

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

NÁVRCH VARNY MIKROPIVOVARU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

KAREL ILAVSKÝ

Anotační list

Jméno autora: Karel
Příjmení autora: Ilavský
Název práce česky: Návrh varny mikropivovaru
Název práce anglicky: A brewhouse proposal for training microbrewery
Rozsah práce: Počet stran: 33
Počet obrázků: 21
Počet tabulek: 3
Počet příloh: 0

Akademický rok: 2016/2017
Jazyk práce: Čeština
Ústav: Ú 12188 – Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program: B2345 Teoretický základ strojního inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.

Konzultant práce:
Zadavatel: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12118

Anotace česky:

Bakalářská práce se zabývá problematikou výroby piva, především pak způsobu výhřevu pánve, měření teploty a regulace teploty. První část práce obsahuje rešerši technologií pro výrobu piva, se zaměřením na postup vystírání, rmutování a chmelovaru. S čímž souvisí seznámení s uspořádáním varny, a nádobami používaných ve varně. Druhá část obsahuje seznámení s možnostmi ohřevu, snímání a regulace teploty. Závěrem je proveden návrh ohřevu varny mikropivovaru pro výukové účely, způsob jeho regulace a měření dat.

Anotace anglicky:

The Bachelor's thesis deals with phenomenon of beer brewing, mainly focused on forms of heating the kettle, heat measurement and heat control. The first part contains research on technology for beer brewing, with focus on mashing in, mashing and wort boiling. This topic is related to arrangement of brewhouse and arrangement of containers for beer brewing. Second part describes possibilities of heating, heat measuring and heat control. At the end is a draft of heating, heat measuring and heat control of educational microbrewery.

Klíčová slova: Pivovar, mikropivovar, varna, pivo, topná tělesa, regulace
Klíčová slova anglicky: Brewery, micro-brewery, brewhouse, beer, heating elements, control
Využití: Návrh varny mikropivovaru pro výukové potřeby Ústavu procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze.

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:

.....
Karel Ilavský

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení této bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	3
Suroviny	4
Slad.....	4
Voda.....	4
Chmel	4
Kvasinky	5
Výroba Piva	5
Šrotování – mletí sladu	5
Vystírání	5
Rmutování.....	6
Scezování	8
Vaření sladiny s chmelem – Chmelovar	8
Chlazení mladiny a separace kalů	9
Kvašení mladiny	9
Ležení piva	10
Technologie.....	10
Stroje pro šrotování	10
Varny.....	10
Vystírací kád'.....	11
Rmutovací pánev	12
Scezovací kád'.....	12
Mladinová pánev	13
Kvasné kádě	13
Řízení výroby.....	14
Způsob ohřevu	14
Měření teploty	16
Řídící systémy.....	18
Shrnutí z literární rešerše.....	21
Návrh.....	23
Návrh nádoby.....	23
Návrh Ohřevu.....	23
Návrh snímače teploty	26
Návrh řízení teploty	26

Závěr	30
Seznam použitých symbolů.....	31
Seznam obrázků.....	31
Reference.....	32

Úvod

Pivo, jak uvádí Chládek [1], je společně s medovinou a datlovým vínem, považováno za jeden z nejstarších, lidmi vyrobených nápojů. První písemné zmínky se objevují v Mezopotámii, a to v období 4000 až 3000 let před naším letopočtem. I když podle současných představ se vznik výroby piva klade až do období 15 000 až 10 000 let před naším letopočtem, kdy naši předkové přestávají žít kočovným životem a začínají pěstovat obilí. První piva ovšem mají z dnešním pramálo společného, původní piva se vyráběla rozdrobením chleba do vody a následným zakvašením, čímž jeho konzistence byla spíše kašovitá.

V Evropě se pivo dočkalo velkého rozmachu v roce 816, kdy církev vzala pivo na milost, a dokonce jeho výrobu začala doporučovat klášterům. Mniši byli první, kdo začal pěstovat chmel, který následně přidávali do piva. Kromě klášterních pivovarů také časem začali vznikat městské pivovary, nejvýznamnějším je vznik Měšťanského pivovaru v Plzni roku 1839. Tento pivovar jako první v Čechách začal používat kvasinky spodního kvašení a výsledné pivo mělo tak vynikající chuť, že ostatní pivovary, vyrábějící pivo svrchně kvašené, se museli přizpůsobit nové technologii, nebo byly odsouzeny k zániku. Proto v pozdějších letech začal dynamický rozvoj pivovarnictví, při kterém se hojně investovalo do nových technologií. Bohužel dochází k poklesu pivovarů v Čechách. V roce 1864 je v Čechách 1026 pivovarů, kdežto v roce 1910 se tento počet snížil na pouhých 571.

Bohužel 20.století nemělo dobrý dopad na pivovarnictví u nás. Nejdříve s příchodem první světové války, kdy bojeschopní pracovníci pivovaru museli rukovat, zařízení z mědi, mosazi a bronzu bylo rekvírováno armádou a začal být citelný nedostatek surovin pro výrobu piva. To mělo za následek uzavření dalších pivovarů. V meziválečném období se stav pivovarů v našich zemích začal pomalu zlepšovat až do roku 1930 kdy přišla krize, která se dotkla i pivovarů. Po konci krize se opět rozjíždí výroba. Ovšem už se chystá druhá světová válka. Tehdejší Československo přichází o řadu pivovarů při zabrání Sudet. Válečné období znovu neprospívá pivovarnictví, během tohoto období je nedostatek surovin pro výrobu piva. Po konci války dostává pivovarnictví další ránu v podobě znárodnování pivovarů. A vzniká 8 samostatných stáních podniků. Díky znárodnění, velice málo pivovarů si mohlo dovolit investovat do nových technologií.

