

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F2**

Fakulta strojní  
Ústav procesní a zpracovatelské techniky

## Nové postupy v pivovarnictví

Pavel Mareš

Vedoucí práce: Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.  
Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství  
Červen 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mareš** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **475042**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Nové postupy v pivovarnictví**

Název bakalářské práce anglicky:

**Novel trends in Brewing**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s postupy a technologií vaření piva. Zpracujte rešerši zaměřenou na nové a moderní postupy v pivovarnictví (např. technologie studeného chmelení, využití vysokého tlaku pro pasterizaci piva...). Pozornost věnujte zejména technickému řešení pro aplikaci nových postupů v pivovarnictví.  
Na základě poznatků získaných z rešerše navrhnete možnou aplikaci vybrané technologie do pivovaru o zvoleném výstavu piva.

Seznam doporučené literatury:

-Basařová a kol. Pivovarství, VŠCHT v Praze  
-články v odborných periodikách  
a podle doporučení vedoucího práce a vlastní rešerše

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jaromír Štancl, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Poděkování

Mé vřelé díky patří panu Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. za cenné rady při vedení mé práce, mé rodině a přátelům za psychickou podporu během celého studia.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jaromíra Štancle, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne 8.6.2021

Pavel Mareš

## Abstrakt

Práce představuje postupy a technologii vaření piva. Následně představuje vybrané moderní postupy v pivovarnictví (studené chmelení, náhražky sladu, vaření bezlepkových piv). Dále se práce věnuje technické realizaci dynamických metod studeného chmelení. Výstupem práce je basic design chmelového extraktoru pro malý pivovar o zadaném objemu výroby.

**Klíčová slova:** pivo, chmelový extraktor, studené chmelení

**Vedoucí práce:**

Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.  
Ústav procesní a zpracovatelské techniky  
Fakulta strojní ČVUT  
Technická 1902/4  
16000 Praha 6

## Abstract

In this thesis traditional process of beer brewing is briefly introduced. Followed by research on novel trends in brewing (such as dry hopping, malt alternatives and gluten-free beer brewing). In the main part of thesis technical implementation of dynamic methods of dry hopping are presented. Basic design of hop extractor is expected to be a result of the thesis.

**Keywords:** beer, hop extractor, dry hopping

**Title translation:** Novel trends in Brewing

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>		
<b>1 Stručná historie výroby piva</b>	<b>2</b>		
1.1 Mezopotámie	2		
1.2 Egypt	2		
1.3 Asie	3		
1.4 Palestina	3		
1.5 Starověká Evropa	3		
1.6 Germáni	3		
1.7 Území České republiky, Bavorsko	4		
<b>2 Druhy piva</b>	<b>5</b>		
2.1 Svrchně kvašené pivo	5		
2.1.1 Pivo typu Pale Ale	5		
2.1.2 Pivo typu Porter	6		
2.1.3 Pivo typu Stout	6		
2.1.4 Pšeničné pivo	6		
2.2 Spodně kvašené pivo	6		
2.2.1 Světlý ležák	6		
2.2.2 Tmavý ležák	7		
2.3 Spontálně kvašená piva	7		
<b>3 Postup výroby piva pilsněského typu</b>	<b>8</b>		
3.1 Vstupní suroviny	9		
3.1.1 Slad	9		
3.1.2 Voda	9		
3.1.3 Chmel	9		
3.1.4 Kvasinky	10		
3.2 Fáze procesu	10		
3.2.1 Šrotování	10		
3.2.2 Varna	11		
3.2.3 Vystírání	11		
3.2.4 Rmutování	11		
3.2.5 Scezování	12		
3.2.6 Chmelovar	12		
3.2.7 Procesy předcházející kvašení	12		
3.2.8 Kvašení	13		
3.2.9 Zrání	13		
3.2.10 Filtrování	13		
3.2.11 Pasterace	13		
<b>4 Moderní postupy v pivovarnictví</b>	<b>14</b>		
4.1 Náhražky sladu	14		
4.1.1 Škrobnaté náhražky	14		
4.1.2 Cukernaté náhražky	15		
4.2 Výroba bezlepkového piva	15		
4.2.1 Lepek, onemocnění související s dodržováním bezlepkové diety	15		
4.2.2 Výroba bezlepkového piva z bezlepkových náhražek	16		
4.2.3 Výroba bezlepkového piva ze sladů obsahující lepek	16		
4.3 Studené chmelení	16		
4.3.1 Statické metody studeného chmelení	17		
4.3.2 Dynamické metody studeného chmelení	17		
<b>5 Extrakce</b>	<b>18</b>		
5.1 Vyluhování	18		
5.1.1 Návrh vyluhování	19		
<b>6 Chmely pro studené chmelení</b>	<b>23</b>		
6.1 Chemické složení chmelové šišťice	23		
6.1.1 Uhlovodíky	23		
6.1.2 Kyslíkaté sloučeniny	24		
6.1.3 Sloučeniny obsahující síru	24		
6.2 Volba chmele pro návrh chmelového extraktoru	24		
6.2.1 Odrůda Sládek	25		
6.2.2 Odrůda Harmonie	25		
6.2.3 Odrůda Agnus	26		
6.2.4 Odrůda Rubín	27		
6.2.5 Odrůda Vital	27		
6.2.6 Odrůda Kazbek	28		
6.2.7 Volba chmele pro bilanci	29		
<b>7 Chmelové extrakty</b>	<b>30</b>		
7.1 Popis konstrukce chmelového extraktoru	30		
7.1.1 Možnosti technické realizace extraktoru	31		
7.1.2 Předběžný návrh zapojení	33		
7.2 Návrh objemu chmelového extraktoru	34		
7.3 Dimenzování chmelového extraktoru	34		
7.3.1 Návrh stěny válcové části extraktoru [37]	36		
7.3.2 Návrh stěny klenutého dna extraktoru [36]	37		
7.3.3 Shrnutí rozměrů hlavní části extraktoru	38		
7.3.4 Volba součástí pro chmelový extraktor	39		

7.4 Uvažovaný provoz chmelového extraktoru, odstavení od provozu .	41
7.4.1 Uvažovaný způsob provozu ..	41
7.4.2 Odstavení od provozu .....	41
<b>Závěr</b>	<b>42</b>
<b>A Seznam zkratk a symbolů</b>	<b>43</b>
<b>B Literatura</b>	<b>45</b>
<b>C Sestavný výkres chmelového extraktoru</b>	<b>50</b>
<b>D Schéma zapojení</b>	<b>51</b>

## Obrázky

3.1 Schéma výroby piva plzeňského typu .....	8
5.1 Schéma extrakce .....	18
5.2 Návrh extrakce .....	19
5.3 Závislost množství kapalné fáze na složení extraktu .....	20
5.4 Trojúhelníkový diagram .....	21
5.5 Trojúhelníkový diagram jednorázové extrakce .....	22
7.1 Chmelový extraktor .....	30
7.2 Mechanicky promíchávaný extraktor .....	31
7.3 Hydraulicky promíchávaný extraktor s externím filtrem .....	32
7.4 Předběžné schéma zapojení ....	33
7.5 Dimenzování stěny .....	35
7.6 Diagram pro určení součinitele $\beta_1$	37
7.7 Skica s rozměry .....	38
7.8 Příruba DN 200-typ 01 .....	39
7.9 Příruba slepá DN 200-typ 05 ...	39

## Tabulky

6.1 Odrůda Sládek .....	25
6.2 Odrůda Harmonie .....	26
6.3 Odrůda Agnus .....	26
6.4 Odrůda Rubín .....	27
6.5 Odrůda Vital .....	28
6.6 Odrůda Kazbek .....	28
7.1 Vstupní hodnoty .....	34
7.2 Vstupní hodnoty pro výpočet tloušťky stěny .....	35



## Úvod

V této práci budou nastíněny procesy výroby piva. Aby došlo ke správnému pochopení problematiky budou zasazeny do historického kontextu. Ačkoliv část popisu procesu výroby bude věnována zejména procesu výroby piva plzeňského typu, tak bude jedna kapitola věnována rešerši různých druhů piv, kde budou zvýrazněny hlavní rozdíly mezi nimi.

Další část rešerše bude věnována moderním postupům v pivovarnictví, kde budou představeny vybrané směry, kterými se pivovarnictví v dnešní době ubírá. Pozornost bude zejména věnována studenému chmelení, náhražkám sladu a výrobě bezlepkových piv.

Právě studenému chmelení bude věnována hlavní část práce. Budou zde uvedeny hlavní metody tohoto moderního postupu a jejich technická realizace.

V závěrečné části bakalářské práce bude navržen a nadimenzován chmelový extraktor (zařízení pro studené realizaci dynamického studeného chmelení) pro zvolenou kapacitu malého pivovaru. Výstupem celé práce bude basic design (sestavný výkres) chmelového extraktoru a schéma zapojení chmelového extraktoru do provozu malého pivovaru.



# Kapitola 1

## Stručná historie výroby piva

Pivo je alkoholický nápoj, který se vyrábí kvasným procesem z vody, sladu a chmelu (za působení pivovarských kvasinek). Zařízení pro výrobu piva se nazývá pivovar[1].

V této kapitole bude stručně nastíněna historie výroby piva. Dle mého názoru je pro pochopení celé problematiky moderních trendů v pivovarnictví důležitý alespoň minimální historický kontext. Proto v této kapitole stručně nastíním historický vývoj výroby piva.

### 1.1 Mezopotámie

Pivo je jedním z nejstarších alkoholických nápojů na naší planetě. První zmínky ohledně piva jsou známy již z pramenů ze starověké Mezopotámie, kde již staří Summerové ovládali toto řemeslo 4000-3000 let před Kristem. Staří Summerové vařili pivo z chleba, ze kterého se za přidání vody a ječného sladu (někdy i nesladového ječmene) vytvořila kašovitá směs. Ta se následně nechala kvasit. Pro zlepšení chutě se do takového piva občas přidávala zelená hořčice nebo jiné zelené rostliny. Protože v té době ještě nebyl známý chmel, tak se hořkosti nápoje dosahovalo pomocí pražení přidávaných zrn. Babyloňané též vařili pivo. Historické prameny hovoří o až osmi druzích piv. Ty se vařili převážně z ječmene a některé z kombinace ječmene a špaldy[1].

### 1.2 Egypt

Egypt byl dlouhou dobu považován za kolébkou pivovarství. (do roku 1913, kdy publikoval český orientalista Bedřich Hrozný své práce o Mezopotámii). Jak je patrné z velkého množství literárních pramenů, i ve starověkém Egyptě (cca 3000 - 2000 př.Kr.) bylo pivovarství úzce propojeno s pekařstvím. Pekárny a pivovary se také často stavěly do těsné blízkosti. Technologie výroby piva Egyptského se tedy velmi podobá té, která se využívala v Mezopotámii. Chleby se opět rozmělnily ve vodě a následná směs (dnes bychom řekli mladé pivo) se nechala dále kvasit. Hotový nápoj se na rozdíl od Mezopotámie dochucoval směsí koření[1].

## 1.3 Asie

V Indii se datuje první výroba piva kolem roku 3200 před Kristem. V Číně a Tibetu se vyráběly kvašené nápoje z ječmene v kombinaci s prosem nebo bambusovými výhonky. Asijské kultury byly také první kdo začal do svých kvašených nápojů přidávat chmel[1].

## 1.4 Palestina

Starověcí Židé pravděpodobně převzali výrobu piva z Egypta nebo Babylonie. Na rozdíl od těchto dvou civilizací však nevyráběli pivo z chleba, nýbrž ze sušeného ječmene (na slunci). Směs s vodou pak nechávali samovolně kvasit a výsledný produkt opět dochucovali kořením[1].

## 1.5 Starověká Evropa

Do Evropy dostali pivo pravděpodobně starověcí Řekové, ačkoliv bylo považováno za nápoj barbarů a chudých (na rozdíl od vína) a užívali ho zejména jako léku (proti horečce a nespavosti). Od Řeků převzala pivovarské řemeslo i kultura Etruská (od nich později Římané), kde stále bylo užíváno k medicínským účelům. Z antického světa se pak pivo dostalo do Británie (zde místní keltové míchali pivo vařené z obilného sladu s medem) a Hispánie (zde se vařilo pivo z ječmene a prosa a těšilo se stejné oblibě jako víno)[1].

## 1.6 Germáni

Historické prameny ukazují, že v Germánii vzniklo pivovarství nezávisle na antickém světě. První prameny hovoří o tom, že se pivo v Germánii vyrábělo již kolem roku 1600 před Kristem. První archeologické nálezy pak směřují výrobu piva k Halstadtské kultuře kolem roku 800 před Kristem. V Germánii se pivo vařilo v bronzové nádobě (kotli) vyhřívané rozpálenými kameny (někdy i žhavým uhlím). Pivo se vařilo z obilného sladu, jehož zbytky se z nápoje nefiltrovali (bylo tudíž dosti zakalené). Výsledný produkt se dochucoval myrhou nebo dubovým listím[1].

## 1.7 Území České republiky, Bavorsko

První zmínky o vaření piva na území dnešní České republiky pocházejí z období, kdy na naše území přichází keltský kmen Bójů, tedy ze čtvrtého století před Kristem. Archeologické nálezy na celém území České republiky (např. Praha-Hostivař, Zbraslav) pak potvrzují, že Bójové skutečně pivovarnické řemeslo ovládali[1].

Po krátkém období, kdy byli Bójové vytlačeni germánským kmenem Markomanů, přichází do Čech slovanské kmeny z východu (mezi 3.až 7. stoletím našeho letopočtu Čechové), které ovládali vaření piva z ječmene, prosa nebo ovsu. Toto pivo již bylo chmeleno[1].

V raně křesťanském světě nebyla výroba piva církví velmi podporována. Na počátku 9. století po Kristu však začala být Římskokatolickou církví podporována pivovarnická výroba v kláštorech (zejména Benediktýnských). Kvůli hojnému rozšíření tohoto řádu v Bavorsku a Čechách se rozmohly klášterní pivovary právě v našich zemích. Na území klášterů se pěstoval chmel a vznikaly celé pivovary. Dle mnišských řádů dostávaly i pivovary, zejména v Bavorsku, svá jména, která si některé pivovary uchovaly dodnes (např. Paulaner, Franziskaner a Augustiner v Mnichově). Spolu se zakládáním klášterních pivovarů se stává pivo významnou obchodní komoditou. V tento moment si právo vařit pivo (právo várečné) usurpuje mimo církve král, který ho menším správním jednotkám (např. městům) propůjčuje. Od středověku se české pivo těšilo po celé Evropě značné oblibě[1].

Významnou osobností, která se zasloužila o rozvoj českého i evropského pivovarství byl František Ondřej Poupě (1753-1805). F.O. Poubě byl sládkem brněnského pivovaru. Byl velkým propagátorem použití ječných sladů a založil v Brně první pivovarskou školu na světě. Jeho jméno nese prestižní ocenění zvané *Cena českého sládky Františka Ondřeje Poupěte za přínos pivovarnictví, sladařství a návazných odvětví v Česku*[2].

