

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

NÁVRH VARNY DOMÁCÍHO MIKROPIVOVARU
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vonka** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **467308**
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:

Návrh varny domácího mikropivovaru

Název bakalářské práce anglicky:

Design of the brewhouse for home brewing purposes

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s postupy a technologií vaření piva. Zpracujte literární rešerši na téma technologie vaření piva a používaná zařízení v mikropivovarech se zaměřením především na zařízení pro domácí vaření piva. Na základě získaných poznatků navrhnete vhodnou koncepci varny mikropivovaru pro domácí účely.

Seznam doporučené literatury:

BASAŘOVÁ, G. a kol. Pivovarství: teorie a praxe výroby piva. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010., CHLÁDEK, L. Pivovarnictví. Praha: Grada, 2007., a dle doporučení vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

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.

30-04-2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne

.....

Jméno a Příjmení

Poděkování

Velice rád bych poděkoval panu Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, velice cenné rady, výborný přístup, odborný dohled a pomoc při provedení experimentu. Dále bych chtěl poděkovat rodině a blízkým přátelům za podporu při studiu.

Anotační list

Jméno autora:	Tomáš
Příjmení autora:	Vonka
Název práce česky:	Návrh varny domácího mikropivovaru
Název práce anglicky:	Design of the brewhouse for home brewing purposes
Rozsah práce:	počet stran: 42 počet obrázků: 19 počet tabulek: 4 počet příloh: 0
Akademický rok:	2018/2019
Jazyk práce:	český
Ústav:	Ú 12 118 - Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.
Konzultant práce:	-
Zadavatel:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú 12 118

Anotace česky:

Rešeršní část bakalářské popisuje: technologického postupu výroby piva v průmyslovém pivovaru, popis principu domácího mikropivovaru a porovnání na trhu dostupných mikropivovarů. Praktická část spočívá v návrhu varny domácího mikropivovaru a odhadu jeho ceny.

Anotace anglicky:

The literature review of this bachelor thesis describes following points: the technological process of beer production in industrial brewery, the principle home microbrewery and comparison of market-available microbreweries. The practical part consists of the design of the brewhouse for home brewing purposes and its price estimate.

Klíčová slova: vaření piva, mikropivovar, domácí mikropivovar

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	8
1. Úvod.....	9
2. Teoretická část	10
2.1. Technologický postup výroby piva	10
2.1.1. Šrotování – mletí sladu.....	10
2.1.2. Vystírání a rmutování.....	11
2.1.2.1. Dekokční rmutování na jeden rmut.....	13
2.1.2.2. Dekokční rmutování na dva rmuty	13
2.1.2.3. Dekokční rmutování na tři rmuty.....	14
2.1.2.4. Infuzní rmutování.....	14
2.1.3. Scezování sladiny	14
2.1.4. Výroba mladiny.....	14
2.1.5. Separace hrubých kalů a chlazení mladiny	15
2.1.6. Hlavní kvašení mladiny.....	15
2.1.7. Ležení piva	16
2.1.8. Filtrace a pasterace	16
2.2. Domácí mikropivovary.....	17
2.2.1. Legislativa pro domácí vaření piva	17
2.2.2. Princip domácích mikropivovarů, které jsou dostupné na trhu.....	17
2.2.3. Zařízení mikropivovaru.....	17
2.2.3.1. Varna.....	17
2.2.3.2. Koš na slad.....	17
2.2.3.3. Rmutovací pánev	18
2.2.3.4. Topné těleso s regulátorem teploty	18
2.2.3.5. Míchání	18
2.2.3.6. Chlazení	18
2.2.3.7. Vypouštěcí ventil	18
2.2.4. Porovnání nabídky komerčně dostupných domácích mikropivovarů	19
2.2.4.1. Brew Monk 30 l	19
2.2.4.2. Grainfather s chlazením	19
2.2.4.3. Braumeister 20 l.....	19
2.2.4.4. Brewster Beacon 30 ltr.....	20
3. Praktická část	22

3.1.	Schéma mikropivovaru.....	23
3.2.	Objem a rozměry nádob.....	23
3.2.1.	Varna	23
3.2.2.	Rmutovací pánev.....	24
3.3.	Míchadla.....	25
3.3.1.	Rozměrové parametry míchadel	26
3.3.1.1.	Varna	26
3.3.1.2.	Rmutovací pánev.....	26
3.3.2.	Příkon míchadel.....	26
3.3.2.1.	Varna	29
3.3.2.2.	Rmutovací pánev.....	29
3.4.	Ohřev.....	31
3.4.1.	Rmutovací pánev.....	31
3.4.2.	Varna	32
3.5.	Přečerpávání do rmutovací pánve	33
3.6.	Scezování.....	34
3.7.	Chlazení	35
3.8.	Měření teploty.....	35
3.9.	Cenový odhad.....	36
4.	Závěr.....	37
	Použitá literatura.....	38
	Seznam obrázků	41
	Seznam tabulek.....	42

Seznam použitých symbolů

D	průměr nádoby	[mm]
H	výška nádoby	[mm]
V	objem nádoby	[m ³]
d	průměr míchadla	[mm]
h	výška lopatky míchadla	[mm]
α	úhel naklonění lopatky	[°]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
n	otáčky míchadla	[s ⁻¹]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
μ	dynamická viskozita	[Pa·s]
P_o	příkonové kritérium	[-]
P	příkon	[W]
Q	teplo	[J]
m	Hmotnost vsádky	[kg]
c	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
ΔT	teplotní rozdíl	[°C, K]
τ	čas ohřevu	[s]

1. Úvod

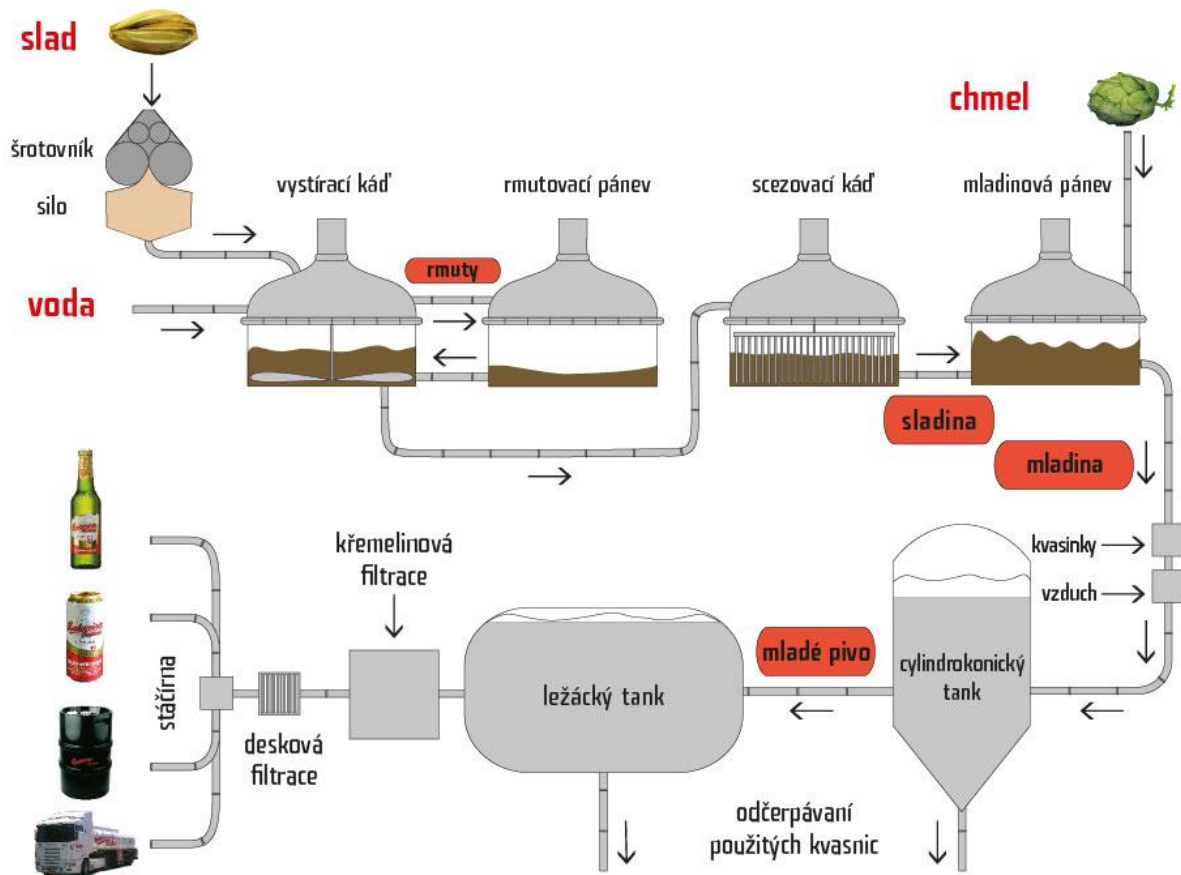
Teoretická část této bakalářské práce je zaměřena na technologický postup výroby piva v průmyslovém pivovaru od vystírání až po stáčení. Práce detailně popisuje jednotlivé kroky procesu, tj. šrotování, vystírání, možné typy rmutování, scezování, chlazení, kvašení, ležení a stáčení. Každý proces je popsán z hlediska technologie a hlavního děje. Dále je provedena základní rešerše na trhu dostupných „all in one“ mikropivovarů a je provedeno základní srovnání jejich principu a parametrů.

Obsahem praktické části bude vlastní návrh domácí varny mikropivovaru, ve kterém bude možné uvařit dvakrát (i vícekrát) rmutované pivo, jinak nazývané pivo plzeňského typu. Zvolený postup obnáší sestavení mikropivovaru ze dvou nádob, mezi kterými bude možné objem přečerpávat. Hlavní náplní této části práce bude výpočet rozměrů nádob, vybrání vhodného míchadla, zařízení pro ohřev a způsobu přečerpávání mezi nádobami. Návrh varny bude proveden až do fáze chlazení na zákvasnou teplotu a následné vypuštění mladiny do fermentační nádoby, která již nebude součástí navrhovaného mikropivovaru. Dále bude proveden výběr vhodných komponent a v závěru pak i jednoduchý odhad ceny takto navrženého mikropivovaru.

2. Teoretická část

2.1. Technologický postup výroby piva

Zjednodušené schéma postupu výroby piva v průmyslovém pivovaru je znázorněno na obrázku 2.1.1, jednotlivé kroky jsou popsány v následujících podkapitolách.



