě o složení výrobku (Mezerová 2017). Výtěžky sacharidů a ethanolu získané pivovarskými surogáty jsou srovnatelné s výsledky získanými tradiční metodou za použití ječných sladů. S rostoucím přídatkem použité náhražky dochází k ovlivnění výsledné chuti piva (Cortés-Ceballos et al. 2015).

3.4 Výroba piva

Výroba piva se skládá z několika procesů: šrotování, rmutování, scezování sladiny, výroba mladiny, separace horkých kalů, chlazení mladiny, provzdušňování mladiny, zakvašování mladiny, hlavní kvašení a ležení piva. V dnešní době se pivo po skončení ležení ve velkých pivovarech ještě filtruje, pasteruje a stabilizuje (Chládek 2007).

3.4.1 Výroba sladiny a mladiny

Sladina obsahuje látky, jako jsou cukry, dextriny, dusíkaté látky, minerální látky a aromatické látky, které se během vaření vyextrahovali ze sladu a surogátů. Mladina obsahuje extraktivní látky ze sladu, které jsou zkvasitelné a extraktivní látky z chmelových produktů (Briggs et al. 2004).

3.4.1.1 Šrotování

Šrotování či mletí sladu je mechanický proces, který má rozdrčením zrna zpřístupnit endosperm na vhodné podíly jemných a hrubých částic při zachování celistvosti pluch. Rozemletý sladový šrot nesmí obsahovat celá zrna (Basařová 2010). Plucha by po šrotování měla zůstat neporušená, protože později vytvoří kyprou a snadno propustnou vrstvu mláta, která následně slouží k filtraci vzniklé sladiny. Pro šrotování se používají nejčastěji šestiválcové šrotovníky, v menších provozech dvouválcové rýhované šrotovníky. Během šrotování dochází k rozrušení sladových zrn za účelem lepší přístupnosti k vnitřním složkám (Chládek 2007).

Šrotování lze provádět třemi způsoby a to šrotování za sucha, navlhčením pluch sladového zrna a za mokra (Chládek 2007). Při šrotování sladu za mokra je nejdříve nutné zrno namáčet po dobu 30 min až do docílení vlhkosti 28 – 30 %. Poté se slad šrotuje na dvouválcovém šrotovníku a po opětovném smíchání s máčecí vodou je přečerpán na varnu do vystírací kádě. Nevýhodou této metody je časová ztráta vzniklá máčením a možné nekontrolované enzymové pochody (Kantelberg & Hermann 1992).

3.4.1.2 Vystírání a rmutování

Cílem vystírání je kvalitní promísení sladového šrotu s varní vodou. Do vznikající sladiny přechází pouze malý obsah látek rozpustných ve vodě, kterými jsou především sacharosa, maltosa, glukosa a fruktosa. Množství rozpuštěných látek závisí na poměru sladu a vody (Basařová 2010). Na začátku vaření se smísí sladový šrot s vodou ve vystírací kádě nebo ve rmutovystírací pánvi. Tato vzniklá směs se nazývá dílo nebo vystírka. Směs se poté začne pomalu zahřívat. Při teplotě 52 °C dochází k bobtnání škrobových zrn obsažených v rozemletém sladu a vzniká škrobový máz. Během zvyšování teploty na 65 °C se škrobový máz ztekucuje. Při dosažení teploty 72-75 °C dochází ke zcukřování škrobového mazu (Chládek 2007).

Vystírání lze provádět při odlišných teplotách, studené vystírání vodou o teplotě 20 °C, která se v minulosti využívala pro zpracování velmi špatně rozluštěného sladu s předpokladem delší doby vaření. Teplé vystírání s teplotou vody 35 až 38 °C je nejčastěji využívaný způsob vystírání, které je vhodné pro dobře rozluštěné slady. Horké vystírání s teplotou vody 50 až 62 °C je postup vhodný pro přelouštěné slady. Podle použitého postupu doba vystírání pohybuje od 10 do 30 minut (Basařová 2010). Tento základní postup je prováděn buď dekokčním nebo infuzním způsobem. Oba typy se liší technologickým postupem i nárokem na strojní vybavení varny (Mezerová 2017).

Dekokční rmutování je vhodné pro piva českého plzeňského typu, která jsou spodně kvašená. Jedná se o technologii, kdy je při rmutování část sladového roztoku přečerpán do vedlejší nádoby, kde je ohříván a nakonec povařen. Dekokční rmutování se provádí na jeden, dva nebo tři rmuty (Chládek 2007). Dekokcí je docíleno vyšší výtežnosti látek obsažených ve sladu, které se poté projeví ve výsledné chuti. Infuzní způsob představuje nejjednodušší způsob výroby sladiny a je možné jej provádět pouze v jedné vyhřívané nádobě, pro

dekokční způsob jsou třeba dvě nádoby, z toho jedna vyhřívaná (Enge et al. 2005). Infuzní způsob je nejnadhější a nejstarší rmutovací postup, který se využívá výhradně pro piva svrchně kvašená, jako jsou Ale, Stout apod. (Mezerová 2017).

3.4.1.3 Scezování sladiny

Jakmile je škrob přeměněn na redukující cukry (fruktosa, glukosa, maltosa a maltotriasa) musí být kapalné fáze tzv. sladina oddělena od pevné fáze tzv. mláta. Operace probíhá ve scezovací kádi, která má dvojité dno se štěrbinami o délce 30 až 40 mm a šířce 1 mm. Jedná se o přirozenou filtraci, kdy se extrakt filtruje přes vrstvu pluch a nerozpustných zbytků sladu (Stewart & Priest 2006).

První část sladiny je stále kalná, proto je nutné navrácení scezovacím čerpadlem zpět do scezovací kádě nad vrstvu mláta. Sládek musí kontrolovat čirost a stupňovitost stékající sladiny zvané předek až do dosažení požadované čirosti. Sladina je následně převedena do mladinové pánve. Po stékání předku obsahuje mláto ještě mnoho extraktu, proto je nutné jej vysladit, tj. prolít horkou vodou tzv. výstřelkem, až výstřelek dosáhne požadované stupňovitosti, zpravidla 1 % (Chládek 2007).

3.4.1.4 Chmelovar

Scezená sladina se přivádí k varu v mladinové pánvi a sacharometrem se změřívá stupňovitost. Chmel se může přidávat ve formě přírodních šišek, lisovaný nebo v tekutém extraktu. Při chmelovaru dochází k převedení hořkých látek z chmele, odstranění nežádoucích těkavých látek, inaktivaci enzymů, koagulaci bílkovin a odpaření přebytečné vody, aby se dosáhlo požadované stupňovitosti (Chládek 2007). Během chmelovaru zároveň dochází ke zvyšování tříslovin, které působí mikrobisticky na potenciální kontaminanty. Teplota varu se pohybuje těsně nad 100 °C a délka vaření trvá přibližně 90 minut. Po varu se pevný vysrážený materiál bílkovin a chmele odstraní a čirá mladina se ochladívá na požadovanou zákvasnou teplotu (Miedl & Leiper 2006).

3.4.1.5 Chlazení mladiny

Mladina po chmelovaru obsahuje vysrážené bílkovinné vločky a další částice ze sladu a chmele tzv. hrubé kaly. Tyto kaly způsobují při kvašení problémy a je nutné je odstranit, odstraňují se pomocí vířivých, usazovacích kádí nebo odstředivek. Do vířivé kádě se tangenciálně vysokou rychlostí načerpá mladina, která se v kádi roztočí, síly vyvolané pohybem rotující mladiny vynesou těžší kaly ke středu vířivé kádě a tam se ukládají ve formě kuželu tzv. koláče. Rychlost čerpání je zvolena tak, aby se neporušil vzniklý koláč ve středu vířivé kádě. Po zastavené víření je mladina odčerpána otvory umístěnými v různých výškách stěny vířivé kádě. Mladinu je nutné zchladit na 6 °C a při této teplotě ji provzdušnit, aby kvasnice během procesu hlavního kvašení měly dostatek kyslíku. Zchladená a provzdušněná mladina je zakvášena pomocí kulturních kvasnic, zpravidla se dává pól litrů hustých kvasnic na 100 litrů mladiny (Chládek 2007).

Mladina musí obsahovat dostatek zkvasitelných látek a snadno využitelné dusíkaté látky, zároveň nesmí obsahovat vysoké množství dusičnanů, zdraví škodlivé látky a kontaminující mikroorganismy. (Basařová 2010)

3.4.2 Kvašení a zrání piva

Během kvašení dochází k přeměně původního extraktu mladiny na alkohol, oxid uhličitý a vedlejší produkty, které ovlivňují aroma a chuť piva jak pozitivně, tak i negativně. Intenzita a rozsah kvašení jsou závislé na složení mladiny, na kvasnicích, ale také na podmínkách hlavního kvašení a dokvašení, resp. zrání (Narziss 1992).

3.4.2.1 Hlavní kvašení

Cílem hlavního kvašení je nedokonalé zkvašení cukerných složek extraktu mladiny pivovarskými kvasinkami za vzniku ethanolu, oxidu uhličitého, vedlejších metabolitů a pomnožení kvasnic. Kvašení probíhá za anaerobních podmínek (Basařová 2010).

Stádium hlavního kvašení je rozděleno do čtyř fází:

1. Zakvašená mladina se začíná během 12 až 24 hodin tzv. zaprašovat. V důsledku aktivity a dělení kvasinek dochází k uvolňování oxidu uhličitého a vytváření pěny na povrchu. Konec tohoto stádia lze sledovat na stahování pěny směrem do středu v důsledku uvolňování oxidu uhličitého po stěnách kvasné kádě. Úbytky extraktu v tomto stádiu jsou nízké.
2. Na povrchu mladiny se přibližně po 36 hodinách objevují nízké bílé kroužky, které se drží na hladině dva až tři dny. Úbytek extraktu je výrazný a pohybuje se v rozmezí 0,8-1,2 % za 24 hodin.
3. Fáze tzv. hnědých kroužků je ovlivněna intenzivním vývojem oxidu uhličitého, který z kvasící mladiny vynáší kaly a bílkovinné sloučeniny, které ovlivňují barvu pěny na povrchu. V tomto stadiu dochází k největšímu úbytku extraktu až o 1,8 %. Nedostatek kyslíku a přítomnost alkoholu zároveň zabraňuje pomnožování kvasnic.
4. Dochází k propadávání kroužků a vzniku souvislé hnědé pokrývky tzv. deky, vzniká mladé pivo (Chládek 2007).