Celosvětově významným milníkem ve výrobě piva se stává založení **Měšťanského pivovaru v Plzni roku 1839**. V českých zemích se vařila piva zejména svrchně kvašená, protože ta kvasí při snadno dosažitelné teplotě 20 °C. Inspirací pro spodně kvašené světlé pivo byla bavorská tmavá piva, která se touto technologií již vařila. Za pomoci spodního kvašení chlazeného ledem na 10 °C, který se skladoval v takzvaných lednicích, zvýšeného dávkování chmelu a neprokvašení celého extraktu se podařilo uvařit roku 1842 první várku Plzeňského ležáku[1].

## Kapitola 2

### Druhy piva

Existuje mnoho rozličných druhů piva, v závislosti na technologii, kterou se vyrábí. Dle mého názoru, je velmi důležité nastínit, jaké jsou možnosti finálního produktu (eventuelně požadavky na finální produkt jako takový), abychom mohli dále zkoumat technologii výroby jako takovou. Technologie výroby jednotlivých piva se samozřejmě bude lišit v závislosti na požadovaném typu finálního produktu. V této kapitole se tedy budu stručně věnovat jednotlivým druhům piva a jejich základnímu rozdělení. Piva dělíme na spodně, svrchně a spontánně kvašená, podle typu použitých kvasinek[3].

#### 2.1 Svrchně kvašené pivo

Svrchně kvašená piva obvykle k fermentaci vyžadují zhruba pokojové teploty. Tato piva fermentují rychleji než piva kvašená spodně[1]. Do této kategorie se řadí *Aly*, *Portery*, *Stouty* a *pšeničná piva*. Svrchní kvašení způsobují kvasinky rodu *Saccharomyces cerevisiae* poddruhu *cerevisiae*. Kvasný proces probíhá zhruba za pokojové teploty (18-22 °C) a trvá od dvou do osmi dní. Kvašení se uskutečňuje v tancích, případně v samotných lahvích. Takto vykvašená piva se nachávají zrát při teplotě 10 °C zpravidla po dobu dvou týdnů[3].

##### 2.1.1 Pivo typu Pale Ale

Pale znamená v překladu z angličtiny světlý. Jedná se tedy o světlá svrchně kvašená piva. Používá se světlých, většinou ječných sladů. Původně byla piva typu *ale* vyráběna bez přidání chmelu (tím se odlišovala od ležáků). Dnes jsou naopak většinou silně chmelena[4].

Piva typu *ale* původně pochází z Ameriky, Anglie a Austrálie. Dále jsou velmi oblíbená v Belgii.

### 2.1.2 Pivo typu Porter

Piva typu porter jsou tmavá svrchně kvašená piva z opražených ječných sladů. Přidává se do nich chmel. Vyznačují se čokoládovou nebo kávovou chutí[4]. Porter má svůj původ v Anglii. Svůj název si toto pivo získalo od anglických poslíčků v říčních přístavech, u kterých bylo na počátku 18.století velmi oblíbené. Oproti podobnému druhu piva *Stout* má *Porter* zpravidla menší obsah alkoholu [5].

### 2.1.3 Pivo typu Stout

Tato tmavá svrchně kvašená piva mají svůj původ též na Britských ostrovech. *Stouty* jsou vařeny opět z pražených ječných sladů a chmeleny. Oproti *Porterům* mají vyšší obsah alkoholu. (můžou v extrémních případech obsahovat až 8% objemových alkoholu). Vyznačují se opět hořkou kávovou chutí, která je důsledkem pražení sladu [4],[5].

### 2.1.4 Pšeničné pivo

Jak název napovídá, tento druh svrchně kvašených piv se vyznačuje tím, že je k výrobě použito alespoň z jedné třetiny cukernatého podílu extraktu z pšenice [6]. Zvláště u bavorských piv je však podíl pšeničného sladu daleko větší (i 50%). Druhů pšeničných piv je velmi mnoho, liší se barvou, chutí i obsahem alkoholu[4].

## 2.2 Spodně kvašené pivo

Spodní kvašení probíhá při nižších teplotách než kvašení svrchní, tedy v rozmezí mezi 7-15 °C. Tento typ kvašení způsobují též kvasinky rodu *Saccharomyces cerevisiae*, *nýbrž z poddruhu Uvarum*[3]. Mezi tato piva se řadí světlé a tmavé ležáky(11°, 12°), dále pak světlá výčepní piva(10°) a piva speciální(13° a více). Toto dělení piva, se nazývá dělení dle obsahu extraktu původní mladiny. To značí podíl látek, které se na varně uvolní ze sladu. Čím větší stupňovitost, tím více se uvolnilo ze sladu látek a tím je chuť výsledného piva plnější. Toto názvosloví je typické pro Českou republiku, momentálně je v jednání sjednocení s názvoslovím mezinárodním[6].

### 2.2.1 Světlý ležák

Tento nejoblíbenější typ piva v české republice se vaří z ječného sladu. I ve světě je tento druh piva velmi oblíbený, protože zaujímá 70 % světové produkce piva. Po uvaření a vykvašení se nechá ležák několik týdnů ležet (odtud název) a zrát. Ležáky se vyznačují bohatou pěnou, chmelovým aroma a hořkou chutí[6].

### ■ 2.2.2 Tmavý ležák

Tmavé barvy tohoto ležáku je dosaženo opět pražením ječmene na slad. Tento druh piva přímo předcházel výrobě světlých ležáků plzeňského typu. Chuť tmavých ležáků bývá kávová a hořká s hutnou pěnou[1].

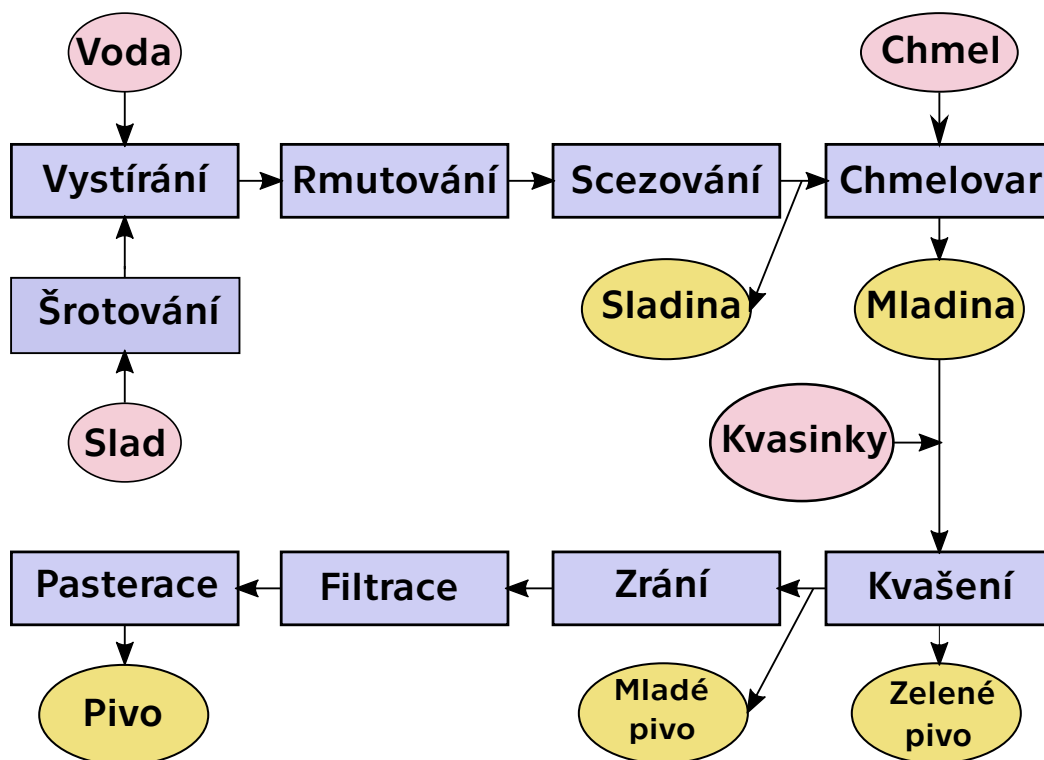
## ■ 2.3 Spontálně kvašená piva

Tento historicky původní způsob kvašení piva využívá bakterií ze vzduchu a ze zbytků, které zůstali v sudech po předchozí várce piva. V dnešní době je tento způsob kvašení velmi náročný, protože požadovaná mikroflóra (aby nedocházelo ke kolísání kvality výsledného produktu) se musí pěstovat na stěnách sudů i několik let[3].

## Kapitola 3

### Postup výroby piva plzeňského typu

Pro přehlednost je přiloženo schéma výroby. Následující kapitola bude věnována jednotlivým částem tohoto procesu. Červeně jsou zobrazeny vstupní suroviny, modře jednotlivé fáze procesu a žlutě pak produkty tohoto výrobního procesu.



Obrázek 3.1: Schéma výroby piva plzeňského typu[7]

## ■ 3.1 Vstupní suroviny

Tato podkapitola se bude věnována vstupním surovinám celého procesu výroby piva plzeňského typu a to: sladu, vodě, chmelu a pivovarským kvasinkám.

### ■ 3.1.1 Slad

Slad je jednou ze čtyř základních vstupních surovin pro výrobu piva. Slad se pro pivo plzeňského typu vyrábí z ječných zrn, která se ve sladovně nejprve namáčí a poté dochází k jeho klíčení (důvodem je uvolnění enzymů vyrábějících cukr) a následně k jeho řízenému sušení [7] (takzvanému *hvozďení*). Délka a podmínky sušení mají značný vliv na vlastnosti sladu. Pro pivo plzeňského typu se užívá světlého ječného sladu, který je vyráběn z ječmene setého (*Hordeum sativum*)[8].

Na kvalitu sladu má vliv mnoho faktorů. Mezi ně řadíme odrůdu použitého ječmene, použitou technologii sladování a podmínky, za kterých je slad skladován. Samotná kvalita sladu pak velmi ovlivňuje finální vlastnosti (fyzikálně-chemické, biochemické a organoleptické) uvařeného piva[8]. Slad je prvotní vstupní surovinou celého procesu vaření piva[7].

### ■ 3.1.2 Voda

Pivovarství je jedno z odvětví průmyslu, které mají největší spotřebu vody z celého průmyslového spektra. Voda v celém procesu vaření piva slouží nejen jako jedna ze vstupních surovin, ale také jako důležitá součást podpůrných a přidružených procesů, jako je sterilizace a mytí. Dále se používá například jako zdroj páry v parogenerátorech (například při varu mladiny). Voda, která se používá v samotném varném procesu musí hygienicky splňovat požadavky na pitnou vodu. Sterilizační voda nesmí být biologicky ani chemicky kontaminována a voda na přidružené procesy musí vždy svou kvalitou odpovídat předepsaným potravinářským normám. Kvůli masivní spotřebě vody získávají pivovary svou vodu většinou z přírodních zdrojů vody a to ze spodních, či povrchových vod. Následně samozřejmě musí dojít k jejich úpravě na požadovanou kvalitu, dle požadavků procesu[8]. Voda, použitá pro samotné vaření piva, vstupuje do procesu ve fázi vystírání [7].

### ■ 3.1.3 Chmel

Chmel otáčivý (*Humulu lupulus*) je konopovitá rostlina [9], která poskytuje pivu jeho nezaměnitelnou hořkou chuť. Ta je způsobena zejména chmelnými pryskyřicemi obsažených ve chmelových šišticích (hlávkách). Další technologicky významné látky obsažené ve chmelu jsou zejména chmelové silice a polyfenoly. Mimo chuťové vlastnosti, má chmel v pivu vlastnosti i konzervační. Chmelové šišťice je po sklizni nutné zakonzervovat, aby ho bylo možné skladovat. Nejjednodušším a nejpoužívanějším konzervačním postupem je sušení na skladovatelnou vlhkost kolem 10 až 11 %. Chmel se suší v zařízeních



zvaných sušárny. Dnes se používají komorové a pásové sušárny. V komorových sušárnách se suší při teplotách 55 až 60 °C. Pásové sušárny jsou konstruovány víceúrovňově. Na nejvyšším patře dosahuje teplota až 95 °C za proudění vzduchu rychlostí až 0,8 m/s. V prostředním patře se suší na 75 °C při rychlosti 0,5 m/s. V nejnižším patře se suší vzduchem o teplotě 60 °C při rychlosti proudění vzduchu 0,3 m/s. Chmel je kvůli konzervaci dále sířen. Po těchto procesech je možné chmel bezpečně skladovat[8]. Chmel vstupuje do procesu vaření piva ve fázi chmelovaru[7].

### ■ 3.1.4 Kvasinky

Jako kvasinky bývají v pivovarství označovány kultury používané pro laboratorní účely, kdežto pro aktivní biomasu většího množství kvasinek užívaných v samotném procesu se užívá výraz **várečné kvasnice**[8].

Pro ležáky pšenského typu se užívá spodních kvasnic *Saccharomyces cerevisiae*, poddruhu *Uvarum* [3] nebo poddruhu *carlsbergensis* [8]. Tyto kvasinky potřebují ke správné funkci teploty v rozmezí od 7 do 15 °C a mají tendenci usazovat se na dně kvasné kádě (proto se tomuto procesu říká spodní kvašení). Kvasinky se v celém várečném procesu objeví poprvé v takzvaném zakvašování. Do provzdušněné mladiny se před samotnou fází kvašení rozpráší kvasinky. V tento moment se začínají kvasinky v mladině exponenciálně množit a nastává fáze hlavního kvašení[8].

## ■ 3.2 Fáze procesu

V této podkapitole budou popsány jednotlivé fáze procesu výroby piva pšenského typu.

### ■ 3.2.1 Šrotování

Jedná se o první fázi výroby piva v pivovaru. Při ní dochází k rozemletí přivezeného sladu[7]. Smyslem šrotování je umožnit průběh enzymatických procesů, které mají za úkol rozštěpit škroby v *endospermu* zrna (pletivo, které vzniká v zrně krytosemenných rostlin po oplození[10]). Tyto procesy se budou odehrávat na varně, zejména při rmutování. Čím jemněji je slad nadrcen, tím, mají enzymy snazší přístup ke škrobům obsaženým v zrně. Nesmí však dojít k narušení takzvané *pluchy*[8]. Plucha a pluška jsou zbytky kvítkového orgánu v zrně[11]. Tyto povrchové vrstvy pak tvoří důležitou součást při scezování. Aby byly tyto povrchové vrstvy zachovány, používá se občas *kondicionování* sladu, může se šrotovat i za mokra. Pro mletí za sucha se užívá dvou až pětiválcových šrotovníků.

Kondicionované mletí je založeno na principu zvlhčování sladu teplou vodou (30 °C) ve šnekových kondicionérech nebo v máčecích šachtách. Vlhčením se zvýší elasticita pluch (a tím jejich odolnost). Je možné kondicionovat též parou.

Šrotování za mokra spočívá v namáčení sladu ve studené vodě a následném mletí. Cílem je opět zvýšit elasticitu pluchy zrn. Voda z tohoto procesu je dále užívána ve vystírací kádi. Nutno poznamenat, že v některých pivovarech bývá šrotovací zařízení součástí varny, většinou se však nachází externě ve šrotovnách [8].

### ■ 3.2.2 Varna

Procesy vystírání, rmutování, scezování a chmelovaru se odehrávají na **varně** pivovaru. Produktem varny je takzvaná **mladina**[8].

