

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

**NÁVRH MODELOVÉ VARNY
MIKROPIVOVARU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Čestné prohlášení

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

V Praze dne

.....

Petr Seghman

Poděkování

Děkuji Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. za odborné vedení práce, vstřícnost a užitečné rady při vypracovávání bakalářské práce. Dále děkuji své rodině, svým přátelům a své přítelkyni za podporu při studiu.

Anotační list

Jméno autora: Petr
Příjmení autora: Seghman
Název práce česky: Návrh modelové varny mikropivovaru
Název práce anglicky: The Proposal of the Microbrewery Brewhouse
Rozsah práce: počet stran: 38
počet obrázků: 11
počet tabulek: 2
počet příloh: 0
Akademický rok: 2014/2015
Jazyk práce: čeština
Ústav: Ú 12 118 – Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.
Oponent: doc. Ing. Pavel Hoffman, CSc.
Konzultant práce: Ing. Jan Skočilas, Ph.D.
Zadavatel: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12118

Anotace česky:

Hlavním účelem této práce je seznámení s problematikou vaření piva s důrazem na vystírání, rmutování, scezování a chmelovar a následný návrh koncepce modelové varny mikropivovaru pro Ústav procesní a zpracovatelské techniky na ČVUT v Praze. Rešeršní část práce je zaměřena na technologii vaření piva, různé druhy konstrukce varen minipivovarů a na uspořádání a konstrukční řešení již existujících výukových pivovarů v České republice. V rámci této práce je předkládán návrh vhodné koncepce modelové varny mikropivovaru pro potřeby výuky studentů Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Anotace anglicky:

The main purpose of this thesis is to get acquainted with brewing methods and processes with accent on malting, mashing, lautering and boiling and to lay a proposal of a model microbrewery brewhouse for the Department of Process Engineering at CTU in Prague. The literature review is focused on technology of brewing, different types of construction of breweries and layouts and designs of educational breweries already existing in the Czech Republic. The proposal of the educational microbrewery for Czech Technical University in Prague is included in the thesis.

Klíčová slova: minipivovar, varna, výukový pivovar, vaření piva
Využití: podklad pro konstrukční návrh varny pro ústav Ú 12 118

Seznam použitých symbolů

d	průměr	[m]
H	výška hladiny	[m]
h	výška nádoby	[m]
m	hmotnost	[kg]
m_{chmel}	Hmotnost chmele pro várku	[kg]
m_{rmut1}	Hmotnost díla pro první rmut	[kg]
m_{rmut2}	Hmotnost díla pro druhý rmut	[kg]
m_{slad}	Hmotnost sladu pro várku	[kg]
S	Plocha scezovacího dna	[m ²]
t	Teplota díla po smísení odložené části a části po procesu rmutování	[°C]
t_1	Teplota odložené části díla během rmutování (předpokládaná)	[°C]
t_2	Teplota části díla po ukončení procesu rmutování	[°C]
T	Teplota	[°C]
V	Objem	[m ³]
$V_{\text{dílo}}$	Objem díla	[m ³]
V_{rmut1}	Objem díla pro první rmut	[m ³]
V_{rmut2}	Objem díla pro první rmut	[m ³]
$V_{\text{w_vyst}}$	Objem vody pro vystírku	[m ³]
$V_{\text{w_vysl}}$	Objem vody pro vyslazování	[m ³]

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Suroviny a technologie vaření piva	7
2.1	Suroviny pro výrobu piva	7
2.2	Technologie vaření piva	8
3	Technologické uspořádání varny pivovaru	14
3.1	Čtyřnádobová varna.....	14
3.2	Dvounádobová varna	15
4	Výukové pivovary v ČR	17
5	Legislativa a zákony	20
6	Shrnutí poznatků z literární rešerše	21
7	Návrh koncepce výukové varny pro laboratoř Ústavu procesní a zpracovatelské techniky.....	22
7.1	Vytyčení požadavků na varnu	22
7.2	Zhodnocení možností technologického uspořádání varny a výběr vhodného řešení	22
7.3	Dílčí návrhy varny	24
7.4	Příklad receptury pro vaření dvourmutovým způsobem	30
8	Odhad ceny jedné várky	33
9	Navržená koncepce varny - shrnutí	34
9.1	RMV pánev	34
9.2	Scezovací kád'	34
9.3	Ostatní zařízení	35
10	Závěr	36
11	Použité zdroje	38

1 Úvod

Již starověké civilizace vařily nápoj, který bychom podle dnešních kritérií klasifikovali jako pivo. Každá z těchto civilizací však k vaření piva přistupovala odlišně. U starověkých Egypťanů bychom správně neměli ani používat výraz „vařili“, neb jejich způsob výroby spočíval v kvašení směsi, která vznikla z drčeného pečeného chleba a z vody s datlemi [1]. Tyto výjevy jsou znázorněny na různých nástěnných malbách. Z písemností starověkých Římanů víme, že germánské národy na území Evropy či starověcí obyvatelé Arménie připravovali nápoj přímo zkvašením ječného či pšeničného sladu [2].

V průběhu staletí se proces výroby měnil. Zprvu nevařené, pouze zkvašené nápoje vyráběné z obilných sladů či z pečených bochníků, se postupně začaly čistit, v průběhu 8. až 10. století se pak do piva začal přidávat chmel a pivo se začalo před kvašením vařit, aby všechny chutě a vůně z koření přešly do směsi. V České republice je tradice pivovarství pevně zakořeněna. První pivovary se na našem území začaly objevovat již v 10. století, o čemž svědčí i znovu obnovený pivovar v pražském Břevnovském klášteře. Ke klášteru se váže dokument, který v roce 993 zakazuje mnichům vařit pivo [3]. První písemná zmínka o používání chmele v českých zemích je nadační listina vydaná knížetem Břetislavem I., který přidělil část chmele pěstovaného u Žatce kapitule ve Staré Boleslavi.

Pivo, tak jak jej známe nyní, dostalo svou podobu až ve vrcholném středověku. V současnosti se samotný postup výroby piva příliš neliší od toho historického. V jednoduchosti by se dal proces výroby piva shrnout do několika vět. Na začátku procesu je příprava surovin potřebných pro jeho výrobu - sladového šrotu, chmele, vody a kvasinek. Po namletí se sladový šrot smíchá s vodou a působením tepla se přimějí dlouhé řetězce sacharidů (škroby) vázané ve sladu přejít do roztoku. Tato fáze procesu se nazývá rmutování. Po rmutování se odstraní pevné nečistoty (zbytky šrotu). Následně se do roztoku přidá koření (chmel) a směs se povaří. Pak se dílo zchladí a přidají se kvasinky. Nějakou dobu pak pivo „leží“ a po dokončení procesu kvašení může být stáčeno. Na rozdíl od procesu výroby jsou technologie a strojní zařízení pro jeho výrobu však na jiné úrovni.

Cílem této práce je předložit koncepční návrh modelové varny minipivovaru pro Ústav procesní a zpracovatelské techniky na Fakultě strojní Českého vysokého učení technického v Praze. Varna by měla splňovat objem výstavu 50 l a mělo by být možné demonstrace více způsobů rmutování (infuzního i dekokčního).

První část práce se zaměří na technologii varny a samotné procesy vystírání, rmutování, scezování a chmelovaru, kdy na základě literární rešerše je cílem zjistit charakter jednotlivých procesů, především z hlediska volby teplot, dob prodlení i např. změn viskozity díla během rmutování. Snahou je také odhalit možná úskalí během jednotlivých procesů.

Další část práce se zaměří na vlastní technologická uspořádání varny pivovaru, které se dnes běžně používají v minipivovarech a výukových pivovarech.

Na základě poznatků získaných z literární rešerše je v závěru práce navržena vhodná koncepce výukové modelové varny na předpokládaný výstav 50 l mladiny pro laboratoř Ústavu procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze. Navržen je vhodný objem nádob varny, způsob ohřevu a diskutována je i problematika míchání.

Cílem práce však není detailní řešení varny nebo její konstrukční návrh. Předkládaná práce by měla sloužit jako podklad pro další práce, které by se již zaměřily na detailní konstrukční řešení samotné výukové varny.

Účelem realizace výukové varny pivovaru v laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze není výuka potravinářské technologie ani výchova sládků - toto není úkolem výuky na strojní fakultě. Nicméně v potravinářských provozech je potřeba i tzv. provozních inženýrů, kteří rozumí strojní technologii a mají ponětí i o vlastním procesu. Aplikace výukové varny na strojní fakultě by tedy měla být zaměřena především na problematiku hmotových a energetických bilancí, procesu ohřevu v míchané nádobě, a na provoz a regulaci zmíněné strojní technologie. Z tohoto důvodu je idea realizace výukové varny zaměřena pouze na část varny, bez kvasné technologie. Koncovým produktem výukové varny by měla být pouze mladina, nikoliv pivo.

2 Suroviny a technologie vaření piva

2.1 Suroviny pro výrobu piva

Základní suroviny pro vlastní výrobu piva jsou tři - voda, slad (resp. sladový šrot) a chmel. Slad ovšem není primární surovinou a je třeba jej připravit z ječných zrn šrotováním.

2.1.1 Voda

Voda, která má být použita k výrobě piva, musí být klasifikována jako voda pitná. Dále by měla obsahovat co možná nejmenší podíl bakterií a mikroorganismů. Zároveň je pro vaření piva důležité přesné složení vody - obsah jednotlivých iontů. Podle zdroje [4] se pro každý druh piva hodí voda s jiným obsahem iontů.

Kationty Mg^{2+} a Ca^{2+} reagují s fosfáty uvolněnými ze sladu, tím ovlivňují výslednou chuť piva. Při vyšším obsahu Mg^{2+} je chuť piva hořká, až nakyslá. Pokud je ovšem ve vodě málo kationtů Ca^{2+} , nežádoucí efekt hořčičku je částečně utlumen. Pokud jsou však oba druhy kationtů zastoupeny v menších koncentracích (voda je tedy klasifikována jako měkká), nemá tvrdost vody na chuť piva žádný nežádoucí účinek. Obdobně pak fungují kationty Na^+ , které pivu dodávají slanou, řezavější chuť.

Voda by ideálně měla splňovat neutrální pH (6 - 8), pokud bude mít pH menší, může mít pivo nežádoucí nakyslou chuť. Kromě Na, Mg^{2+} a Ca^{2+} jsou dalšími prvky, jejichž množství musíme sledovat, Mn, Fe a anionty NO_3^- .

Některé prvky jsou naopak pro správný proces vaření piva nezbytné. Jedná se zejména o stopové prvky Zn a ionty již zmíněného manganu - Mn^{+2} . Přesto, že velká koncentrace manganu může pivu dodat nepříjemnou chuť, musí být ve vodě alespoň stopové množství Mn^{+2} iontů (spolu s ionty Zn), aby byl zajištěn správný růst kvasinek. I stopový obsah Fe^{+2} a Fe^{+3} iontů je vhodný pro dosažení vyšší kvality piva, protože tyto kationty podporují oxidačně redukční a enzymatické reakce.