3.4.2.2 Dokvašování piva

Po ukončení hlavního kvašení je mladé pivo přečerpáno do ležáckých tanků, kde leží při teplotě 0-3 °C do dostatečného nasycení oxidem uhličitým a dosažení požadovaných senzorických vlastností, jako je například říz (Chládek 2007).

3.4.3 Filtrace, pasterace, balení

Úkolem filtrace je odstranění kalových látek a docílení požadované čirosti a zvýšení trvanlivosti finálního výrobku. Filtrace nesmí ovlivňovat výslednou pěnivost piva a sensorické vlastnosti. V dnešní době se nejvíce využívají membránové filtry (Basařová 2010).

Tepelná úprava piva pomocí pasterace je využívána ve velkých a středních pivovarech za účelem prodloužení trvanlivosti výrobku. Pasterace je tepelná inaktivace mikroorganismů, které mohou znehodnotit a negativně ovlivnit výsledné sensorické vlastnosti (Basařová 2010). V případě pasterace piva jde zejména o zničení kvasinek. V pivovarech se k tomuto účelu nejvíce využívají tunelové pastéry, kde dochází k ohřátí piva na 30-45 minut při teplotách okolo 63 °C (Jíra 1995).

Balení má více úrovní, primární balení je v přímém kontaktu s produktem. Pivo musí být baleno do materiálu, který je inertní, odolný vůči tlaku, silný a nepropustný. Sekundární balení uzavírá primární balíčky, aby se docílilo snadnější manipulace a uskladnění např. bedny (Dunn 2006).

3.5 Metody produkce piv se sníženým obsahem alkoholu

Výrobu nealkoholického a nízkoalkoholického piva lze rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří receptury omezující tvorbu alkoholu během výroby piva změnou technologického postupu. Druhou skupinu tvoří procesy využívající speciální kvasinky či jiné mikroorganismy. Poslední skupina zahrnuje technologie, které jsou založené na odstraňování alkoholu z piva šetrnou cestou (Basařová 2010).

3.5.1 Úprava biologických procesů

Piva vyrobená upravenými biologickými procesy nevyžadují speciální zařízení k dealkoholizaci produktu. Výrobek takto připravený má vyšší plnost, je sladší a proniká v něm mladinový charakter (Basařová 2010). Řadí se mezi nejvyužívanější technologie pro výrobu piva, protože nevyžaduje další investice (Sohrabvandi et al. 2010).

3.5.1.1 Použití specifických sladů s nepatrnou aktivitou β -amylázy a úpravou rmutovacího postupu

K redukci alkoholu jsou používány slady s nízkou aktivitou β -amylasy, které obsahují nízký podíl zkvasitelných sacharidů v mladině (Basařová 2010). Úlohou β -amylázy je štěpení α - 1,4 - glykosidové vazby přítomné ve škrobu, uvolňuje molekuly maltózy z neredukujícího konce škrobového řetězce. Optimální teplota pro aktivaci enzymu je mezi 60-65 °C. α -amylasa štěpí amylosu uvnitř řetězce na oligosacharidy, tzv. dextriny, které nemohou být přeměněny na maltózu fermentovanou kvasinkami (Jackowski & Trusek 2018).

Takto produkovaná nealkoholická piva se vyznačují nepříjemnou sladkostí v závislosti na větším počtu nefermentovatelných zbytků cukrů v mladině a zároveň představují vyšší riziko mikrobiální kontaminace (Salanță et al. 2020).

3.5.1.2 Zastavení nebo omezení fermentace

Postup s vynecháním kvašení je nejvíce využívaným způsobem výroby nízkoalkoholického a nealkoholického piva. Za účelem udržení nízkého obsahu ethanolu lze fermentační proces vynechat nebo jej zastavit odstraněním kvasinek po částečném prokvašení. Fermentační proces je ukončen filtrací, odstředěním nebo vytvořením podmínek k potlačení aktivity kvasinek. K potlačení aktivity lze dojít rychlým zchlazením na 0 °C a následnou pasterací. Nevýhody těchto metod jsou vyvolány omezenou dobou kvašení a nedostatečná přeměna mladiny na pivo může vést k deficitu aromatických sloučenin v konečném produktu (Salanță et al. 2020). Pro tyto postupy je nutný důkladný výběr surovin, kmene kvasinek a úprava varního procesu nebo fermentačních podmínek (Basařová 2010).

Metoda studené fermentace je snadno proveditelná, protože se používá stejné zařízení jako pro výrobu alkoholického piva. Takzvané studené prokvašení využívá nízkoteplotní kvašení při 0-5 °C po dobu 24-48 hodin. Navrhuje se úprava pH mladiny na hodnotu 4 (Sohrabvandi et al. 2010). V závislosti na podmínkách dochází ke zpomalení primárního metabolismu kvasinek a snížení produkce karbonylových sloučenin a ethanolu. Nealkoholická piva kvašená za studena mají podobné parametry jako piva alkoholická (Salanță et al. 2020).

V primární fázi fermentace za vysokého tlaku dochází k produkci požadovaného množství alkoholu a aromatických sloučenin, aby se mohl zvýšit hydrostatický tlak mladiny, až do té míry, kdy dojde k omezení nebo zastavení kvašení. Tlak lze zvýšit použitím neutrálních plynů, kterým je oxid uhličitý. Pro zlepšení účinnosti by se fermentace měla provádět při nižších teplotách (Sohrabvandi et al. 2010).

3.5.2 Použití specifických kvasnic nebo jiných mikroorganismů

Postupy s využitím geneticky modifikovaných kvasinek, imobilizovaných kvasinek a speciálních mikroorganismů je docíleno omezené tvorby ethanolu v důsledku přerušování styku kvasinek se substrátem nebo použitím buněk s defektem v citrátovém cyklu (Basařová 2010).

3.5.2.1 Geneticky modifikované mikroorganismy

Tato metoda výroby nealkoholického piva je spojena se dvěma různými postupy. Jeden z nich je založen na základě výběru specifických kmenů a druhý na geneticky modifikovaných pivovarských kvasnicích. Specifické kmeny rodu *Saccharomyces* a *Saccharomycodes* nejsou schopné fermentovat hlavní cukr v mladině - maltózu. Jsou však schopné fermentovat fruktózu a sacharózu, přičemž vytváří nižší obsah ethanolu, ale vysoký zbytkový obsah extraktu a vysoký podíl glycerolu a cukerných alkoholů (Salanță et al. 2020).

Některé z geneticky modifikovaných kmenů *Saccharomyces cerevisiae* neprodukují alkohol ve znatelném množství, protože nejsou schopné produkovat alkohol dehydrogenázu (ADH). Tyto kmeny jsou označovány jako ADH negativní. Použití tohoto typu kvasinek může

vést k inaktivaci kvasinkových buněk v prvotní fázi fermentace a ke vzniku nepříjemné vůně v důsledku koncentrace acetaldehydu v mladině (Sohrabvandi et al. 2010).

Dle (Navrátil et al. 2002) při experimentálním použití geneticky modifikovaných kvasinek s nedostatkem enzymů cyklu trikarboxylové kyseliny vzniklo pivo s koncentrací alkoholu mezi 0,07 – 0,31 % obj. Kvasinky s nedostatkem aktivity fumarázy a 2-oxoglutarátu dehydrogenázy vykazovaly nejlepší výsledky. Další z upravených kvasinek produkovaly vysoký obsah diacetylu, který dodává pivu nepříjemnou máslovou chuť. Nedávné studie (Puerari et al. 2016; Figueiredo et al. 2017) ukázaly, že kmen *Saccharomyces cerevisiae* izolovaný z nápoje cachaça v Brazílii vyrábí více směsí látek. Mohl by tedy být užitečný pro výrobu nealkoholického piva, které obvykle postrádá dostatek aroma. Geneticky modifikované kvasinky nejsou spotřebiteli a výrobci akceptovány, a proto sládcí nechtějí riskovat zavedení do svých pivovarů (Salanță et al. 2020).

3.5.2.2 Použití odlišných kmenů *Saccharomyces*

Piva s nízkým obsahem alkoholu lze dosáhnout použitím vhodných kmenů *Saccharomyces ludwigii*, které jsou schopné fermentovat glukózu, sacharózu, ale nikoli maltózu. Takto vyrobená piva obsahují vysoké množství kyseliny mléčné (Sohrabvandi et al. 2010). Pro produkci nealkoholických piv lze také použít *Zygosaccharomyces rouxii*, ale za účelem snižování obsahu ethanolu vyžaduje výroba okysličování piva, které má za následek negativní dopad na chuť a koloidní stabilitu. Při použití *Saccharomyces ludwigii* je dosahováno lepších výsledků než v případě použití *Zygosaccharomyces rouxii*, protože piva vyráběná pomocí *Zygosaccharomyces rouxii* obsahují vysoký zbytek maltózy a maltotriózy, které způsobují sladkou chuť (Salanță et al. 2020).

3.5.2.3 Produkce pomocí specifických mikroorganismů

Použitím kmenů non-*Saccharomyces* ve výrobě nízkoalkoholických piv dochází ke změně chutí a vzniku nových sensorických vlastností (Killeit 2021). Kandidáti pro výrobu piv s nízkým obsahem alkoholu a přijatelnými sensorickými vlastnostmi jsou *Brettanomyces* spp., *Pichia kluyveri*, *Torulasporea delbrueckii* (Salanță et al. 2020).