Obrázek 2.1.1 Schéma výroby piva (převzato z [9])

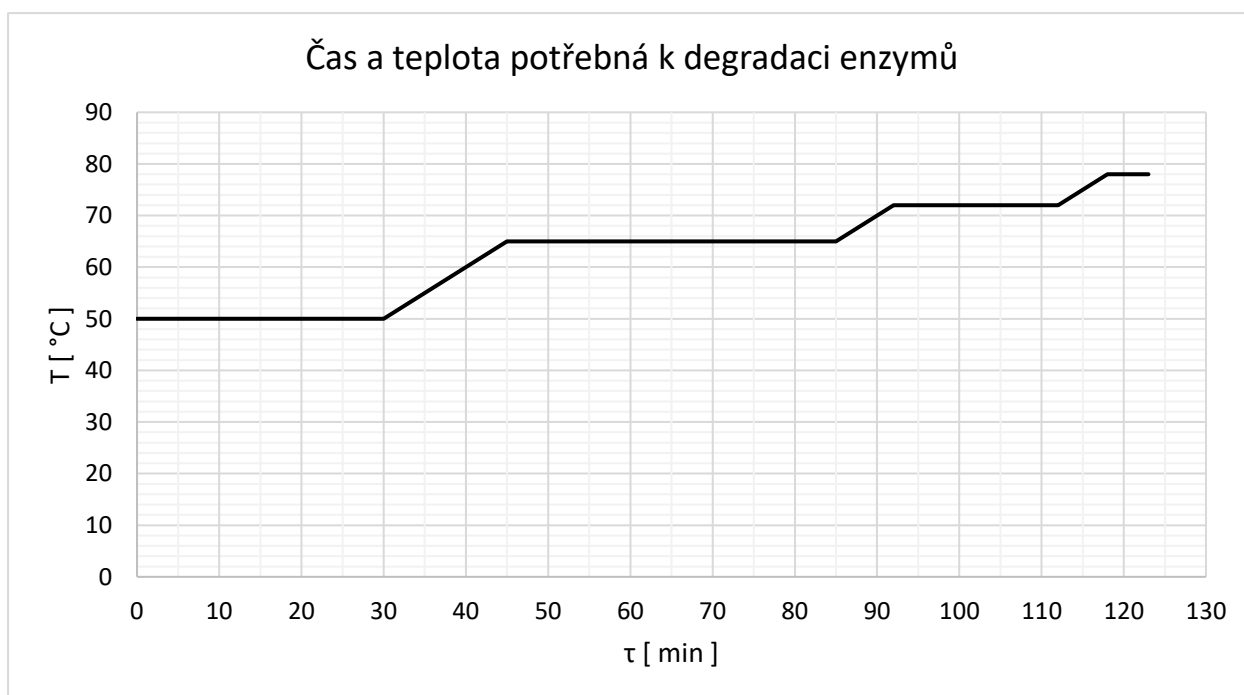
2.1.1. Šrotování – mletí sladu

Šrotováním se nazývá proces rozemletí sladu. Vzniká sladový šrot, odborně sladová tluč, který se dále zpracovává [1]. Jedná se o mechanický proces, kdy dochází k drcení zrn, aby se z nich mohl uvolnit škrob. Mezi základní způsoby mletí patří: mletí za sucha nebo mletí s kondicionováním. V druhém případě se jedná o zvlhčení sladu vodou nebo parou před mletím nebo mletí za mokra, kdy se slad před mletím namočí. Další možností je příprava velmi jemného moučnatého šrotu, což se využívá pro speciální vakuové filtry k oddělování mláta. Ke šrotování se využívají dvouválcové nebo víceválcové šrotovnice [2]. Pluchy, listeny na bázi květu v kláscích trav [24], slouží u většiny způsobů scezování jako filtrační vrstva, tudíž je nutné udržet jejich celistvost i při jemném rozdrcení obsahu zrna sladu, tj. endospermu [10].

2.1.2. Vystírání a rmutování

Na začátku várky se sladový šrot smíchá s vodou ve vystírací kádi. Vzniklá směs se nazývá dílo nebo vystírka. Dílo se pozvolna začne ohřívat, tento proces se nazývá rmutování. Rozemletý slad obsahuje škrobová zrna, která při pomalém zahřívání začnou nabývat na objemu. Při teplotě přibližně 52 °C vzniká škrobový maz. Při zahřátí směsi na teplotu 65 °C, jedná se o nižší cukrotvornou teplotu, dochází k ztekucování (dělení složitých řetězců cukru na jednodušší). Dále se směs zahřívá na 72 až 75 °C, vyšší cukrotvorná teplota, a směs se zcukruje. Během rmutování je důležité dílo neustále míchat, aby nedocházelo k připalování [1].

Dalším důležitým faktorem rmutování jsou doby jednotlivých prodlev na dané teplotě, aby došlo k potřebným enzymatickým degradačním procesům, pro potřeby práce se zaměříme na stěžejní děje cytolýzu, proteolýzu a amylolýzu. Cytolýzou se rozumí rozpad buňky, příčinou je porušení celistvosti membrány. Proteolýza spočívá v rozložení proteinů (bílkovin) na menší části. Amylolýzou se rozumí rozklad a zničení škrobových inkluzí, látky v inaktivním stavu, které mohou být buňkou znovu využity. Časové prodlevy jsou následující: 30 minut na teplotě 50 °C, 40 minut na teplotě 65°C, 20 minut na teplotě 72 °C a 5 minut na teplotě 78 °C při ohřevu 1 °C za minutu. Prodlevy jsou znázorněny v grafu na obrázku 2.1.2 [11].



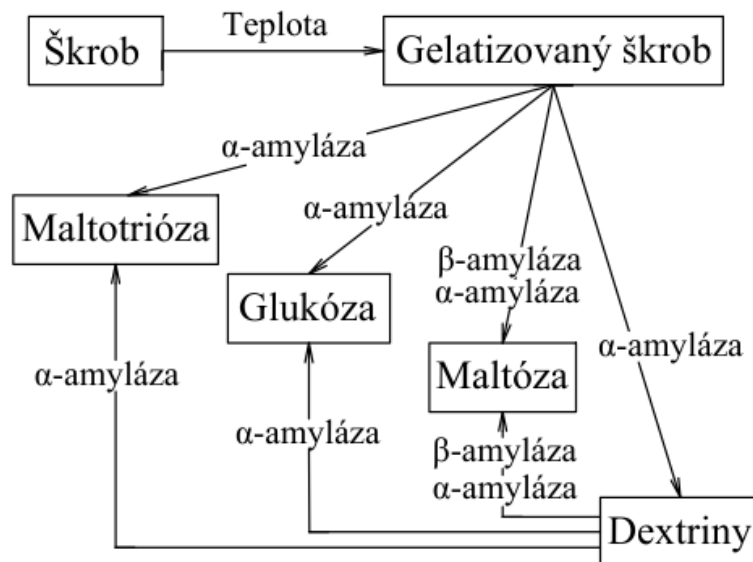
Obrázek 2.1.2 Graf časových prodlev při rmutování

V obilovinách se škrob skládá ze dvou polysacharidů tvořených velkým množstvím molekul glukózy: amylozy a amylopektinu. Amylopektin je hlavní složkou škrobu, v horké vodě je téměř

nerozpustitelný, a vytváří velmi viskózní maz. Amylóza je v horké vodě rozpustnější a méně viskózní než amylopektin [12].

S rostoucí teplotou se mění struktura zrn, dochází k bobtnání následované gelatinizací, pro ječmenný slad je gelatinizační teplota mezi 55 až 80 °C. Enzymy obsažené ve sladu nemohou působit přímo na zrna škrobu, ale pouze na gelatinizovaný škrob. Jedná se o enzymy α -amylázu a β -amylázu, které při dané teplotě postupně rozkládají gelatinizovaný škrob na monosacharidy, zejména na maltózu, glukózu, maltózu a dextriny. Schéma rozkladu škrobu je znázorněno na obrázku 2.1.3. Dextriny nejsou zkvasitelné a ovlivňují plnost chuti piva.

α -amyláza je aktivní při teplotách mezi 70 až 80°C a důsledkem působení tohoto enzymu je ztekucování škrobu, což je štěpení škrobu na kratší řetězce. β -amyláza působí na škrob při teplotách mezi 62 až 75 °C a pokračuje ve štěpení polysacharidů [13].



Obrázek 2.1.3 Schéma rozkladu škrobu (převzato z [13])

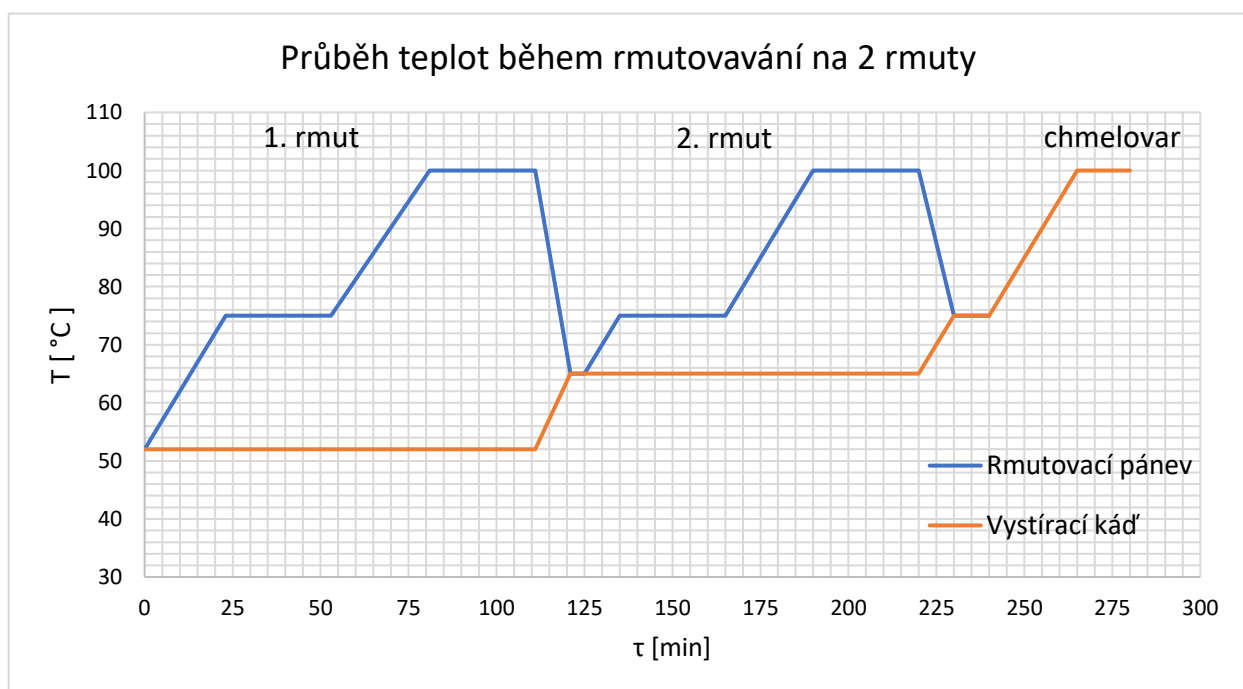
Rmutování lze provádět dvěma způsoby, dekokčním rmutováním a infuzním rmutováním. Dekokční a infuzní rmutování je rozdílné v technologickém postupu a nárokem na strojní vybavení varny. Infuzní rmutování se provádí pouze v jedné nádobě, pro dekokční rmutování jsou potřeba nádoby dvě – vystírací kád' a rmutovací pánev. Rmutovací pánev je v průmyslovém měřítku vyhřívána nejčastěji parním nebo elektrickým ohřevem, méně často se využívá ohřev přímým plamenem. Dekokční rmutování se realizuje na jeden až tři rmuty.