### ■ 3.2.3 Vystírání

Vystírání je první přípravný proces pro výrobu sladiny, ze které vznikne po rmutování, scezování a chmelovaru mladina. Vystírání si klade za cíl smíchat varní vodu se sladovým šrotem (produktem šrotování). Našrotovaný slad obsahuje jen malé množství ve vodě rozpustných látek (především cukry, sacharosa, maltosa, glukosa a fruktosa a další neškrobové sacharidy). Je tedy snaha o co nejefektivnější přechod těchto rozpustných látek do roztoku. Toho lze docílit optimálním poměrem **sypání** (množství a složení použitých pevných surovin na jednu várku) a množství vody obsažené v **hlavním nálevu**, který je právě při vystírání smíchán se sypáním. Vystírat lze při několika teplotách v závislosti na kvalitě použitého sladu. Dle nich pak dělíme vystírání na studené (teplota voddy je menší než 20 °C), teplé (35-38 °C) a horké (50-62 °C). Samotné vystírání pak probíhá ve vystěradlech po dobu 10 až 30 minut. Při mokřém šrotování pak obě technologie zaberou cca 60 minut[8].

### ■ 3.2.4 Rmutování

Účelem rmutování je rozštěpit a převést optimální množství především zkvasitelných cukrů ze sladu do roztoku, tak aby byly zastoupeny v požadovaném množství. Během rmutování probíhá řada mechanických, fyzikálních chemických a enzymových procesů. Nejvýznamnější ze všech je však proces štěpení škrobu na zkvasitelné sacharidy za působení amylytických enzymů.

Rmutovací procesy lze rozdělit na dekokční a infuzní. Při dekokčních postupech je rmut (nebo jeho podíl-jeden až tři) postupně vyhříván na technologicky podstatné teploty. Například pro nejpoužívanější *dvourmutový* postup u méně rozluštěných sladů se používá vystírka o teplotě 35 až 37 °C. Poté se zahřeje na zapařovací teplotu 50 °C, kde se setrvá 10 až 20 minut. Dále následuje zahřívání nejprve na nižší cukrotvornou teplotu 62 až 65 °C. Na té se může, ale nemusí setrvat dalších cca 10 minut. Poté se postupně zahřívá na vyšší cukrotvornou teplotu 72 až 74 °C. Po zhruba deseti minutách dojde k dokonalému zcukření a je možno celou směs uvést k varu, který probíhá 15 až 20 minut. Za stálého míchání se vrátí rmut do vystírací nádoby, kde postupně chladne na nižší cukrotvornou teplotu, přidá se druhá část rmutu a celý proces se opakuje.

Infuzní postupy zprostředkovávají rozpouštění a štěpení extraktu sladu působením sladových enzymů. Rmutování probíhá ve rmutovacích pánvích[8].

### ■ 3.2.5 Scezování

Scezování je fyzikální proces, které má za úkol oddělit pevné (kašovitě) **mláto** od roztoku, který obsahuje výtažky ze sladu. Tento roztok, který je dále používán ve výrobě mladiny se nazývá **předek**. Po samotném fyzikálním cezení následuje takzvané **vyslazování**. Jedná se o vyluhování zbytkového extraktu z mláta. Produkt vyslazování nazýváme **výstřelky**. Po smíchání výstřelků s předkem vzniká sladina se kterou se dále pracuje. Nejčastěji scezování probíhá na sladinových filtrech nebo ve scezovacích varních nádobách[8].

### ■ 3.2.6 Chmelovar

Ve chmelovaru probíhá vaření sladiny s chmelem. Odehrává se zde řada fyzikálních, chemických a biochemických procesů, které jsou podporovány mechanickým promícháváním. Účelem těchto procesů je odpařit nadbytečnou vodu a těkavé látky (např. chmelové silice). Dále je jejich úkolem "vypnout" enzymy, které ve sladině působí z předchozích procesů. Jelikož chmel slouží jako sterilizační látka, je úkolem procesů na chmelovaru též *inaktivovat* sladinu a zničit tím zbytkovou mikroflóru. Na chmelovaru se též extrahují hořké látky z chmele do sladiny. Celý proces probíhá v takzvaných *mladinových* pánvích. Jedná se o vyhřívané nádoby s mechanickým zařízením pro promíchávání, aby došlo k co nejdokonalejším procesům výše popsaných[8].

Produkt chmelovaru (potažmo celé varny) se nazývá **Mladina**.

### ■ 3.2.7 Procesy předcházející kvašení

Předtím než mladina opustí varnu je nutné zbavit ji jemných pevných částic (kalů). To probíhá ve *whirpoolu*, česky *vířivé kádi*. Zde je mladina vpuštěna a vlivem vírového efektu se začne mladinový kal usazovat u středu a na dně kádě. Čirá mladina se pak může odčerpat[12]. Vedlejším důsledkem průchodu whirpoolem je též provzdušnění mladiny, které podporuje proces kvašení. Mladina je následně řízeně ochlazována, přidávají se do ní pivovarské kvasnice a nastává samotný proces kvašení[7]. Pro tradiční výrobu spodně kvašeného piva se zákvasná teplota pohybuje kolem 5 °C. Pro zrychlené spodní kvašení se dnes však používá teplot od 10 do 15 °C[8].

### ■ 3.2.8 Kvašení

Hlavní kvašení piva je biochemický proces při kterém je přeměněna glukosa na oxid uhličitý a ethanol, jak popisuje následující rovnice[8].



Dále se v menší míře kvašením tvoří i jiné látky (vyšší alkoholy, aldehydy, diketony a podobné), které pak mají vliv na finální chuť a charakter piva[13]. Kvašení mladiny má několik fází. Počínáje zákvasem (viz. Kvasinky), následuje hlavní kvašení (pivo ve fázi hlavního kvašení se nazývá **zelené pivo**)[7], probíhá kvašení buď tradičně v otevřených spilkách nebo v cylindrokónických tancích. Brzy po zakvašení nastává fáze **zaprashování**, kdy se na povrchu tvoří bílá pěna. V další fázi, zvané **propadání**, se na povrchu tvoří velmi hustá nahnědlá pěna. Po této fázi se kvasinky usazují na dně nádoby. Následně, po odčerpání prokvašené mladiny, nyní mladého piva, se kvasinky sedimentované na dně spilky (CK tanku) znovu použijí na kvašení další várky (musí být před použitím ještě proprány)[13]. Sedimentace je zejména u CK tanků podpořena snížením teploty zeleného piva[8].

### ■ 3.2.9 Zrání

Ze spilky se mladé pivo přečerpá do ležáckého tanku. V případě CK tanků, může kvašení i zrání v probíhat v jednom tanku[14]. V ležáckém tanku pak při teplotě 1 až 3 °C probíhá fáze takzvaného **dokvašení**. V ležáckém tanku je pivo pod tlakem, tudíž je syceno vznikajícím oxidem uhličitým. Doba ležení (zrání) se výrazně liší podle požadované hodnoty koncentrace zbytkové mladiny (stupňovitosti piva). [13]. Například doba zrání speciálního ležáku (12°) od Budějovického Budvaru (Kroužek) je 90 dní[15].

### ■ 3.2.10 Filtrování

Za účelem odstranění kalů z piva před finálním stáčením, je vykvašené a uzrálé pivo filtrováno. Nejčastěji se tak odehrává na deskových nebo svíčkových filtrech. Filtrovacím médiem je pak křemelina, která se spolu s kaly usazuje na deskách (nebo svíčkách) filtru. Po odčerpání piva je nutné filtr vyčistit. Z desek filtru je odstraněn takzvaný **filtrační koláč**. Ten je pak dále odveden do zařízení na regeneraci křemeliny, která může být znovu použita[13].

### ■ 3.2.11 Pasterace

Pasterace je proces, který slouží ke zvýšení biologické stability finálního produktu (jeho trvanlivosti). Pivo je většinou pasterováno již po plnění v lahvích, či plechovkách v zařízeních, která se nazývají ponorné, nebo tunelové pastéry. Voda, která tepelně pivo ošetří má teplotu 62 °C[13].

## Kapitola 4

### Moderní postupy v pivovarnictví

Následující kapitola bude věnována moderním trendům v pivovarnictví. Uvedeny budou stručné popisy vybraných trendů a technologií s přihlédnutím k jejich přínosu pro celý várečný průmysl.

#### 4.1 Náhražky sladu

Náhražky sladu se v pivovarství užívají z několika důvodů. Hlavním důvodem bývají ekonomické aspekty, protože sladové náhražky bývají levnější. Dále se náhražek užívá při výrobě piva v oblastech, kde jsou sladové obilniny nedostatkovou komoditou (vůbec se nepěstují a jejich import by byl příliš nákladný). V poslední řadě se náhražek užívá pro docílení specifických chuťových (např. u piv belgického typu) nebo strukturních (bezlepková piva) vlastností. Náhražky též zvyšují *koloidní stabilitu* piva[16] (jedná se o dobu od stočení piva po moment, kdy vzniká zákal, který je již neakceptovatelný pro čistotu produktu)[17].

Náhražky sladu můžeme rozdělit na škrobnaté a cukernaté[16].

##### 4.1.1 Škrobnaté náhražky

Mezi tyto náhražky se řadí suroviny, které mají vysoký podíl škrobu, tudíž i samotné obilniny, ze kterých se ve sladovnách vyrábí slad. Ve fázi vystírání je obvykle užíváno kombinace sladového šrotu (25% hm.) a škrobnatých sladových náhražek (75% hm.). Tyto suroviny musí projít procesem takzvané **surogace**. Protože škrob obsažený v náhražkách mazovatelí později, než škrob obsažený ve sladu, je nutné při vystírání nejprve zahřát vystírku (surogát+sladový šrot) na teplotu mezi 70 a 80 °C a na té celou směs udržovat po dobu deseti až dvaceti minut, aby došlo ke zmazovatelí škrobů z nesladových náhražek. K tomuto procesu je nejvhodnější ječmen (protože složení těchto obilnin je nejvíce podobné samotnému sladu)[16].

Dále jsou užívány například pšeničné náhražky pro pšeničná a belgická piva. V Severní Americe a Asii je nejčastější náhražkou rýže, která má velmi příznivou extraktivnost a nebo kukuřice, která se přidává do procesu vystírání ve formě moučky[16].

### ■ 4.1.2 Cukernaté náhražky

Jedná se o cukry buď v krystalickém, nebo tekutém stavu. Cukernaté náhražky nejsou tak obtížně zpracovatelné, jako ty škrobnaté, proto se do celého procesu přidávají do mladiny, někdy dokonce až při fázi chmelovaru. Přidáním cukru se zvýší prokvašení, tedy obsah alkoholu, nicméně chuť piva ztrácí na plnosti a pěna u piv takto vyráběných není tak hustá. K surgování piv tímto způsobem se užívá řepných, či třtinových cukrů. Někdy se též přidává průmyslový škrobový cukr vyráběný z brambor[16].

## ■ 4.2 Výroba bezlepkového piva

Protože pivo je hned po pečivu jednou z nejvýznamnějších potravin obsahující lepek, byla v posledních letech snaha vyvinout procesy na výrobu bezlepkového piva. Toho lze dosáhnout několika způsoby. Buď nahrazením sladu jeho bezlepkovou náhražkou (tato podkapitola tudíž úzce souvisí s tou předchozí) a nebo enzymatickým procesem odbourání lepku, který popíšu níže.

### ■ 4.2.1 Lepek, onemocnění související s dodržováním bezlepkové diety

Lepek nebo též gluten je směsí dvou bílkovin gliadinu a gluteninu. Lepek je obsažen v obilninách, jako jsou ječmen, oves, pšenice a žito. Je známo několik onemocnění, při kterých je nutné ze stravy vypustit lepek[18].

Jedním z nich je alergie na lepek, kdy dochází k potížím zažívacího traktu po požití lepku. Může dojít též ke kožním nebo dýchacím potížím. Reakce bývá rychlá. Může dojít k anafylaktickému šoku, který může mít za následek i smrt[18].

Velmi vážným onemocněním je potom celiakie. Jedná se o celoživotní nesnášenlivost na lepek. V reakci na pozření lepku dochází k autoimunitnímu zánětu sliznice tenkého střeva, který vede k poškození stěny střeva (ničí klky). Při dlouhodobém neléčení může dojít k totálnímu naborání metabolismu jedince[18].

Další asi nejvzácnější chorobou je Duhringova dermatitida. V tomto případě se reakce na lepek projevuje kožními potížemi a dochází opět k poškození tenkého střeva (i když ne tak masivnímu jako u celiakie)[18].

Existují i případy negativní reakce na lepek u případů, kde není prokázána celiakie, duhringova dermatitida, ani alergie na lepek)[18].

#### ■ 4.2.2 Výroba bezlepkového piva z bezlepkových náhražek

Pro nahrazení ječného sladu většina výrobců používá čirok, pohanku, rýži a kukuřici. První dvě jmenované mají vlastnosti, které se nejvíce blíží ječným (nebo pšeničným) sladům. Na českém trhu se stala bezlepková piva již běžnou záležitostí. První česká bezlepková piva se objevila na trhu v roce 2008 v Ostravském pivovaru. Byla uvařena z pohanky (15°), o pár let později přišlo na řadu pivo z kukuřice (11°)[19].

#### ■ 4.2.3 Výroba bezlepkového piva ze sladů obsahující lepek

Žatecký pivovar přišel s inovací, když dokázal vyrobit bezlepkové pivo z ječného sladu[20]. Bylo zjištěno, že ječná zrna přirozeně obsahují enzym prolin, který je schopen štěpit sekvence prolaminu v lepku, které jsou pro celiaky nebezpečné. Přirozeně je aktivita tohoto enzymu velice nízká. Je tudíž nutné upravit podmínky klíčení zrna sladu (zvyšuje se vlhkost, teplota a prodlužuje se doba klíčení), aby byl tento enzym aktivován ve větší míře. Aby se tento proces podpořil, přidávají se během procesu ještě též enzymy komerční. Jedním z nich je prolin-specifická endoproteáza, který se dávkuje zejména při rmutování. Optimální teplota pro jeho aktivaci je 50-57 °C a pH mezi 5-8,5. Tento enzym se izoluje z houby zvané kropidlák černý (běžně způsobuje plísně na ovoci). V České republice dnes vaří bezlepkové pivo hlavně Žatecký pivovar (piva Celia a Celia dark), Dále pivovary Bernard (z Humpolce) a Ferdinand (z Benešova u Prahy)[21].

### ■ 4.3 Studené chmelení

Účelem technologie studeného chmelení je přenést do piva co největší podíl aromatických látek (silic). Celý proces výroby je podobný jaku u tradičních piv. Studeně chmelená piva však bývají chmelená na dvakrát nebo na třikrát. První chmelení nastává tradičně ve fázi chmelovaru do maldinové pánve[22]. Někdy se přidává chmel i do vířivé kádě, kde je mladina vpuštěna a vlivem vírového efektu se začne mladinový kal usazovat u středu a na dně kádě. Čirá mladina se pak může odčerpat[12]. Poslední fáze, kdy se do piva přidává chmel, je studená fáze výroby piva, při fázi hlavního kvašení nebo zrání (odtud také nese studené chmelení svůj název). Během dlouhého macerování (louhování) chmelu v této fázi se do nápoje dostane daleko více chmelových silic než při tradiční horké fázi ve chmelovaru. Během této fáze se samozřejmě do piva extrahují také hořké látky (zejména kyseliny) a látky od nich odvozené. Tato fáze studeného chmelení má tudíž esenciální vliv na finální chuť (hořkost) uvařeného piva. Studené chmelení je celkem náročný proces. Existují různé metody, jakými lze docílit kýženého výsledku. Tyto metody se obvykle dělí do dvou skupin na statické a dynamické[22].