Kmeny *Brettanomyces* spp. jsou zásadní pro piva s charakteristickými chutěmi typu Lambik, která jsou kvašena spontánně divokými kvasinkami (Salanță et al. 2020). *Torulasporea delbrueckii* je známá pro využití ve vinařském průmyslu, kde se používá k zajištění ovocné chutě. Některé kmeny *Torulasporea delbrueckii* nejsou schopné fermentovat maltosu a mohou být využity pro produkci piv s obsahem alkoholu pod 1 % obj (Kochláňová et al. 2016).

Pichia kluyveri nemá dostatečnou schopnost ke zkvašení glukózy, proto je možné tento kmen využít pro výrobu piva s nízkým obsahem alkoholu. Zároveň neprodukuje více diacetylu ve srovnání s primárním kmenem kvasinek *Saccharomyces cerevisiae*. Celkový obsah produkovaných nežádoucích kyselin je nízký. (Salanță et al. 2020)

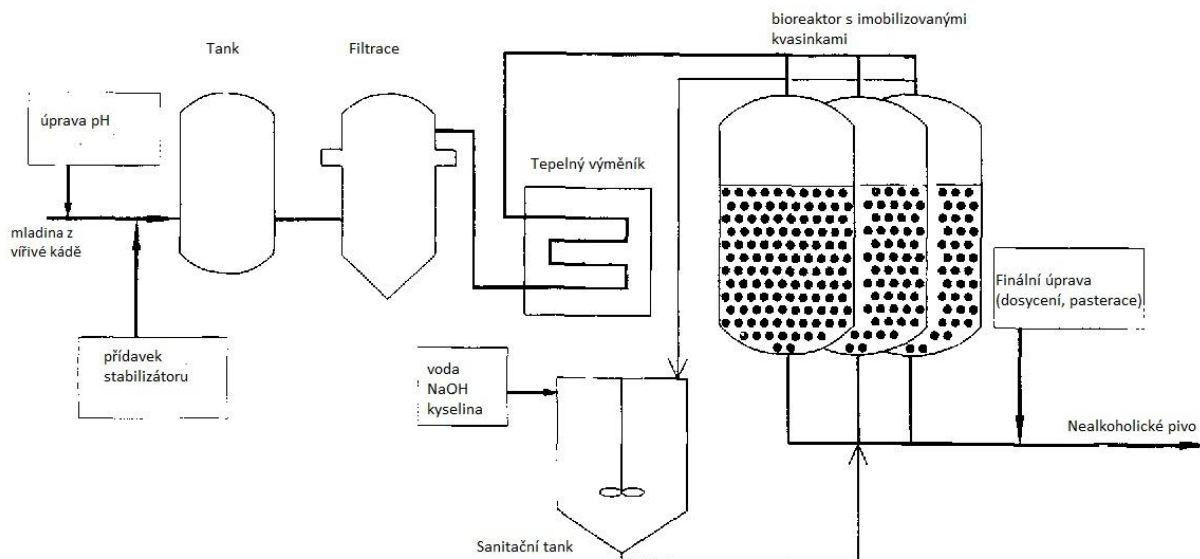
3.5.2.4 Imobilizace kvasinek (kontinuální fermentace)

Tento proces spočívá ve využití kvasinek připojených k nosnému materiálu, kterým je diethylaminoethyl celulóza, alginát vápenatý, pektát vápenatý nebo sintrované sklo (Salanță et al. 2020). Před použitím nosičů s kvasinkovou kulturou musí být mladina zbavena kalů, aby tuhé částice neucpávaly imobilizovaný biosystém. Nosiče se střídavě ponořují do mladiny a znovu se vyjmají z kvasné nádoby až do docílení hraničního nízkého obsahu alkoholu. Další možností je cirkulace periodicky kvasící mladiny skrz nosiče (Basařová 2010).

Pomocí imobilizovaných buněk se produkce piva za využití kontinuální fermentace stává finančně a technicky dostupnou. Dalšími výhodami kontinuální fermentace je snadná separace a regenerace biomasy, zjednodušení výroby a nižší riziko mikrobiální kontaminace. Na druhou stranu představují řadu technických komplikací, kterými jsou odstranění přebytečných kvasinek, zachování životaschopnosti kvasinek a prevence ucpávání reaktorů. Procesy technologie za využití imobilizovaných buněk byly navrženy pro různé fáze v kvašení piva, ale především pro výrobu piv bez alkoholu nebo s nízkým obsahem alkoholu (Willaert & Nedovic 2006).

Imobilizace mikroorganismů (obr. č. 1) je velice rozšířena v mnoha biotechnologických procesech, které umožňují provádění kontinuálního procesu s přesným výpočtem a možností kontroly doby procesu. Imobilizace umožňuje zkrácení doby procesu, snížení nákladů a získávání různých produktů (Jackowski & Trusek 2018). Existují různé technologie imobilizace, které jsou přizpůsobeny běžným pivovarům. Jedna z instalací pro výrobu piva bez alkoholu s využitím imobilizovaných kvasinkových buněk je v Nizozemsku v pivovaru Bavaria (Jackowski & Trusek 2018). Z hlediska obtížného řízení některých parametrů (např. teploty a koncentrace rozpuštěného kyslíku) je nepravděpodobné použití v mikropivovarech pro výrobu nealkoholického piva (Salanță et al. 2020).

Chuťová problematika u piv produkovaných imobilizovanými pivovarskými kvasnicemi je výsledkem komplexní kombinace složek, které jsou dány použitými surovinami a metabolismem kvasinek. Nevýhodou je špatná absorpce aminokyselin, nízká tvorba esterů, vyšších alkoholů a nadměrná produkce vicinálních diketonů. Mezi diketony se řadí například, diacetyl, který vzniká během hlavní fermentace a je zodpovědný za sladkou chuť, která ve vyšších koncentracích způsobuje máslovou pachutí (Brányik et al. 2005).



Obr. č. 1: Závěrečná fáze výroby nealkoholického piva s pomocí imobilizovaných kvasinek (van Iersel et al. 1995)

3.5.3 Dealkoholizace za využití termálních procesů

Postfermentační techniky založené na tepelném ošetření jsou zaměřené na částečné nebo úplné odstranění alkoholu z původního piva (Salanță et al. 2020).

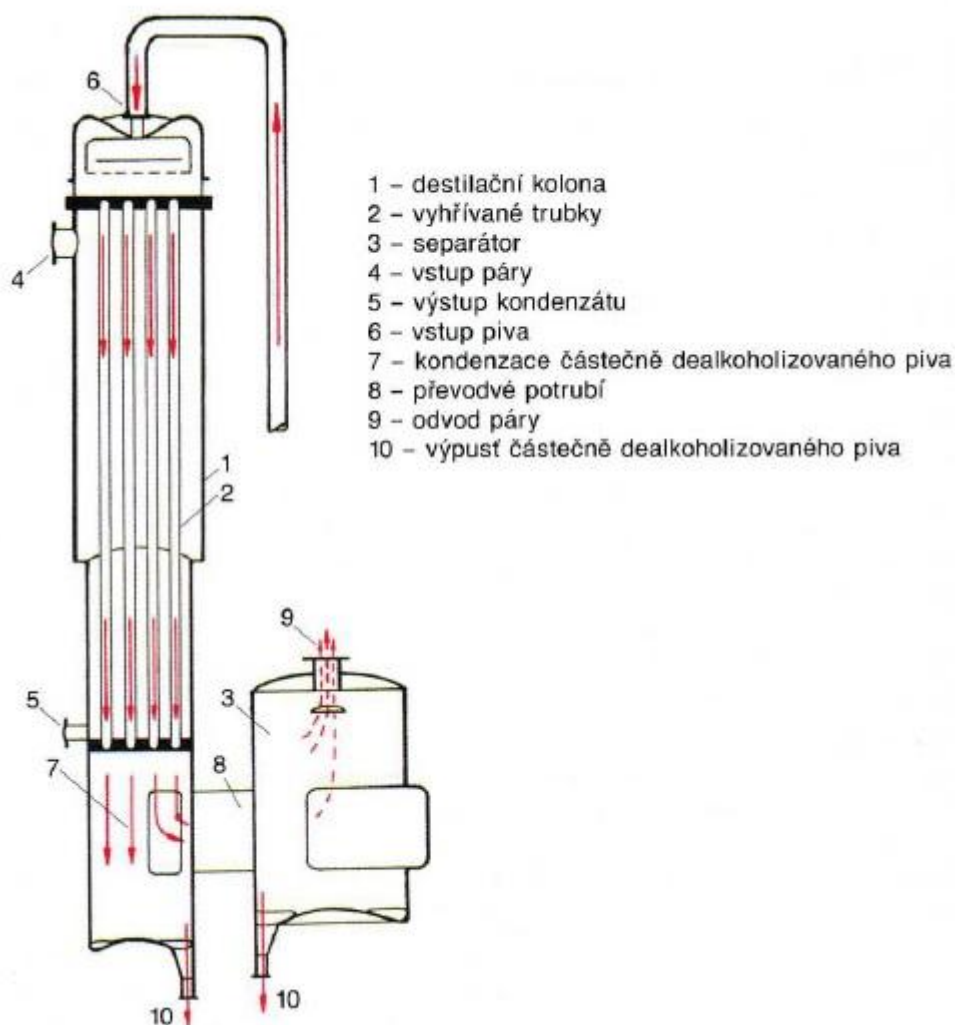
3.5.3.1 Odpaření alkoholu

Tepelné odpaření alkoholu je jedna z nejnadhnějších metod, kterou lze oddělit těkavé sloučeniny. Během tohoto procesu je směs destilována a dochází k oddělení látek na základě rozdílného bodu varu. Bod varu ethanolu je 78 °C. Tuto teplotu lze snížit úpravou tlaku. Současne s alkoholem dochází k odstranění těkavých sloučenin s podobným bodem varu. Rovněž dochází k nežádoucímu odstranění oxidu uhličitého (Jackowski & Trusek 2018). Podle studie (Huerta-Pérez & Pérez-Correa 2018) je možné touto metodou odstranit více než 94 % přítomného alkoholu v pivu. Nevýhodou tohoto postupu je přívod většího množství kyslíku, který způsobuje degradaci chuti piva a rozvoj aerobních mikroorganismů.