2.1.2 Slad [5]

Slad jsou naklíčená a usušená obilná zrna. Pro výrobu piva se nejčastěji používá slad ječmenný. Další druhy sladu, které se v pivovarství používají, jsou slad pšeničný či žitný.

Slady se dále rozdělují podle barvy:

- světlý slad (plzeňský) - určen pro výrobu světlých piv plzeňského typu
- polotmavý slad (bavorský) - určen k dobarvení světlých piv či pro výrobu piv tmavých
- karamelový slad - velmi tmavý slad určený k výrobě tmavých piv a speciálů
- barevný slad - pražený slad, který neobsahuje žádné enzymy, používá se pouze pro dobarvení piva

Kromě těchto základních druhů sladu pak existují slady speciální, jako např. slad nakuřovaný, lihovarský či kyselý. Tyto druhy sladu se liší nejen surovinami (druhem zrn použitých k výrobě), ale i samotným procesem sladování (teplotami, prostředím, dobou sladování).

2.1.3 Chmel

Chmel je přísada, která pivu dodává charakteristickou chuť. Nejdůležitějším ukazatelem kvality (resp. vhodnosti použití daného typu) chmelu je obsah α -hořkých a β -hořkých kyselin. Podle zdroje [6] ovlivňují tyto skupiny kyselin pivo následujícím způsobem:

- α -hořké kyseliny snadno oxidují a vykazují hořkou chuť piva. Jsou důležité pro vznik a stabilitu pивní pěny. Při varu však izomerují a zhoršují tak vlastnosti piva.
- β -hořké kyseliny jsou jemnější než α -hořké kyseliny. Zároveň méně izomerují, a tak nevznikají nežádoucí chuťové defekty. Obdobně jako α -hořké kyseliny jsou důležité pro tvorbu pивní pěny a pro výslednou pивní chuť.

2.2 Technologie vaření piva

Vaření piva je proces známý již několik tisíciletí a v průběhu své existence prošel četnými změnami. Pro potřeby této práce se soustředíme pouze na způsoby výroby piva v současnosti. Následující text popisuje proces výroby piva ve většině současných pivovarů podle zdrojů [5] a [7].

2.2.1 Šrotování

Pro návrh varny mikropivovaru je třeba seznámit se s technologií výroby piva. Prvním krokem výroby piva je šrotování sladu. Šrotování se realizuje na dvouválcových či víceválcových šrotovnicích. Tak vzniká sladový šrot, neboli sladová tluč. U šrotování je nejdůležitější dosáhnout co nejlepšího rozrušení endospermu (vnitřku zrna sladu) při zachování co nejlepší celistvosti pluch pro usnadnění scezování (filtrační vlastnost mláta). Tato práce se však soustředí na samotný postup tepelného zpracování díla, a tak se šrotováním nebudeme dále zabývat. Pro provoz námi uvažované varny se předpokládá nákup již šrotovaného sladu.

2.2.2 Vystírání a rmutování

Vystírání je proces, kdy se sladový šrot smíchává s vodou ve vystírací kádi nebo u malých pivovarů přímo ve rmutovací pánvi, která slučuje funkci rmutovací pánve a vystírací kádě. Směs, která vznikne smícháním šrotu s teplou vodou, se nazývá dílo nebo vystírka. Dílo se pak přepustí do rmutovací pánve, kde se začne zahřívat. Při tomto procesu dochází jednak k postupnému bobtnání a následnému uvolňování škrobu do díla, tím vznikne tzv. škrobový máz a také k aktivaci enzymů. K tomuto uvolňování dochází přibližně při 52 °C. Během vystírání je nutné zajistit intenzivní míchání, aby se zabránilo k tvorbě “hrudek” rozplavovaného sladového šrotu. Dílo ve rmutovací pánvi se dále zahřívá a při 65 °C se máz ztekucuje a následně při teplotách 72 – 75 °C zcukřuje. I zde je nezbytné intenzivní míchání k zabránění sedimentace částic šrotu a k zajištění homogenity vsádky, ale také k intenzifikaci přestupu tepla.

2.2.3 Způsoby rmutování

Rmutování, čili zcukřování škrobové složky obsažené v díle, se provádí dvojím způsobem - dekokčním a infuzním. Navrhovaná varna by měla být schopna obou způsobů rmutování.

2.2.3.1 Infuzní rmutování

Infuzní rmutování je nejjednodušší způsob výroby sladiny (sladina je směs vody a cukrů, které se uvolní do směsi rozpadem delších škrobových řetězců ve sladu). Spočívá v tom, že celé dílo je postupně ohříváno a mícháno v jedné vyhřívané nádobě. Ke zcukřování tak dochází v celém objemu najednou. K tomuto způsobu rmutování je potřeba pouze jedné vyhřívané nádoby, do které se vejde celé dílo.

Při infuzním rmutování se sladový šrot vystírá do vody o teplotě 60 – 62 °C. Při této teplotě se udržuje po dobu 35 – 45 minut. Po proběhnutí této prodlevy se teplota díla ohřeje na 72 °C a na této teplotě se dílo drží přibližně jednu hodinu. Tím je infuzní rmutování ukončeno. Žádná část rmutu se v průběhu infuzního rmutování nepovaří.

2.2.3.2 Dekokční rmutování

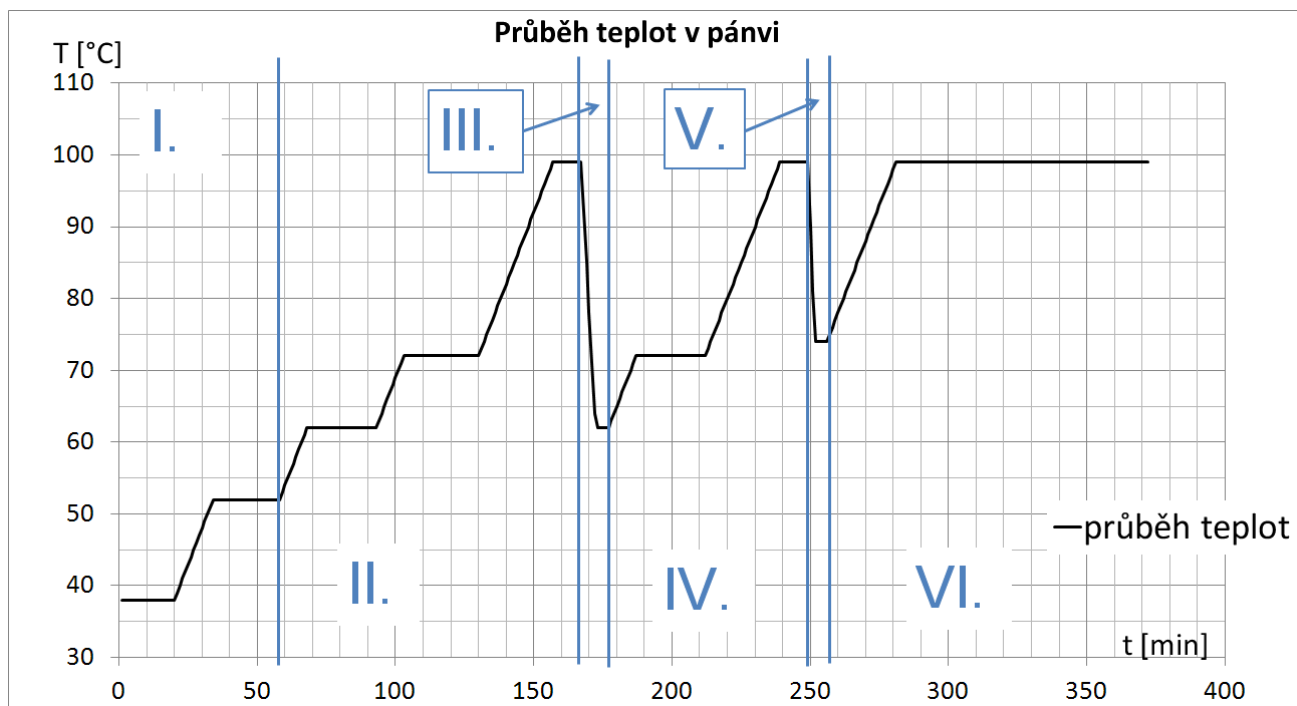
Při dekokčním rmutování je potřeba dvou oddělených nádob – vystírací kádě a rmutovací pánve. Dekokční rmutování spočívá v tom, že část díla se odčerpá do pánve (vyhřívané nádoby), kde se zahřívá na určenou teplotu. Rozlišujeme tři druhy rmutování: rmutování na jeden, dva a na tři rmuty.

Rmutování na jeden rmut – nejstarší ze způsobů dekokčního rmutování. Tento způsob spočívá v tom, že se ve vystírací kádě smíchá šrot s 62,5 °C teplou vodou a potom se polovina vzniklého díla přečerpá do rmutovací pánve. V pánvi se pak rmut zahřeje na teplotu 75 °C, čímž dojde k jeho zcukernění. Je třeba zajistit, aby všechen škrob zcukernatěl. Toho se docílí např. kontrolou pomocí jodového roztoku a v případě potřeby následným prodloužením doby, kdy je v roztoku udržována teplota 75 °C. Po zcukření veškerého škrobu se rmut přivede k varu zahřátím na 100 °C a vaří se 10-30 minut. Po uplynutí této doby se rmut vrátí do vystírací kádě, kde se smíchá se zbytkem díla. Výsledná teplota díla se pohybuje okolo 75 °C, což vede ke zcukernatění škrobu i v druhé polovině díla.

Rmutování na dva rmuty – jde o nejrozšířenější způsob rmutování v ČR. Sladový šrot se vystírá do 37 °C teplé vody. Následně se teplota díla zvýší přidáním určitého množství horké vody (zapáčka) na 52 °C. Množství vody a jeho teplota se odvíjí od objemu díla ve vystírací kádě. Poté se první rmut (1/3 díla) přečerpá do rmutovací pánve, kde se ohřívá na teplotu 72 – 75 °C. Po zcukření a provedení zkoušky se rmut uvede k varu a poté se vrátí zpět ke zbytku díla. Tím se teplota díla zvýší na 65 °C. Pak se opět 1/3 díla spustí do rmutovací pánve, kde se proces opakuje jako u prvního rmutu. Vrácením povařeného druhého rmutu se výsledná teplota díla pohybuje okolo 75 °C.