2.1.2.1. Dekokční rmutování na jeden rmut

Existuje několik variant rmutování na jeden rmut. První postup rmutování na jeden rmut popsal profesor Balling v polovině 19. století [1]. Jedná se o smíchání 100 kg sladové šrotu s 420 l vody o teplotě 62,5 °C ve vystírací kádi, smícháním klesne teplota díla na 58 °C. Následuje přečerpání poloviny díla, tak zvaný rmut, do rmutovací pánve, kde se dílo zahřeje na 75 °C, na této teplotě se po určitý čas udrží, aby došlo k zcukření škrobu (rozpad škrobu na jednoduché cukry), a provede se zkouška, zdali všechn škrob zcukřel. Rmut se vaří 10 až 30 minut a následně se přečerpá zpět do vystírací kádě. Smícháním rmutu s dílem ve vystírací kádi dosáhneme teploty přibližně 75 °C celého díla, čímž dojde ke zcukření celého původního díla.

2.1.2.2. Dekokční rmutování na dva rmuty

V České republice se většina piv vaří právě na dva rmuty, jedná se o pivo plzeňského typu. Rmutování na dva rmuty spočívá ve vystírání sladu do vody o teplotě 37 °C, následně se do díla přidá určité množství horké vody, aby došlo k ohřátí na 52 °C. Poté se jedna třetina přečerpá do rmutovací pánve, jedná se o první rmut, který se ohřeje na 72 až 75 °C. Teplota aktivity α -mylázy, na této teplotě se udržuje až 30 minut, než dojde k zcukření. Po zkoušce zcukření se rmut povaří po dobu 20 až 30 minut a vrátí se zpět do vystírací kádě, čímž se dílo ohřeje na 65 °C. Při této teplotě je aktivní β -amyláza. Opět se přečerpá jedna třetina z vystírací kádě do rmutovací pánve - druhý rmut, a proces se opakuje, po vrácení druhého rmutu do vystírací kádě má vystírka 75 °C, čímž dojde ke zcukření původní díla, stejně jako u rmutování na jeden rmut. Průběh teplot ve vystírací kádi a ve rmutovací pánvi je znázorněn na obrázku 2.1.4.



Obrázek 2.1.4 Graf průběhu teplot během rmutování na 2 rmuty

2.1.2.3. Dekokční rmutování na tři rmuty

V případě, že se rmutování provádí na tři rmuty, je proces obdobný jako u rmutování na dva rmuty, ale rozdíl je v tom, že ihned po vystřeni následuje první rmut. Po přečerpání prvního rmutu zpět do vystírací kádě se teplota díla zvýší na 52 °C. Druhý a třetí rmut se provádí stejně jako při rmutování na dva rmuty.

2.1.2.4. Infuzní rmutování

Infuzní rmutování spočívá ve vystřeni sladového šrotu do vody o teplotě 60 až 62 °C a ponechání na této teplotě po dobu až 45 minut, následně se vystírka ohřeje na 72 °C a ponechá se na této teplotě až 60 minut. Rozdíl od dekokčního rmutování spočívá v nepovařování části díla [1].

2.1.3. Scezování sladiny

Po rmutování je nutné dílo rozdělit na kapalnou fázi, tak zvanou sladinu, a pevnou fázi, tak zvané mláto. Scezování díla probíhá v scezovací kádi, kam je dílo přečerpáno z vystírací kádě. Postupem času se mláto začne usazovat na perforované dno kádě, čímž se vytvoří vrstva, přes kterou protéká sladina a dochází i k jejímu čištění. Aby sladina lépe protékala skrz vrstvy, je mláto prořezáváno soustavou svisle postavených nožů. Jelikož je první část sladiny kalná, je přečerpávána zpět do scezovací kádě nad vrstvu mláta. Je kontrolována čirost a stupňovitost sladiny, obsah zkvasitelného extraktu v mladině. Po dosažení požadované čirosti je sladina přepuštěna do mladinové pánve. Mláto po odtoku sladiny obsahuje stále hodně cukru, proto je vyslazeno. Vyslazení spočívá v prolití mláta horkou vodou, tak zvaný výstřelek, a pomocí sacharometru je měřena jeho stupňovitost. Vyslazování se opakuje, dokud stupňovitost posledních výstřelků nedosáhne požadované hodnoty zpravidla 1 %. Zbylé mláto se ze scezovací kádě přepraví do mlátníku, zásobník mláta, odkud se distribuuje jako krmivo.

2.1.4. Výroba mladiny

V mladinové pánvi se sladina smíchá s výstřelky, sacharometrem se zkontroluje celková stupňovitost a následuje vaření, kterému se také říká chmelovar. Do směsi se přidává postupně nejčastěji chmelový granulát, nebo granulát v kombinaci s chmelovým extraktem. Využití přírodního chmele je minimální, protože je potřeba přídavné zařízení na odloučení chmelového cízu, povařené a vyloužené chmelové šišky. Povařená směs sladiny a výstřelků s chmelem se nazývá mladina. Chmelovar trvá přibližně 90 minut. Při chmelovaru dochází k několika pochodům: převedení hořkosti chmelu na mladinu, odstranění nežádoucích těkavých látek z mladiny, sterilace mladiny, inaktivace enzymů a odpaření přebytečné vody, tak aby byla zajištěna požadovaná stupňovitost mladiny. Je možné vařit mladinu za vyššího tlaku,

tím se zvyšuje i teplota, což je výhodné pro průběh i délku trvání chmelovaru. Po skončení chmelovaru se nabere vzorek a zkontroluje se stupňovitost a mladinový lom – zdali se během chmelovaru dobře vysrážely bílkoviny a vytvořily shluky pevných vloček v jinak čiré mladině.

2.1.5. Separace hrubých kalů a chlazení mladiny

Vysrážené bílkovinné složky, které vznikly během chmelovaru, jsou nežádoucí pro průběh kvašení, tudíž je nutné je odstranit. K separaci se používají vířivé nebo usazovací kádě, odstředivky nebo dekantéry. Mladina je vysokou rychlostí tangenciálně načerpána do vířivé kádě, kde se roztočí. Díky odstředivým silám vzniklým v důsledku rotace se těžší kaly ukládají u středu do tak zvaného koláče v podobě kuželu. Po zastavení pohybu se mladina odčerpá do chladiče mladiny. Odčerpává se otvory, které jsou umístěné v různých výškách stěny kádě, rychlostí takovou, aby nedošlo k poruše koláče ve středu.

Mladina má stále po chmelovaru vysokou teplotu, nad 90 °C. Je nutné mladinu zchladit na zákvasnou teplotu okolo 6 °C, jinak by došlo k usmrcení kvasnic. Dále je třeba mladinu provzdušnit, aby kvasnice měly dostatek kyslíku. K chlazení se používají jednostupňové a dvoustupňové chladiče mladiny. Výměník tepla je vyrobený z nerezových desek, mezi kterými proudí chladící médium a mladina. Díky vhodnému profilu desek mladina i médium proudí turbulentně, což je vhodné z hlediska přenosu tepla. Jakmile teplota mladiny klesne na zákvasnou teplotu, začne se provzdušňovat sterilním vzduchem nebo kyslíkem.

2.1.6. Hlavní kvašení mladiny

Během kvašení se extrakt převádí na alkohol a oxid uhličitý. Z mladiny se stává mladé pivo. Kvašení doprovází nežádoucí děj, samovolné zvyšování teploty kvašením, proto se teplota musí kontrolovat. Vyšší teploty než zpravidla 12 °C vedou k zničení kvasnic a udržení na teploty mezi 10–12 °C vede ke správnému průběhu kvašení. Můžeme se setkat také s kvašením za vyšší teploty, což může způsobit chuťové změny. Hlavní kvašení probíhá na tak zvaných spilkách s otevřenými vanami nebo v uzavřených cylindrokonických tancích (CK tanky). Kvasnice se rozptýlí do mladiny a začnou se pomnožovat a začne také proces lihového kvašení. Hlavní kvašení se skládá ze 4 stadií. Během prvního stadia se začne po 12 až 24 hodinách zakvašená mladina zaprašovat, tj. začíná se uvolňovat oxid uhličitý a na povrchu mladiny se tvoří pěna. Toto stádium je u konce, jakmile se pěna začne stahovat směrem ke středu kádě. Tento jev je způsoben uvolňováním oxidu uhličitého po stěnách kvasné kádě. Druhé stádium trvá dva až tři dny a vyznačuje se vyšší rychlostí kvašení a bílými růžicemi pěny. Přibližně po 36 hodinách od začátku kvašení se objevují nízké (bílé) kroužky, barva kroužků je dána lomem světla. Ve třetím stadiu je

činnost kvasnic nejintenzivnější a nazývá se stadium vysokých (hnědých) kroužků. Hnědá barva kroužků je dána intenzivním vývojem oxidu uhličitého, který vynáší z mladiny různé kaly. Ve třetím stadiu se zastavuje pomnožování kvasnic hlavně kvůli nedostatku kyslíku. Čtvrté stadium se vyznačuje propadáváním kroužků a vznikem souvislé hnědé vrstvy na povrchu mladého piva.

2.1.7. Ležení piva

Po hlavním kvašení a separaci kvasnic je mladé pivo přečerpáno do ležáckých tanků, kde leží při teplotě 0–3 °C. Během ležení dochází k dokvašování, sjednocování vůně a chuti a nasycení oxidem uhličitým pro získání potřebného řízu [1].