3.5.3.2 Odpaření alkoholu s klesajícím filmem

Odpaření alkoholu s klesajícím filmem (obr. č. 2) spočívá v předvaření piva ve vakuu, v odparce s klesajícím filmem. Pivo vstupuje do čtyř až pěti topných trubek, ve kterých pomocí gravitace proudí dolů při teplotě varu ethanolu. Proces trvá pouze několik sekund (Salanță et al. 2020). Ve spodní části kolony dochází k zahuštění částečně dealkoholizovaného piva a destilát je veden spojovací trubicou z kolony do separátoru, kde dochází k separaci kondenzovaného piva zbaveného alkoholu od par obsahující alkohol. Opakováním postupu lze docílit snížení obsahu alkoholu až na 0,03 % (Basařová 2010).

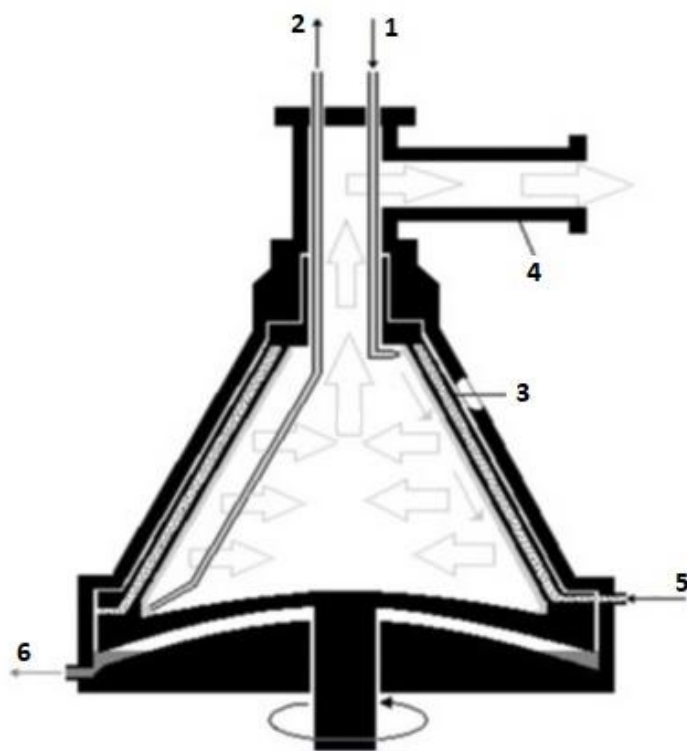
V důsledku absence pohyblivých částí a minimálního opotřebení výparníku je tato metoda nenáročná na údržbu (Salanță et al. 2020).



Obr. č. 2: Schéma odparky s klesajícím filmem (Basařová 2010)

3.5.3.3 Tenkovrstvé odstředování

Odstředivý tenkovrstvý výparník (obr. č. 3) pracuje ve vakuu při nízkých teplotách mezi 35-60 °C generovaných pomocí páry a tlaku od 60 do 200 mbar. Nápoj je do výparníku napouštěn plnicími trubicemi a vstřikovacími tryskami, které ho dopravují na dno dutého rotujícího kuželu (Salanță et al. 2020). Působením odstředivé síly se pivo v tenkých vrstvách vrství mezi disky a ohřívá se párou, která je přiváděna dvojitou stěnou odstředivého odpařovače (Muller et al. 2020). Koncentrované a dealkoholizované pivo se shromažďuje na vnějším okraji kuželů a opouští výparník. Páry odstraněné z piva stoupají středem kuželu a vstupují do výfukového potrubí, které je přeneseno do externího kondenzátoru (Salanță et al. 2020). Pivo se sníženým obsahem alkoholu je za pomoci vyššího tlaku vylučováno ze systému (Muller et al. 2020). Nevýhodou této metody jsou vysoké náklady na energii a instalaci zařízení (Salanță et al. 2020).



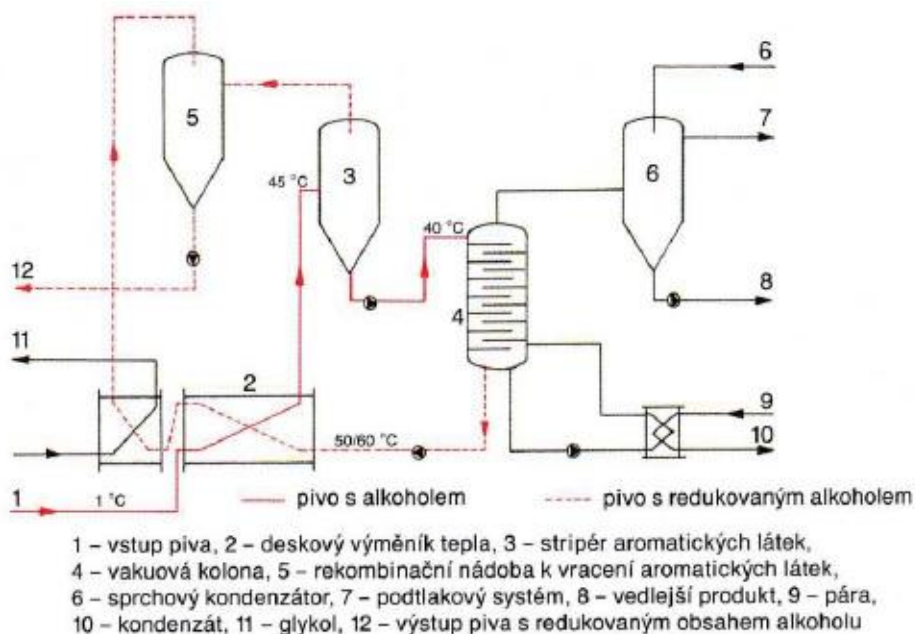
- 1 - Vstup piva
- 2 - Výstup piva s redukováným obsahem piva
- 3 - Vyhřívání disků pomocí páry
- 4 - Odstranění páry s alkoholem
- 5 - Vstup páry
- 6 - Odvod ohřívání páry

Obr. č. 3: Schéma tenkovrstvé odstředivky (Salanță et al. 2020)

3.5.3.4 Vakuová destilace alkoholu

Odstranění alkoholu tepelnými procesy zahrnuje odpařování a destilaci ve vakuu (obr. č. 4), kde dochází k zachování organoleptických vlastností díky omezení nežádoucích sekundárních reakcí. Vakuové odpaření alkoholu ve velkém měřítku představuje nízkou ekonomickou náročnost (Andrés-Iglesias et al. 2016).

Technologie spočívá v přehřátí filtrovaného piva ve výměníku tepla, kde jsou těkavé sloučeniny a oxid uhličitý proudem odváděny z kapaliny. Ve vakuovém sloupci se z piva uvolňuje alkohol při teplotě 42-48 °C. Touto metodou může být produkováno až 200 hektolitrů dealkoholizovaného piva za hodinu s obsahem alkoholu méně než 0,05 % obj. Alkoholové páry získané jako vedlejší produkt mohou být použité k výrobě octa (Salanță et al. 2020).



Obr. č. 4: Schéma vakuového odparu alkoholu z piva (Kunze 2016)

3.5.4 Membránové separační procesy

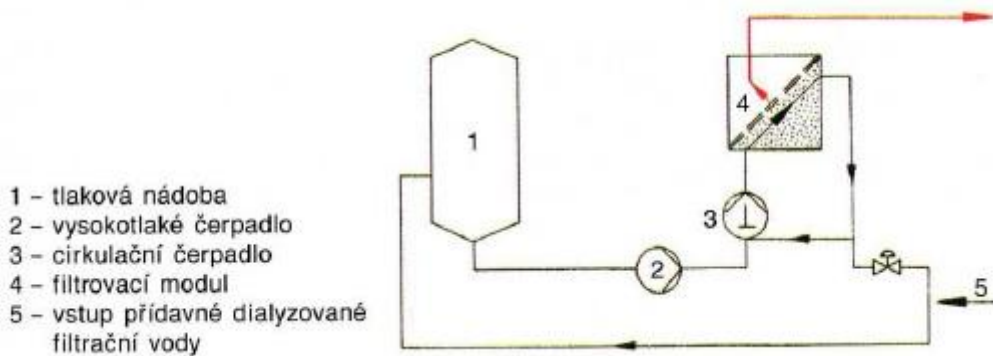
Procesy membránové separace je možné rozdělit na reverzní osmózu, nanofiltraci, osmotickou destilaci, dialýzu a pervaporaci (Salančá et al. 2020). Membránové separační procesy nabízejí mnoho výhod oproti ostatním výrobním procesům k výrobě nealkoholického piva, jelikož pracují při mírných teplotách, s nízkou spotřebou energie a s malou nebo žádnou nutností použití chemických aditiv a současně představují snížené provozní náklady (Ambrosi et al. 2014). Nevýhoda, která k těmto procesům náleží je především nutnost specifického vybavení (Salančá et al. 2020).

3.5.4.1 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza (obr. č. 5) je založena na principu tepelných membránových procesů, při kterých membrána není přímo zapojena do separace a působí jako bariéra mezi dvěma fázemi. Selektivita je určena rovnováhou mezi párou a kapalinou, proto složka s nejvyšším parciálním tlakem má nejvyšší rychlost prostupnosti. V případě směsi ethanolu a vody, jsou obě složky transportovány přes membránu. Rychlost ethanolu je vyšší vzhledem k většímu tlaku par (Purwasasmita et al. 2015).