Průběh teplot při vaření na 2 rmuty

Důležitým kritériem pro správný průběh procesu vaření piva je dodržení předepsaného průběhu teplot. Hlavním požadavkem je, aby náběh teplot nepřekročil hodnotu 1 °C/min. Tato hodnota zaručuje plynulý průběh bez tepelných šoků, které by mohly způsobit připékání či nežádoucí fyzikálně-chemické procesy. Dalším důležitým kritériem, které je třeba v průběhu vaření sledovat, je výdrž na jednotlivých stupních. Tyto hodnoty se mohou lišit v závislosti na požadovaných vlastnostech piva. Jedná se zejména o výdrž na teplotě zapáčky ($T = 52\text{ °C}$) při vystírání a výdrže na nižší ($T = 62\text{ °C}$) a vyšší ($T = 72\text{ °C}$) cukrovarné teplotě, kdy dochází k rozkladu sacharidů na kratší cukry.



Obr. 1 - Průběh teplot v pánvi

Na obr. 1 je znázorněn celkový průběh teplot v RMV pánvi při jednotlivých fázích pro předpokládaný výstav 50 l mladiny:

- I. vystírání celého objemu
- II. rmutování - první rmut ($V_{\text{rmut } 1} = 17,4 \text{ l}$)
- III. smíchání prvního rmutu se zbytkem díla
- IV. rmutování - druhý rmut ($V_{\text{rmut } 2} = 21,6 \text{ l}$)
- V. smíchání druhého rmutu se zbytkem díla
- VI. chmelovar

Rmutování na tři rmuty – 1/3 díla se ihned po vystření šrotu do vody o 37 °C přepouští do rmutovací pánve. Postup ohřevu a varu rmutu je stejný jako u dvouřmutového způsobu. Po vrácení prvního rmutu do kádě teplota díla stoupne na 52 °C a od této chvíle se postupuje stejně, jako u rmutování na dva rmuty. Celkem se tedy přepouští třikrát, po každé jedna třetina díla do rmutovací pánve.

Obecně je nutné během rmutování zajistit pozvolný ohřev (doporučovaná rychlost ohřevu je 0,7 - 1 °C/min - zdroj, k zajištění správné činnosti enzymů) a pokud možno zabránit teplotním “šokům” při návratu odebrané části rmutu do díla, aby se zabránilo nechtěné inaktivaci enzymů. Dodržení požadovaného náběhu teploty i doby jednotlivých teplotních fází během rmutování pak rozhodují o

výsledných parametrech piva - zejména o podílu zkvasitelných (glukóza, maltóza) a nezakvasitelných cukrů, což potom rozhoduje o podílu alkoholu v pivu.

2.2.4 Scezování sladiny

Scezování sladiny je proces, který probíhá bezprostředně po rmutování. Při scezování se od sebe oddělují dvě fáze díla – sladina (kapalná fáze) a mláto (pevná fáze). Mláto je tvořeno zbytkem šrotu. Scezování mladiny se provádí ve scezovací kádě. Do kádě se přečerpá celé dílo a pevná složka se nechá usadit na dně. Po usazení mláta na dně kádě se začne sladina postupně vypouštět přes dno kádě a začne se čistit. Pro zlepšení propustnosti usazeného mláta jsou v kádě instalovány kypřicí nože, v pivovarnictví často označovány pojmem tzv. „kopačky“.

První část díla se nazývá předek. Jde o ne zcela čistou kapalinu, a tak je třeba kapalinu vrátit zpět do scezovací kádě. Když sladina vytékající z kádě dosáhne požadované čistoty, začne se přepouštět do mladinové pánve.

Protože po scezování obsahuje mláto ještě hodně cukru, je možné jej z mláta vysladit. Vyslazování je proces, kdy se mláto prolévá horkou vodou, tzv. výstřelkem, při čemž cukry přecházejí do vody. Stupňovitost výstřelku se kontroluje a vyslazování se opakuje, dokud výstřelek dosahuje požadované hodnoty stupňovitosti (většinou 1%).

2.2.5 Chmelovar

Po přečerpání sladiny do mladinové pánve dochází k procesu přeměny sladiny na mladinu. Do sladiny se přidává chmel (nejčastěji ve formě chmelového granulátu nebo chmelového extraktu). Pro využití přírodního chmelu je třeba další zařízení pro přípravu (povaření a separaci šištiček z roztoku). Po přidání chmele do díla se celý objem přivede k varu a vaří se 90 minut. Při chmelovaru dochází k přechodu chuťových složek z chmele do roztoku, zastavení funkce enzymů, odstranění těkavých složek z mladiny a její sterilizace a ke srážení bílkovin. Po skončení chmelovaru vařič kontroluje, zda má mladina požadovanou stupňovitost a zda se bílkoviny dobře vysrážely (kontroluje tzv. „mladinový lom“).

2.2.6 Chlazení mladiny a separace kalů

Po chmelovaru je třeba odstranit kaly – bílkovinné vločky a zbylé částičky chmele a sladu. Pro tyto účely se dříve používaly usazovací stoky, ale kvůli hygienickým požadavkům se nyní používají spíše vířivé kádě nebo odstředivky.

Po odstranění kalů je třeba mladinu zchladit na teplotu 6 °C. K tomuto účelu se používají deskové jedno- nebo dvoustupňové chladiče. Po zchlazení se mladina provzdušňuje sterilním vzduchem.

2.2.7 Kvašení

Zchlazenou mladinu je třeba co nejrychleji nechat zkvasit. Dávkování kvasnic je přibližně půl litru hustých vypraných a provzdušněných kvasnic na 100 litrů mladiny. Kvasnice jsou vmíchávány buď do již přečerpané mladiny, nebo v průběhu přečerpávání přímo do jejího toku.

Kvašení má 4 fáze, z nichž každá se vyznačuje jinou dobou, teplotou a projevem kvašení. Pro konstrukci varny však nejsou tyto fáze nijak důležité.

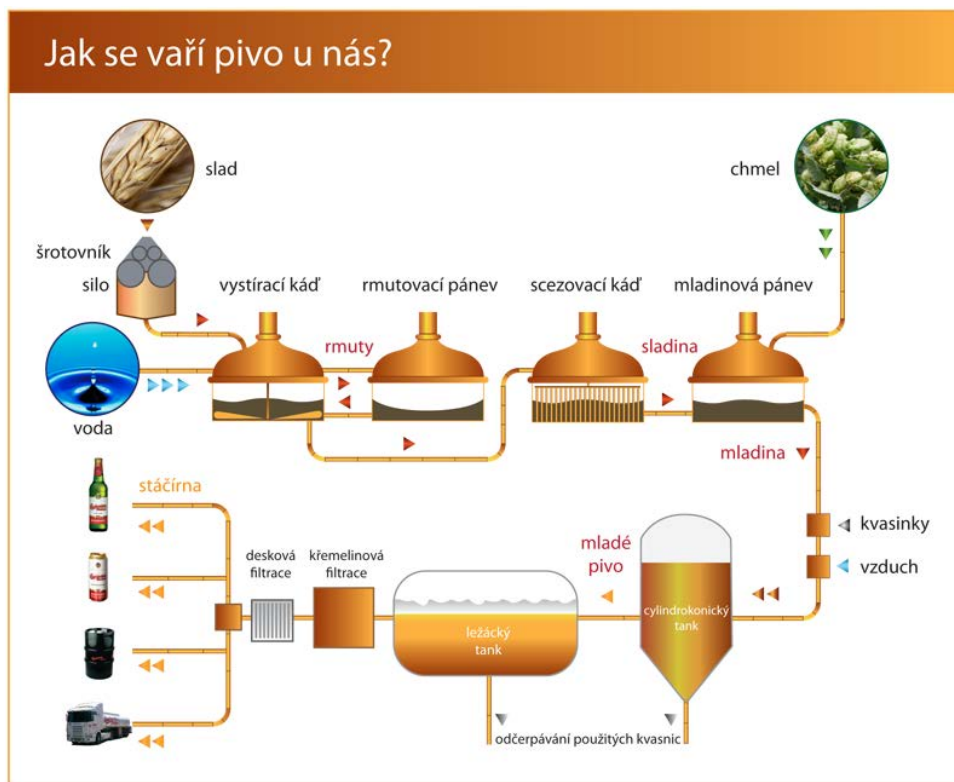
Po hlavním kvašení přichází na řadu ležení piva (dokvašování). Pivo je přečerpáno do ležáckých tanků (nejčastěji CK tanků), kde dokvašuje při 0 – 3 °C. Odtud je následně stáčeno, popř. ještě před stáčením filtrováno. U malých pivovarů však filtrování není běžné.

3 Technologické uspořádání varny pivovaru

Nabízí se dvě základní koncepce konstrukčního řešení pivovaru: dvounádobová varna a čtyřnádobová varna. Následující část práce se zabývá výhodami a nevýhodami každého z možných řešení.

3.1 Čtyřnádobová varna

Tento způsob konstrukce pivovaru je běžný u pivovarů s velkým varným objemem a odpovídá klasickému uspořádání varny u většiny velkých pivovarů (napří. i v pivovaru Budějovický Budvar, k němuž je vztažen následující komentář [8]). Hlavní část pivovaru, varna, se skládá ze 4 nádob: vystírací kádě, rmutovací pánve, scezovací kádě, mladinové pánve. Kromě těchto nádob jsou v pivovaru i další nádoby, ve kterých probíhají další procesy. Dále v textu bude tato varianta konstrukce označena zkratkou 4N.



obr. 2 - Schéma budějovického pivovaru Budějovický Budvar ze zdroje [8].