### ■ 4.3.1 Statické metody studeného chmelení

Statické metody spočívají v jednoduchém vložení chmelových produktů do nádob obsahujících pivo. Chmelové produkty jsou z pravidla vkládány během fáze hlavního kvašení nebo zrání, ojediněle pak probíhá studené chmelení na již hotovém pivu. V nádobě s pivem pak dochází k pozvolné difuzi zejména chmelových silic do piva[22].

Do prázdné nádoby jsou nejprve vloženy chmelové produkty. Aby nedocházelo k jejich nechtěné oxidaci, je nejprve nutné nádobu před naplněním zbavit vzdušného kyslíku (*evakuovat* vzduch z nádoby) a poté ji naplnit inertním plynem. Následně je možné do nádoby přečerpát pivo (obvykle ochlazené před fází zrání). Vzhledem k tomu, že chmelové silice jsou látky nepolárních charakteru, je jejich difuze do roztoku značně pomalá (dny až měsíce). U statických metod bývá ukončení procesu studeného chmelení značně náročné. U CK tanků dochází k takzvanému odstřelování volně loženého chmele na dně tanku. Nejčastěji však dochází k prostému přečerpání piva do jiné nádoby (což je ale náročné na prostor, protože je zapotřebí dvou nádob). Tento problém řeší užití takzvaných *silicových preparátů*. Ty vznikají destilací chmelového materiálu a jsou do piva přidány, jak je popsáno výše. Nevzniká pak problém s odstraněním zbytkového chmelového materiálu z piva. Tyto preparáty se dávkuje v řádech gramů na hektolitry piva, protože se jedná o velmi koncentrované látky. Tyto látky je vhodné dávkovat při přečerpávání piva, protože turbulentní proud je pomůže lépe rozptýlit po celé tekutině[22].

### ■ 4.3.2 Dynamické metody studeného chmelení

Principem dynamického studeného chmelení je neustálý pohyb piva zaručený buď mícháním, nebo přečerpáváním. Toto proudění značně usnadňuje difuzi chmelových silic do piva. Proudění též podporuje rozpad chmelových pelet, čímž se výrazně zvýší reakční plocha pro přestup silic do piva[22].

Nejjednodušším způsobem jak celý proces uskutečnit je ošetřit nádobu (například CK tank) stejně jako u statických metod (vložit chmelové produkty, vytlačit vzduch inertním plynem a načerpat pivo) a následně pomocí čerpadla provést několikrát cirkulaci celé směsi. Dnes se však od této metody upouští a místo ní se užívá speciálně konstruovaných zařízení zvaných *chmelové extraktory*. Jedná se zpravidla o cylindrokonické tlakové nádoby, ve kterých je uprostřed instalován filtr pevných částic a na výstupu filtr na kaly. Dále je extraktor vybaven řadou senzorů pro kontrolu tlaku, teploty a průtoku. Pro správné fungování celého procesu dynamického studeného chmelení (urychlení difuze silic do piva) je nezbytné udržovat turbulentní proudění vyvolané čerpáním, či mícháním ve chmelovém extraktoru. To klade hlavní konstrukční požadavky na výrobu chmelových extraktorů[22].

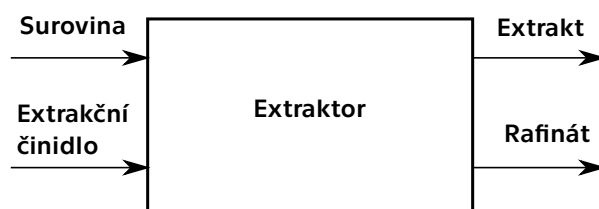


## Kapitola 5

### Extrakce

Pro pochopení správné funkce chmelových extraktorů-zařízení pro dynamické studené chmelení, je nutné nastínit základní principy chemického procesu extrakce a jeho jednotlivé typy, které se u studeného chmelení, potažmo u chmelových extraktorů využívá.

Extrakcí je nazýváno dělení složek kapalné směsi přidáním jiné kapaliny. Nová kapalina se přitom s původní směsí nemísí, nebo je s ní jen velmi špatně mísitelná. V následně vzniklé druhé fázi se pak rozpouští druhá část suroviny. Vstupem do extraktoru (zařízení ve kterém probíhá extrakce) je kapalná *surovina* a kapalné *extrakční činidlo*. V extrakčním činidél dochází k rozpouštění části suroviny. Vzniklý roztok je nazýván *extraktem*. Surovina ochuzená o podíl přešlý do extraktu se nazývá *rafinát*. V případě, že je surovinou pevná látka (jako například v našem případě chmelového extraktoru), nazývá se extrakce *vyluhováním*. Pro potřebu této bakalářské práce se budu zabývat už pouze vyluhováním [23].



Obrázek 5.1: Schéma extrakce[23]

### 5.1 Vyluhování

Vyluhování lze označit jako *s-l extrakci* [25]. Zkratka s-l pochází z anglických slov solid a liquid, tedy pevná a kapalná fáze. Z toho vyplývá, že vyluhování je procesem, při němž se požadovaná složka uvolňuje z pevné fáze pomocí tekutého extrakčního činidla [24]. Obecně má vyluhování širokou škálu užití od hornictví (izolace prvků z hornin), přes chemický a zpracovatelský průmysl, po potravinářství a farmacii. V pivovarství je vyluhováním možné

získat z chmele potřebné  $\alpha$  – kyseliny,  $\beta$  – kyseliny a chmelové silice. Dle teplot můžeme rozdělit vyluhování na dva typy. *Digesce* je vyluhování teplým extrakčním činidlem (viz chmelovar). *Macerace* je vyluhování studeným extrakčním činidlem. Postupu macerace se využívá u studeného chmelení [24].

### 5.1.1 Návrh vyluhování

Pro studené chmelení byl určen typ extrakce jako jednofázové vyluhování, řídí se tudíž schématem extrakce (viz obrázek 5.1). O případ jednorázové extrakce se jedná, protože dochází k úplnému styku extrakčního činidla s tuhou fází, po kterém následuje mechanická separace. Pro naše potřeby budeme vycházet z Nernstova rozdělovacího zákona [24].

$$K_N = \frac{(C_x)_E}{(C_x)_R} \quad (5.1)$$

Zde  $(C_x)_E$  a  $(C_x)_R$  reprezentují hmotnostní/látkovou koncentraci rozpuštěné látky X v extrakčním činidle. Poměr těchto dvou koncentrací je vždy konstantní a označuje se jako Nernstova konstanta  $K_N$  [26].

Dalším nepostradatelným matematickým aparátem pro návrh extrakce je první Fickův difúzní zákon pro jednorozměrnou difúzi [27].

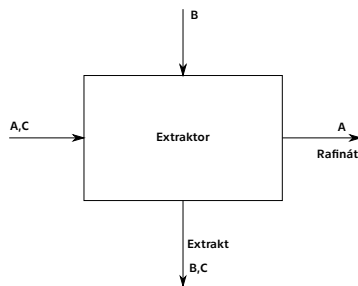
$$- \frac{1}{A} \frac{dn}{d\tau} = D \frac{dc}{dx} \quad (5.2)$$

Fickův zákon můžeme pro naše potřeby dále upravit do následující formy:

$$\frac{dc}{d\tau} = -D \frac{A}{h} (c_0 - c) \quad (5.3)$$

Kde  $\frac{dc}{d\tau}$  představuje rychlost difúze,  $D$  je koeficient difúze,  $A$  plocha,  $h$  tloušťka difúzní vrstvy a  $(c_0 - c)$  koncentrační spád. Koeficient difúze se udává pro kapalně systémy  $D \sim 10^{-9} m^2/s$  [24].

Pokud předpokládáme, že je tuhá fáze v extrakčním činidle nerozpustná, chová se vyluhování chmelu během studeného chmelení následujícím způsobem:



Obrázek 5.2: Návrh extrakce [24]

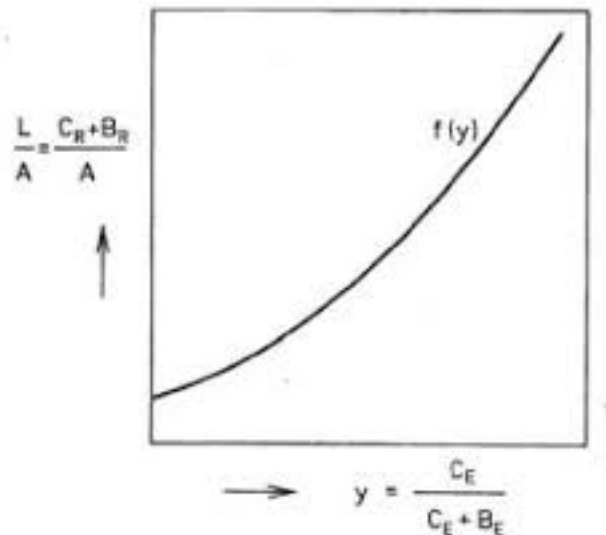
A platí vztahy pro hmotnostní zlomky [24]:

$$\frac{C_R}{L} = \frac{C_R}{C_R + B_R} = y$$

$$\frac{C_E}{C_E + B_E} = y \quad (5.4)$$

Kde  $A$  značí tuhou fázi (sušinu),  $B$  extrakční rozpouštědlo a  $C$  extrahovanou složku.  $L$  pak značí část kapalné fáze (extrakčního činidla), která je zadržována sušinou.  $y$  je samotné označení hmotnostního zlomku extrahované složky, která je zadržována buď kapalinou  $L$  nebo extraktem. Indexy  $E$  a  $R$  pak udávají, zda se jedná o rafinát, či extrakt [24].

Protože množství kapalné fáze  $L$  závisí na nasákavosti tuhé fáze a na samotném složení kapalné fáze [24], musíme určit tuto hodnotu pomocí následujícího grafu:

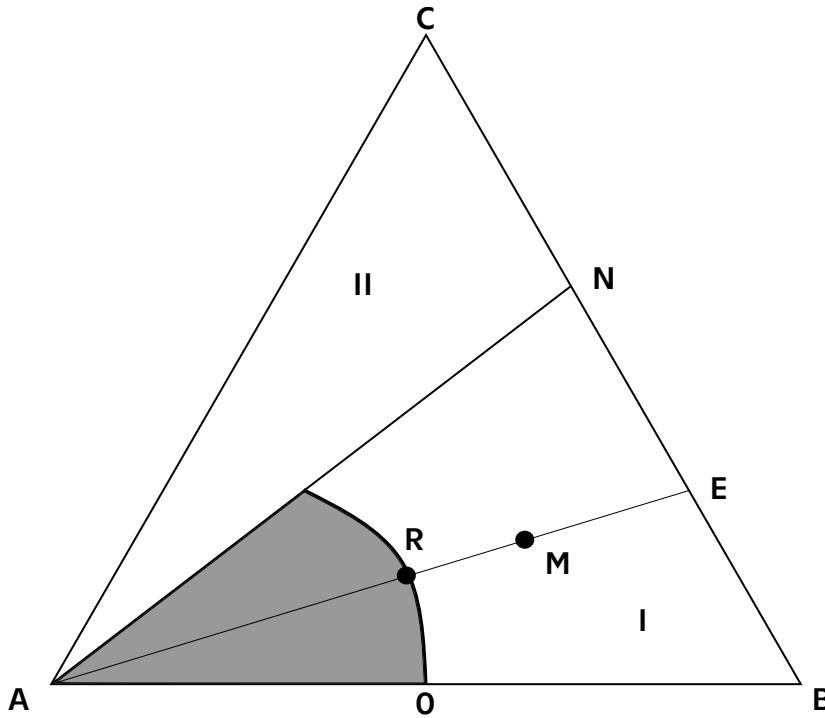


**Obrázek 5.3:** Závislost množství kapalné fáze na složení extraktu [24]

a z něho plynoucího vztahu:

$$\frac{L}{A} = \frac{C_R + B_R}{A} = f(y) \quad (5.5)$$

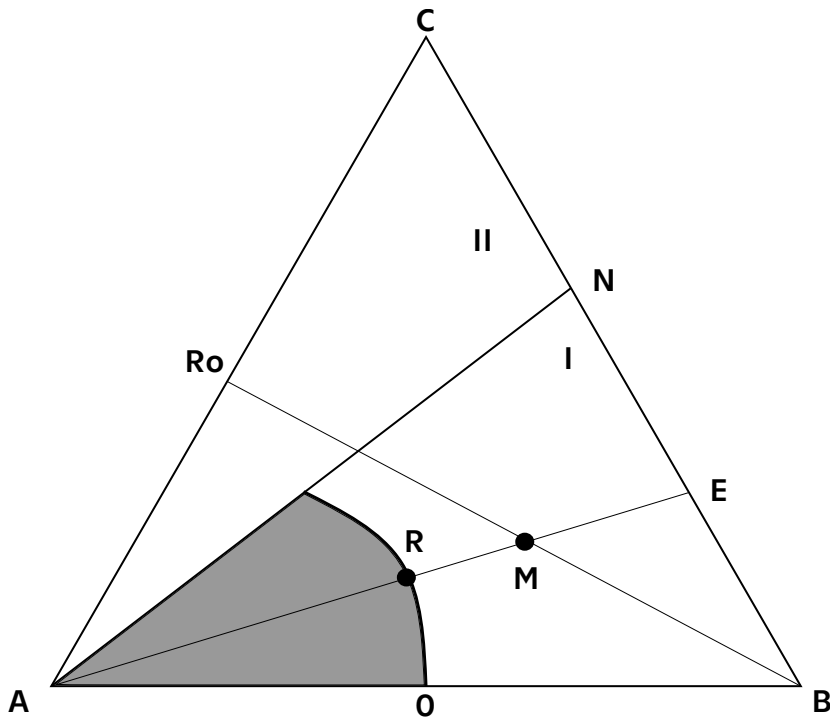
Nyní zbývá určit rovnovážný bod extrakce. Ten bude ležet na takzvaném teoretickém patře. Rovnovážený bod určíme pomocí *trojúhelníkového diagramu*.



Obrázek 5.4: Trojúhelníkový diagram [24]

V trojúhelníkovém diagramu je plocha trojúhelníku  $ABC$  rozdělena přímkou nasyceného roztoku  $C(N)$  na oblast přesycených roztoků  $II$  a zředěných roztoků  $I$ , přičemž opět platí, že  $A$  značí tuhou fázi (sušinu),  $B$  extrakční rozpouštědlo a  $C$  extrahovanou složku. Šedě vybarvená plocha značí oblast tuhé fáze nasáklé kapalinou, z toho plyne, že k extrakci může docházet pouze v oblasti zředěných roztoků  $I$ , kterou zde můžeme označit za pracovní oblast. Uvnitř ní leží adiční bod (nebo body)  $M$ , které znázorňují složení disperze tuhé fáze v extrakčním činidle. Průsečík polopřímky  $AM$  se stranou  $BC$  nám udává pomocí úseček  $RM$  a  $EM$  poměr rafinátu a extrahované látky. Bod  $O$  uprostřed úsečky  $AB$  reprezentuje mezní podmínku, kdy rafinát obsahuje pouze složky  $A$  a  $B$  [24].