2.1.8. Filtrace a pasterace

Filtrace se provádí dvěma základními způsoby – pomocí deskového filtru nebo křemelinové filtrace. V deskovém filtru jsou kalici látky zachycovány na celulosových deskách. Křemelinový filtr je tvořen křemelinou, rozemletými schránkami rozsivek, hnědé řasy. Kalici částice se zachytí v křemelině a jsou spolu s křemelinou odfiltrovány na síťovém nebo svíčkovém filtru [3]. Filtrace zajišťuje jiskrnou průzračnost a je základem pro pasterizaci, která je možná pouze pokud pivo neobsahuje kvasničné buňky [1]. Pasterizace zabraňuje vzniku mikrobiologického znečištění. Jedná se o tepelné ošetření piva. Pasterovat lze dvěma způsoby, průtoková pasterace, kdy je pivo pasterováno před stáčením, a tunelová pasterace, kdy je pivo pasterováno až po stáčení v obalu. Průtoková pasterace je pasterace za vysoké teploty po krátký čas, okolo 72 °C po čas 30 až 60 vteřin. Tunelová pasterace probíhá za nízké teploty po dlouhý časový úsek, 60 °C po 40 až 60 minut [4].

2.2. Domáci mikropivovary

2.2.1. Legislativa pro domácí vaření piva

Zákon 353/2003 Sb. o spotřebních daních, ve znění pozdějších úprav, § 80, říká:

„1) Plátcem není fyzická osoba, která spolu s osobami tvořícími s ní domácnost vyrobí v zařízení pro domácí výrobu piva, pro vlastní spotřebu, pro spotřebu členů její domácnosti, osob jí blízkých nebo jejích hostů, pivo v celkovém množství nepřesahujícím 200 l za kalendářní rok, za podmínky, že nedojde k jeho prodeji.

2) Fyzická osoba, která vyrábí pivo podle odstavce 1, je povinna bezodkladně oznámit celnímu úřadu datum zahájení výroby, místo výroby a předpokládané množství vyrobeného piva za kalendářní rok.“

Z výše uvedeného plyne, že fyzická osoba může pro vlastní potřebu vyrobit až 200 l piva ročně, přičemž nesmí takto vyrobené pivo prodávat, ale také má oznamovací povinnost vůči celní správě, že hodlá vyrábět pivo pro vlastní spotřebu.

2.2.2. Princip domácích mikropivovarů, které jsou dostupné na trhu

Jedná se o komerčně vyráběné, tak zvané „all in one“ automatické mikropivovary (dále jen pivovar). Proces vaření piva (vystírání, infuzní rmutování, scezování, chmelovar a chlazení na zákvasnou teplotu) se odehrává v jedné nádobě. Tyto pivovary jsou z konstrukčního hlediska velmi podobné a jejich funkce je obecně popsána v následující kapitole.

2.2.3. Zařízení mikropivovaru

2.2.3.1. Varna

Varnou se rozumí nádoba, ve které dochází skoro ke všem procesům výroby piva. Varna musí mít větší objem než požadovaný objem hotové mladiny. Ohřev je zajištěn pomocí topných těles umístěných ve dně nebo po obvodu, ale měly by být odděleny stěnou, aby se na tělesa nepřipalovala sladina.

2.2.3.2. Koš na slad

Koš se vloží do pivovaru s vodou o teplotě vystírání a za stálého míchání do koše sypeme slad. Slad po celou dobu vystírání a rmutování zůstává v koši, čímž je ulehčeno scezování, kdy je koš vytažen nad hladinu a sladina z mláta samovolně vyteče. Komerčně dostupné „all in one“ mikropivovary tak umožňují pouze infuzní způsob rmutování. Z konstrukčního hlediska nelze provádět rmutování dekokčním způsobem.

2.2.3.3. Rmutovací pánev

Pokud chceme vařit pivo s dekokčním rmutováním, musíme do pivovaru přidat rmutovací pánev, kam přečerpáme, nebo přepustíme část díla. Objem rmutovací pánve je poloviční, nebo i třetinový proti objemu varny a musí být vybavena stejně jako varna topným tělesem, ale stačí menším výkonem, neboť ohříváme pouze část díla.

2.2.3.4. Topné těleso s regulátorem teploty

K ohřevu je možné použít elektrická topná tělesa nebo plynové hořáky. Pomocí snímačů lze kontrolovat teplotu, v ideálním případě teplotu směsi a dna nádoby, a pomocí regulátoru regulovat výkon ohříváče, aby bylo dosaženo požadované teploty. Výstup z regulátoru může kontrolovat na LCD displeji.

2.2.3.5. Míchání

Během vaření piva je nutné míchání, aby teplota byla v celém objemu téměř stejná a také, aby nedošlo k připálení ke stěně nebo dnu nádoby. Míchat lze několika způsoby, prvním a nejjednodušším způsobem je ruční míchání pomocí vařečky, ale při uvážení hustoty směsi se jedná o velmi náročnou činnost. Další možností je umístit do varny míchadlo poháněné elektromotorem, jedná se relativně jednoduché řešení. U většiny na trhu dostupných pivovarů je míchání zajištěno pomocí čerpadel, kdy směs cirkuluje ode dna pomocí přepadového potrubí na hladinu přes koš, do něhož byl vsypán předem našrotovaný slad.

2.2.3.6. Chlazení

Ke zchlazení mladiny na zákvasnou teplotu můžeme použít externí chladicí spirálu nebo protiproudový chladič napojený na vodovodní řád, tímto způsobem ochladíme mladinu na přibližně 20 °C. Zabudované chlazení nepřijde do kontaktu s mladinou, tudíž ho nemusíme po každém vaření mýt, ale během vaření nám do chladicího okruhu bude zbytečně přestupovat teplo.

2.2.3.7. Vypouštěcí ventil

Vypouštěcí ventil slouží k vypuštění mladiny do fermentační nádoby a k čištění pivovaru. Lze použít obyčejný zahradní ventil [5, 6, 7, 8].

2.2.4. Porovnání nabídky komerčně dostupných domácích mikropivovarů

Konstrukce pivovarů, které jsou běžně dostupné, se moc neliší. Pro porovnání byly vybrány 4 pivovary: Brew Monk 30 l, Grainfather s chlazením, Braumeister 20 l plus a Brewster Beacon 30 ltr.

2.2.4.1. Brew Monk 30 l

Varna je vyrobena z nerezové oceli ČSN 17 040 o celkovém objemu 40 litrů. Výkon ohřevu varny lze nastavovat po 100 W krocích. Na nádobě jsou dvě odnímatelné rukojeti pro snadnou manipulaci. Míchání je zajištěno magnetickým čerpadlem. Programovatelný regulátor má funkci alarmu a paměť na uložení 9 receptů, lze nastavovat teplotu v rozmezí od 20 do 100 °C. K vypouštění slouží odnímatelný kulový kohout SST ½“ s tryskou [5].



Obrázek 2.2.1 Domácí mikropivovar Brew Monk 30 l [5]

2.2.4.2. Grainfather s chlazením

Pivovar Grainfather lze používat uvnitř i venku. Součástí pivovaru je řídicí jednotka Control Box Connect, která umožňuje připojení mobilního telefonu přes bluetooth, tudíž je možnost dálkového ovládání. Jednotka obsahuje recepty od společnosti Grainfather a je možné nahrát vlastní recepty. Pivovar je vybaven protiproudým chladičem, který se připojuje na vodovodní řád [6].



Obrázek 2.2.2 Domácí mikropivovar Grainfather [6]

2.2.4.3. Braumeister 20 l

Pivovar Braumeister disponuje dvojitým pláštěm z nerezové oceli, který zajišťuje dobré chlazení mladiny bez potřeby jiného příslušenství. Chladicí okruh je napojen pomocí zahradních rychlospojek. Teplotu, čas vaření a čerpadlo kontroluje plně automatická řídicí jednotka [7].



Obrázek 2.2.3 Domácí mikropivovar Braumeister 20 l [7]

2.2.4.4. Brewster Beacon 30 ltr

Pivovar Brewster Beacon 30 ltr je vyroben z leštěné nerezové oceli. Výkon ohřevu varny lze nastavovat po 100 W krocích. Do paměti řídicí jednotky lze uložit 10 receptů. Dílo se míchá díky magnetickému čerpadlu [8].



Obrázek 2.2.4 Domácí mikropivovar Brewster Beacon 30 ltr. [8]

Jednotlivé parametry pivovarů jsou porovnány v následujících tabulkách 2.2.1 a 2.2.2. V tabulkách jsou uvedeny následující parametry: objem, množství sladu, výkon varny, cena a vnější rozměry.

Tabulka 2.2.1 Porovnání základních parametrů pivovarů – 1. část

Typ	Objem [l] ¹	Množství sladu [kg]	Výkon [W]
Brew Monk 30 l	30	max. 8	100-2 500
Grainfather	25	4,5 – 9	500
Braumister 20 l	20	max. 6	2000
Brewster Beacon 30 ltr	30	max. 9	100 – 2 500

Tabulka 2.2.2 Porovnání základních parametrů pivovarů – 2. část

Typ	Cena [Kč]	Vnější rozměry [mm]
Brew Monk 30 l	13 689	575 x 350
Grainfather	22 999	733 x 386
*Braumister 20 l	45 500	600 x 400
Brewster Beacon 30 ltr	10 499	650 x 365

¹ Maximální objem hotové mladiny, nikoliv varny pivovaru.

Porovnáme-li vzájemně v současnosti komerčně dostupné varny pro domácí vaření piva, lze dojít k následujícím závěrům:

- Jedná se o technicky velmi podobná zařízení, která se liší víceméně pouze objemem 1 várky a dostupným vybavením (integrované chlazení mladiny, způsob ovládání a programování, automatické funkce a automatické recepty).
- Všechna dostupná zařízení svou konstrukcí umožňují víceméně pouze infuzní způsob rmutování (dekokční rmutování na více rmutů sice lze teoreticky provést s využitím externí nádoby, ale musí se ručně odebrat dílo přímo z koše a odložit příslušnou část díla do této externí nádoby). Je to dáno konstrukcí, kdy je dílo ve varně umístěno v koši, přes nějž cirkuluje tekutá část díla, která je čerpána ze dna nádoby a vracena trubicou na hladinu koše.
- Cenové rozpětí je dáno kvalitou použitých materiálů, mírou vybavenosti varny a úrovní regulace

3. Praktická část

V teoretické části práce byla zmapována technologie výroba piva v průmyslovém měřítku a byly zjištěny požadavky, které je nutné dodržet během vaření piva. Tyto požadavky (zejména požadované teploty, doby výdrže, rychlosti ohřevu) jsou prakticky shodné i pro výrobu piva v malém množství. Dále byly zmapovány varny pro domácí vaření piva, které jsou dostupné na trhu. Bylo zjištěno, že tyto varny se zaměřují na co nejjednodušší postup výroby piva v amatérském prostředí a umožňují tak pouze infuzní způsob procesu rmutování (realizovat dekokční způsob rmutování je velmi obtížné, ne-li nemožné).