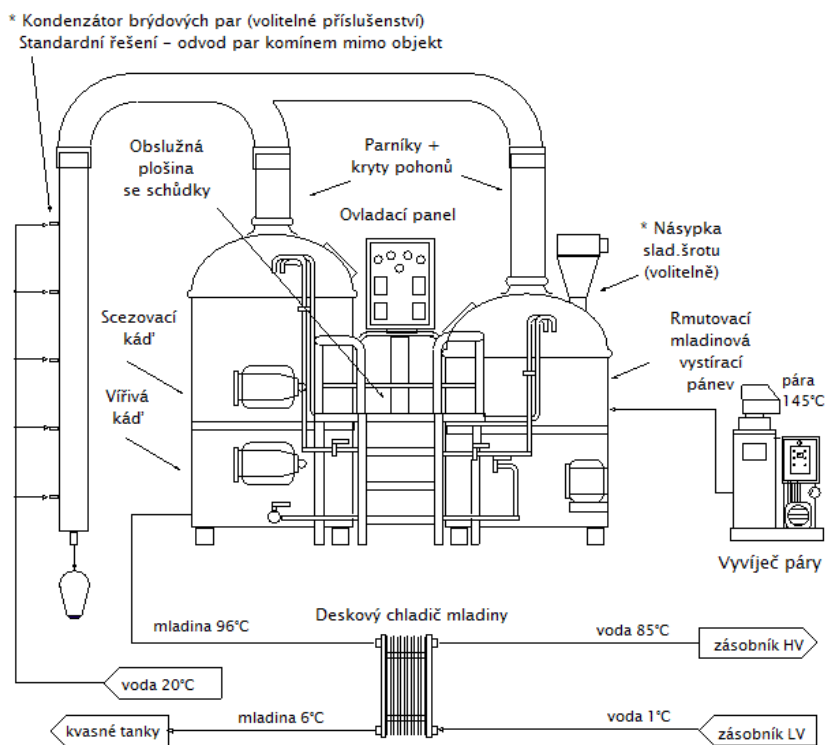
Do vystírací kádě přichází šrot a voda o teplotě cca 37 °C. Voda v těchto zařízeních bývá přehřátá mimo varnu a do vystírací kádě přichází již ohřátá. Pomocí míchadla je šrot rozptýlen ve vodě. Po krátké prodlevě je část díla přepouštěna čerpadlem do další nádoby, rmutovací pánve. Rmutovací pánve je nádoba ohřívána a míchaná. Ve rmutovací pánvi je dílo mícháno za účelem udržet částičky šrotu ve vznosu a docílit rovnoměrného rozložení teplot. Nejčastějším způsobem ohřevu u velkých pivovarů je ohřev pomocí vodní páry či elektricky. Plzeňský pivovar oproti tomu používá ohřev přímý. Z rmutovací

pánve pak dílo pokračuje do scezovací kádě, která je vybavena svislými kypřicími noži - “kopačkami” - a děrovaným dnem. Toto vybavení umožňuje filtraci díla. Na dně kádě se postupně usazují zbytky šrotu, které zvyšují filtrační efekt dna. Ze scezovací kádě pak dílo pokračuje do další nádoby - mladinové pánve. Mladinová pánev je ohřívána a míchaná nádoba. Míchání je potřeba pro zajištění rovnoměrného ohřevu díla a rozptýlení chmelu v celém objemu. Po proběhnutí chmelovaru pak dílo přechází do vířivé kádě, chladiče a následně jsou do něj přimíchány kvasinky. Po přidání kvasinek je pak dílo provzdušněno, aby byly vytvořeny ideální podmínky pro kvašení. Ke kvašení dochází v cylindricko-kónických tancích (CK tanky) a k dokvašování pak v ležáckých tancích. Po zkvašení se dílo filtruje a je stáčeno.

3.2 Dvounádobová varna

Dvounádobové varny (dále jen 2N) se využívají v malých pivovarech (restaurační pivovary, školní pivovary), a to pro svou prostorovou nenáročnost a menší finanční nároky. Princip činnosti 2N varny je principiálně shodný s 4N varnou, pouze každá nádoba zde zastává více funkcí. Skládají se ze dvou nádob: RMV pánve a scezovací kádě.

RMV pánev je nádoba, která zastává funkce několika nádob klasicky uspořádaného (4N) pivovaru. Zkratka RMV znamená slova rmutovací, mladinová a vystírací. Vířivá kád' (kde dochází k separaci kalů) je zastoupena buď ve scezovací kádi, nebo v RMV pánvi (v závislosti na konkrétním řešení). Proces dekokčního vaření piva v dvounádobové varně značky BREWORX [9] vypadá následovně:



obr. 3 - Schéma varny minipivovaru firmy Breworx. [10]

Do RMV pánve je přivedena voda a sladový šrot. Dílo se míchá pomocí rmutovacího čerpadla, pánve není vybavena speciálním míchadlem. Po smíchání se dílo kromě jeho části ($\frac{1}{3}$ v případě dvou rmutovacího postupu) přečerpá do druhé nádoby, ve které nedochází k žádnému procesu (ze scezovací kádě je vyjmuto vícedílné scezovací dno, popř. je použito jiné čerpadlo než při scezování, takže nádoba slouží pouze k uchování části díla mimo RMV pánve). V RMV pánvi se část, která zde zůstala, ohřeje a dochází ke rmutování. Po proběhnutí prvního rmutovacího cyklu se ze scezovací kádě vrátí zbytek díla a celek se promíchá. Proces se pak opakuje. Po dokončení rmutování se do díla, které se celé načerpá do RMV pánve, přidá chmel a dílo se pomocí rmutovacího čerpadla promíchá. Poté dojde ke chmelovaru (ohřevu pánve na teplotu 99 °C). K schlazení mladiny pak dochází při čerpání díla z RMV pánve po chmelovaru přes deskový chladič mladiny. Dílo je pak vedeno do kvasných tanků, kde jsou do něj přimíchávány kvasinky.

4 Výukové pivovary v ČR

V následujícím odstavci je uveden přehled technického provedení výukových pivovarů v České republice. Konstruktivní řešení většiny výukových pivovarů je řešení dvou nádobové varny s plynovým či parním ohřevem, elektrickým ohřevem je vybavena pouze varna Mendelovy univerzity v Brně. Výstav mladiny výukových pivovarů se u většiny z nich pohybuje v rozmezí 30 - 100 l. Největším školním pivovarem (který produkuje pivo, nikoliv pouze mladinu) je pivovar na ČZU v Praze, který má výstav 10 hl mladiny.

Česká zemědělská univerzita v Praze - Technická fakulta [11]

konstrukce: dvou nádobová varna, objem nádob - 10 hl mladiny, konstrukce z nerezové oceli s měděným opláštěním, ohřev vodní parou, vířivá kád' samostatně

kvasná technologie: 4 kvasné cylindricko-kónické tanky (CKT) o objemu 40 hl celkem, 7 ležáckých tanků o celkovém objemu 130 hl.

účel varny: výuka, výzkum, prodej

fotografie varny:



Obr. 4 - varna ČZU, [11]

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze - Ústav biotechnologie

VŠCHT v Praze disponuje dvěma varnami. [12]

„Stará” varna ZVU 1965

konstrukce: čtyřnádobová celoměděná varna, výstav mladiny 70 l, ohřev přímý plynovým hořákem

kvasná technologie: skleněná otevřená kvasná nádoba + CKT, 9 ležáckých tanků o celkovém objemu 75 hl, filtrace deskovým a svíčkovým filtrem

účel varny: výuka, výzkum

„Nová” varna 2010

konstrukce: dvounádobová nerezová varna s měděným opláštěním, výstav mladiny 100l

kvasná technologie: 2x CKT

dodavatel technologie: Pivo Praha s. r. o.

účel varny: výuka, výzkum

fotografie varny:



Obr. 5 - varna VŠCHT v Praze. [12]

Mendelova univerzita v Brně - Agronomická fakulta [13]

konstrukce: dvou nádobová varna, objem nádob - 100 l mladiny, konstrukce z nerezové oceli, ohřev elektrický

kvasná technologie: 1 otevřená spilka, 1x CKT, 2x ležácký tank

účel varny: výuka, výzkum

fotografie varny:



Obr. 6 - varna MU v Brně, [14]

Střední průmyslová škola potravinářských technologií Praha, Podskalská 2 [15]

konstrukce: dvou nádobová varna, objem nádob - 30 l mladiny, konstrukce z nerezové oceli, ohřev přímý, plynovým hořákem

kvasná technologie: neobsažena

účel varny: výuka

fotografie varny:



Obr. 7 - varna SPŠ potravinářských technologií Praha, [16]

Gymnázium a Střední odborná škola dr. Václava Šmejkala, Ústí nad Labem [17]

konstrukce: čtyř nádobová varna, objem nádob - neuveden, konstrukce z nerezové oceli

kvasná technologie: neuvedeno

účel varny: výuka

fotografie varny:



Obr. 8 - varna Ústeckého gymnázia a SOŠ, [18]

5 Legislativa a zákony

Vzhledem k faktu, že produkt modelové varny bude pouze mladina, nikoliv pivo, není třeba řešit legislativu podrobně. Dokud produktem zůstane mladina a dílo neprojde kvašením, nevztahují se na výrobu žádná omezení. Pokud se ústav 12 118 rozhodne rozšířit varnu o kvasné a ležácké tanky (a tím vyrábět pivo - alkoholický nápoj), začne se na tuto výrobu vztahovat zákon o potravinách (zákon č. 110/1997 Sb. v platném znění). Navíc dle zákona 353/2003 Sb. v platném znění o spotřebních daních, § 80, je třeba zahájení výroby piva ohlásit na místně příslušném celním úřadu. Dále je třeba dodržet maximální roční objem vyrobeného piva - 200 l. Pivo nesmí být prodáváno a musí sloužit pouze pro vlastní spotřebu. Pokud by tedy v budoucnosti byla do výrobního procesu zařazena i technologie kvašení a dokvašování, stačí se omezit na výrobu maximálně 200 l piva ročně. V tomto případě se k vaření nevztahují žádná další omezení, pouze je třeba ohlásit záměr o vaření piva na příslušné úřady.

6 Shrnutí poznatků z literární rešerše

Poznatky, získané z literární rešerše, která byla zaměřena na vlastní technologii pivovaru, používané suroviny, procesy na varně, ale také na technologická uspořádání varny a technická řešení malých pivovarů v ČR, lze shrnout do následujících bodů:

- Z hlediska surovin - používá se voda, slad a chmel, důležité je dodržet požadované parametry vody, použité k vaření. Kvalita vody, sladu a chmele ovlivňuje jak samotný proces varu, tak výslednou chuť produktu. U sladu je důležité správně provedené šrotování - rozrušení endospermu zrna, ale zachování celistvosti pluch, což usnadní scezování.
- U procesu vystírání a rmutování je důležité zajistit intenzivní míchání k zabránění tvorbě hrudek během vystírání, zajistit pozvolný náběh na požadované teploty a dodržet požadované doby výdrže na jednotlivých teplotách pro správnou činnost enzymů. Důležité je vyvarovat se teplotním šokům a zajistit co nejlepší homogenitu vsádky.
- U procesu scezování je důležitým parametrem konstrukce scezovacího dna. U chmelovaru zajištění homogenity vsádky.
- Čtyřnádobové uspořádání varny se používá převážně u velkých pivovarů, minipivovary jsou převážně řešeny dvounádobovým uspořádáním.
- Většina výukových pivovarů v ČR je dvounádobového uspořádání.
- Z hlediska míchání - scezovací kád' je vybavena speciálním kypřícím zařízením k prořezávání vrstvy mláta, rmutovací pánve nejčastěji dvoulistým míchadlem různých tvarů.
- Z hlediska ohřevu nádob - u velkých pivovarů parní či přímý ohřev varny, u minipivovarů parní či přímý ohřev, elektrický ohřev v menší míře. Výukové pivovary jsou nejčastěji vybaveny přímým ohřevem pomocí plynových hořáků, větší varny (ČZU) pak parou, elektrickým ohřevem je vybavena pouze varna Medelovy univerzity v Brně.