Pro případ jednorázové extrakce bude mít trojúhelníkový diagram následující podobu:



**Obrázek 5.5:** Trojúhelníkový diagram jednorázové extrakce [24]

Zde bod  $R_0$  reprezentuje výchozí složení suroviny. Bod  $M$  je opět adiční bod, kdy je nutné zvolit dostatek extrakčního činidla tak, aby ležel uvnitř oblasti zředěného roztoku  $I$ .  $E$  udává hodnotu výstupního extraktu a  $R$  hodnotu výstupního rafinátu [24].

## Kapitola 6

### Chmely pro studené chmelení

Abychom mohli správně navrhnout extrakci musíme zvolit chmel, který v celém procesu bude sloužit terminologií extrakce jako *surovina*. zejména chmelové silice a  $\alpha$  a  $\beta$  kyseliny budou dle této terminologie extraktem. Abychom mohli extrakci popsat, tak musíme nejprve popsat složení látek ve chmelu a následně provést rešerši dostupných chmelů, abychom mohli extrakci navrhnout na konkrétní chmelovou odrudu, na kterou budeme chmelový extraktor bilancovat.

#### 6.1 Chemické složení chmelové šišťice

Esenciální oleje obsažené ve chmelové šišťici jdou rozdělit do tří základních kategorií [28]:

- uhlovodíky
- kyslíkaté sloučeniny
- sloučeniny obsahující síru

##### 6.1.1 Uhlovodíky

Uhlovodíky zaujímají zhruba 40 až 80 % z esenciálních olejů obsažených v chmelu. Jendá se o nejvíce nestále sloučeniny, ze všech tří skupin, tudíž se při zahřívání jejich procento snižuje nejrychleji. Celkově dodávají uhlovodíky pivu kořeněnou, bylinkovou, pryskyřičnou, někdy až dřevitou chuť. Uhlovodíky obsažené v chmelových šišťicích můžeme dále rozdělit na *seskviterpeny* ( $\beta$ -farnesen,  $\alpha$ -humulen a  $\beta$ -karyofylen), *monoterpeny* ( $\beta$ -pinen,  $\alpha$ -pinen a myrcen) a *alifatické sloučeniny* (pentadekan). Pokud je cílem zachovat aromata, která poskytují tyto uhlovodíky, bývá studené chmelení jedinou možností, protože například již po deseti minutách varu se zredukuje obsah myrcenu na polovinu a po hodině je již zcela rozložen [28].

### ■ 6.1.2 Kyslíkaté sloučeniny

Kyslíkaté sloučeniny tvoří asi 30 % esenciálních olejů obsažených ve chmelové šišťici. Jedná se o velmi rozmanitý výčet alkoholů, aldehydů, kyselin, ketonů, esterů a epoxidů. Kyslíkaté sloučeniny dodávají pivu ovocné, mnohdy až citrusové chuti, která je velmi žádaná zejména u piv typu IPA. Celkově můžeme kyslíkaté sloučeniny obsažené v chmelových šišťicích rozdělit do pěti skupin. *Oxoderiváty hemiterpenů* (3-methyl-2-buten-1-ol), *oxoderiváty monoterpenů* (geraniol,  $\beta$ -citronelol, linalool), *Oxoderiváty seskviterpenů* (farnesol, humulenol) a *ostatní kyslíkaté sloučeniny*. Tyto sloučeniny jsou už méně nestálé a tudíž studené chmelení "přežijí" téměř vždy a při klasickém chmelení nepodléhají tak rychle zkáze[28].

### ■ 6.1.3 Sloučeniny obsahující síru

Skupinou s nejmenším procentuálním zastoupením (méně než 1 %) jsou sloučeniny obsahující síru. Ne vždy přinášejí tyto sloučeniny žádoucí chuť a mohou v extrémním případě i pivo znehodnotit. Tyto sloučeniny můžeme rozdělit do tří skupin. *Thioly a ostatní sloučeniny obsahující síru* (3SHOL, 3SH(3MH), 3MHA, 3MSP(4MMP)) mají jako jediné žádoucí aromatické účinky, které přinášejí exotické ovocné chutě. *Sulfidy* (dimethyl sulfid a dimethyl disulfid) mají naopak nežádoucí sýrová a kukuřičná aromata. *Thioestery* (S-methylthio-hexanoát) přináší opět nežádoucí aromata vařeného zelí, česneku a cibule [28].

## ■ 6.2 Volba chmele pro návrh chmelového extraktoru

Vzhledem k široké nabídce českých chmelů jsem se rozhodl omezit sféru výběru na naše lokální produkty. Pro volbu chmelu pro návrh extraktoru vyjdeme z *Praktických poznatků z procesu studeného chmelení* vydaných Chmelařským institutem s.r.o. v Žatci. Dle jejich doporučení se budu rozhodovat mezi následujícími odrůdami [29]:

- Sládek
- Harmonie
- Agnus
- Rubín
- Vital
- Kazbek

### 6.2.1 Odrůda Sládek

Odrůda sládek má typicky chmelovou chuť a doporučuje se dávkovat 300g/hl [29]. Odrůda Sládek, která vznikla křížením má vysoký podíl  $\beta$ -hořkých kyselin, který zdělila po legendárním *Žateckém raném červeňáku*, které mají zásadní vliv na zjemnění hořkosti piva [30]. V následující tabulce je přehledně srovnáno chemické složení hořkých látek a silic ve chmelu odrůdy Sládek.

Hořké látky	veškeré pryskyřice	20-23 % w.
	$\alpha$ -hořké látky	5-7 % w.
	$\beta$ -hořké látky	6-9 % w.
	kohumulon	25-30 % w.
	kolupulon	45-50 % w.
Chmelové silice	hmotnost silic	1,5-2g/100g
	myrcen	40-50 % rel.
	2-undekoanon	1,5-2 % rel.
	4-dekonová kyselina ME	1-1,5 % rel.
	karyofylen	7-11 % rel.
	humulen	20-30 % rel.
	farnylen	<1 % rel.
selinen	<1 % rel.	

**Tabulka 6.1:** Odrůda Sládek [30]

### 6.2.2 Odrůda Harmonie

Odrůda harmonie má opět intenzivní chmelové aroma, které ale může při vyšších dávkách způsobit nepříjemnou hořkost. Tato odrůda je vhodná ke studenému chmelení ležáků [29]. Odrůda Harmonie vznikla opět křížením a je pro ni charakteristický vysoký podíl  $\beta$ -kyselin. Narozdíl od odrůdy Sládek je v ní obsaženo více pryskyřic, tudíž má výraznější pryskyřičné aroma [30]. V následující tabulce je srovnáno zastoupení hořkých látek, chmelových silic a polyfenolů v odrůdě Harmonie.



Hořké látky	veškeré pryskyřice	22-26 % w/w
	$\alpha$ -hořké látky	5-8 % w/w
	$\beta$ -hořké látky	5-8 % w/w
	podíl $\alpha/\beta$	0,8-1,2
	kohumulon	17-21 % rel.
Chmelové silice	kolupulon	35-40 % rel.
	hmotnost silic	1-2 % w/w
	myrcen	30-45 % rel.
	linalol	0,7-1,2 % rel.
	2-undekanon	0,6-1 % rel.
	4-dekonová kyselina ME	1-2 % rel.
	karyofylen	6-11 % rel.
	humulen	15-25 % rel.
	farnysen	<1 % rel.
selinen	10-19 % rel.	
Chmelové polyfenoly	veškeré polyfenoly	3,5-4,5 % w/w
	xanthohumol	0,4-0,7 % w/w

Tabulka 6.2: Odrůda Harmonie [30]

### 6.2.3 Odrůda Agnus

Na vzdory největšímu obsahu silic má odrůda Agnus (lat. beránek) nejméně intenzivní aroma. Nicméně disponuje příjemnou chmelovou vůní a kořenitou chutí [29]. Tato odrůda má velký obsah  $\beta$ -kyselin. Tato odrůda vznikla vyšlechtěním z odrůdy Sládek. Odrůda Agnus je velmi stabilní, proto se často užívá pro vývozní piva tuzemských pivovarů a pro výrobu chmelových extraktů a pelet [30]. Chemické složení odrůdy Agnus jsem shrnul v následující tabulce.

Hořké látky	veškeré pryskyřice	26-32 % w.
	$\alpha$ -hořké látky	9-12 % w.
	$\beta$ -hořké látky	4-6,5 % w.
	kohumulon	29-38 % w.
	kolupulon	51-59 % w.
Chmelové silice	hmotnost silic	2-3g/100g
	myrcen	40-55 % rel.
	2-undekoanon	0,3-0,7 % rel.
	4-dekonová kyselina ME	1-1,8 % rel.
	karyofylen	9-15 % rel.
	humulen	15-25 % rel.
	farnysen	<1 % rel.
	selinen	1-3 % rel.

Tabulka 6.3: Odrůda Agnus [30]

### 6.2.4 Odrůda Rubín

Odrůda rubín dává studeně nachmeleným pivům ovocnou mnohdy až citrusovou vůni (pomelo, grep), která je i při vyšších dávkách chmele příjemná. Doporučuje se dávkovat ve vyšších hodnotách než pouze 1g/l. Tento chmel je kvůli svým aromátům vhodný pro piva typu IPA/APA [29]. Odrůda rubín byla vyšlechtěna ze samčích šištic odrůdy Bor a samičích kříženců Žateckého červeňáku s odrůdou Northern Brewer. Jméno Rubín získala odrůda podle barvy chmelové révy [30]. V následující tabulce jsou opět shrnuta zastoupení účinných látek ve chmelu Rubín.

Hořké látky	veškeré pryskyřice $\alpha$ -hořké látky $\beta$ -hořké látky podíl $\alpha/\beta$ kohumulon kolupulon	22-27 % w/w 9-12 % w/w 3,5-5 % w/w 2,5-3,2 25-33 % rel. 45-52 % rel.
Chmelové silice	hmotnost silic myrcen linalol 2-undekanon 4-dekonová kyselina ME karyofylen humulen farnysen selinen	1-2 % w/w 30-45 % rel. 0,3-0,5 % rel. 0,2-0,6 % rel. 1-1,5 % rel. 7-10 % rel. 15-25 % rel. <1 % rel. 10-17 % rel.
Chmelové polyfenoly	veškeré polyfenoly xanthohumol	3-4,5 % w/w 0,45-0,75 % w/w

Tabulka 6.4: Odrůda Rubín [30]

### 6.2.5 Odrůda Vital

Odrůda Vital má příjemnou chmelovou, někdy až kořenitou chuť, která však není moc výrazná. Pro studené chmelení se doporučují vyšší dávky chmele, nicméně ne více než 2,5 g/l [29]. Odrůda chmele Vital byla vyšlechtěna z odrůdy Agnus. Chmel Vital získal svůj název, kvůli hojnému užití pro medicínské a farmaceutické účely (vital-zdraví), protože obsahuje velké množství xanthohumolu a desmethylxanthohumolu (DMX) [30].

Hořké látky	veškeré pryskyřice $\alpha$ -hořké látky $\beta$ -hořké látky podíl $\alpha/\beta$ kohumulon kolupulon	25-30 % w/w 12-16 % w/w 6-10 % w/w 1,6-2,1 21-26 % rel. 45-50 % rel.
Chmelové silice	hmotnost silic myrcen linalol 2-undekanon 4-dekonová kyselina ME karyofylen humulen farnysen selinen	1,5-2,5 % w/w 40-60 % rel. 0,5-0,9 % rel. 1-2,5 % rel. 1,5-3 % rel. 5-8 % rel. 2-5 % rel. 1-3 % rel. 7-15 % rel.
Chmelové polyfenoly	veškeré polyfenoly xanthohumol DMX	3,5-4,5 % w/w 0,7-1 % w/w 0,25-0,4 % w/w

Tabulka 6.5: Odrůda Vital [30]

### 6.2.6 Odrůda Kazbek

Odrůda Kazbek se vyznačuje ovocnou, citrusovou, mnohdy až květinovou vůní, je tedy extrémně žádoucí pro použití u piv typu IPA/APA, někdy se též dá použít u piv pšeničných [29]. Odrůda Kazbek byla vyšlechtěna z ruského planého chmele. Od místa geologického výskytu se odvozuje i název této odrůdy, protože Kazbek je nejvyšší horou středního Kavkazu. Tato odrůda je velmi vhodná pro studené chmelení [30]. Následuje tabulka se shrnutím účinných látek ve chmelu typu Kazbek.

Hořké látky	veškeré pryskyřice $\alpha$ -hořké látky $\beta$ -hořké látky kohumulon kolupulon	17-22 % w. 5-8 % w. 4-6 % w. 35-40 % w. 57-62 % w.
Chmelové silice	hmotnost silic myrcen 2-undekoanon 4-dekonová kyselina ME karyofylen humulen farnysen selinen	0,9-1,8g/100g 40-55 % rel. 0,1-0,25 % rel. 0,5-1 % rel. 10-15 % rel. 20-35 % rel. <1 % rel. 1-3 % rel.

Tabulka 6.6: Odrůda Kazbek [30]

### ■ 6.2.7 Volba chmele pro bilanci

Pro další návrh budu uvažovat odrůdu chmele Harmonie, která byla testována při statických metodách studeného chmelení a je doporučována pro studené chmelení ležáků. Tato odrůda se též dává v podobě chmelových pelet, které mají dle materiálového listu snadno dohledatelnou sypnou hustotu.

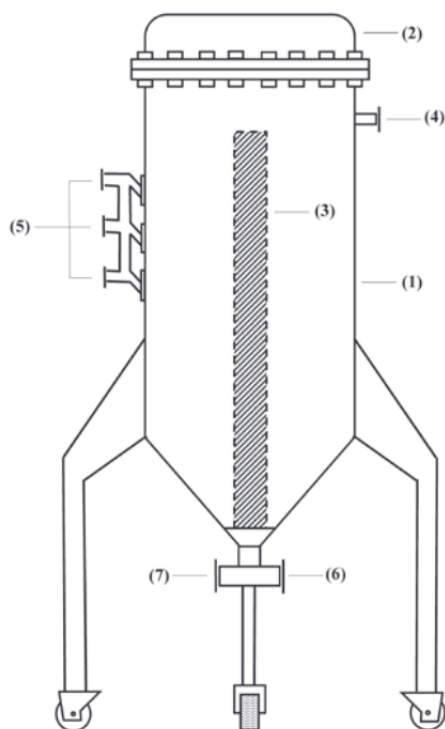
## Kapitola 7

### Chmelové extraktory

Pro svou hlavní část práce jsem si vybral právě popis konstrukce a užití chmelového extraktoru. Dále se budu zabývat bilancí chmelového extraktoru pro zadaný objem výroby minipivovaru a to 10 hl na jednu várku uvařeného piva, pro minipivovar, který vaří tři dny v týdnu.