Během této metody dochází k průchodu fermentované mladiny semipermeabilní membránou za vysokého tlaku. Membrána je propustná pro vodu, alkohol a ostatní látky, které mají malé molekuly. Velké molekuly odpovědné za organoleptické vlastnosti, včetně aromatických látek, neprochází přes membránu a zůstávají v koncentrovaném pivu (Sohrabvandi et al. 2010). V primární fázi reverzní osmózy dochází k zahuštění koncentrace původního piva odstraněním alkoholu a vody. V sekundární fázi je odstraněné množství původní vody nahrazeno demineralizovanou vodou v procesu, který se nazývá diafiltrace. Tato fáze probíhá až do dosažení požadovaného obsahu alkoholu (Alcantara et al. 2016).

V důsledku odstranění oxidu uhličitého z piva během reverzní osmózy je nutné následné doplnění plynu do nově vzniklého produktu. Výzkum ukazuje, že tato membránová destilace není z ekonomického hlediska výhodná a neumožňuje výrobu piva s obsahem alkoholu menším než 0,45 % (Salanťá et al. 2020).



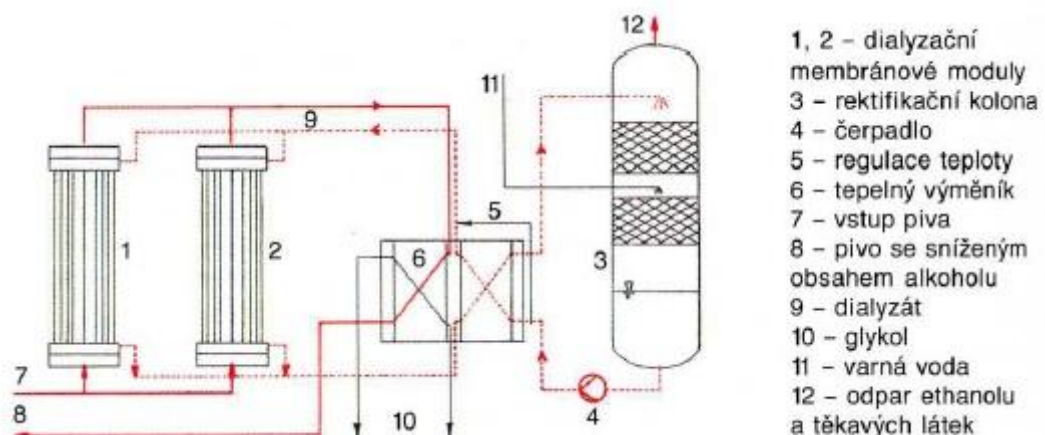
Obr. č. 5: Schéma přípravy piva se sníženým obs. alkoholu reverzní osmózou (Kunze 2016)

3.5.4.2 Dialýza

Při získávání nealkoholického piva dialyzačním procesem (obr. č. 6) za použití semipermeabilní membrány a nízké teploty dochází k oddělení piva a dialyzátu (vodného roztoku), který proudí v protiproudu a dochází k výměně látek pomocí difúze (Salanťá et al. 2020).

Malé molekuly procházejí přes membránu do dialyzačního média. Dialyzát proudí do vakuové destilační kolony, kde se alkohol kontinuálně odstraňuje a proud bezalkoholového dialyzačního roztoku se vrací do dialyzační jednotky. Konečný produkt obsahuje maximálně 0,5 % alkoholu (Sohrabvandi et al. 2010).

Vzhledem k vysoké technologické podobnosti dialýzy a reverzní osmózy je prvně jmenovaný způsob ekonomicky méně náročný z hlediska absence dodávky oxidu uhličitého do připraveného nápoje a nutnosti pořizování vysokotlakého čerpadla (Salanťá et al. 2020).



Obr. č. 6: Schéma dialyzační stanice (Kunze 2016)

3.5.4.3 Osmotická destilace

Osmotická destilace je dealkoholizační proces, při kterém je využití energie účinnější ve srovnání s reverzní osmózou nebo destilací (Purwasasmita et al. 2015). Dochází ke kontaktu těkavé složky směsy (kapalná fáze) s hydrofobní, mikroporézní membránou a následně k transformaci do plynného stavu. V případě dealkoholizace představuje vstupní alkoholický nápoj vodný roztok obsahující alkohol. Těkavé látky jsou zadrženy membránou a vzniká koncentrovaný produkt retentát. Voda prochází přes membránu. Rozdíl mezi jinými metodami založenými na membránové separaci je ve struktuře a materiálu membrány, který je mikroporézní, hydrofobní a vyrobený z polypropylenu (Müller et al. 2017).

Mezi nevýhody tohoto procesu spadá odstranění těkavých sloučenin a oxidu uhličitého. Absence oxidu uhličitého vyžaduje dodatečnou investici k zpětnému nasycení produktu (Salanță et al. 2020).

3.5.4.4 Nanofiltrace

Nanofiltrace je proces, který spočívá v separaci roztoků za použití membrán, které propouští částice menší než 2 nm natlakovaného roztoku, který je filtrován. K filtraci se využívají polymerní nebo keramické membrány, které nemají detekovatelné póry jako membrány využívané při reverzní osmóze (Mueller et al. 2012).

Tato dealkoholizační metoda byla prováděna pouze při výrobě červených a bílých vín, u kterých bylo zjištěno, že lze snížit obsah alkoholu až o 3 % obj. Nanofiltrací byla rovněž odstraněna hladina kyselosti, těkavých látek, antokyanů a zvýšena intenzita barvy (Lança 2011). Pro výrobu nealkoholických piv prozatím nebyla tato metoda využita, ale výsledky získané u jiných nápojů naznačují tuto filtraci jako slibnou pro snížení obsahu alkoholu v pivu (Muller et al. 2020).

3.5.4.5 Pervaporace

Jedním z membránových procesů je pervaporace, při které dochází k dělení kapalných směsí jejich částečným vypařováním přes polopropustnou membránu při nízkých teplotách. Na základě gradientu chemických potenciálů dochází vytěsnění molekul alkoholu a prostupem membránou směrem od nejvyšší koncentrace alkoholu k nejnižší (Izák et al. 1999). Kromě dealkoholizace piva lze využít pervaporaci k extrakci těkavých aromatických sloučenin z piva a následně je dodat do piva nealkoholického (Salanță et al. 2020).

3.6 Sloučeniny podílející se na stabilitě a kvalitě piva

V posledních letech byly fenolové sloučeniny a produkty Maillardovy reakce označovány jako odpovědné za stabilitu chuti piva. Největší množství fenolů se vyskytuje ve sladu. Výsledné antioxidační vlastnosti a chuťovou stabilitu finálního piva dále ovlivňuje kvalita sladu a technologie výroby. Během skladování se ve výrobku vytvářejí nežádoucí

sloučeniny, které se liší v závislosti na konkrétním druhu piva. Stárnutí piva vede ke snížení hořké chuti a zvýšení sladkosti. (Salanță et al. 2020) Fenolické sloučeniny jsou zároveň považovány za nejdůležitější z hlediska potenciální přínosu pro lidské zdraví (Sohrabvandi et al. 2010). V ohledu na výslednou kvalitu piva zajišťují prenylflavonoidy antioxidační aktivitu a stabilitu pěny, čímž zvyšují kvalitu prodloužením mikrobiální a chuťové stability během skladování (Salanță et al. 2020).

Dusíkaté sloučeniny jsou po sacharidech jednou z hlavních složek živin v pivu. Slad produkuje jednoduché zdroje dusíku pro kvasinky, kterými jsou především aminokyseliny. Téměř celý obsah aminokyselin v mladině je využíván kvasinkami pro jejich růst. Pivovarské kvasinky využívají aminokyseliny za účelem tvorby proteinů a pomnožení buněk, ale také jsou substrátem pro tvorbu vedlejších produktů. Nezastupitelný význam aminokyselin vyplývá ze zajištění růstu a pomnožení kvasinek, které během svého anaerobního metabolismu tvoří významné vedlejší produkty v podobě esterů, vyšších alkoholů, diacetylu, mastných kyselin a dalších látek důležitých pro chuť a aroma piva (Čížková et al. 2005). Vysoké teploty a koncentrace rozpuštěného kyslíku přispívají k využití aminokyselin, což vede k výsledné nerovnováze aromatu (Salanță et al. 2020).

3.7 Senzorické vady

Při výrobě piva s omezeným obsahem alkoholu je obtížné docílení chuti, která by byla podobná pivům alkoholickým. Pivo, které je po výrobě dealkoholizováno, je matné a má nepřirozenou chuť, zatímco pivo, u něhož došlo k zabránění nebo omezení produkce alkoholu, má typickou nepříjemnou chuť mladiny (Sohrabvandi et al. 2010).

Ethanol má klíčovou roli při tvorbě charakteristické chuti, pokud je pivo dealkoholizováno dochází současně k odstranění aromatických složek a částečné ztrátě chuti. Obnova aromatických látek při výrobě nealkoholického piva je běžnou praxí, kdy se oxid uhličitý znovu vstříkuje do dealkoholizovaného piva. Takto používaný postup není zcela uspokojivý a výrobek často vykazuje nevyvážené chutě, zároveň je ekonomicky nákladný. Dalším z řady problémů je slabší plnost piva, která je upravována přidávkem glycerolu za účelem zlepšujících účinků na tělo piva (Sohrabvandi et al. 2010).

Jedním z primárních aspektů stability piva je tendence měnit barvu během skladování. Pivo mění nejvíce barvu během prvních 60 dnů skladování při 30 °C, což naznačuje důležitost skladování produktu při nízkých teplotách (Salanță et al. 2020).

3.7.1 Vznik nežádoucích příchutí

Použití geneticky modifikovaných kmenů kvasinek k výrobě nealkoholického piva může vést k produkci vysokého množství acetaldehydu v mladině, kde vytváří sladkou pachů v pivě. Akumulace acetaldehydu potlačuje metabolismus kvasinky, a proto musí být z mladiny vyloučen před nebo po fermentaci. V praxi se využívá odstranění této těkavé sloučeniny aplikací vyšších fermentačních teplot nebo stripováním neutrálního plynu, kterým

je oxid uhličitý nebo dusík. Stripování je proces, kterým jsou z kapaliny vlivem proudění neutrálních plynů odváděny nežádoucí těkavé látky (Sohrabvandi et al. 2010).