7 Návrh koncepce výukové varny pro laboratoř Ústavu procesní a zpracovatelské techniky

7.1 Vytyčení požadavků na varnu

Podle zadání bakalářské práce musí varna splňovat následující dvě kritéria: výstup - 50 l mladiny a možnost infuzního i dekokčního rmutovacího způsobu. První podmínka zadání udává velikost navrhované varny a příliš neovlivní její konstrukční řešení. Druhá podmínka naopak výrazně ovlivní konstrukční řešení varny.

Aby mohla varna vařit pivo jak dekokčním, tak infuzním způsobem, musí zahrnovat dvě nádoby, do nichž se vejde celý objem díla. Pokud by například pánve (ohřívaná nádoba) měla menší objem než kád', nemohla by pak sloužit k infuznímu způsobu vaření piva. Proto musí být obě nádoby stejně velké. Zároveň by obě nádoby měly být míchány. V RMV pánvi musí být dílo mícháno, aby se udržel šrot (při rmutování) a chmel (při chmelovaru) ve vznosu a aby se docílilo efektivního přestupu tepla a rovnoměrného rozložení teplot. Neohřívaná nádoba (kád') by měla být míchána, aby se šrot udržel ve vznosu, když bude kád' využívána k uchování části díla při dekokčním rmutování.

Dalším problémem, který je třeba řešit, je ohřev pánve. V úvahu přichází několik možností. Diskuze a výběr z možností dále v textu.

7.2 Zhodnocení možností technologického uspořádání varny a výběr vhodného řešení

Obě varianty technologického řešení varny pivovaru (čtyřnádobové 4N, či dvounádobové 2N uspořádání) mají své výhody i nevýhody.

Hlavní výhodou 4N varny pro výukové účely je její názornost. Varnu by bylo možné uspořádat přesně tak, jak je tomu v průmyslových varnách větších pivovarů, což by studentům umožnilo názornější pohled na celý proces vaření. Zároveň provoz varny by byl mnohem méně náročný na obsluhu a dal by se snáze automatizovat (není potřeba v průběhu procesu měnit funkce nádob, každá nádoba má pouze jednu funkci v jednom varním procesu.)

Oproti těmto výhodám má 4N varna dva zásadní nedostatky: prostorová a finanční náročnost. Vzhledem k počtu nádob je jasné, že bude potřeba mnohem více místa k umístění varny. Závažnější nevýhodou této možnosti je však její finanční náročnost. Stavba takového zařízení bude finančně náročnější než stavba 2nádobové varny. Nejedná se pouze o náklady spojené se samotnými nádobami, ale i o vyšší počet čerpadel, topných těles (popř. rozvodů páry), čidel, ventilů apod.

Výhody 4N uspořádání:

- názornost
- menší provozní náročnost

Nevýhody:

- větší nároky na zástavbový prostor
- investičně náročnější na stavbu
- větší náklady na potrubí, armatury, čerpadla
- větší náklady na čištění a sanitaci

2N varna téměř přesně doplňuje svými výhodami a nevýhodami varnu 4N. Hlavní výhodou dvounádobové varny je její menší finanční náročnost. Spolu s finanční nenáročností je varna i prostorově méně náročná než 4N varna. Nevýhodami této varny jsou složitost obsluhy a potřeba přítomnosti sládky po celou dobu vaření. Toto uspořádání je použito u většiny výukových varen v ČR.

Výhody 2N uspořádání:

- menší náklady na stavbu zařízení
- menší náklady na čištění a sanitaci
- menší nároky na zástavbový prostor

Nevýhody:

- menší názornost
- větší nároky na sledování provozu
- jednotlivé nádoby během procesu mění své funkce

4N varna je na první pohled názornější a tím pádem i vhodnější pro učební účely díky faktu, že každý proces je ve varně zastoupen jednou nádobou. Ovšem 2N varna, ve které některé nádoby musí plnit více funkcí, může také vcelku dobře znázornit všechny procesy při vaření piva, a to hlavně díky potřebě měnit uspořádání nádob (míchadla, polopropustná dna) v průběhu procesu.

Hlavními kritérii pro volbu konstrukčního řešení jsou názornost, finanční a prostorová náročnost. Obě varny by sloužily k demonstračním účelům obdobně, rozdíly v názornosti nejsou tak markantní, a tak toto kritérium není třeba uvažovat. Zvážením všech, výše uvedených výhod a nevýhod se jeví jako nejlepší cesta vhodného technologického uspořádání **dvounádobové řešení varny**.

7.3 Dílčí návrhy varny

7.3.1 Návrh rozměrů a materiálu nádob

Vzhledem k tomu, že byla zvolena varianta 2N varny, musí mít obě nádoby stejný objem. Při návrhu rozměrů nádob (uvažujeme obě nádoby stejných rozměrů) bylo počítáno s poměrem průměru k výšce hladiny 1:1. Tento poměr je výhodný pro míchání. Pokud bude výška hladiny H rovna průměru d , lze vztah pro výpočet objemu válce upravit na:

$$V = \frac{\pi d^3}{4} \quad (1)$$

odkud můžeme vyjádřit průměr d jako funkci požadovaného objemu.

$$d = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \quad (2)$$

Pro zadaný objem výstavu (50 l) uvažujeme potřebný objem nádob o 30% větší, tedy $V = 65$ l. Pro tuto hodnotu pak požadovaný průměr (a zároveň výška nádob) je rovna:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 65}{\pi}} = 4,36 \text{ dm} \quad (3)$$

Z vypočtené hodnoty byly určeny skutečné rozměry nádoby. Navrhované vnitřní rozměry zaplněné části nádoby tedy jsou:

$$d = 440 \text{ mm}; H = 440 \text{ mm} \quad (4)$$

Pro tyto rozměry je pak objem roven:

$$V = \frac{\pi d^2 \cdot H}{4} = 66,9 \text{ l} \quad (5)$$

Výšku nádoby je třeba určit vyšší, než je výška hladiny H . Navrhovaná výška nádoby je:

$$h = 600 \text{ mm} \quad (6)$$

Materiálem varny byla zvolena nerezová ocel z důvodu vysoké chemické odolnosti.

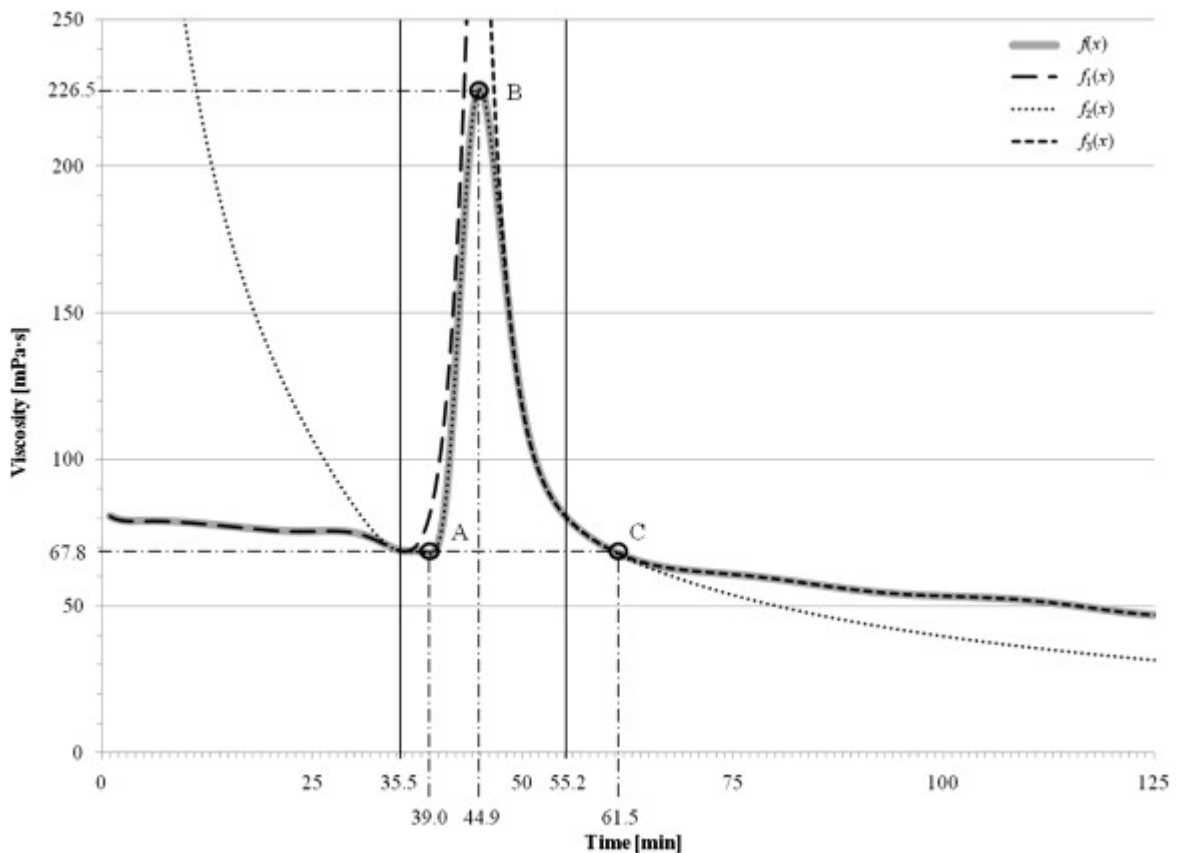
7.3.2 Návrh míchadel

Ve scezovací kádi (která bude používána i pro účely uchování části díla v případě dekokčního rmutování) budou instalovány kypřicí nože, tzv. “kopačky”, které slouží k narušování usazované vrstvy mláta v průběhu scezování. Zároveň je žádoucí, aby se částice sladu udržely ve vznosu při používání kádě pro potřeby dekokčního rmutování.

Pro potřeby míchání ve scezovací kádi nebude potřeba jiného míchadla, kypřicí nože mohou zastoupit míchadlo ve fázi, kdy je v nádobě pouze uschována část díla. Pokud by byla potřeba míchadla, může být

systém uzpůsoben tak, aby byl nástroj vyměnitelný a do kádě se v průběhu procesu nainstalovalo míchadlo obdobné tomu ve RMV pánvi. Po rmutování se pak vrátí zpět kypřicí nože.

V RMV pánvi jsou požadavky na míchání náročnější. Při rmutování se výrazně mění reologické vlastnosti díla. Tento jev nepřímo popisuje článek [19]. Při zahřívání rmutu a postupném rozkladu dlouhých řetězců sacharidů dochází k želatinizaci škrobů, tedy k prudkému nárůstu viskozity. Po krátké době však působením enzymů dochází k postupnému zkapalnění želatiny a poklesu viskozity zpět téměř na původní hodnotu. Tento jev je zachycen v obr. 9. Pro upřesnění, rmutování při experimentu, kterému odpovídá graf, mělo následující průběh teplot: 30 min – 50 °C, 40 min – 65 °C, 20 min – 72 °C, 5 min - 78 °C. K želatinizaci tedy dochází při teplotě 65 °C.



obr. 9 - Grafické znázornění průběhu viskozity v závislosti na čase. [19]

Kromě zmíněného nárůstu viskozity při rmutování jsou na míchání v RMV pánvi kladeny další dva požadavky - udržení šrotu ve vzhledu a vyšší efektivita ohřevu (zvýšení přestupu tepla a vyrovnání teplot v celém díle).