#### 7.1 Popis konstrukce chmelového extraktoru

Schématické zobrazení konstrukce názorně zobrazuje zařízení samotné, jeho části a vstupy a výstupy extraktoru.



Obrázek 7.1: Chmelový extraktor [22]

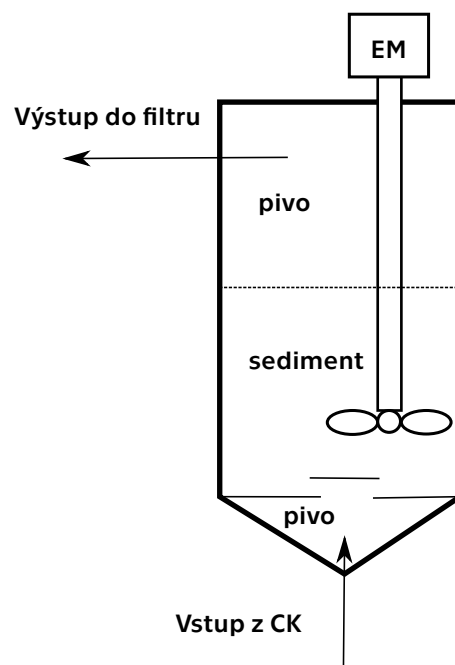
Tělo samotného extraktoru je ve schématu označeno (1). Přístup do vnitřních prostorů extraktoru je zaručen odjímatelným víkem (2), které je opatřeno těsněním a k samotné konstrukci extraktoru je připevněno šrouby. Uvnitř extraktoru je instalován filtr pevných částic (3). Ten slouží k oddělení protékajícího piva od pevného materiálu. Vstupem (4) je do extraktoru přiváděn oxid uhličitý, pro správné natlakování, které vytvoří tangenciální vír, který silně urychluje difuzi chmelových silic do piva. Dále je tímto vstupem zpravidla prováděna sanitace (zpravidla pomocí systému CIP-*Clean In Place*). Přívody (5) je do extraktoru pomocí čerpadla vháněno pivo. Výstup (6) je opět pro snadnou sanitaci napojen na systém CIP. Výstupem (7) je určen pro odvod piva. Na výstupu (7) bývá zpravidla opatřen filtrem jemných kalů [22].

### 7.1.1 Možnosti technické realizace extraktoru

V následujícím oddílu nastíním různá provedení chmelových extraktorů, která používají různí dodavatelé chmelových extraktorů.

#### Extraktor s mechanickým promícháváním

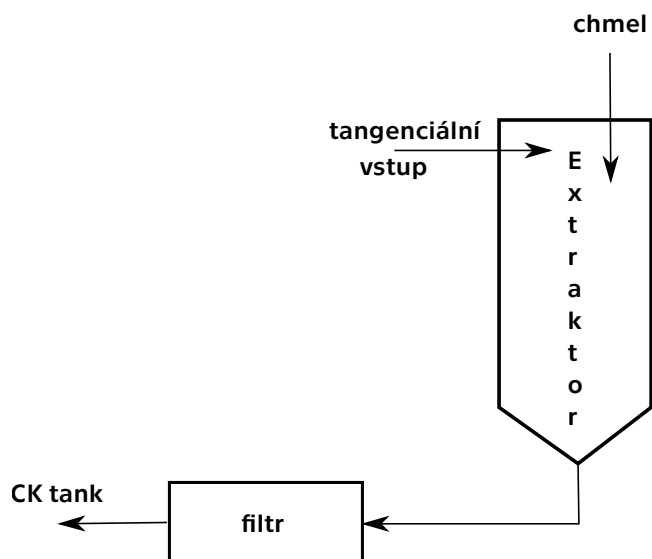
U extraktorů tohoto typu je pivo s chmelem v extraktoru promícháváno prostřednictvím mechanického míchadla poháněného elektromotorem. Odpadní produkty volně sedimentují na dně extraktoru a následně je pivo odčerpáno zpět do CK tanku přes filtr. Tuto realizaci zobrazenou na schématu níže nabízí například firma GEA u svého extraktoru pro studené chmelení typu HOPSTAR [32].



Obrázek 7.2: Mechanicky promíchávaný extraktor [32]

### ■ Hydraulicky promíchávaný extraktor s externím filtrem

Extraktory tohoto typu realizují promíchávání chmelu s pivem za pomoci víru piva vytvořeného proudem piva přivedeného tangenciálním vstupem. Jedná se o tlakovou nádobu natlakovanou na tlak v CK tanku (cca 2-3 bar) pomocí  $CO_2$ . Filtrace je stejně jako u předchozího příkladu realizována vně chmelového extraktoru v externím filtru. Tuto realizaci, která je zobrazena na schématu níže zprostředkovává například firma Alfa Laval, které dodává jednotku ALHOP, která je vhodná zejména pro menší objemy produkce [33].



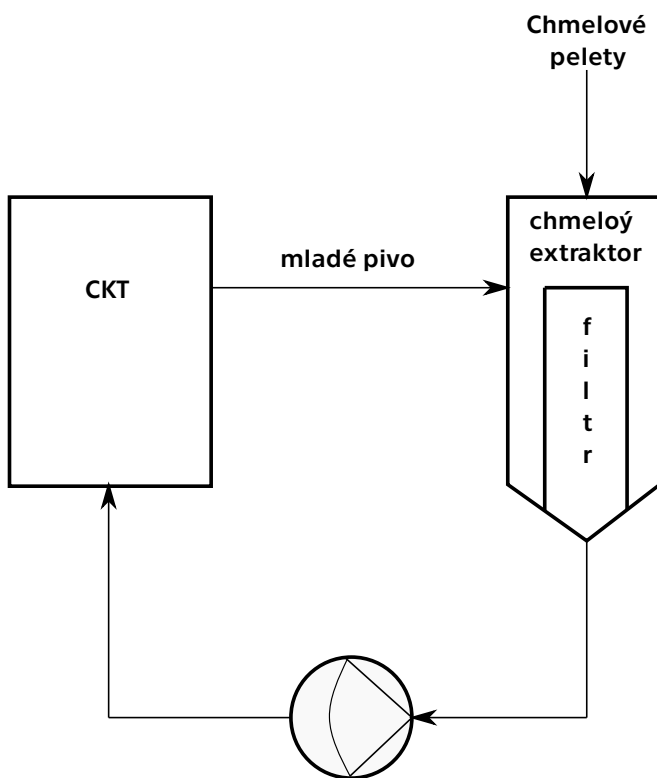
Obrázek 7.3: Hydraulicky promíchávaný extraktor s externím filtrem [33]

### ■ Hydraulicky promíchávaný extraktor s vestavěným filtrem

Tuto realizaci jsem se rozhodl dále navrhovat, stejně jako v předchozím případě se promíchává chmel s pivem v natlakovaném extraktoru pomocí vírů vytvořených proudícím pivem z tangenciálních vstupů. Schéma chmelového extraktoru koresponduje se schématem chmelového extraktoru na obrázku 7.1. Tuto realizaci nabízí například firma Czech Mini Breweries [31].

### 7.1.2 Předběžný návrh zapojení

V následujícím oddílu nastíním předběžné schéma zapojení extraktoru do systému pivovaru. Extraktor bude zapojen za ležácký tank. Cirkulace piva přes extraktor bude zprostředkována čerpadlem.



Obrázek 7.4: Předběžné schéma zapojení [31]



## 7.2 Návrh objemu chmelového extraktoru

Od původní ideje navrhnout extrakci a potažmo extraktor užitím teoretických vztahů popsaných v kapitole 5 jsem musel upustit, protože teoretické výpočty a bilance by bylo nutno dělat pro každou esenciální látku obsaženou v chmelových šišticích zvlášť. Protože chmel obsahuje těchto látek širokou řadu, bylo by navrhování extraktoru touto cestou příliš pracné. Proto jsem se rozhodl navrhnout extraktor na požadovaný objem výroby cestou doporučených hodnot plnění extraktorů od výrobce a doporučených dávek chmele pro studené chmelení. Je nutné podotknout, že samotná doba extrakce je velmi variabilní, protože závisí na výsledné chuti, charakteru a hodnotě hořkosti piva, kterých chceme dosáhnout (literatura uvádí dobu chmelení v rozmezí mezi dvěma a šesti hodinami)[29]. Vstupní hodnoty pro výpočet jsou shrnuty v následující tabulce.

Zadaný objem výroby	10 hl/várku
Počet várek týdně	3
Odrůda chmele	Harmonie-pelety typu T90
Sypná hustota pelet	450 – 700 kg/m <sup>3</sup>
Doporučená dávka chmele	2,5 g/l
Plnění extraktoru	20 % objemu extraktoru

**Tabulka 7.1:** Vstupní hodnoty [29],[31],[34],[35]

Pokud uvažujeme střední hustotu chmelových pelet  $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ , na jednu dávku piva (10 hl) připadne 2,5 kg chmele a extraktor je plněn chmelem z 20 %, pak platí pro objem chmelového extraktoru vztah:

$$V_{\text{extraktoru}} = 0,2 \cdot \frac{m_{\text{chmel}}}{\rho_{\text{chmel}}} = 0,2 \cdot \frac{2,5}{500} = 25 \text{ l}$$

Nyní je určený potřebný celkový objem extraktoru na 25 litrů, z čehož zaujmou 5 litrů chmelové pelety odrůdy Harmonia.

## 7.3 Dimenzování chmelového extraktoru

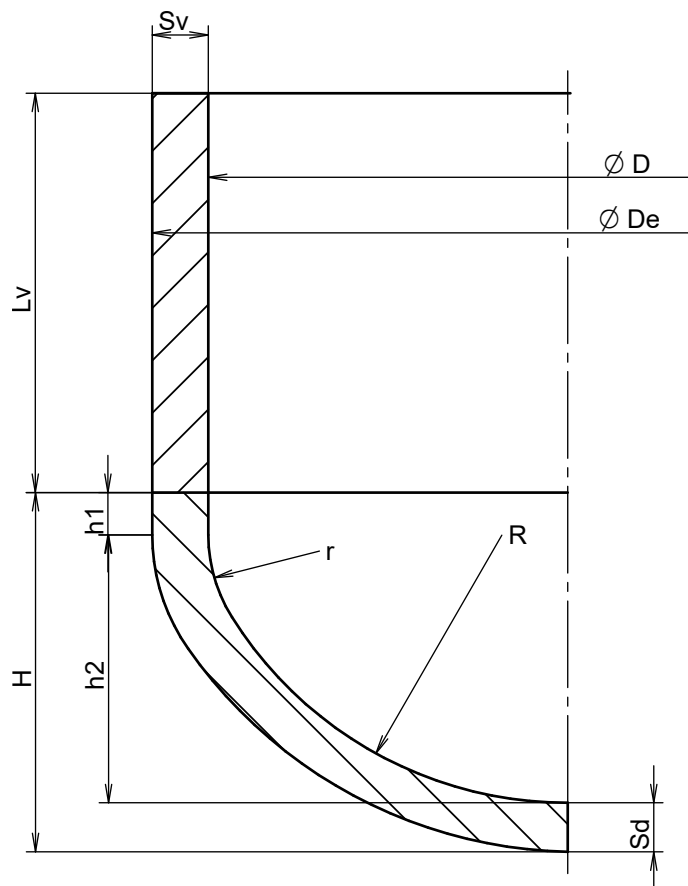
Abychom byli schopní zvolit potřebné normalizované součásti pro *basic design* našeho chmelového extraktoru o objemu 25 l, musíme navrhnout tloušťku válcové stěny extraktoru i stěny klenutého dna. Původně byla uvažována konstrukce extraktoru s kuželovým dnem. Vzniklo ale důvodné podezření nedostatečného promíchávání chmelových pelet v proudu piva, z důvodů sedimentace chmelových pelet v prostoru kuželového dna. Z tohoto důvodu bylo použito dno klenuté. Pro tyto potřeby vyjdeme ze vztahů daných normou ČSN 69 0010, která udává výpočtové vztahy pro nádoby s vnitřním přetlakem. Užitý materiál budeme uvažovat ocel DIN 1.4301/7 (AISI 304/L). Vnitřní provozní přetlak po konzultaci s firmou Czech brewery system navrhujeme v rozmezí 0,2 – 0,3 MPa. Dimenzování extraktoru tak bude provedeno pro

maximální provozní přetlak 0,3 MPa. Vlastnosti ocele uvažujeme pro 20 °C. V následující tabulce shrnu důležité vstupní parametry pro dimenzování tloušťky stěny chmelového extraktoru.

Objem extraktoru	$V$	25 l
Vnitřní přetlak	$p$	0,3 Mpa
Vnitřní průměr	$D$	250 mm
Mez kluzu	$R_{p0,2}$	220 Mpa

**Tabulka 7.2:** Vstupní hodnoty pro výpočet tloušťky stěny

Výpočet bude nutno rozdělit na válcovou část extraktoru a klenuté dno. Budeme vycházet z následujícího schématu:



**Obrázek 7.5:** Dimenzování stěny [36]

### 7.3.1 Návrh stěny válcové části extraktoru [37]

Pro výrobu extraktoru budeme uvažovat pro válcovou část užití normalizované svařované trubky dle DIN 17457 vyrobené z materiálu DIN 1.4301/7 (AISI 304/L). Pro objem 25 l budeme uvažovat předběžnou výšku válce 500 mm. klenuté dno bude představovat minimální přírůstek objemu, proto si dovolíme ho pro výpočet průměru trubky zanedbat. Toto zanedbání nám poskytne objemovou rezervu. Výpočet předběžného vnitřního průměru válcové části extraktoru jednoduše odvodíme ze vztahu pro objem válce:

$$V = \pi \frac{d^2}{4} L$$

z čehož předběžný průměr válce je roven:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{\pi L}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{25}{\pi \cdot 5}} = 2,52 \text{ dm} = 252 \text{ mm}$$

Dle katalogu dostupných svařovaných trubek dle normy DIN 17457 volíme trubku o vnitřním průměru  $D = 250 \text{ mm}$  a tloušťce stěny  $s = 2 \text{ mm}$ . Nzní musíme vypočítat novou délku válcové části, abychom zachovali objem extraktoru. Novou délku určíme opět prostou úpravou vztahu pro objem válce:

$$L_v = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4\pi 25}{2,5^2} = 5,09 \text{ dm} = 509 \text{ mm}$$

Z důvodu volby katalogové trubky pro výrobu válcové části volíme délku 510 mm.

Nyní je nutné ověřit, zda vyhovuje námi zvolená tloušťka stěny pevnostním výpočtům dle normy ČSN 69 0010. Nejprve určíme dovolené namáhání (dovolené napětí ve stěně).

$$\sigma_D = \min\left\{\frac{R_{p0,2}}{\eta_T}, \frac{R_{p1,0}}{\eta_T}, \frac{R_m}{\eta_B}\right\}$$

kde  $\eta_T = 1,5$  pro ocel DIN 1.4301/7 (AISI 304/L)

$$\sigma_D = \frac{R_{p0,2}}{\eta_T} = \frac{220}{1,5} = 146,66 \text{ MPa}$$

Tloušťku stěny pak určíme ze vztahu:

$$S_R = \frac{pDv}{2\sigma_D\varphi - p}$$

Kde svarový součinitel  $\varphi = 0,7$ .