Absence ethanolu v dealkoholizovaném pivu způsobuje zvýšení rizika zmrznutí, které může způsobit nežádoucí chuť a nestabilitu piva. Ethanol zároveň zvyšuje pěnové vlastnosti a mikrobiologickou stabilitu. Mikrobiální nezávadnost lze u nealkoholických piv upravit vyšší pasterací (Sohrabvandi et al. 2010).

3.8 Zdravotní účinky

V posledních letech byl výzkum piva zaměřen zejména na mikronutrienty, především na tzv. flavonoidy. Flavonoidy jsou zdravé prospěšné látky, které přecházejí do piva z chmele i sladu. Nejvýznamnější prenylflavonoid přínosný pro lidské zdraví je xanthohumol, který působí jako inhibitor různých typů nádorů a má protizánětlivé a antimikrobiální účinky (Olšovská et al. 2014). V pivu se vyskytuje velký počet vitaminů, což je předností ve srovnání s víny a jinými alkoholickými nápoji. Při výrobě sladu vzrůstá množství vitaminů ve srovnání se syrovým ječmenem. Pivo obsahuje zejména vitaminy skupiny B, z nichž jsou nejdůležitější vitaminy B2 (riboflavin) a B6 (pyridoxin). Pivo obsahuje více než 30 minerálních látek, z kterých je velmi důležitý obsah křemíku. Křemík působí preventivně proti ateroskleróze a osteoartritidě. V pivu se vyskytuje ve formě kyseliny křemičité až v pětinasobných koncentracích oproti pitné vodě (Kellner et al. 2002).

Klinické a experimentální výzkumy (Thun et al. 1997; Denke 2000) odhalily, že lehká až střední konzumace alkoholických nápojů s obsahem 10-15 g alkoholu denně (tj. sklenice piva o objemu 0,5 l) má pozitivní vliv na lidské zdraví. Nižší míra konzumace je spojena se sníženou roční úmrtností ve srovnání s populací nepijících a těžce pijících. Při nízkých úrovních konzumace má ethanol pozitivní léčivé vlastnosti jako je kardioprotektivní účinek, snížení rizika demence, snížení napětí a lepší kognitivní funkce ve stáří. Nadměrný příjem ethanolu má za následek nepříznivé individuální a sociální důsledky, kterými je maloabsorpce vitaminů, obezita, indukce rakoviny, zvýšené riziko demence, domácí a sociální násilí. Požití nealkoholického piva nezajišťuje zdravotní účinky spojené s mírnou konzumací běžného piva, pozitivní však je, že nezahrnuje žádné nepříznivé dopady spojené s nadměrným požíváním alkoholických piv (Sohrabvandi et al. 2010). Technologie výroby piva je brána za dekontaminační proces, a proto lze výrobek považovat za bezpečný. (Olšovská et al. 2014)

4 Materiál a metody

Pivo bylo vařeno pomocí dvou rmutového dekokčního způsobu za využití sladu mnichovského a bavorského. Pro chmelení byly použity odrůdy chmele ve formě granulí, Žatecký poloraný červeňák, Sládek a Premiant. Během procesu vaření (příloha 1 a 2) byla měřena stupňovitost (původní extrakt) sladiny před přidáním chmele a následně po zakvašení. Měření bylo prováděno pomocí ponoření cukroměru do odměrného válce se sladinou nebo zakvašenou mladinou. Zakvášeno bylo v kvasných kádích pomocí kvasnic *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri* (Safale LA-01) při teplotě 20 °C. Kvasnice byly dávkovány v objemu minimálně 0,5 l hustých kvasnic na hl. Po ukončení kvašení následně bylo pivo přečerpáno do cylindrokónických tanků za účelem zrání.

Za účelem snížení obsahu alkoholu a hořkosti ve finálním produktu byly postupně sníženy objemy sladu a chmele. Celkový čas vaření jedné várky byl přibližně 10 jodin. Analýza vzorku byla následně prováděna v laboratořích VOŠ, SPŠ a SOŠ Podskalská v Praze na přístroji Alcolyzer od společnosti Anton Paar.

Safale LA-01 (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri*)

Saccharomyces cerevisiae var. *chevalieri* je dominantní druh kvasinek, který se využíval především pro fermentaci vína z kokosové palmy. Je podobný běžným kmenům *Saccharomyces cerevisiae*, ale postrádá schopnost fermentovat maltózu. (Atputharajah et al. 1986)

Safale LA-01 jsou speciálně určena pro výrobu nízko nebo nealkoholického nápoje. Tyto kvasinky neasimilují maltózu a maltotriózu, ale asimilují jednoduché cukry (glukózu, fruktózu a sacharózu). Vyznačují se jemným aromatickým charakterem a absencí tvorby shluků po prokvašení, tvoří práškový zákal. Optimální teplota při kvášení je 10-25 °C. (Fermentis n.d.)

4.1 Popis použitých vzorků

Pro laboratorní analýzu byly použity vzorky prokvašeného piva z minipivovaru Hostivar – H2, kvasinkami *Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*. Laboratorní analýzy byly provedeny třikrát v závislosti data výroby.

Omezené množství vzorku bylo ovlivněno nedostatečným odbytem v důsledku mimořádných opatření Ministerstva zdravotnictví ČR č. j.: MZDR 13361/2020-1/MIN/KAN, kterým se s účinností od 26. března 2020 zakázal maloobchodní prodej a prodej služeb v provozovnách pro potřebu ochrany před výskytem šíření onemocnění COVID-19.

4.2 Příprava vzorku

Před stanovením alkoholu v pivu bylo nutné odstranit oxid uhličitý pomocí laboratorní třepačky a následně produkt přefiltrovat přes filtrační papír.

Použité chemikálie a nástroje

- Isooktan
- Kyselina chlorovodíková (6 mol/l)
- Alcolyzer (Anton Paar)
- Běžné laboratorní sklo a vybavení
- Laboratorní třepačka

4.3 Analýza vzorků

U vzorků byl analyzován obsah alkoholu, původní extrakt, hustota a doplňkové funkce jako je barva a pH pomocí přístroje Alcolyzer od společnosti Anton Paar. Dále byl stanoven obsah hořkých látek pomocí měření absorbance spektrofotometrem.

4.3.1 Analyzátor alkoholických nápojů

Analytický systém Alcolyzer měří nejdůležitější parametry kvality (alkohol, původní extrakt, hustota) u piva, vína a likérů. Pomocí doplňkových funkcí lze měřit také barva, pH a zákal. Vzorek nealkoholického piva, zfiltrovaného a zbaveného oxidu uhličitého byl naplněn do celého obsahu kyvety až po vrch. Vzorek byl vložen do karuselu analyzačního přístroje.

4.3.2 Stanovení hořkých látek

Ze zfiltrovaného piva zbaveného oxidu uhličitého bylo odpipetováno 10 ml vzorku do Erlenmeyerovy baňky o obsahu 100 ml a přidáno odpipetované množství (1,0 ml) HCl o koncentraci 6 mol/l. Roztok byl následně převrstven 20 ml isooktanu, zazátkován a třepán po dobu 5 minut. Po třepání se baňka nechala 1 minutu v klidu, v závislosti oddělení obou fází. Do kyvety byla následně převedena isooktanová fáze a měřena při absorbanci 275 nm proti čistému isooktanu.

5 Výsledky

Veškeré vzorky testovaných nealkoholických piv (tab. č. 2) vykazovaly slabou odchylku v obsahu alkoholu od předepsané legislativy. pH piva mělo vysokou hodnotu, která mohla být způsobena kvalitou vody nebo sladu. V důsledku vysoké hodnoty EPM byl také zároveň vysoký obsah alkoholu. Barva piva odpovídala tmavě zlatému zbarvení. Obsah iso- α -hořkých kyselin byl přepočten na jednotky IBU, kdy jedna jednotka IBU je rovna 1 mg iso- α -hořkých kyselin.

Tab. č. 2: Výsledky analyzovaných vzorků

Datum výroby	26. 8. 2020	14. 10. 2020	2. 2. 2021
Původní extrakt v hm. %	7,74	6,69	6,69
Hustota	1,02662	1,02252	1,02246
Zdánlivý extrakt v hm. %	6,73	5,71	5,70
Obsah alkoholu v obj. %	0,53	0,51	0,51
Barva	13,60	13,0	11,60
pH	5,19	5,18	5,16
Obsah iso- α -hořkých kyselin v mg	42,4	35,3	30,3

6 Diskuze

Dle legislativy viz tab. č. 1 jsou za nealkoholická považována piva s obsahem alkoholu do 0,5 % obj., za nízkoalkoholická piva s obsahem od 0,5 do 1,2 % obj. Z tabulky č. 2 vyplývá, že všechny vzorky mají lehkou nianci od požadovaných legislativních požadavků na pivo nealkoholické, avšak legislativa neuvádí požadavky s přesností na desetinná místa. Nejvyšší hodnotu vykazuje vzorek vařený 26. 8. 2020, což mohlo být způsobeno první testovací várkou. Po konzultaci s vrchním sládkem pivovaru Hostivar bylo ověřeno, že naposledy vařené pivo již obsahovalo pouze 0,48 obj. % alkoholu. Snížení obsahu alkoholu bylo docíleno pomocí snížení sypání sladu. Běžně vyráběná piva z minipivovaru Hostivar obsahují od 4,7 do 5,7 % obj. alkoholu.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 1151/2012 uvádí, že jsou piva kyselá. pH by se mělo pohybovat v rozmezí 4,0 – 4,9, ale pro Česká piva je charakteristické vyšší pH. Piva s nižším pH jsou chuťově kyselá a nepitelná. Zároveň je pH nižší než 4 indikátorem kontaminace octovými bakteriemi. U všech vzorků bylo pH zvýšené, což může být ovlivněno kvalitou vody nebo sladu. Dále byla měřena hustota piva, která byla vyšší oproti pivům průmyslovým v závislosti vyššího objemu sladu.