V úvahu připadají dvě možnosti míchání díla v RMV pánvi: míchání pomocí čerpadla a tangenciálního vstupu do nádoby (hydraulické míchání) nebo mechanické míchání pomocí míchadla poháněného

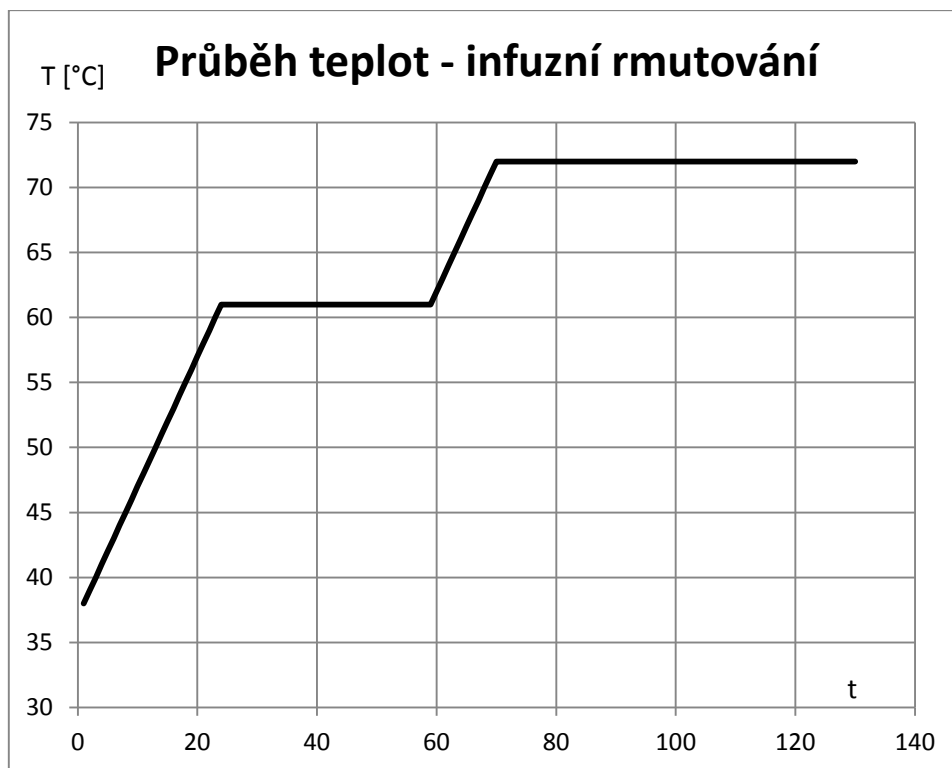
elektromotorem. Pokud by bylo dílo mícháno pouze hydraulicky, mohly by se objevit problémy právě ve fázi, kdy dochází k želatinizaci škrobů. Proto volíme možnost s mechanickým míchadlem.

K mísení suspenzí se nejčastěji používají lopatková míchadla se svislou osou. Vhodné parametry míchadla jsou uvedeny v článku [20]. Pro míchání RMV pánve bude použito 3- nebo 4lopatkové míchadlo se svislou osou. Průměr míchadla by se měl pohybovat mezi 0,25 - 0,4 násobkem vnitřního průměru nádoby.

Pro případnou optimalizaci míchacích procesů mohou být v RMV instalovány usměrňovače toku. Vzhledem k malému objemu výstavu mladiny a účelu varny (výuka) není však usměrňovačů toku (narážek, vestaveb) třeba.

7.3.3 Návrh ohřevu

Součástí varny je pouze jedna nádoba s ohřevem - RMV pánve. Teplota v této nádobě se bude pohybovat mezi 30 °C a 100 °C. Konkrétní průběh teplot při rmutování bude upřesněn, závisí na zvoleném způsobu rmutování. Orientačně tento průběh teplot při nejčastějším způsobu rmutování na dva rmuty uvádí obrázek 1 v kapitole 2.2.3.2, průběh teplot v případě infuzního rmutování pak znázorňuje obrázek 10.



obr. 10 - Průběh teplot v pánvi při infuzním rmutování.

Důležitým kritériem ohřevu je nutnost zachovat náběh ohřevu na 0,7 – 1 °C/min, aby všechny procesy ve varně probíhaly správně a nedocházelo k nežádoucím procesům či k připékání.

V minipivovarech se používá více způsobů ohřevu. V minipivovarech, kde není dostatek místa a je třeba co největší úspory prostoru, se používá ohřev pomocí elektrických topných těles. V pivovarech, kde se procesem snaží přiblížit tradičnímu způsobu výroby piva, se používá přímý ohřev pomocí kotlů na dřevo či na uhlí. V některých pivovarech (zvláště větších) bývá k varně začleněn parní generátor, většinou elektrický a varna je pak vyhřívána vodní parou. Většinou se tak děje pomocí dvouplášťové nádoby, kdy pára nepřichází do kontaktu s dílem. Podle zdroje [21] je možné ohřívat dílo pomocí probublávající páry.

Každý z těchto způsobů má své výhody a nevýhody. Pro návrh varny ústavu Ú 12118, je nutné vycházet z dostupných zdrojů energie v halové laboratoři. Vzhledem k absenci rozvodu plynu nelze použít přímý ohřev plynovým hořákem. Přímý ohřev jinými palivy (dřevo, uhlí) je taktéž nemožný. V prostoru halových laboratoří je dostupná elektrická energie a technologická pára. V případě varny tak lze uvažovat pouze o variantě ohřevu elektrického, nebo ohřevu topnou parou.

Výhodou elektrického ohřevu je nenáročná konstrukce. Navíc elektrická topná tělesa nevyžadují žádné další zařízení (jako generátor páry u ohřevu parou). Elektrický ohřev RMV pánve lze řešit jednak ponornými otopnými tělesy - zde je však nebezpečí napékání částic sladu na topná tělesa a přehřívání díla poblíž tělesa, proto je toto řešení nepřijatelné. Schůdnou variantou je možnost druhá - vybavení dna RMV pánve tzv. tištěnými topnými tělesy. Výsledný výkon je pak dán počtem těles, které by bylo možné "vměstnat" do limitovaného prostoru dna nádoby. Zde by musela být RMV pánev vybavena pouze plochým dnem, což je zase méně výhodná varianta z hlediska míchání, čištění nádoby a čerpání díla. Velkou výhodou elektrického ohřevu je snadná možnost měření dodané energie pro vyhodnocení energetických bilancí a také fakt, že RMV pánev by nebyla řešena jako tlaková nádoba, což by bylo investičně méně náročné řešení. Významnou nevýhodou ohřevu pomocí el. topných těles (popř. elektrického topného dna) je setrvačnost, a tedy špatná regulovatelnost ohřevu. Další nevýhodou elektrického ohřevu je nerovnoměrnost a možnost připékání.

Výhody elektrického ohřevu nádob:

- investičně méně náročné, není tlaková nádoba
- jednoduchost řešení
- snadné měření, jednodušší regulace

Nevýhody elektrického ohřevu nádob:

- setrvačnost
- možnost napékání na tělesa či dno
- horší geometrie pro míchání a čištění - u tištěných těles nutné ploché dno
- u tištěných topných těles výkon limitován zástavbovým prostorem dna nádoby

Ohřev vodní parou (ať pomocí duplikátoru, nebo pomocí probublávání) je naopak výborně regulovatelný škrtícími armaturami. Zároveň rozložení teplot je rovnoměrné a riziko připečení je menší. Řešení pomocí probublávání ovšem vyžaduje další zařízení – parogenerátor sterilní páry – drahé. Varianta ohřevu pomocí duplikátoru vyžaduje dostupnost topné páry. Technická pára je dostupná v hale ústavu Ú 12 118. Nevýhodou je, že RMV pánev by musela být řešena jako tlaková nádoba s duplikátorem. Další nevýhodou je složitější možnost měření dodané energie topnou parou pro sestavení energetické bilance. Určitá výhoda tohoto řešení je možnost seznámit studenty s provozem zařízení topného parou včetně funkcí používaných armatur (činnost odvaděče kondenzátu, způsob provozu takového zařízení), což problematiku provozu přiblíží reálným zařízením v potravinářském průmyslu.

Výhody parního ohřevu nádob:

- lepší z hlediska procesu, lepší rozložení teplot, menší riziko napékání
- dynamičtější regulace
- možnost volby lepší geometrie dna z hlediska míchání
- výukové účely - lepší přiblížení k reálným zařízením

Nevýhody parního ohřevu nádob:

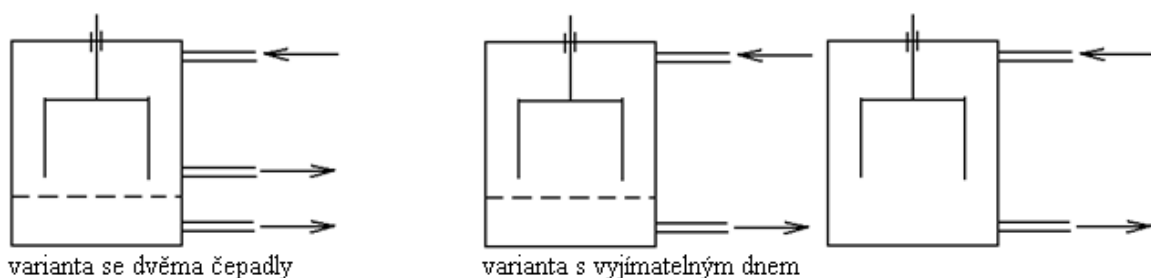
- problematičtější pára, složitější provoz
- nádoby musejí být řešeny jako tlakové - dražší
- horší měření dodané energie
- dodržování provozní kázně, instalace limitována do prostoru v dosahu topné páry

Pro rmutování je třeba udržení a realizace přesného průběhu teplot. Tuto podmínku lépe splňuje ohřev pomocí vodní páry. Vzhledem k tomu, že varna bude situována v hale ústavu Ú 12118, kde je k dispozici technologická pára, odpadá i požadavek na další technické zařízení. Zvážením všech výše uvedených výhod a nevýhod, pro ohřev varny tedy **volíme ohřev pomocí vodní páry z rozvodu technologické topné páry.**

7.3.4 Návrh scezování

Ve scezovací kádì je potřeba separovat pevné částice (zbytky sladu) od díla. V klasických varnách se tak děje pomocí scezovacího dna, které má v sobě otvory. Postupně, jak se částice usazují, je dosahováno lepšího filtračního efektu. Vrstvu usazenin je nutné kypřit (kopačky) pro usnadnění vyslazování.