Výsledná tloušťka stěny pak musí být větší než vypočítaná tloušťka stěny zvětšená o technologický přídavek  $c = 0,5 \text{ mm}$ .

$$S \geq S_R + c = 0,366 + 0,5 = 0,866 \text{ mm}$$

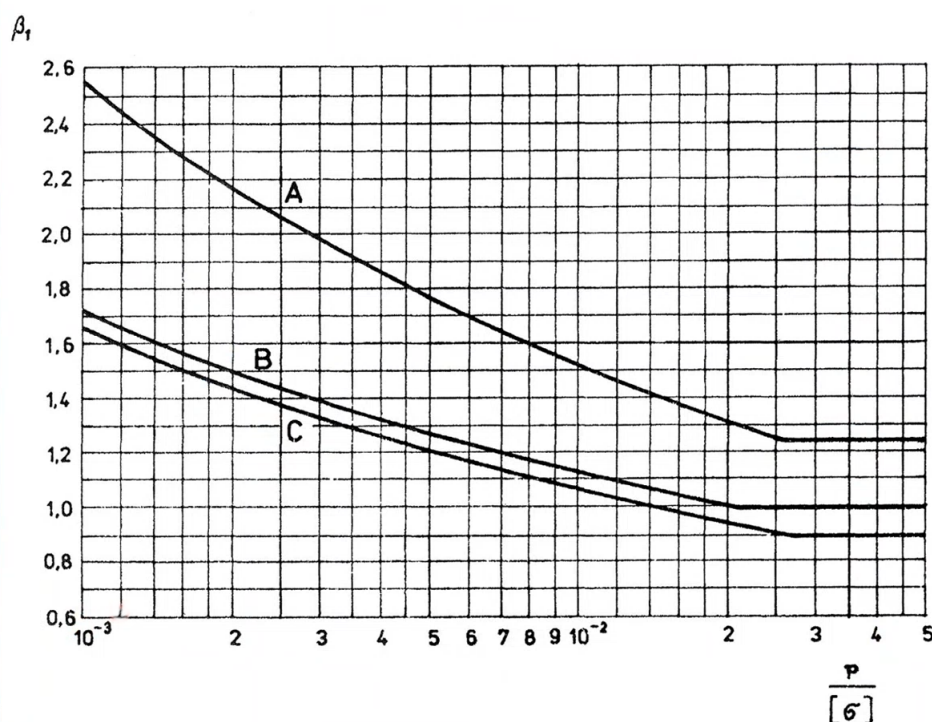
Naše zvolená tloušťka stěny 2 mm tedy vyhovuje, protože je větší než vypočítaná tloušťka 0,866 mm.

### 7.3.2 Návrh stěny klenutého dna extraktoru [36]

Klenuté dno extraktoru budeme navrhovat dle normy ČSN 69 0010. Volíme klenuté dno typu Klöpper (DIN 28011). Rozměry extraktoru typu Klöpper (typ A) vyjdou ze základního rozměru válcové části:  $R = D = 250 \text{ mm}$ ,  $r = 0,1D = 25 \text{ mm}$ . Minimální tloušťku klenutého dna určíme dle vztahu:

$$S_R = \frac{pD\beta_1}{2\sigma_D\varphi}$$

Kde součinitel  $\beta_1$  určíme z následujícího diagramu pomocí tvaru dna (typ A) a znalosti hodnoty poměru  $\frac{p}{\sigma_D} = 2,0455 \cdot 10^{-3}$ .



Obrázek 7.6: Diagram pro určení součinitele  $\beta_1$  [36]

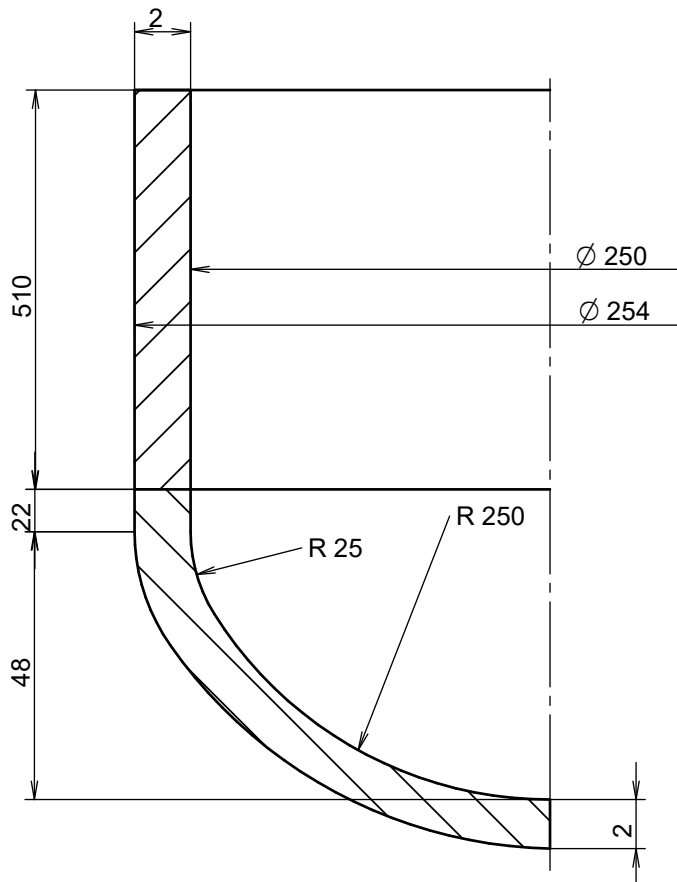
Z diagramu je patrné, že součinitel  $\beta_1 = 2,18$ . Nyní můžeme stanovit hodnotu minimální tloušťky stěny klenutého dna.

$$S_R = \frac{0,3 \cdot 250 \cdot 2,18}{2 \cdot 146,66 \cdot 0,7} = 0,796 \text{ mm}$$

Minimální tloušťka stěny zvětšená o technologický přídavek je  $S = S_R + C = 0,796 + 0,5 = 1,296 \text{ mm}$  můžeme tedy zvolit tloušťku stěny stejnou, jako u válcové části, tedy 2 mm. Nyní známe všechny potřebné rozměry a parametry pro konstrukci chmelového extraktoru.

### 7.3.3 Shrnutí rozměrů hlavní části extraktoru

Provedli jsme návrhový výpočet rozměrů extraktoru a dimenzování tloušťky stěn jednotlivých částí. Výsledné rozměry shrnuje následující skica:



Obrázek 7.7: Skica s rozměry [36]

Nyní zbývá určit reálný objem extraktoru, protože jsme při určování délky válce zanedbali objem klenutého dna. Vyjdeme ze vztahu pro objem válce a kulového vrchlíku:

$$V_{kd} = \pi \frac{D^2}{4} h_1 + \frac{1}{6} \pi h_2 (3D^2 + h_2^2) = 5,85 \text{ l}$$

Celkový objem válce tvoří tedy  $V_v + V_{kd} = 30,85 \text{ l}$ . Klenutá část tedy zvětšila objem o 23,4 %. Tuto objemovou rezervu ponecháme, na výslednou funkci extraktoru nebude mít vliv.

### 7.3.4 Volba součástí pro chmelový extraktor

#### Válcová část extraktoru

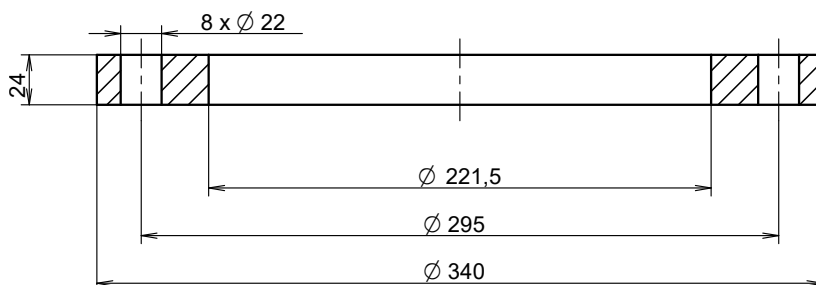
Válcová část extraktoru bude vyrobena z oceli DIN 1.4301/7 (AISI 304/L). Polotovarem bude svařovaná trubka DIN 17457 o vnějším průměru 254 mm a tloušťce stěny 2 mm. Trubka je vyráběna běžně o délce 6 m [38]. Pro naše potřeby bude seříznuta na délku 510 mm. Zbylou část trubky lze využít pro výrobu více chmelových extraktorů.

#### Klenuté dno

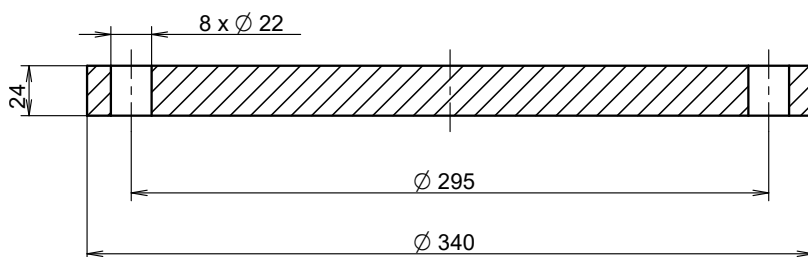
Klenuté dno extraktoru bude opět vyrobena za užití materiálu DIN 1.4301/7 (AISI 304/L). Jedná se o normalizovanou součást dle DIN 28011. Klenutá dna dodává například firma Armat [41].

#### Příruby

Na samotnou konstrukci budou použity dva druhy normalizovaných přírub dle normy EN 1092-1/PN 10 a to klasickou plochou svařitelnou přírubu prvního typu a přírubu zaslepovací (pátého typu) dle téže normy. Obě příruby jsou ze třídy PN10, tudíž jsou dimenzované na tlak 10 bar (10 MPa), tudíž na vnitřní přetlak v extraktoru (maximálně 0,3 Mpa) vyhovují. Původně byly uvažovány příruby z pevnostní třídy PN 6, ale z důvodu nutnosti větších rozměrů příruby pro bezproblémovou montáž, bylo nutné zvolit třídu PN 10. Následují skicy obou přírub s rozměry.



Obrázek 7.8: Příruba DN 200-typ 01 [39]



Obrázek 7.9: Příruba slepá DN 200-typ 05 [39]

Z důvodu uchycení a jednoduchého vyjímání filtrační svíčky, bude extraktor opatřen dvěma přírubami pro uchycení filtrační svíčky. Tyto příruby budou nenormalizované obrobky.

#### ■ Přípojky, vývody, ventily

Přívod piva bude zajištěn přípojkou DIN 11851 DN 25 s kuželovým hrdlem a převlečnou maticí. Je nutné, aby vstup do extraktoru byl veden tangenciálně, aby docházelo k hydraulickému promíchávání piva se chmelem. Přívod  $CO_2$  pro natlakování extraktoru na 0,2-0,3 MPa bude zajištěn z boku přivařenou trubkou k válci extraktoru, která bude zakončena navařovacím závitovým hrdlem DIN 11851 DN 15, a která se bude připojovat na přívod  $CO_2$  pomocí převlečné matice. Dodávka  $CO_2$  bude zajištěna z tlakové lahve  $CO_2$ , jenž bude opatřena potřebným redukčním ventilem, jehož prostřednictvím bude regulován potřebný přetlak  $CO_2$ . Vývod piva bude zajištěn pomocí trubky zakončené motýlovou klapkou typu "9E" od firmy Armat připojenou pomocí systému clamp/clamp (DIN 32676 DN 25). Trubka bude přivařena k vrchní přírubě [40]. Vývod pevného odpadu bude zajištěn ze spodu extraktoru a to opět motýlovou klapkou připojenou pomocí systému clamp/clamp, tnetokrát však o rozměru DN 50.

#### ■ Filtrační svíčka

Pro filtraci pevných částic bude užita filtrační svíčka zhotovená na míru. Svíčka bude tvořena síťovinou z nerezové oceli o požadované velikosti.

#### ■ Manometr

Pro kontrolu správného natlakování bude vstup na  $CO_2$  opatřen klasickým manometrem.

#### ■ Čerpadlo

Pro čerpání piva z CK tanku do extraktoru budeme používat membránové pneumatické čerpadlo o průtoku minimálně  $\dot{V} = 55 \text{ l/min}$  ( $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Membránová čerpadla jsou doporučena na čerpání piva, protože zbytečně nečeří tekutinu a pivo je jimi nejméně ovlivněno [42]. Protože známe objemový průtok daný čerpadlem a průtočnou plochu danou vstupem tangenciálním vstupem DN 25, můžeme nyní určit rychlost proudění na vstupu do extraktoru, která by neměla být nižší než 1 m/s.

$$v = \frac{\dot{V}}{\pi d^2/4} = 1,857 \text{ m/s}$$

Vypočítaná průtočná rychlost tedy vyhovuje.

## 7.4 Uvažovaný provoz chmelového extraktoru, odstavení od provozu

### 7.4.1 Uvažovaný způsob provozu

1. Vložení chmele do extraktoru
2. Připojení hadicového vedení na CKT
  - Klapky uzavřeny
3. Výplach zařízení  $CO_2$  → vytlačení vzduchu
  - Otevřen ventil pro odvod  $CO_2$  a pro přívod  $CO_2$
  - Následné uzavření odvodu  $CO_2$  a lehké natlakování extraktoru
4. Otevření nátoku piva na čerpadlo → start čerpadla.
5. Pomalu otevřít nátok do extraktoru
6. Po kontrole hodnoty provozního přetlaku v extraktoru na manometru eventuelně dotlakovat

### 7.4.2 Odstavení od provozu

1. Uzavření nátoku piva z CKT → zastavení čerpadla
2. Vypuštění zbylého obsahu → otevření kohoutu na dně extraktoru, návrat CIP zůstává uzavřen
3. Výplach tlakovou vodou, návrat CIP stále uzavřen, kohout na kanál otevřen
4. Uzavření výpustného kohout → otevření CIP okruhu, následuje CIP cyklus
5. Nátok z CKT uzavřen → odšroubovat hadice z CKT
6. spojení hadic odpojených z CKT s čerpadlem → kompletní sanitace při spuštění čerpadle





## Závěr

Úvodní část práce byla věnována rešerším historie výroby piva a rozdělení druhů piva. V návaznosti na tyto rešerše byla popsána výroba piva plzeňského typu.

Následující části byly věnovány rešerším ohledně moderních postupů v pivovarnictví. Pozornost byla zaměřena zejména na studené chmelení, náhražky sladů a výrobu bezlepkových piv, přičemž na studené chmelení byl kladen dominantní důraz.

Pro technickou realizaci problému byl zvolen návrh chmelového extraktoru. V následující části byla tudíž nastíněna teorie, která popisuje difúzní děj zvaný extrakce (v našem případě vyluhování). Smyslem této části byl zejména informativní charakter, protože chmel obsahuje velké množství látek, pro které by se musela extrakce navrhovat zvlášť. Modelovat takovýto systém by bylo značně obtížné.