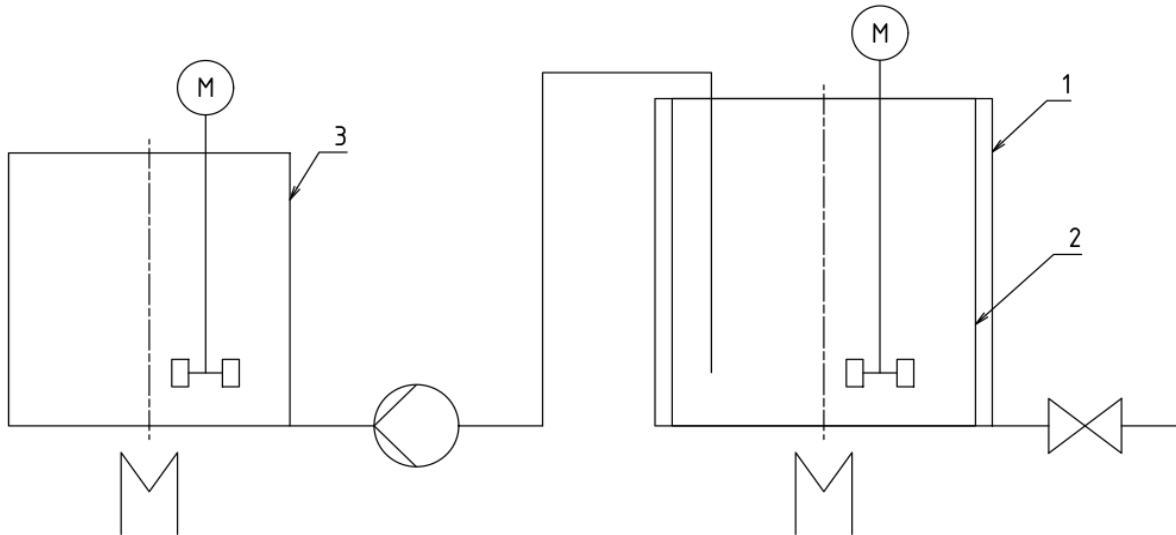
Praktická část práce se zaměřuje na vlastní návrh varny domácího pivovaru, která umožňuje také vaření piva plzeňského typu, to znamená pivo dvakrát dekokčně rmutované. Proto bude nutné do varny zahrnout rmutovací pánev, do které se přečerpá část díla. Samozřejmě bude možné využít pouze varnu a vařit pivo s infuzním rmutováním. . Navrhovaná varna by tak měla plnit následující požadavky:

- domácí vaření piva v malém měřítku ze základních surovin (nikoliv pouze chmelovar využívající zahuštěnou či instantní sladinu prodávanou v obchodní síti)
- infuzní i dekokční (na 2 i více rmutů) způsob rmutování
- zachování jednoduchého technického řešení, snadnost obsluhy.

Cílem je i vyvarovat se typicky kutilským konstrukcím využívající zavařovací hrnce, kuchyňské kotle a vířivé pračky ROMO, které jsou hojně dostupné v internetových diskuzích.

3.1. Schéma mikropivovaru

Mikropivovar se skládá z varny s výsuvným košem, rmutovací pánve, externího chladicího zařízení a výpustného ventilu. Schéma je znázorněno na obrázku 3.1.1.



Obrázek 3.1.1 Schéma mikropivovaru, 1 - varna, 2 - sladový koš, 3 - rmutovací pánve

3.2. Objem a rozměry nádob

Pro výpočet rozměrů nádob vycházím z předpokladu

$$D = H, \quad (1)$$

kde D [mm] – průměr nádoby,

H [mm] – výška nádoby.

Poté lze vzorec pro výpočet objemu a následně vzorec pro výpočet průměru zjednodušit na vztah

$$V = \frac{\pi \cdot D^3}{4} \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}} \quad (2)$$

3.2.1. Varna

Výsledný objem mladiny bude 30 litrů, tudíž objem varny musí být větší, byl zvolen objem 40 litrů. Dosazením do rovnice (2) získám vnější rozměry varny.

$$D = H = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 40}{\pi}} = 3,7 \text{ dm} = 370 \text{ mm} \quad (3)$$

3.2.2. Rmutovací pánev

Během rmutování se přečerpá jedna třetina díla do rmutovací pánve, objem mladiny je 30 litrů, ale během vaření může být větší, tudíž objem rmutovací pánve byl volen 15 litrů. Opět dosazením do rovnice (2) a získáme vnější rozměry rmutovací pánve:

$$D = H = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 15}{\pi}} = 2,7 \text{ dm} = 270 \text{ mm} \quad (4)$$

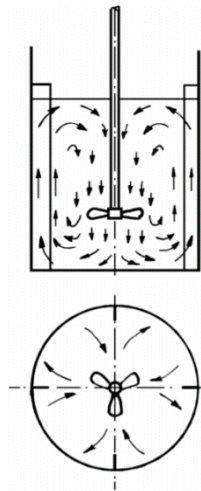
Jelikož výroba nádob na zakázku by byla příliš drahá, bylo zvoleno alternativní řešení výběrem nerezových nádob, které se běžně vyrábí.

Pro varnu byl zvolen nerezový hrnec od firmy Kovoděl Janča s.r.o. o objemu 40 litrů s poklicí a vypouštěcím ventilem. Cena nádoby je 2 500 Kč, poklice 500 Kč, ventil 300 Kč [19].

Pro rmutovací pánev byla vybrána nerezá 15 litrová nádoba s poklicí od prodejce Dobrý koloniál za 2 210 Kč [20].

3.3. Míchadla

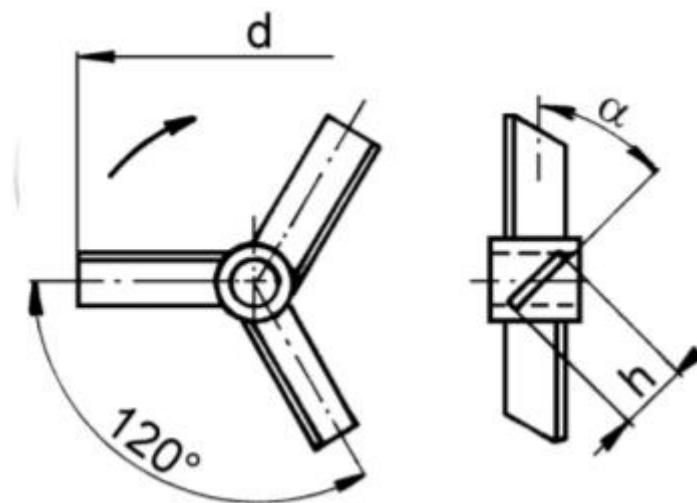
Během rmutování a chmelovaru je důležité dílo míchat, aby nedocházelo k připalování. U automatických varen pro domácí vaření piva, které jsou dostupné na trhu je toto zajištěno nucenou cirkulací tekutiny čerpáním ze dna nádoby varny skrze koš, v němž je umístěno dílo. Vzhledem k nutnosti odčerpávat část díla pro dekokční rmutování však výše uvedený způsob míchání není zcela vhodný. V návrhu se ukazuje daleko vhodnější využití mechanického míchání rotačními míchadly. V obou nádobách je potřeba zajistit axiální proudění, jak je znázorněno na obrázku 3.2.1. Aby nedošlo k roztočení kapaliny, jsou po obvodu umístěny narážky. V našem



Obrázek 3.3.1 Schéma axiálního proudění ve válcové nádobě (převzato z [14])

případě by narážky způsobovaly potíže při čištění nádob, proto místo narážek umístíme míchadlo excentricky.

Pro obě nádoby bylo zvoleno na doporučení vedoucího práce třílopatkové míchadlo se šikmými lopatkami CVS 69 1025.3 (obrázek 3.2.2). Typově se jedná o rychloběžné čerpadlo.



Obrázek 3.3.2 Schéma třílopatkového míchadla se šikmými lopatkami (převzato z [14])

3.3.1. Rozměrové parametry míchadel

Geometrické parametry tohoto míchadla jsou následující:

poměr průměru nádoby a průměru míchadla $D/d = 3$;

poměr výšky lopatky a průměru míchadla $h/d = 0,2$;

úhel naklonění lopatky $\alpha = 45^\circ$.

Při výpočtu jednotlivých parametrů míchadel vycházíme z geometrických parametrů.

3.3.1.1. Varna

Dle daných poměrů byly určeny rozměry míchadla, jeho průměr d a výšku lopatek h .

$$d = \frac{D}{3} = \frac{370}{3} = 123,33 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm} \quad (5)$$

$$h = 0,2 \cdot d = 0,2 \cdot 125 = 25 \text{ mm} \quad (6)$$

3.3.1.2. Rmutovací pánev

Stejně jako pro míchadlo ve varně jsem určil rozměry míchadla ve rmutovací pánvi.

$$d = \frac{D}{3} = \frac{270}{3} = 90 \text{ mm} \quad (7)$$

$$h = 0,2 \cdot d = 0,2 \cdot 90 = 18 \text{ mm} \quad (8)$$

Míchadla o požadovaných rozměrech nejsou běžně dostupné, proto byla orientačně určena jejich hmotnost, lopatky váží dohromady přibližně 0,25 kg, dvě hřídele, na které se lopatky navaří, váží dohromady 0,123 kg. Cena 1 kg nerezového plechu o tloušťce 2 mm je 126,34 Kč a cena 1 kg kruhové tyče o průměru 5 mm je 153,97 Kč [23]. Cena lopatek je tedy přibližně 31,60 Kč a hřídelí 3,85 Kč při výpočtu z kilogramů, celková cena materiálu je tedy 35,45 Kč. Pro odhad byla cena vynásobena faktorem 6, který zohledňuje cenu za práci, svařovací materiál apod. Celková odhadovaná cena je tedy 212,7 Kč a bude platit pouze, pokud míchadla vyrobí ze zbytků materiálu a nebude nutné kupovat celý plech nebo kruhovou tyč. Skutečnou cenu lze očekávat okolo 1 000 Kč.