Extraktem původní mladiny se rozumí množství rozpuštěných cukrů, které se v mladině vyskytují, tedy před procesem kvašení a jsou vyjádřena v hmotnostních procentech. Označuje stupňovitost piva, která se podle legislativy uvádí v % EPM. U nealkoholického piva Hostivar se stupňovitost pohybovala v rozmezí 6 – 8 % EPM. Nejvyšší stupňovitost byla naměřena u první várky vařeného piva tj. 26. 8. 2020 a dosáhla hodnoty 7,74 % EPM. U tohoto vzorku byla zároveň naměřena nejvyšší hustota a také obsah alkoholu. Tyto hodnoty odpovídali vyššímu objemu sypání sladu v závislosti na první uvařené várce nealkoholického piva Hostivar.

Barva piva je dána použitými slady, z nichž je pivo uvařeno. V Evropě je barevná škála uváděna v jednotkách EBC, česká legislativa však nestanovuje přesné rozmezí. Naměřené hodnoty se pohybovaly od 11 do 14 EBC. V tomto případě vychází jako nejsvětlejší poslední měřené pivo, které mělo naměřenou hodnotu 11,60 EBC. Světlejší barva této várky byla získána snížením sypání sladu za cílem snížit obsah alkoholu ve finálním výrobku.

Hořkost piva je dána obsahem isosloučenin chmele, které představují především α -hořké kyseliny. Obsah hořkých kyselin se liší u jednotlivých chmelů v závislosti na druhu použitého chmele a objemu dodaného chmele do mladiny během vaření. Hořkost piva je udávána v jednotkách IBU nebo EBU, přičemž 1 jednotka IBU odpovídá 1 mg iso- α -hořkých kyselin. Naměřené hodnoty byly od 30 do 43 IBU, přičemž běžně dostupná Česká piva ležáckého typu dosahují jednotkám kolem 30 IBU. Minipivovar Hostivar vyrábí piva s hořkostí od 33 do 45 IBU. Vzhledem k hořkosti první várky byl objem dodaného chmele omezen za účelem snížení výsledné hořkosti.

7 Závěr

Všechny vzorky vykazovaly mírnou odchylku v oblasti obsahu alkoholu vlivem vysokého objemu sladu. Po snížení objemu vystíraného sladu bylo zároveň docíleno poklesu obsahu alkoholu v závislosti na redukcí koncentrace jednoduchých cukrů, které přechází do mladiny a podléhají glykolytickým procesům během hlavního kvašení. Ze získaných výsledků tedy vyplývá, že se v minipivovaru Hostivar podařilo uvařit nealkoholické pivo zákonem danou normou.

Metod pro výrobu nealkoholického piva je enormní množství, které se liší svou finanční náročností a kvalitou výsledného produktu. Nejefektivnějším procesem je membránový proces pervaporace, během kterého dochází pouze k drobnému úbytku aromatických sloučenin, a proto je výsledný produkt nejvíce podobný pivům alkoholickým. Tento postup je možný pro pivovary s větším kapitálem. Vzhledem k finanční náročnosti tohoto procesu by se minipivovary měly ubírat spíše cestou biotechnologií za účelem minimalizování nákladů pro produkci nealkoholických piv. V Českém pivovarnictví není produkce v rámci minipivovarů příliš rozšířená z důvodu nejistého prodeje. V minipivovarech je použití speciálních kvasinek nejméně riskantním a ekonomicky náročným způsobem pro produkci nealkoholického piva. Výhodou jsou podobné sensorické vlastnosti klasickému pivu, zároveň se však musí zohledňovat náročná péče o danou kulturu kvasinek.

Pokud chtějí mít pivovary jistotu vyšší sensorické kvality je zde nutnost financování do nových technologií. Nevýhodou je možné ovlivnění chuti piva fyzikálními procesy. V současnosti se výrobou nealkoholického piva v rámci minipivovarů zabývají dva tuzemské minipivovary, minipivovar Hostivar z Prahy a Proud z Plzně.

8 Literatura

- 248/2018 Sb. Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. 2021. Available from http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/legislativa/tematicke-prehledy-pravnich-predpisu-mze/_obsah_cz_mze_ministerstvo-zemedelstvi_legislativa_Legislativa-MZe_uplna-zneni_vyhlaska-2018-248.html (accessed April 2, 2021).
- Alcantara BM, Marques DR, Chinellato MM, Marchi LB, da Costa SC, Monteiro ARG. 2016. Assessment of quality and production process of a non-alcoholic stout beer using reverse osmosis. *Journal of the Institute of Brewing* **122**:714–718. John Wiley and Sons Inc.
- Ambrosi A, Cardozo NSM, Tessaro IC. 2014, April 15. Membrane Separation Processes for the Beer Industry: A Review and State of the Art. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-014-1275-0> (accessed March 2, 2021).
- Andrés-Iglesias C, Blanco CA, García-Serna J, Pando V, Montero O. 2016. Volatile Compound Profiling in Commercial Lager Regular Beers and Derived Alcohol-Free Beers After Dealcoholization by Vacuum Distillation. *Food Analytical Methods* **9**:3230–3241. Springer New York LLC.
- Atputharajah JD, Widanapathirana S, Samarajeewa U. 1986. Microbiology and biochemistry of natural fermentation of coconut palm sap. *Food Microbiology* **3**:273–280. Academic Press.
- Bamforth C. 2006. *Brewing: new technologies*. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Basařová G. 2010. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vydavatelství VŠCHT, Praha.
- Basařová G. 2015. *Sladařství*. Havlíček Brain Team, Praha.
- Brányik T, Vicente AA, Dostálek P, Teixeira JA. 2005. Continuous beer fermentation using immobilized yeast cell bioreactor systems. *Biotechnology Progress* **21**:653–663.
- Briggs D, Boulton C, Brookes P, Stevens R. 2004. *Brewing: Science and Practice*. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Cortés-Ceballos E, Nava-Valdez Y, Pérez-Carrillo E, Serna-Saldívar SO. 2015. Effect of the use of thermoplastic extruded corn or sorghum starches on the brewing performance of lager beers. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **73**:318–322. American Society of Brewing Chemists Inc. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1094/ASBCJ-2015-1002-01> (accessed April 28, 2021).
- Cuřín J. 1976. Non-alcoholic beer PITO. *Kvasny Prumysl* **22**:99–102. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp1976017.html> (accessed March 22, 2021).
- da Costa Jardim C, de Souza D, Cristina Kasper Machado I, Massochin Nunes Pinto L, de Souza Ramos R, Garavaglia J. 2018. Sensory Profile, Consumer Preference and Chemical Composition of Craft Beers from Brazil. *Beverages* **4**:106. MDPI AG. Available from

- <http://www.mdpi.com/2306-5710/4/4/106> (accessed April 19, 2021).
- Černý L, Vašák J, Křováček J, Hájek M. 2007. Jarní sladovnický ječmen. Available from <moz-extension://b707f9db-a12b-4d9d-9297-f8bc8c9b7d11/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fmetodiky.agrobiologie.cz%2FPDF%2FKRV%2FJarni-sladovnicky-jecmen-pestitelsky-radce.pdf> (accessed April 28, 2021).
- Český statistický úřad | ČSÚ. (n.d.). Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/domov> (accessed April 28, 2021).
- Čížková H, Hofta P, Kolouchová I, Dostálek P. 2005. The importance of amino acids in brewing industry and new methods of their determination. *Kvasny Prumysl* **51**:47–51. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2005003.html> (accessed April 28, 2021).
- Denke MA. 2000. Nutritional and health benefits of beer. *The American journal of the medical sciences* **320**:320–326. *Am J Med Sci*. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11093684/> (accessed April 28, 2021).
- Dunn A. 2006. Packaging Technology. Page 44 *Handbook of Brewing* 2nd Editio. CRC Press, Boca Raton.
- Enge J, Šemík P, Korbel J, Šrogl J, Sekora M. 2005. Technological aspects of infusion and decoction mashing. *Kvasny Prumysl* **51**:158–165. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2005008.html> (accessed April 28, 2021).
- Eumann M. 2006. Water in brewing. Pages 183–207 *Brewing: New Technologies*. Elsevier Inc.
- Fermentis. (n.d.). Safale La-01. Available from https://www.fermentis.com/wp-content/uploads/2019/07/TDS_SafAle-LA-01.pdf.
- de Gaetano G et al. 2016, June 1. Effects of moderate beer consumption on health and disease: A consensus document. Elsevier B.V.
- Huerta-Pérez F, Pérez-Correa JR. 2018. Optimizing ethanol recovery in a spinning cone column. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* **83**:1–9. Taiwan Institute of Chemical Engineers. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876107017306247> (accessed April 1, 2021).
- Humia BV, Santos KS, Barbosa AM, Sawata M, Mendonça M da C, Padilha FF. 2019. Beer Molecules and Its Sensory and Biological Properties: A Review. *Molecules* **24**:1568. MDPI AG. Available from <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/8/1568> (accessed April 19, 2021).
- Chládek L. 2007. *Pivovarnictví*. Grada publishing, a.s., Praha.
- Izák P, Šípek M, Hodek J. 1999. *Laboratorní přístroje a postupy APARATURA PRO PERVAPORAČNÍ DĚLENÍ KAPALNÝCH SMĚSÍ PLOCHÝMI POLYMERNÍMI MEMBRÁNAMI*. Page Chem. Listy.
- Jackowski M, Trusek A. 2018. Non-Alcoholic beer production-an overview. Sciendo.