Proto bylo přistoupeno k návrhu chmelového extraktoru na základě doporučených vstupních hodnot (například dávkování chmele) z technické praxe. Byla provedena rešerše dostupných chmelů a byly následně zvoleny pelety odrůdy Harmonie. Z materiálového listu byla zjištěna jejich sypká hustota a bylo tedy možné určit objem chmelového extraktoru.

Ve finální fázi byly provedeny normalizované výpočty pro určení tloušťky stěny chmelového extraktoru. Pro konstrukci byl kladen důraz na co největší možnou volbu normalizovaných součástí. Výstupem celé této části je sestavný výkres basic designu chmelového extraktoru, přiložený v příloze.

V poslední části práce bylo vytvořeno schéma zapojení a uvažovaný postup provozu chmelového extraktoru v rámci pivovaru.

Celá práce posloužila zejména jako přehled moderních postupů se zaměřením na studené chmelení a postup návrhu chmelového extraktoru.

## Příloha A

### Seznam zkratk a symbolů

$(c_0 - c)$	koncentrační spád	[–]
$c$	technologický přídavek	[ $m$ ]
$CO_2$	oxid uhličitý	
$C_6H_{12}O_6$	glukóza	
$C_2H_5OH$	ethylalkohol	
$d$	průměr	[ $m$ ]
$\frac{dc}{dx}$	prostorová změna koncentrace	[1/ $m$ ]
$\frac{dn}{d\tau}$	časová změna látkového množství	[ $mol/s$ ]
$\frac{dc}{d\tau}$	rychlost difúze	[1/ $s$ ]
<b>hm.</b>	hmotnostní	
$h$	výška	[ $m$ ]
$m_{\text{chmel}}$	hmotnost chmelu	[ $kg$ ]
<b>pH</b>	stupnice potenciálu vodíku	
$p$	tlak	[ $Pa$ ]
$r$	malý radius	[ $m$ ]
$v$	rychlost proudění	[ $m/s$ ]
$y$	hmotnostní zlomek	[–]
<b>AIISI</b>	norma American Iron and Steel Institut	
<b>A</b>	množství tuhé fáze	[–]
<b>APA</b>	american pale ale	
<b>A</b>	plocha	[ $m^2$ ]
<b>B</b>	množství extrakčního rozpouštědla	[–]
<b>CIP</b>	Clean in place sanitační systém	
<b>CKT</b>	cylindrokoničkový tank	
<b>C</b>	množství extrahované složky	[–]
$C(x)$	hmotnostní/látková koncentrace rozpuštěné látky X	[–]
$D_e$	vnější průměr	[ $m$ ]
<b>DIN</b>	Deutche industrial norme	
<b>D</b>	koeficient difúze	[ $m^2/s$ ]
<b>D</b>	průměr	[ $m$ ]
<b>DN</b>	jmenovity průměr	[ $m$ ]

<b>E</b>	hodnota výchozího extraktu	[–]
<b>E</b>	index extraktu	
<b>H</b>	výška klenutého dna	[m]
<b>IPA</b>	indian pale ale	
<b>K<sub>N</sub></b>	Nernstova konstantasložky	[–]
<b>L</b>	délka válcesložky	[m]
<b>L</b>	množství kapalné fáze	[–]
<b>L<sub>v</sub></b>	délka válce	[m]
<b>M</b>	adiční bod	[–]
<b>R<sub>0</sub></b>	výchozí složení suroviny	[–]
<b>R</b>	hodnota výstupního rafinátu	[–]
<b>R</b>	index rafinátu	
<b>R<sub>m</sub></b>	mez pevnosti	[Pa]
<b>R<sub>p0,1</sub></b>	smluvní meze kluzu	[Pa]
<b>R<sub>p0,2</sub></b>	smluvní meze kluzu	[Pa]
<b>R</b>	velký radius	[m]
<b>S<sub>d</sub></b>	tloušťka stěny klenutého dna	[m]
<b>S<sub>R</sub></b>	tloušťka stěny	[m]
<b>S<sub>v</sub></b>	tloušťka stěny válcové části	[m]
<b>S</b>	výsledná tloušťka stěny	[m]
<b>V<sub>extraktor</sub></b>	clekový objem extraktoru	[m <sup>3</sup> ]
<b>V<sub>kd</sub></b>	objem klenutého dna	[m <sup>3</sup> ]
<b>V</b>	objem	[m <sup>3</sup> ]
<b>V<sub>v</sub></b>	objem válce	[m <sup>3</sup> ]
<b>Ṡ</b>	objemový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
<b>β<sub>1</sub></b>	součinitel pro určení tloušťky stěny klenutého dna	[–]
<b>η<sub>T,B</sub></b>	součinitele pro určení dovoleného namáhání tlakové nádoby	[–]
<b>π</b>	Ludolfovo číslo	[–]
<b>ρ<sub>chmel</sub></b>	hustota chmelu	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>σ<sub>D</sub></b>	dovolené namáhání tlakové nádoby	[Pa]
<b>φ</b>	svarový součinitel	[–]

## Příloha B

### Literatura

- [1] CHLÁDEK, Ladislav, 2007. Pivovarnictví. Grada. ISBN 978-80-247-6623-2.
- [2] František Ondřej Poupě, 2019. Internetová encyklopedie dějin Brna [online]. Brno: Archaia [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: [https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil\\_osobnosti&load=2315](https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_osobnosti&load=2315)
- [3] Kvasnice, kvašení a jeho druhy, 2014. Pivní klenoty [online]. Brno: Pivní klenoty [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <http://www.pivniklenoty.cz/vse-o-pivu/zajimavosti-o-pivu/kvasnice-kvaseni-a-jeho-druhy/>
- [4] BURNHAM, Ted, 2014. Beer styles study guide. Craft Beer [online]. USA: Brewers association [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <http://www.craftbeer.com/beer-styles-guide>
- [5] 2020 Brewers Association Beer Style Guidelines, 2020. Brewers Association [online]. USA: Brewers association [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.brewersassociation.org/edu/brewers-association-beer-style-guidelines/>
- [6] BERKA, Václav, 2016. Průvodce pivem pro začátečníky. Plzeňský prazdroj [online]. Plzeň: Pilsner Urquell [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.prazdroj.cz/1590-pr-vodce-pivem-pro-za-te-n-ky>
- [7] Jak se vaří pivo, 2019. Budějovický budvar [online]. České Budějovice: Budějovický budvar, 2019 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.budejovickybudvar.cz/pivovar/jak-varime-pivo>
- [8] BASAŘOVÁ, Gabriela, 2010. Pivovarství. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 978-80-7080-734-7.
- [9] Chmel, 2006. Agrobiologie [online]. Praha: ČZU [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: [http://agrobiologie.cz/SMEP3/Fytotechnika/fyto/php/skripta/kapitoladb94.html?titul\\_key=4&idkapitola=30](http://agrobiologie.cz/SMEP3/Fytotechnika/fyto/php/skripta/kapitoladb94.html?titul_key=4&idkapitola=30)

- [10] Endosperm, 2006. Katedra Botaniky Přírodovědecké fakulty univerzity Palackého v Olomouci [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <http://www.botanika.upol.cz/atlas/atomie/atomieCR48.pdf>
- [11] Morfologie a anatomie obilnin první skupiny, 2008. Agrobiologie [online]. Praha: ČZU [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: [http://agrobiologie.cz/SMEP3/Pestovani\\_rostlin\\_cviceni\\_Obilninny/etext.czu.cz/php/skripta/kapitolaf0d5.html?titul\\_key=81&idkapitola=4](http://agrobiologie.cz/SMEP3/Pestovani_rostlin_cviceni_Obilninny/etext.czu.cz/php/skripta/kapitolaf0d5.html?titul_key=81&idkapitola=4)
- [12] Vířivá kád, 2014. Pivní klenoty [online]. Brno: Pivní klenoty [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <http://www.pivniklenoty.cz/vse-o-pivu/slovník-pojmu/v/viriva-kad/>
- [13] Technologie výroby piva, 2008. Munny.cz [online]. Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: [http://sci.muny.cz/data/C6210/C6210\\_Bioprocessy\\_2-2.pdf](http://sci.muny.cz/data/C6210/C6210_Bioprocessy_2-2.pdf)
- [14] Cylindrokónické tanky, 2020. Pivní tanky [online]. Opava: Czech brewery system [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <http://www.pivnitanky.cz/nabidka/nadoby/cylindrokonicke-tanky-tlakove/>
- [15] Kroužek, 2020. Budvar.cz [online]. České Budějovice: Budějovický budvar [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://www.budvar.cz/krouzek/>
- [16] MACHALOVÁ, Petra, 2019. Slad jako zdroj biogenních aminů. Zlín. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [17] DIENSTBIER, Miroslav, Lucie JANKOVÁ, Petr SLADKÝ a Pavel DOŠTÁLEK, 2010. Metody předpovědi koloidní stability piva. Chemické listy [online]. 104(2), 86-92 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: [http://ww.chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_02\\_86-92.pdf](http://ww.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_02_86-92.pdf)
- [18] Onemocnění. celiak.cz. [Online] 2016. [cit. 2021-01-26] <https://www.celiak.cz/onemocneni>.
- [19] DVOŘÁKOVÁ, Šárka. Možnosti výroby piva, pečárenských a těstárenských výrobků pro celiaky [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=2865;studium=78627;zp=51472;download\\_prace=1](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=2865;studium=78627;zp=51472;download_prace=1).
- [20] Vyzkoušeli jsme za vás: česká bezlepková piva. Proalergiky.cz [online]. 2014, 8.10.2014 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.proalergiky.cz/magazin/clanek/vyzkoušeli-jsme-za-vas-ceska-bezlepkova-piva>.

- [21] ŠTĚPÁNEK, Ladislav. Výroba piva pro jedince trpící celiakií [online]. Zlín, 2016 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/37584/%C5%A1t%C4%9Bp%C3%A1nek\\_2016\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/37584/%C5%A1t%C4%9Bp%C3%A1nek_2016_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Baťy ve Zlíně, fakulta technologická.
- [22] JELÍNEK, Lukáš, Jana MÜLLEROVÁ a Pavel DOSTÁLEK, 2018. Tajemství výroby studeně chmelených piv – přehled. Kvasný průmysl [online]. 64(6), 287-296 [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <https://www.kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2018/06/02.pdf>
- [23] Extrakce a vyluhování, 2018. Ústav chemického inženýrství VŠCHT [online]. Praha: VŠCHT [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://uchi.vscht.cz/files/uzel/51474/0009~~S87I1MvNzE7UzUstrcrM0StJrSjRyzYy0APSRynZyal6ZZU5pRn5ZYl5mQA.pdf?redirected>
- [24] IRGLOVÁ, Dana, 2008. Vyluhování. Ústav organické technologie VŠCHT [online]. Praha: VŠCHT, 2008 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/Vyluhování.pdf>
- [25] ŠULC, Radek, 2021. Difuzně separační procesy: Extrakce. Moodle [online]. Praha: FS ČVUT [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: [https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/374192/mod\\_resource/content/0/DSP\\_predn05\\_extrakce.pdf](https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/374192/mod_resource/content/0/DSP_predn05_extrakce.pdf)
- [26] Extrakce, 2008. Ústav fyzikální chemie VŠCHT [online]. Praha: VŠCHT [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.10.7.html>
- [27] Fickův zákon, 2008. Ústav fyzikální chemie VŠCHT [online]. Praha: VŠCHT, 2008 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.9.1.html>
- [28] JANISH, Scott, 2021. Dry Hop Best Practices: Using Science as a Guide for Process and Recipe Development. Technical Quarterly [online]. USA, 58(1), 1-8 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://scottjanish.com/wp-content/uploads/2021/04/TQ-58-1-0402-01.pdf>
- [29] NESVADBA, Vladimír, Jan HERVERT, Karel KROFTA a Josef PATZAK, 2019. Praktické poznatky z procesu studeného chmelení. Chmelařský institut s.r.o. [online]. Žatec: Unie obchodníků a zpracovatelů chmele v České republice [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://www.chizatec.cz/download/page19419.pdf>
- [30] české odrůdy chmele, 2019. Svaz pěstitelů chmele České republiky [online]. Žatec: Svaz pěstitelů chmele České republiky [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [http://www.czhops.cz/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=34&Itemid=55&lang=cs](http://www.czhops.cz/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=34&Itemid=55&lang=cs)

- [31] DHE | Hops extractor: equipment for flavoring of beer using a method dry hopping, 2021. Czech brewery system [online]. Opava: Czech brewery system [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.czechminibreweries.com/production/brewery-components/cold-block/hop-extractor-dry-hopping>
- [32] Hopstar dry: plug-and-play dry hopping skid, 2020. GEA [online]. Kitzingen, Germany: GEA [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: [https://www.gea.com/en/binaries/GEA-HOPSTAR-Dry-Leaflet\\_tcm11-59894.pdf](https://www.gea.com/en/binaries/GEA-HOPSTAR-Dry-Leaflet_tcm11-59894.pdf)
- [33] Alfa Laval dry hopping webinar, 2020. Alfa Laval [online]. Lund, Sweden: Alfa Laval [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/food-dairy-and-beverage/beverage/brewery/webinar/alfa-laval-dry-hopping-webinar-presentation.pdf>
- [34] HX-200 The hop extractor 200 liters for extraction hops into cold beer, 2021. Czech brewery system [online]. Opava: Czech brewery system [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://eshop.czechminibreweries.com/product/hx-200>
- [35] Hop pellets (type T90)-Safety data sheet, 2014. Jonihaas [online]. Spojené království Velké Británie a Severního Irska: Jonihaas, 13.1.2014 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [https://www.johnihaas.com/wp-content/uploads/2014/12/Pellet\\_Type-901.pdf](https://www.johnihaas.com/wp-content/uploads/2014/12/Pellet_Type-901.pdf)
- [36] MORAVEC, Jiří, 2020. Stavba procesních a zpracovatelských zařízení: Kuželové části nádob a klenutá dna. Moodle [online]. Praha: FS ČVUT [cit. 2021-5-29]. Dostupné z: [https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/363288/mod\\_resource/content/1/SPZZ-cv4-PIN.pdf](https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/363288/mod_resource/content/1/SPZZ-cv4-PIN.pdf)
- [37] MORAVEC, Jiří, 2020. Stavba procesních a zpracovatelských zařízení: Válcové části tlakové nádoby s vnitřním přetlakem. Moodle [online]. Praha: FS ČVUT [cit. 2021-5-29]. Dostupné z: [https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/358618/mod\\_resource/content/1/SPZZ-cv2-PIN.pdf](https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/358618/mod_resource/content/1/SPZZ-cv2-PIN.pdf)
- [38] Trubky svařované, 2021. Armat [online]. Ústí nad Orlicí: Armat [cit. 2021-5-29]. Dostupné z: <https://www.armat.cz/pdf/nerezove-trubky-svarovane.pdf>
- [39] Nerezové příruby dle EN 1092-1, 2021. Armat [online]. Ústí nad Orlicí: Armat [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://armat.cz/pdf/nerezove-priruby-en-1092-1.pdf>
- [40] Motýlové klapky, 2021. Armat [online]. Ústí nad Orlicí: Armat [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://armat.cz/pdf/nerezove-motylkove-klapky-3.pdf>







## **Příloha C**

### **Sestavný výkres chmelového extraktoru**



## **Příloha D**

### **Schéma zapojení**