3.3.2. Příkon míchadel

Pro výpočet příkonu míchadel je důležité příkonové číslo, které závisí na Reynoldsově kritériu a typu míchadla. Reynoldsovo kritérium lze určit dle vztahu (9)

$$Re = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu}, \quad (9)$$

kde n [s^{-1}] – otáčky míchadla,

ρ [$kg \cdot m^{-3}$] – hustota kapaliny,

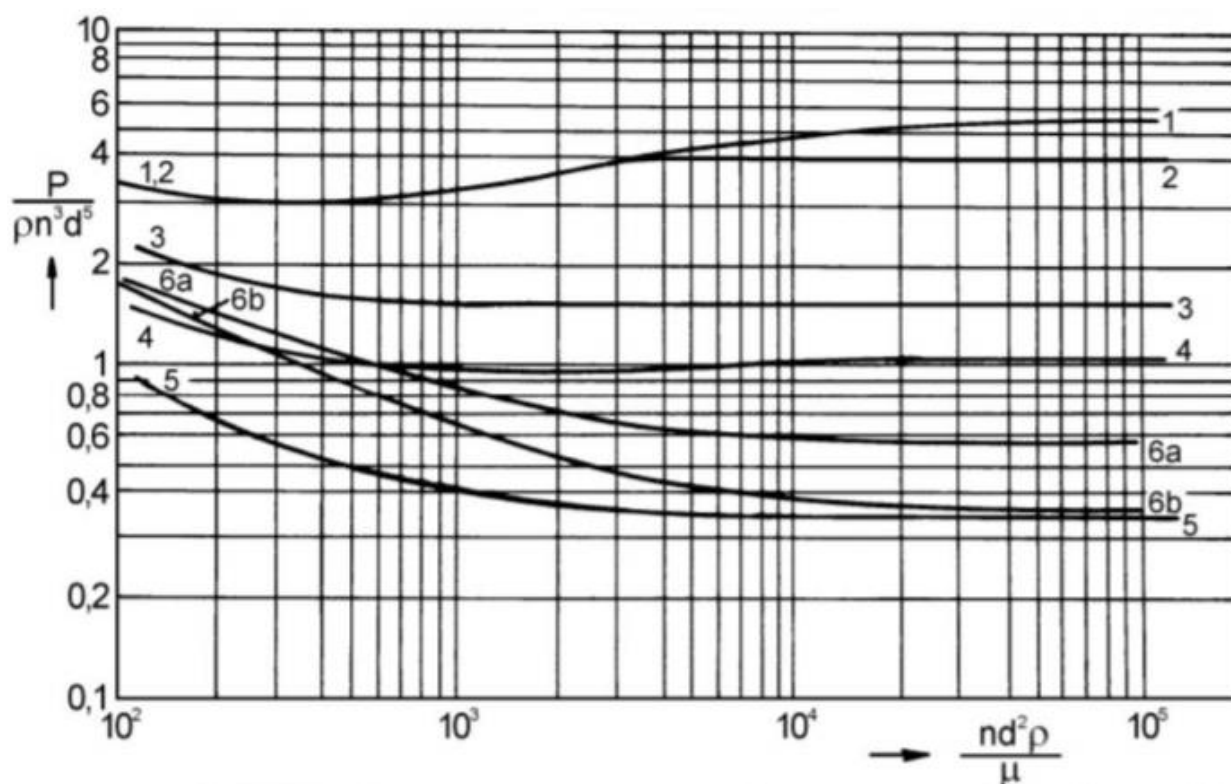
μ [$Pa \cdot s$] – dynamická viskozita kapaliny.

V případě, že známe Reynoldsovo kritérium, lze příkonové kritérium P_o definované vztahem (10) určit graficky z příkonové charakteristiky na obrázku 3.3.3 [14].

$$P_o = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}, \quad (10)$$

kde P_o [-] – příkonové kritérium,

P [W] – příkon míchadla.



Obrázek 3.3.3 Příkonové charakteristiky některých typů míchadel

1 – turbínové míchadlo, 2 – turbínové míchadlo bez dělicího kotouče, 3 – šestilopátkové míchadlo, 4 – třílópátkové míchadlo, 5 – vrtulové míchadlo, 6a,b – zubová míchadla (převzato z [14])

Pro zjištění potřebných otáček k zajištění námi požadovaného axiálního proudění v nádobě, aby se vystírka vznášela ode dna, jsme provedli experimenty pro míchání ve varně a ve rmutovací pánvi, obrázek 3.3.4. Rozměry nádob a míchadel téměř odpovídaly navrženým hodnotám. Ve varně bylo míchadlo excentricky umístěno 60 mm od osy nádoby, ve rmutovací pánvi 50 mm. Vystírání bylo provedeno dle způsobu popsaného profesorem Ballingem, to znamená do 24 litrů vody vystřít 6 kg sladu. Při prvním míchání byly postupně zvyšovány otáčky míchadla až na hodnotu $n = 425$ ot/min, kdy bylo dosaženo vznosu díla. Při druhém míchání měření stačily otáčky pouze $n = 385$ ot/min. Rozdíl v otáčkách byl způsoben změnou struktury díla mícháním, slad postupně bobtnal. Také bude záležet na kvalitě šrotování a samotném typu sladu. Pro výpočet potřebného příkonu pro vystírání byly zvoleny otáčky $n = 420$ ot/min = 7 ot/s.

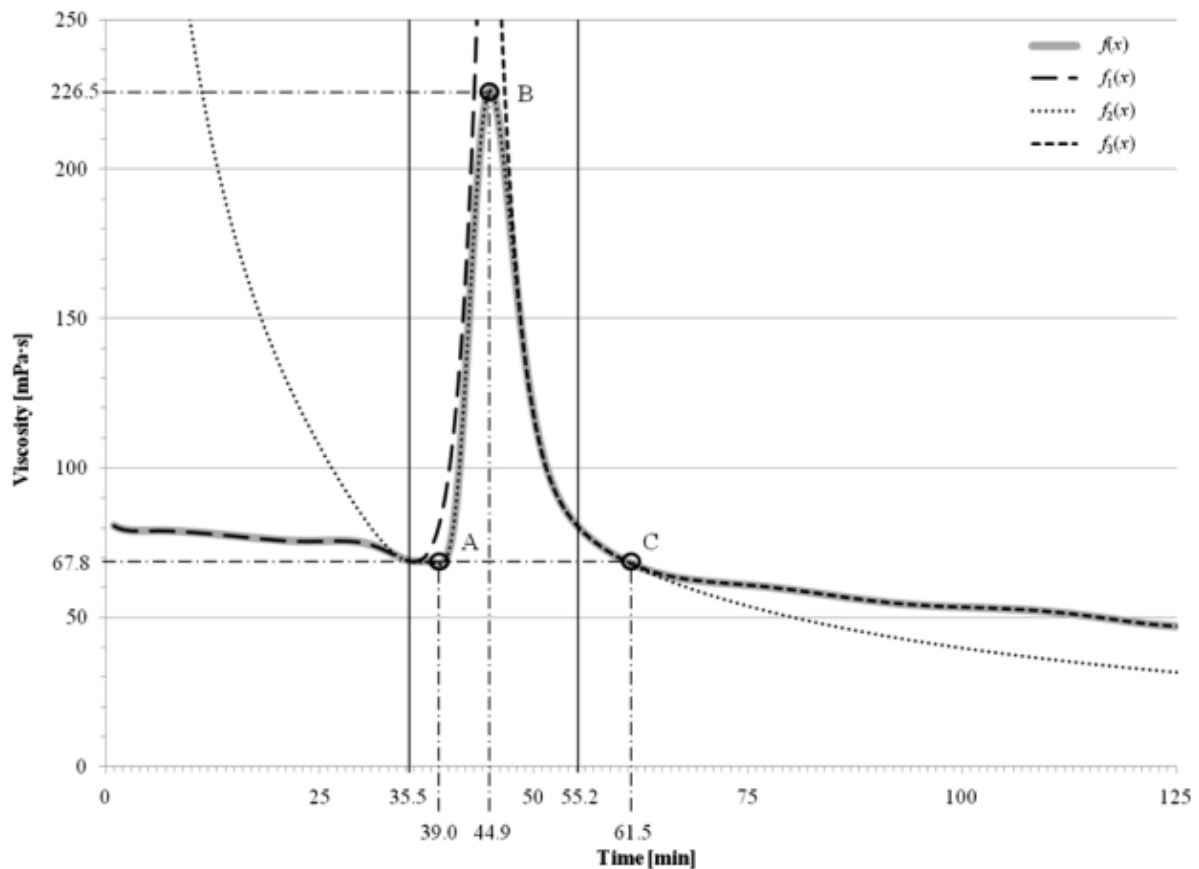
Pro určení potřebných otáček ve rmutovací pánvi jsme postupovali obdobně, smíchali jsme 12 litrů vody s 2,85 kg sladu a postupně zvyšovali otáčky, dokud nedošlo ke vznosu díla. Održení nastalo při otáčkách $n = 540$ ot/min. Pro výpočet příkonu míchadla ve rmutovací pánvi byly zvoleny otáčky míchadla $n = 560$ ot/min = 9,333 ot/s.



Obrázek 3.3.4 Experiment míchání ve vystírací kádi

Hustotu sladinu nebylo možné dohledat v běžných zdrojích, po konzultaci s vedoucím práce bylo doporučeno volit hustotu $\rho = 1200$ kg · m⁻³.

Dynamická viskozita se mění s teplotou, změna viskozity během rmutování, kdy viskozita nabývá nejvyšších hodnot $\mu = 226,5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, je znázorněna na obrázku 3.2.4 [11].



Obrázek 3.3.5 Závislost průběhu viskozity na čase (převzato z [11])

3.3.2.1. Varna

Prvním krokem je spočítání Reynoldsova čísla dosazením do vztahu (9).

$$Re = \frac{7 \cdot 0,125^2 \cdot 1200}{0,2265} = 579,470 \quad (11)$$

Dále určíme příkonové číslo z charakteristiky na obrázku 3.2.3, $P_o = 1$.

Z rovnice (10) vyjádříme výkon P

$$P = P_o \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 = 1,4 \cdot 1200 \cdot 7^3 \cdot 0,125^5 = 12,561 \text{ W} \quad (12)$$

3.3.2.2. Rmutovací pánev

Při určování potřebného výkonu ve rmutovací pánvi lze postupovat analogicky.

$$Re = \frac{9,333 \cdot 0,090^2 \cdot 1200}{0,2265} = 400,530 \quad (13)$$

Z charakteristiky na obrázku 3.2.3, $P_o = 1$.


$$P = P_o \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 = 1,6 \cdot 1200 \cdot 9,333^3 \cdot 0,090^5 = 5,761 \text{ W} \quad (14)$$

Elektromotory pro vypočtený potřebný příkon se nevyrábí, proto je nutné volit elektromotor s převodovkou. Elektromotor pro pohon míchadel byl volen ze stejnosměrných motorů se šnekovou převodovkou. Zvolený motor: DC motor NDCM/ECM, obrázek 3.3.6, který je napájen



Obrázek 3.3.6 DC motor NDCM/ECM (převzato z [18])

12 nebo 24 V, s výkonovými variantami od 55 do 800 W. K elektromotoru je možné připojit několik variant převodovek s převodem 5 až 100, čímž je možné regulovat krouticí moment od 1 do 54 Nm. Jelikož každý slad může být rozdílně namlet, je vhodné zvolit motor s možnými vyššími otáčkami než přesně s otáčkami, které byly změřeny během experimentu. Pro pohon byl zvolen motor s převodovkou Transtecno ECM035/026, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce na obrázku 3.3.7 [18].