- Jíra J. 1995. Beer pasteurization and present methods for its monitoring. *Kvasny Prumysl* **41**:138–144. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp1995009.html> (accessed March 30, 2021).
- Kantelberg B, Hermann H. 1992. Present state of crushing and mashing techniques. *Kvasny Prumysl* **38**:3–5. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp1992002.html> (accessed April 28, 2021).
- Kellner V, Čejka P, Čulík J, Horák T, Jurková M. 2002. Positive Contributions of Beer to Consumer's Health. *Kvasny Prumysl* **48**:244–248. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2002019.html> (accessed March 22, 2021).
- Killeit U. 2021, November 24. Novel non-cerevisiae *Saccharomyces* yeast species used in beer and alcoholic beverage fermentations. *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH*. Available from <https://www.mdpi.com/2311-5637/6/4/116> (accessed February 19, 2021).
- Kochláňová T, Kij D, Kopecká J, Kubizniaková P, Matoulková D. 2016. Non-*Saccharomyces* yeasts and their importance in the brewing industry. Part II. *Kvasny Prumysl* **62**:206–214. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky).
- Kodama Y, Kielland-Brandt MC, Hansen J. 2006. Lager brewing yeast. Springer, Berlin, Heidelberg. Available from <https://link.springer.com/chapter/10.1007/b106370> (accessed April 28, 2021).
- Kosař K. 2000. Technologie výroby sladu a piva. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha.
- Kunze W. 2016. Technologie Brauer und Mälzer. Page (Hendel O, editor)11. *Versuchs- u. Lehranstalt f. Brauerei*.
- Lança M. 2011. Desalcoolização Parcial de vinhos por Nanofiltração e Osmose Inversa. Efeito do nível de desalcoolização. *ISA/UTL*. Available from <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/4025> (accessed March 4, 2021).
- MacLeod L, Evans E. 2016. Malting. Page Reference Module in Food Science. Elsevier.
- Mezerová M. 2017. PivoJak poznám. Sdružení českých spotřebitelů, z. ú. a Potravinářská komora ČR, Praha.
- Miedl M, Leiper K. 2006. Brewhouse Technology. Page 64 *Handbook of Brewing* 2nd Editio. CRC Press, Boca Raton.
- Mueller NC et al. 2012. Nanofiltration and nanostructured membranes-Should they be considered nanotechnology or not? *Journal of Hazardous Materials* **211–212**:275–280. Elsevier.
- Mulder CJ. 2005. Malts and Malting. Page *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Muller C, Neves LE, Gomes L, Guimarães M, Ghesti G. 2020, April 1. Processes for alcohol-

- free beer production: A review. Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos, SBCTA.
- Müller M, Bellut K, Tippmann J, Becker T. 2017, October. Physical Methods for Dealcoholization of Beverage Matrices and their Impact on Quality Attributes. Wiley.
- Narziss L. 1992. Fermentation and ripening. State of our present knowledge. *Kvasny Prumysl* **38**:33–41. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp1992007.html> (accessed April 3, 2021).
- Navrátil M, Dömény Z, Šturdík E, Šmogrovičová D, Gemeiner P. 2002. Production of non-alcoholic beer using free and immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* deficient in the tricarboxylic acid cycle. *Biotechnology and Applied Biochemistry* **35**:133. Wiley. Available from <http://doi.wiley.com/10.1042/BA20010057> (accessed April 23, 2021).
- Olšovská J, MATOULKOVÁ D, ČEJKA P, JURKOVÁ M. 2014. Beer and Health. *Kvasny Prumysl* **60**:174–181. Kvasný Průmysl. Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2014017.html> (accessed March 22, 2021).
- Puerari C, Strejc J, Souza AC, Karabín M, Schwan RF, Brányik T. 2016. Optimization of alcohol-free beer production by lager and *cachaça* yeast strains using response surface methodology. *Journal of the Institute of Brewing* **122**:69–75. John Wiley and Sons Inc. Available from <http://doi.wiley.com/10.1002/jib.306> (accessed April 23, 2021).
- Purwasmita M, Kurnia D, Mandias FC, Khoiruddin, Wenten IG. 2015. Beer dealcoholization using non-porous membrane distillation. *Food and Bioproducts Processing* **94**:180–186. Institution of Chemical Engineers.
- Roberts TR. 2016. Hops. Pages 47–75 *Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence*. Elsevier Inc.
- Salanță LC, Coldea TE, Ignat MV, Pop CR, Tofană M, Mudura E, Borșa A, Pasqualone A, Zhao H. 2020, November 1. Non-alcoholic and craft beer production and challenges. MDPI AG.
- Šemík P. 2002. Plant Experiences in Additioning of Calcium During Wort Production. *Kvasny Prumysl* **48**:192–195. Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Vyzkumny Ustav Pivovarsky a Sladarsky). Available from <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2002017.html> (accessed April 28, 2021).
- Simate GS. 2015. Water treatment and reuse in breweries. Pages 425–456 *Brewing Microbiology: Managing Microbes, Ensuring Quality and Valorising Waste*. Elsevier.
- Sohrabvandi S, Mousavi SM, Razavi SH, Mortazavian AM, Rezaei K. 2010. Alcohol-free beer: Methods of production, sensorial defects, and healthful effects. *Food Reviews International* **26**:335–352.
- Srečec S, Rezić T, Šantek B, Marić V. 2009. Hop pellets type 90: Influence of manufacture and storage on losses of α -acids. *Acta Alimentaria* **38**:141–147.
- Stewart G, Priest F. 2006. *Handbook of brewing* 2nd Editio. CRC Press, Boca Raton.
- Swanston JS, Wilhelmson A, Ritala A, Gibson BR. 2014. Malting, Brewing, and Distilling. Pages 193–222 *Barley: Chemistry and Technology: Second Edition*. Elsevier Inc.

- Thun MJ, Peto R, Lopez AD, Monaco JH, Henley SJ, Heath CW, Doll R. 1997. Alcohol Consumption and Mortality among Middle-Aged and Elderly U.S. Adults. *New England Journal of Medicine* **337**:1705–1714. *New England Journal of Medicine (NEJM/MMS)*. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9392695/> (accessed April 28, 2021).
- Tvrdoň M. 1978. Školní atlas mikroorganismů pro 1. až 4. ročník SPŠ potravinářských. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- van Iersel MFM, Meersman E, Swinkels W, Abee T, Rombouts FM. 1995. Continuous production of non-alcohol beer by immobilized yeast at low temperature. *Journal of Industrial Microbiology* **14**:495–501. Springer-Verlag.
- Vyhláška č. 248/2018 Sb. 2018. Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-248#cast4> (accessed March 16, 2021).
- Willaert R, Nedovic V. 2006. Primary beer fermentation by immobilised yeast - A review on flavour formation and control strategies. John Wiley and Sons Ltd.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

- EPM extrakt původní mladiny
- IBU International Bitternes Units (Mezinárodní jednotky hořkosti piva)
- Mezinárodní jednotky hořkosti piva
 - 1 jednotka IBU odpovídá 1 mg iso - α - hořkých kyselin
 - IBU se u jednotlivých piv liší v závislosti na odrůdě jednotlivých chmelů
- EBU European Bitternes Units
- Evropská jednotka hořkosti
 - EBU je stanoveno Evropskou pivovarskou konvencí
 - Výpočty dochází k velmi obdobným hodnotám jako IBU
- EBC European Brewery Convention
- EBC jednotky jsou využívány pro měření barvy piva
 - Základní barvy se rozdělují na žlutou, jantarovou, hnědou a černou
- ADH
- Alkoholdehydrogenáza je enzym, který katalyzuje přeměnu primárních a sekundárních alkoholů na jim odpovídající aldehydy či ketony

10 Samostatné přílohy

Příloha 1: Varní list

VARNÍ LIST



Datum vaření	28. 7. 2020
Datum ležení	
Datum sudování	

Várka č.	36
Druh piva	SpK světlé
Stupňovitost	7°

Objem zakvašené mladiny	
Objem vystaveného piva	
Celkový čas vaření	9:51:00

SUROVINY

SLAD			CHMEL			KVASNICE		
Typ	Množství	%	Odrůda	α	Množství	Typ	Množství	X
český/plzeňský	60 kg		ŽPČ		1000 g	W95	5l	
mnichov I	60 kg		Premiant		550 g			
			Sládek		200 g			
			ŽPČ		1200 g			
celkem	120 kg		celkem		2950 g			

Poznámky:

kvasnice - La-O1

VARNÍ LIST**OPERACE**

DRUH OPERACE	OD	DO	MINUT	T [°C]	V [l]	POZNÁMKA		
Šrotování						14. 09. 2020		
Vystírání	7:30	7:57	0:27			900 l		
pauza	7:57	8:17	0:20					
Zapařování	8:17	8:46	0:29					
štěpení bílkovin	8:46	8:56	0:10					
Rmutování - 1. rmut	8:56	10:50	1:54					
zahřívání	9:04	9:14	0:10					
nižší cukrotvorná teplota	9:14	9:20	0:06					
zahřívání	9:20	9:31	0:11					
vyšší cukrotvorná teplota	9:31	9:52	0:21					
zcukřeno	9:52							
zahřívání do varu	9:52	10:08	0:16					
var	10:08	10:38	0:30					
vrácení 1. rmutu	10:38	10:50	0:12					
2. rmut	10:57	12:15	1:18					
zahřívání	10:57	11:01	0:04					
vyšší cukrotvorná teplota	11:01	11:31	0:30					
zcukřeno	11:31							
zahřívání do varu	11:31	11:55	0:24					
var	11:55	12:05	0:10					
vrácení 2. rmutu	12:05	12:15	0:10					
odrmutováno	12:15							
odpočinek	12:15	12:38	0:23					
Scezování - podrážení	12:38	12:45	0:07					
stékání předku	12:45	13:18	0:33			stupňovitost	8,2°	
1. chmel	13:01							
1. výstřelek	13:18	13:48	0:30			stupňovitost		
2. výstřelek						stupňovitost		
3. výstřelek						stupňovitost		
pohromadě	13:48					stupňovitost		
Chmelovar - zahřívání	13:48	13:55	0:07					
var	13:55	15:25	1:30					
2. chmel	14:10							
3. chmel	15:10							
Dovařeno	15:25							
Usazování kalů	15:33	16:16	0:43					
Chlazení mladiny	16:16	17:21						
Zakvašování	16:53		#####			stupňovitost	7,0°	