Protože je kád' v části procesu využívána pouze pro uchování části díla (kdy je filtrace nežádoucí), je třeba navrhnout řešení, které umožní obě funkce kádě. V úvahu přichází dvě možnosti: nádoba s pevným dnem a dvěma odvody, nebo nádoba s vyjímatelným dnem, kdy je třeba měnit uspořádání v průběhu varného procesu (obr. 11).



obr. 11 - Možnosti řešení scezovací kádě.

Výhodou varianty se dvěma čerpadly je fakt, že není třeba měnit uspořádání varny v průběhu varného procesu. Scezovací kád' by tak byla konstrukčně jednodušší. Nevýhod tohoto řešení je několik - potřeba dalšího odvodu z kádě, náročnější čištění a sanitace, menší názornost varného procesu a v neposlední řadě nežádoucí scezování při používání varny jako zásobníku na dílo při dekokčním rmutování.

Oproti tomu varianta s vyjímatelným dnem má několik výhod. K odvodu díla z nádoby je potřeba pouze jednoho čerpadla a jednoho ventilu, což zjednoduší konstrukční řešení nádoby. Zároveň nutnost vyjmout dno při rmutování (kdy je nádoba použita pouze k uchování části díla) poslouží k názornější demonstraci varného procesu. Při čištění a sanitaci lze dno čistit mimo nádobu a samotná nádoba pak bude lépe vyčištěna. Pro navrhovanou varnu tedy volíme variantu s vyjímatelným dnem.

Vyjímatelné dno je složeno ze tří nebo čtyř částí, aby byla usnadněna manipulace při vyjímání a vkládání dna. Ve scezovacím dně jsou vyfrézovány otvory. Tyto otvory mají (podle zdroje [22]) vrchní průměr 0,7 mm a spodní průměr až 4 mm. Jejich délka (u větších varen) bývá až 2 cm. Dno bude vyjímáno otvorem ve stěně nádoby, který bude využíván i k vyjímání mláta.

7.3.5 Návrh čerpání

Čerpání díla mezi nádobami v průběhu varného procesu může být realizováno několika způsoby. Dva z těchto způsobů, které přichází v úvahu, je buď samovolné přečerpávání pomocí tíhy a vzájemného výškového posuvu nádob (využívá např. varna výukového pivovaru SPŠ Podskalská), nebo použitím čerpadel.

Varianta čerpání pomocí tíhy se kvůli mnohým konstrukčním problémům (potrubí, posun a zajištění nádob) ukázala jako nevhodná, proto k čerpání díla mezi nádobami budou použita čerpadla.

7.3.6 Návrh separace kalů

Pro separaci kalů bude využito scezovací kádě, do které bude možnost dílo přivést tangenciálně. Toto uspořádání umožní využívat scezovací kád' jako vířivou kád'. Kaly se tak usadí ve středu nádoby a následně mohou být odstraněny pomocí dvířek pro vyjímání mláta při procesu scezování. Pro vypouštění mladiny bude použito ventilu na obvodu nádoby pod scezovacím dnem, a tak bude možné odvádět čistou mladinu.

7.4 Příklad receptury pro vaření dvourmutovým způsobem

Následující receptura slouží k vaření světlého ležáku plzeňského typu stupňovitosti 12 EPM vařeného dvourmutovým způsobem. Postup výroby je uveden ve zdroji [23]. Celková množství surovin potřebných pro výrobu piva o výstavu 50 l mladiny byla určena pomocí tzv. pivní kalkulačky ze zdroje [24].

potřebné suroviny:

množství sladového šrotu

$$m_{\text{slad}} = 10 \text{ kg}$$

objem vody na vystírku

$$V_{\text{W-vyst}} = 4 * m_{\text{slad}} = 40 \text{ l}$$

celkové množství díla (vystírky)

$$V_{\text{dilo}} = 48,5 \text{ l (zvýšení objemu rozplavením šrotu)}$$

množství chmele

$$m_{\text{chmel}} = 200 \text{ g (cca 2\% } m_{\text{slad}} \text{ podle zdroje [23])}$$

postup:

1) vystírání

Do varny se napustí voda potřebná k vystírání (40 l) a ohřeje se na vystírací teplotu ($T = 38\text{ °C}$). Poté se za stálého míchání vsype požadované množství sladového šrotu ($m_{\text{slad}} = 10\text{ kg}$). Dílo se vystírá po dobu 20 minut při teplotě 38 °C . Poté se dílo zahřeje na teplotu zapáčky ($T = 52\text{ °C}$) a nechá se prodleva 20 - 25 minut za stálého míchání.

2) první rmut

Z pánve se odčerpají $\frac{2}{3}$ díla. Zbylá třetina díla se zahřeje na nižší cukrovarnou teplotu ($T = 62\text{ °C}$) a nechá se rmutovat po dobu 25 minut. Poté se zvýší teplota na vyšší cukrovarnou teplotu ($T = 72\text{ °C}$) a znovu se nechá prodleva 25 minut. Po uplynutí této doby se kontroluje koncentrace cukrů (zkouška zcukření) jodovým roztokem, a pokud dílo obsahuje stále vyšší obsah škrobu, prodlouží se doba výdrže na vyšší cukrovarné teplotě. Poté se dílo přivede k varu a vaří se po dobu 10 minut. Po povaření rmutu se do pánve přivede zbytek díla a celé dílo se důkladně promíchá. Teplota díla nesmí přesáhnout 62 °C . Z této podmínky vyplývá požadavek na objem prvního rmutu. Z kalorimetrické rovnice vyjádříme hmotnost prvního rmutu:

$$m_{\text{rmut } 1} = \frac{m_{\text{dílo}}(t - t_1)}{(t_2 - t)} \quad (7)$$

kde $t = 62\text{ °C}$, $t_1 = 45\text{ °C}$, $t_2 = 97\text{ °C}$. Přepočtem přes hustotu díla získáváme objem prvního rmutu:

$$V_{\text{rmut } 1} = 17,4\text{ l} \quad (8)$$

3) druhý rmut

Z pánve, kde se nachází celé dílo, se odčerpají $\frac{2}{3}$ díla a zbylá jedna třetina (2. rmut) se zahřeje na teplotu 72 °C a nechá se rmutovat po dobu 25 minut. Poté se provede zkouška zcukření a následně, pokud má dílo požadovaný stupeň zcukření, se rmut přivede k varu a po dobu 10 minut se vaří. Poté se do pánve přivede zpět zbytek díla. Teplota díla by neměla přesáhnout 75 °C . Z této podmínky můžeme určit množství rmutu pro druhé rmutování obdobně, jako množství prvního rmutu. Liší se pouze teploty: $t = 75\text{ °C}$, $t_1 = 55\text{ °C}$, $t_2 = 97\text{ °C}$. Z kalorimetrické rovnice a následným přepočtem přes hustotu vychází objem 2. rmutu:

$$V_{\text{rmut } 2} = 21,6\text{ l} \quad (9)$$

Objem vody pro vyslazování je podle doporučení autora roven 80% objemu vody pro vystírání, tedy:

$$V_{\text{w-vysl}} = 0,8 * 40 = 32\text{ l} \quad (10)$$

4) chmelovar

Závěrečnou fází výroby piva, která probíhá v samotné varně, je chmelovar. Získaná sladina je přivedena k varu a vaří se 90 minut. Po dobu chmelovaru se do díla přidává chmel (množství chmele záleží na receptuře, uvažujeme 2% hmotnosti sladu, tedy $m_{\text{chmel}} = 200\text{g}$). Chmel se přidává ve 3 várkách – 10 minut po začátku varu (50g), 45 minut po začátku varu (100g) a 80 minut po začátku varu (50g).

Po skončení chmelovaru se provede měření stupňovitosti EPM (EPM - extrakt původní mladiny), obsahu alkoholu, provede se vyčištění mladiny (pomocí vířivé kádě, v této konkrétní varně pomocí tangenciálního vstupu do scezovací kádě) a následné chlazení mladiny.

8 Odhad ceny jedné várky

Cena jedné várky vyrobené podle procesu uvedeného výše. Cena se bude odvíjet od použitých surovin. Pro stanovení odhadované ceny jedné várky (výstav mladiny $V_{\text{mlad}} = 50 \text{ l}$) jsou použity průměrné ceny surovin dostupných z internetových obchodů. Ceny a množství energií potřebných pro varní proces jsou odhadnuty na základě informací ze zdrojů [25], [26].

proces	měrná spotř. [kWh/l]	výkon [kW]	spotřeba [kWh]
míchání	-	-	10
čerpání	-	1	3
ohřev	0,278	-	13,9
součet			26,9
jednotná cena energie [Kč/kWh]			4,5
cena celkem			121,05

tab. 1 - odhad spotřeby a ceny energií na jednu várku (výstav 50 l mladiny)

surovina	jednotka	množství	cena / jedn.	cena [Kč]	poznámka
voda (varná)	l	100	0,081	8,1	
slad	kg	10	25	250	
chmel	kg	0,2	800	160	
voda (sanitační)	l	100	0,081	8,1	
čistící prostředek	l	1	200	200	HABLA Gläserrein
součet				626,2	

tab. 2 - odhad spotřeby a ceny surovin na jednu várku (výstav 50 l mladiny)

Celkové náklady na jednu várku o výstavu 50 l mladiny jsou tedy přibližně 750 Kč. Tato cena je pouze orientační. Pro odhad spotřeby ohřevu a čerpání byl použit zdroj [25]. Odhad spotřeby energií při míchání byl proveden na základě podobnosti procesů v navrhované varně s procesy v průmyslových varnách a v cukrovaru (míchání suspenze) [26].