P_1 [W]	n_2 [min ⁻¹]	M_2 [Nm]	sf	i		Versione motore Motor version
55						
(3000 min ⁻¹)	600	0.8	12.8	5	ECM035/026	120/240
	400	1.1	9.6	7.5		
	300	1.5	7.4	10		
	200	2.2	5.0	15		
	150	2.8	3.9	20		
	100	3.8	3.1	30		
	75	4.8	2.3	40		
	60	5.6	1.8	50		
	50	6.3	1.4	60		

Obrázek 3.3.7 Parametry motoru ECM035/026 (převzato z [18])

Na internetových stránkách Raveo není uvedena cena, ale polský prodejce czescimaszyn24.pl tento motor prodává za 498,19 PLN, což je přibližně 2 985 Kč, dle aktuálního kurzu [22].

3.4. Ohřev

Ohřev je možné realizovat několika způsoby, například parou, elektrickým ohřevem nebo plynovým hořákem. Pára je pro mikropivovar pro domácí využití zcela nevhodným řešením. V úvahu tedy připadá elektrický ohřev nebo ohřev plynovým hořákem. Elektrický ohřev je jednodušší na regulaci oproti plynovému ohřevu a disponuje rychlejším tepelným náběhem. Plynový ohřev, dle mého názoru, je nejjednodušší na realizaci, neboť stačí plynový hořák s propan-butanovou láhví, který je možné přemístit pod varnu a rmutovací pánev, protože ohřev bude vždy probíhat právě pod jednou nádobou. Aby nedošlo k teplotním šokům a nechtěným chemickým změnám, nesmí ohřev překročit hodnotu 1 °C za 1 minutu.

Při výpočtu tepla potřebného k ohřevu vyjdeme z kalorimetrické rovnice (15):

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (15)$$

kde Q [J] – teplo,

m [kg] – hmotnost vsádky,

c [J/kgK] – měrná tepelná kapacita

ΔT [°C, K] – teplotní rozdíl na počátku a konci ohřevu.

Potřebný tepelný příkon vypočítáme ze vztahu (16):

$$P = \frac{Q}{\tau}, \quad (16)$$

kde τ [s] – čas potřebný k ohřevu

3.4.1. Rmutovací pánev

Ve rmutovací dochází k ohřevu směsi vody se sladem. Hustota $\rho = 1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a měrná tepelná kapacita $c = 4187 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. V první řadě je nutné určit hmotnost díla m :

$$m = \rho \cdot V = 1200 \cdot 0,01 = 12 \text{ kg} \quad (17)$$

Po vystírání je teplota díla 52 °C, při prvním rmutu se dílo nejdříve ohřívá na 75 °C. To znamená, že teplotní rozdíl

$$\Delta T = 75 - 52 = 23 \text{ °C} \quad (18)$$

Pro tento ohřev je nutné dodat teplo Q dle rovnice (15)

$$Q = 12 \cdot 4187 \cdot 23 = 1\,155\,612 \text{ J} \quad (19)$$

Následuje ohřev na bod varu, ze $75 \text{ }^\circ\text{C}$ na $100 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy teplotní rozdíl je

$$\Delta T = 100 - 75 = 25 \text{ }^\circ\text{C} \quad (20)$$

a dodané teplo Q

$$Q = 12 \cdot 4187 \cdot 25 = 1\,256\,100 \text{ J}. \quad (21)$$

Následuje druhý rmut. Po přečerpání prvního rmutu zpět do varny má dílo teplotu přibližně $65 \text{ }^\circ\text{C}$, další odebranou třetinu je nutné opět ohřát nejdříve na $75 \text{ }^\circ\text{C}$, tudíž

$$\Delta T = 75 - 65 = 10 \text{ }^\circ\text{C} \quad (22)$$

a dále dodané teplo:

$$Q = 12 \cdot 4187 \cdot 10 = 502\,440 \text{ J}. \quad (23)$$

Posledním krokem je opět ohřev na bod varu, který je stejný jako v rovnicích (20) a (21).

Příkon, dle vztahu (16), při rmutování je pro všechny ohřevy během rmutování stejný, ale potřebné teplo je nejvyšší při ohřevu na povaření rmutu.

$$P = \frac{1\,256\,100}{1\,500} = 837,4 \text{ W} \quad (24)$$

3.4.2. Varna

Ve varně se bude ohřívat sladina již po scezení, tudíž hustotu ρ a měrnou tepelnou kapacitu c položíme rovnu hodnotám pro vodu, $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ a $c = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Hmotnost vypočítáme stejně jako u rmutovací pánve:

$$m = \rho \cdot V = 997 \cdot 0,03 = 29,91 \text{ kg} \quad (25)$$

Dále je potřeba určit velikost teplotního rozdílu ΔT . Po rmutování se teplota sladinu zvýší na $75 \text{ }^\circ\text{C}$, během chmelovaru dojde k varu, který nastane při teplotě $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Z toho vyplývá:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 100 - 75 = 25 \text{ }^\circ\text{C} \quad (26)$$

Nyní můžeme dosadit do rovnice pro výpočet tepla Q (15):

$$Q = 29,91 \cdot 4187 \cdot 25 = 3\,125\,595 \text{ J} \quad (27)$$

a výkonu P dle vztahu (16), $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \tau = 1500 \text{ s}$.

$$P = \frac{3\,130\,829}{1\,500} = 2\,083,730 \text{ W} \quad (28)$$

Vyšší výkon, $P = 2,083 \text{ kW}$, bude potřeba pro ohřev během chmelovaru. Pro ohřev byl zvolen plynový hořák mini drago 30 x 30 x 13,5 cm s výkonem 3,5 kW. Hořák je vyroben z litiny, nožičky z lisovaného plechu, nosnost 50 kg a lze plynule regulovat výkon. Hořák je možné připojit na propan-butan. Rozměry hořáku jsou 300 x 300 x 135 mm. Cena 750 Kč [17].



Obrázek 3.4.1 Plynový hořák mini drago (převzato z [17])

3.5. Přečerpávání do rmutovací pánve

Přečerpávání lze řešit pomocí gravitačního čerpání. Varna a rmutovací pánve jsou vůči sobě vertikálně pohyblivé a k vypouštění jednotlivých nádob by sloužily vypouštěcí ventily v dolní části nádob. U varny by se tento ventil dále využil na odtok kalné sladiny a vypuštění mladiny do fermentační nádoby. Jelikož je ve varně umístěn sladový koš, umístění výtakového ventilu do spodní části nádoby může být technologicky náročné, protože by ventil musel procházet stěnou varny i koše, proto by bylo lepším řešením přečerpávání pomocí čerpadla.

Jelikož se jedná o domácí mikropivovar, je vhodné volit levné a jednoduché řešení. Jako jedna z ideálních možností je použít čerpadlo na vrtačku Rover Pompe drill 20 mm solo (obrázek 3.5.1). Čerpadlo je vyrobeno z nerezavějících materiálů, těleso je vyrobeno z bronzu a ušlechtilé oceli.



Obrázek 3.5.1 Čerpadlo na vrtačku Rover Pompe drill 20 mm solo (převzato z [15])

Čerpadlo je možné otáčet oběma směry a výkon je závislý na otáčkách . Parametry čerpadla jsou uvedeny v tabulce 3.5.1. [15].

Tabulka 3.5.1 Parametry čerpadla Rover Pomp drill 20 mm solo

Max. průtok [l/min]	Max. otáčky [1/min]	Rozměry [mm]	Hmotnost [kg]	Průměr přípojek [mm]	Cena [Kč]
25	2850	100 x 120 x 70	1,5	20	1 172

Pro pohon čerpadla byla zvolena vrtačka Maktec M6002 450 W, maximální otáčky naprázdno jsou 3 000 ot/min, otáčky lze regulovat pomocí vypínače s elektronickou regulací a stojí 1 090 Kč [26].

Pro transport díla byla zvolena hadice DRINKTEC BERGALAV 10 o průměru 19 mm, která je vhodná pro dopravu tekutých potravin. Cena 1 m hadice je 286,53 Kč [21].

3.6. Scezování

K scezení využijeme vyjímatelný koš. Dno se vyrobí z jemného síta, aby došlo k oddělení sladiny od mláta. Aby během vystírání nedocházelo k úniku díla do varny, po obvodu dna umístíme těsnění. Při scezování se koš zaaretuje v horní poloze, zpočátku kalná sladina (tzv. předeček) se vypustí do pomocné nádoby, jakmile se začne scezovat dostatečně čirá sladina, kalná sladina se vrátí zpět do procesu scezování.

Aretace koše může být realizována pomocí navařených západek v dolní polovině vnějšku koše, které po správném natočení zapadnou do zámků navařených v optimální výšce varny, nebo pomocný výklopných patek, které se opřou o hrdlo varny.

Materiál pro výrobu koše byl zvolen nerezový plech o tloušťce 0,8 mm. Průměr koše byl zvolen 340 mm a výška 350 mm. Hmotnost pláště je 2,28 kg, což při ceně 139,39 Kč za kilogram vychází na sumu 317,81 Kč za materiál [23]. Odhad celkové ceny pláště koše po vynásobení faktorem 6, započtení práce, je 2 000 Kč. Síto místo dna do pivovaru Grainfather stojí 940 Kč [6], cena výroby na zakázku bude nejspíše podobná.

3.7. Chlazení

Po chmelovaru je potřeba mladinu zchladit na zákvasnou teplotu. V úvahu přichází dvě možnosti chlazení: chlazení pomocí externí spirály vložené do varny připojené na vodovodní řád nebo připojení výměníku tepla.

Chlazení pomocí externí spirály je jednoduchým a levným řešením. Chladicí smyčku (obrázek 3.7.1) pomocí rychlospojkek připojíme na vodovodní řád a vložíme do varny s horkou



Obrázek 3.7.1 Chladič mladiny směčka 23 metrů (převzato z [16])

mladinou, nebo směčku vložíme do nádoby se studenou vodou, případně i ledem, a směčkou necháme kolovat horkou mladinu. Směčka je vyrobena z nerezové oceli, průměr trubky je 8 mm, průměr směčky je 195 mm, výška 260 mm a celková výška je 340 mm a cena 1 190 Kč [16].

Využití regeneračního výměníku tepla je efektivnějším řešením, ale náročné na návrh, konstrukci a zajištění regenerace chladícího média.

3.8. Měření teploty

Jak již bylo zmíněno dříve, během vaření piva je důležité kontrolovat teplotu, hlavně během rmutování. Pro domácí účely bude dostačující potravinářský teploměr. Pro cenový odhad byl

zvolen teploměr Bioterm Profesionální teploměr potravinářský -50 až 300 °C, jehož cena je 305 Kč. [25]

3.9. Cenový odhad

Pro komerční využití výše navrženého mikropivovaru by cena neměla přesáhnout 30 tisíc Kč. Všechny ceny v tabulce 3.9.1. jsou uvedeny včetně DPH.

Tabulka 3.9.1 Cenový odhad

Položka	Cena [Kč]
Varna	3 993
Rmutovací pánev	2 210
Scezovací koš	3 000
Míchadla	1 000
Elektromotor s převodovkou	6 000
Potrubí	573
Čerpadlo	1 172
Pohon čerpadla	1 090
Chladicí smyčka	1 190
Plynový hořák	750
Vypouštěcí ventil	300
Potravinářský teploměr	305
Součet	21 583

Celková cena dle výše uvedeného odhadu je 21 583 Kč, některé ceny jsou hrubý odhad, jelikož nebylo možné dohledat přesné ceny. Výsledná celková cena by se mohla pohybovat okolo 25 tisíc Kč.

4. Závěr

Teoretická část bakalářské práce se zaměřuje na technologický proces výroby piva. Je popsán postup vystírání, rmutování, co se děje s dílem během rmutování, scezování, chmelovar, chlazení na zákvasnou teplotu, kvašení, ležení, filtrace a pasterizace piva. V další části jsou porovnány čtyři mikropivovary, Brew Monk 30 l, Grainfather s chlazením, Braumeister 20 l, Brewster Beacon 30 ltr. V práci jsou popsány jednotlivá zařízení v mikropivovarech, jejich vlastnosti, princip, a ovládání.

Jelikož dostupné mikropivovary disponují pouze možností vaření piva infuzně rmutovaného, v praktické části práce je proveden návrh domácího mikropivovaru, ve kterém bude možné vařit pivo dekokčně rmutované, ale samozřejmě také pivo rmutované infuzně. V práci jsou provedeny výpočty jednotlivých rozměrů nádob mikropivovaru a míchadel, potřebného příkonu pro míchání během vystírání a rmutování, kde potřebné otáčky byly stanoveny pomocí experimentu, a příkon potřebný pro ohřev díla během rmutování a chmelovaru. Následně byly zvoleny jednotlivé komponenty: nádoba varny a rmutovací pánve, návrh materiálu pro výrobu míchadel a scezovacího koše, systém pro ohřev, čerpadlo pro přečerpávání díla z varny do rmutovací kádě a zpět a chladicí spirála na chlazení před kvašením. V závěru práce je proveden orientační cenový odhad, za jakou cenu by bylo takto navržený mikropivovar včetně vybraných komponent možné pořídit. Cena by se měla pohybovat okolo 25 tisíc Kč.

Použitá literatura

- [1] CHLÁDEK, L. Pivovarnictví. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1616-9.
- [2] BASAŘOVÁ, G, a kol. Pivovarství: teorie a praxe výroby piva. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN ISBN978-80-7080-734-7.
- [3] VÚPS. Filtrace. PIVO-PIVO [online]. 9. července 2002 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.pivo-pivo.cz/svetpiva/clanek/223-Filtrace/index.htm>
- [4] BAMFORTH, Charles. Beer: Tap into the Art and Science of Brewing. New York: Oxford University Press, 2003. Str. 164
- [5] BREW MONK 30 L + 3 ROKY ZÁRUKA. VASEPIVO.CZ [online]. Tanvald, 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://www.vasepivo.cz/zbozi/varny-a-varne-hrnce/brew-monk-O108/brew-monk-30-l-+-3-roky-zaruka-Z617.html>
- [6] Pivovar Grainfather. Pivoteka.cz [online]. Olomouc, 2018, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.pivoteka.cz/pivovar-grainfather-s-chlazenim-ovladaci-panel-bluetooth-010353K>
- [7] Pivovar Braumeister 20l plus. Pivoteka.cz [online]. Olomouc, 2018, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.pivoteka.cz/pivovar-braumeister-20l-plus-4707010>
- [8] Domácí pivovar Brewster Beacon 30 ltr. Pivoteka.cz [online]. Olomouc, 2018, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.pivoteka.cz/pivovar-braumeister-20l-plus-4707010>
- [9] JAK VAŘÍME NAŠE PIVO. Budějovický Budvar, národní podnik [online]. České Budějovice: Budějovický Budvar, n. p., 2016 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.budejovickybudvar.cz/produkty/jak-varime-pivo.html>
- [10] Postup vření piva. 2018. Dostupné také z: <http://minibreweryks.com/wp-content/uploads/2018/02/Postup-vaření-piva.pdf>
- [11] SCHNITZENBAUMER, B., ARENDT, E., TITZE, J. Statistical comparison of a new rheological method for defining changes in mash consistency during mashing with the established Rapid Visco Analyser. Journal of Cereal Science. Ireland, 2013, 2013(57), 39-46.
- [12] KODÍČEK, M. Biochemické pojmy. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2004. ISBN 80-7080-551-X.
- [13] BRANDAM, C., X. M. MEYER, J. PROTH, P. STREHAIANO a H. PINGAUD. An original kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing. Biochemical Engineering Journal. 2003, 2003(13), 43-52.

- [14] RIEGER, F., V. NOVÁK a T. JIROUT. Hydromechanické procesy II. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03302-3
- [15] ČERPADLO NA VRTAČKU ROVER POMPE DRILL 20MM SOLO. DOMINTEX [online]. Zohor: Domintex, 2011 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://www.domintex.cz/cerpadlo-na-vrtacku-rover-pompe-drill-20mm-solo/>
- [16] Chladič mladiny smyčka 23metrů + rychlospojky 9,5mm. Pivoteka.cz [online]. Olomouc, 2018, 2018 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: https://www.pivoteka.cz/chladic-mladiny-smycka-23metru-rychlospojky-9-5mm-POL03499?gclid=CjwKCAjw0tHoBRBhEiwAvPIGFSku-Qsq3HjopO3d7whrd3FwibtNXgOKzjRTp32cgPfg4xGEdHbc2xoCLSUQAvD_BwE
- [17] Plynový hořák mini drago 30 x 30 x 13,5 cm. Pivoteka.cz [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://www.pivoteka.cz/plynovy-horak-mini-drago-30-x-30-x-13-5-cm-00266>
- [18] DC MOTOR NDCM/ECM. RAVEO [online]. Otrokovice: RAVEO [cit. 2019-07-04]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/kartacove-dc-motory-se-snekovou-prevodovkou>
- [19] Nerezové hrnce a kbelíky. Kovoděl Janča s.r.o. [online]. Uherský Brod: Kovoděl Janča, 2018 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <http://www.kovodel.cz/prislusenstvi-k-destilaci/nerezove-hrnce/>
- [20] Nádoba nerez 15 litrů k pasteru 15l + poklice. Dobrý koloniál [online]. Pelhřimov: Dobrý koloniál, 2019 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://www.dobrykolonial.cz/pastery/nadoba-nerez-15l-pro-paster-fj15-poklice/>
- [21] DRINKTEC BERGALAV 10 - Tlaková hadice na horkou vodu, páru a potraviny, +160°C, 10 bar. GMS [online]. Lanškroun: GMS velkoobchod, 2018 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.gms.cz/drinktec-bergalav-10>
- [22] Motoreduktor ślimakowy ECM035/026 i=50 24VDC. Czescimaszyn24.pl [online]. Babice, Polsko: Comarch e-Sklep, 2019 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://czescimaszyn24.pl/motoreduktor-slimakowy-ecm035-026-i-50-24vdc,3,34768,25727>
- [23] Nerez - Nerezové materiály a nerezová ocel. KONDOR [online]. Radotín: KONDOR, 2013 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/nerez/c-1441/>
- [24] Plucha. BioLib.cz [online]. BioLib, 2019 [cit. 2019-07-21]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/glossaryterm/id1931/>

[25] Bioterm Profesionální teploměr potravinářský -50° až 300°C. TOP DOMÁCÍ POTŘEBY [online]. Český Těšín: topdomacipotreby.cz, 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: https://topdomacipotreby.cz/eshop/i/Profesionalni teplomer_potravinarsky/0

[26] Vrtačka Maktec M6002, 450W. Makita-eshop.cz [online]. Most: Makita-eshop.cz, 2019 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.makita-eshop.cz/hobby-naradi-maktec/vrtacka-maktec-m6002-450w>

Seznam obrázků

Obrázek 2.1.1 Schéma výroby piva (převzato z [9]).....	10
Obrázek 2.1.2 Graf časových prodlev při rmutování	11
Obrázek 2.1.3 Schéma rozkladu škrobu (převzato z [13]).....	12
Obrázek 2.1.4 Graf průběhu teplot během rmutování na 2 rmuty	13
Obrázek 2.2.1 Domácí mikropivovar Brew Monk 30 l [5].....	19
Obrázek 2.2.2 Domácí mikropivovar Grainfather [6].....	19
Obrázek 2.2.3 Domácí mikropivovar Braumeister 20 l [7].....	19
Obrázek 2.2.4 Domácí mikropivovar Brewster Beacon 30 ltr. [8]	20
Obrázek 3.1.1 Schéma mikropivovaru, 1 - varna, 2 - sladový koš, 3 - rmutovací pánev	23
Obrázek 3.3.1 Schéma axiálního proudění ve válcové nádobě (převzato z [14]).....	25
Obrázek 3.3.2 Schéma třílopatkového míchadla se šikmými lopatkami (převzato z [14])	25
Obrázek 3.3.3 Příkonové charakteristiky některých typů míchadel 1 – turbínové míchadlo, 2 – turbínové míchadlo bez dělicího kotouče, 3 – šestilopátkové míchadlo, 4 – třílopatkové míchadlo, 5 – vrtulové míchadlo, 6a,b – zubová míchadla (převzato z [14]).....	27
Obrázek 3.3.4 Experiment míchání ve vystírací kádí	28
Obrázek 3.3.5 Závislost průběhu viskozity na čase (převzato z [11])	29
Obrázek 3.3.6 DC motor NDCM/ECM (převzato z [18]).....	30
Obrázek 3.3.7 Parametry motoru ECM035/026 (převzato z [18]).....	30
Obrázek 3.4.1 Plynový hořák mini drago (převzato z [17]).....	33
Obrázek 3.5.1 Čerpadlo na vrtačku Rover Pompe drill 20 mm solo (převzato z [15]).....	34
Obrázek 3.7.1 Chladič mladiny smyčka 23 metrů (převzato z [16])	35

Seznam tabulek

Tabulka 2.2.1 Porovnání základních parametrů pivovarů – 1. část	20
Tabulka 2.2.2 Porovnání základních parametrů pivovarů – 2. část	20
Tabulka 3.5.1 Parametry čerpadla Rover Pomp drill 20 mm solo	34
Tabulka 3.9.1 Cenový odhad.....	36