9 Navržená koncepce varny - shrnutí

konstrukční řešení: dvounádobová varna
nádoby: RMV pánev, scezovací kád' s funkcí vířivé kádě

9.1 RMV pánev

vnitřní průměr: 440 mm
výška nádoby: 600 mm
konstrukční řešení: tlaková nádoba s dvojitým pláštěm
ohřev: technologickou vodní parou
míchadlo: 3- nebo 4lopatkové míchadlo se svislou osou, $d = 110 - 175$ mm
funkce nádoby: vystírání, rmutování, chmelovar
vstupy a výstupy: vstup varní vody
vstup čistící vody
vstup ze scezovací kádě
otvor pro vsypávání surovin (slad, chmel)
výstup do scezovací kádě
výstup brýdových par
další zařízení: teplotní čidlo (Pt100)

9.2 Scezovací kád'

vnitřní průměr: 440 mm
výška nádoby: 600 mm
konstrukční řešení: nádoba bez přetlaku
ohřev: není
vyjmutelné dno: 3dílné vyjmutelné scezovací dno s otvory
míchadlo: svislé kypřicí nože (popř. s možnou výměnou za lopatkové čerpadlo)
funkce nádoby: scezování, uchovávání díla při dekokčním rmutování, funkce vířivé kádě
vstupy a výstupy: 2 vstupy z RMV pánve (kolmý a tangenciální)
vstup čistící vody
větší otvor pro vyhrabování mláta, vyjímání dna a výměnu míchadel
výstup do RMV pánve
výstup mimo varnu (do chladiče)

9.3 Ostatní zařízení

čerpadla:	2 (z RMV do vystírací kádě, z kádě do RMV)
speciální ventily:	dvojcestný ventil pro možnost dvou různých vstupů do scezovací kádě
další zařízení:	armatura pro regulaci ohřevu parou, kalorimetr topné páry, odvaděč kondenzátu, řídicí jednotka regulace, zařízení pro měření cukernatosti, průtokoměr

10 Závěr

V rešeršní části této bakalářské byly zjištěny základní možnosti konstrukčního řešení varen minipivovarů s vazbou na technologii samotné výroby piva a různá možná úskalí a problémy, zejména pak způsoby rmutování. Na základě těchto poznatků byla navržena vhodná koncepce modelové varny mikropivovaru pro ústav 12 118 – Ústav procesní a zpracovatelské techniky pro uvažovaný výstav 50 l mladiny, která splňuje všechny body zadání a poslouží jako podklad pro vlastní konstrukční návrh této modelové varny.

V rámci této práce byla navržena koncepce modelové varny pivovaru. Jako vhodné uspořádání budoucí modelové varny bylo zvoleno dvounádobové řešení - varna bude obsahovat dvě nádoby o průměru $d = 440$ mm a výšce $h = 600$ mm. Jedna z nádob - RMV pánve - bude ohřívána pomocí technologické páry (která je k dispozici v hale ústavu 12 118) a míchána 3lopatkovým (4lopatkovým) míchadlem se svislou osou, jehož průměr se bude pohybovat v intervalu $d \in (110; 175)$ mm. Do RMV pánve bude přiváděna voda. Nádoba bude opatřena otvorem k dodávání surovin (slad, chmel) a výstupem brýdových par. Z nádoby vystupují dva ventily - jeden na odvod vody při čištění (a případné stáčení mladiny) a druhý na čerpání díla (nebo jeho části) ve varném procesu do scezovací kádě. Za čerpadlem, které vede z RMV pánve do scezovací kádě, je možnost volit mezi kolmým a tečným vstupem do kádě. Tím je umožněno využívat scezovací kád' ve funkci vířivé kádě pro separaci kalů z mladiny. Kromě vstupu vody do pánve vstupuje ještě jeden ventil pro přívod díla ze scezovací kádě. Nádoba bude dále opatřena čidly Pt100 pro kontrolu a řízení teploty.

Druhá nádoba - scezovací kád' - obsahuje svislé kypřicí nože se svislou osou. Do Scezovací kádě vstupují dva ventily - přívody z RMV pánve. Ze scezovací kádě vystupuje jeden ventil - zpět do RMV pánve s možností odklonit dílo (mladinu) mimo prostor varny. Scezovací kád' bude kromě kypřících nožů opatřena vyjmutelným scezovacím dnem. Scezovací dno se skládá ze tří částí. Plocha scezovacího dna je $S = 0,152$ m² (průměr $d = 440$ mm). Dno má v sobě přibližně 380 otvorů (vycházíme z poměru 2500 otvorů na 1 m²). Tyto otvory mají průměr přibližně 1 mm. Tloušťka dna je 5 mm. Ve scezovací kádě bude dále otvor pro vyhrabování mláta a vyjímání a vkládání scezovacího dna, popř. pro výměnu míchadel.

Navrhované konstrukční řešení varny poskytne studentům jedinečnou možnost lépe pochopit procesy ve skutečných zařízeních potravinářského průmyslu. Způsob ohřívání nádoby parou byl volen záměrně a to nejen z důvodu jeho dostupnosti a minimalizace rizik připékání a lepší dynamiky ohřevu, ale také z důvodu, že ohřev parou je ideálním prostředkem pro znázornění ohřevu potravinářských zařízení v reálném průmyslu. Studenti tak budou mít možnost vyzkoušet si provoz takového zařízení, jeho regulaci a lépe pochopit funkci např. odvaděče kondenzátu a dalších nezbytných součástí tohoto systému.

Nutnost přizpůsobovat varnu v průběhu varného procesu (vyjímání a vkládání scezovacího dna, případná výměna kypřících nožů za lopatkové míchadlo, změna vtoku díla do scezovací kádě) poskytne studentům ojedinělou možnost pochopit všechny procesy, které při vaření piva probíhají, a důležitost a funkci jednotlivých konstrukčních prvků, což budou cenné zkušenosti posluchačů, kteří se v budoucnu vydají na dráhu provozních inženýrů v průmyslových provozech.

11 Použité zdroje

- [1] FLEGR, Pavel. *Pivo jako národní nápoj - Egyptané a pivo*. [online]. [cit. 2015-4-27]. Dostupný z WWW: <http://www.starovekyegypt.net/egyptske-zemedelstvi/pivo-jako-narodni-napoj.php>
- [2] BROUSEK, Miroslav. *Řím a pivo*. [online] [cit. 2015-4-27]. Dostupný z WWW: http://www.romicus.cz/spqr/articles/rim_a_pivo.html
- [3] ČESKÝ SVAZ PIVOVARŮ A SLADOVEN. *Historie českého pivovarnictví: Data a fakta*. [online]. [cit. 2015-4-27]. Dostupný z WWW: <http://www.ceske-pivo.cz/>
- [4] BREWORX, s.r.o. *Doporučené chemické složení vody pro vaření piva*. [online]. [cit. 2015-6-1]. Dostupný z WWW: <http://www.mobilnipivovary.cz/voda-chemicke-slozeni/>
- [5] CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1616-9
- [6] HŘIVNA, Luděk. *Chmel a chmelové výrobky*. [online]. [cit. 2015-6-1]. Dostupný z WWW: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=2447
- [7] BASAŘOVÁ, Gabriela, Jan ŠAVEL, Petr BASAŘ a Tomáš LEJSEK. *Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 9780-7080-734-7
- [8] BUDĚJOVICKÝ BUDVAR, n.p. *Jak se vaří Budvar*. [online]. [cit. 2015-3-29]. Dostupný z WWW: <http://www.budejovickybudvar.cz/produkty/jak-se-vari-budvar.html>
- [9] BREWORX, s.r.o. *Katalog restauračních pivovarů firmy BREWORX* [online]. [cit. 2015-3-25]. Dostupný z WWW: <http://www.ceskeminipivovary.cz/nabidka/vyroba/restauracni-pivovary/>
- [10] BREWORX, s.r.o. *Varna BREWORX CLASSIC: vaření piva z tradičních surovin*. [online]. [cit. 2015-3-29]. Dostupný z WWW: <http://www.ceskeminipivovary.cz/nabidka/vyroba/restauracni-pivovary/breworx-classic/konstrukce-varny/>
- [11] CHLÁDEK, Ladislav. *Výukový a výzkumný minipivovar*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: <http://pivovar.tf.czu.cz>
- [12] VŠCHT V PRAZE. *Přístrojové vybavení ústavu biotechnologie, VŠCHT v Praze*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: <http://old.vscht.cz/kch/oustavupristrojtech.html>
- [13] MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. *Podklady ústavu potravinář. technologií*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: <http://is.mendelu.cz/pracoviste/pracoviste.pl?nerozbaluj=1;id=29>
- [14] KAMLAR, Marek. *Je libo nopalové pivo?*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: <http://pivni.info/exkurze/717-je-libo-nopalove-pivo.html>
- [15] *Web Střední průmyslové školy potravinářských technologií, Praha, Podskalská 2*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: www.podskalska.cz

- [16] KAMLAR, Marek. *Za Podskalskou kozou aneb když mládež vaří pivo*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: <http://pivni.info/udalosti/685-za-podskalskou-kozou-aneb-kdyz-mladez-vari-pivo.html>
- [17] *Web Gymnázia a Střední odborné školy dr. Václava Šmejkal v Ústí nad Labem*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: <http://www.gym-ul.cz/>
- [18] *Ústecké gymnázium má školní pivovar*. [online]. [cit. 2015-5-15]. Dostupný z WWW: http://www.tyden.cz/rubriky/relax/zabava/ustecke-gymnazium-ma-skolni-pivovar-pro-vyuku-chemie_325156.html#.VXYHY9LtlHz
- [19] SCHNITZENBAUMER, Birgit, Elke K. ARENDT. 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* (vol. 57, str. 39-46). [online]. [cit. 2015-5-10]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521012002068>
- [20] KUZMANIĆ, N., LJUBIČIĆ, B. Suspension of floating solids with up-pumping pitched blade impellers; mixing time and power characteristics. *Chemical Engineering Journal* (vol. 84, str. 325-333). [online]. [cit. 2015-5-10]. Dostupný z WWW: <http://80.www.sciencedirect.com/dialog.cvut.cz/science/article/pii/S138589470000382X>
- [21] ALVAREZ, E., J.M CORREA, J.M NAVAZA, C. RIVEROL. Injection of steam into the mashing process as alternative method for the temperature control and low-cost of production. *Journal of Food Engineering* (vol. 43, str. 193-196). [online]. [cit. 2015-5-11]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877499001442>
- [22] MINI BREWERY SYSTEM, s.r.o. *Popis technologie výroby piva*. [online]. [cit. 2015-5-13]. Dostupný z WWW: <http://www.minibrewerysystem.com/vyroba.html>
- [23] MACHAČ, František. *Základní univerzální recept pro vaření piva na 2 rmuty*. [online]. [cit. 2015-5-21]. Dostupný z WWW: <http://domacipivovar.webnode.cz/products/zakladni-univerzalni-recept-pro-vareni-piva-na-2-rmuty/>
- [24] *Pivní výpočty – program*. [online]. [cit. 2015-5-21]. Dostupný z WWW: <http://kralupyvo.webnode.cz/news/pivni-vypocty/>
- [25] VŠCHT V PRAZE. *Pivovarství – sylabus k předmětu*. [online]. [cit. 2015-6-1]. Dostupný z WWW: <http://old.vscht.cz/kch/download/sylaby/pivovarstvi.pdf>
- [26] SMEJTKOVÁ, Andrea, Ladislav CHLÁDEK. *Příkonové charakteristiky pro vybraná pomaloběžná míchadla v modelové suspenzi*. Listy cukrovarnické a řepařské (9-10/2015, str. 304-306). [online]. [cit. 2015-6-1]. Dostupný z WWW: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2012/PDF/304-306.pdf