Po roce 1989 dochází k procesu restituce, ale velice málo pivovarů se vrací původním majitelům. Většina velkých podniků je prodána zahraničním investorům, s nimi přichází i finance na obnovení zastaralého technologického vybavení. Díky možnosti znovu podnikat se v Čechách začínají rozvíjet i minipivovary. Podle serveru pividky.cz [2] je v Čechách 405 pivovarů z toho 361 je minipivovarů s výstavem menším než 10 000 hl ročně.

Proto je tato práce o pivovarnictví v malých pivovarech. Zejména o způsobech uspořádání varny, technologiích ohřevu, měření teploty a regulaci.

Suroviny

Slad

Podle Basařové [3] je slad společně s vodou a chmelem základní surovina pro výrobu piva. Už z historie víme, že se nejčastěji, pro výrobu sladu, používají zrna různých obilnin. Takto můžeme rozdělit několik druhů sladu:

- Ječný slad – tento slad je nejpoužívanější, přičemž lze rozdělit na:
 - Slad plzeňského typu – používá se k výrobě světlých piv. Teploty hvozdění 80-85 °C
 - Slad vídeňského typu – pro výrobu světlých piv se zvýšenou sytostí barvy.
 - Slad mnichovského typu – též nazýván slad bavorského typu, se používá na výrobu piv tmavých. Teploty hvozdění 100-105 °C
- Pšeničný slad – tento slad se hojně využívá v Německu či Belgii. Hlavní složkou je pšenice, ke které je potřeba přimíchat ječmen. Díky pšenici se zlepšuje pěnivost piva, proto se může přidat malé množství pšeničného sladu do ječného pro zlepšení pěnivosti.
- Speciální slady – výroba speciálních a tmavých piv. Lze v menším množství přidat k běžným sladům kvůli zlepšení vlastností piva. Pro výrobu speciálních sladů se využívají různé suroviny. Za zmínku stojí žito, rýže a kukuřice.

Voda

Jak uvádí Basařová [1], patří v průmyslu mezi největší spotřebitele vody. Pro představu na výrobu jednoho litru piva se spotřebuje od sedmi do dvanácti litrů vody (tady platí, že menší pivovary mají i menší spotřebu vody na litr piva). Samozřejmě do této spotřeby je třeba zahrnout:

- Varní voda – tato voda musí splňovat požadavky na vodu pitnou. Dále by tato voda měla splňovat další požadavky zejména obsah hořečnatých a vápenatých solí. Důležitým kritériem pro posouzení kvality vody pro pivovarské účely je její tvrdost (neboli obsah rozpuštěných solí). Takto můžeme vodu rozdělit na:
 - měkká voda (Plzeň)
 - středně tvrdá voda (Mnichov)
 - tvrdá voda (Dublin)
 - velmi tvrdá voda (Vídeň, Burton)

Měkká voda se používá na výrobu piv světlých, kdežto na tmavá piva se spíše používá voda tvrdší.

- Mycí a sterilizační voda
- Provozní voda – voda používaná v provozu například při ohřevu pomocí vodní páry nebo voda používaná k protlačování piva potrubím. Tato voda by měla být odplyněna, aby nedošlo k negativnímu působení rozpuštěného kyslíku na pivo.

Chmel

Další surovinou pro výrobu piva je chmel, který dodává pivu jeho charakteristickou hořkou chuť. Chmel je dvoudomá rostlina, ze které se pro pivovarské účely využívají neoplozené hlávky samičích rostlin.

Jak uvádí Basařová [3], mimo charakteristickou chuť, chmel dodává pivu další vlastnosti. Přispívá k tvorbě typického aroma, ovlivňuje pěnivost a má baktericidní a konzervační účinky. Látky obsažené v chmelu mají i zdravotní vlastnosti, díky nim pivo má protirakovinné účinky, anti diabetické

a protizánětlivé vlastnosti, dále látky pomáhající proti tuberkulóze, bolesti hlavy, osteoporóze a dalších. Tyto látky se nazývají alfa hořké kyseliny – „humulony“ a beta hořké kyseliny – „lupulony“ a chmelové pryskyřice – „resupony“. Jelikož tyto cenné látky podléhají při skladování a transportu chemickým změnám, opouští se od používání hlávkového chmele, který je nahrazován chmelovými prášky, peletami a extrakty.

Kvasinky

Jako u všech alkoholických nápojů je i u piva zapotřebí kvasinek. Podle Chládky [1], kvasinky vstupují do procesu výroby až ke konci výroby a přetvářejí cukry na ethanol a oxid uhličitý. V dnešní době se využívají pro výrobu piva dva druhy kvasinek:

- Kvasinky svrchního kvašení – piva typu „ale“, „porter“, „stout“. Teplota kvašení 20-24 °C
- Kvasinky spodního kvašení – piva plzeňského typu. Teplota kvašení 8-14 °C

Výroba Piva

Šrotování – mletí sladu

Na začátku výroby piva, jak uvádí Chládek [1], stojí rozemletí zrn. Při této operaci chceme zpřístupnit endosperm (jádro zrna), a co nejlépe ho rozmělnit, aby byl dobře přístupný pro fyzikálně-chemické a enzymové reakce. A také se snažíme dosáhnout co nejlepší celistvosti pluch (obal zrna). Pluchy budou později využity při filtraci sladiny. Mletí můžeme rozdělit na:

- Mletí sladu za sucha – nejčastější způsob
- Mletí s kondicionováním – před mletím dochází ke zvlhčení vodou či párou. Toto zvlhčení trvá jednu až dvě minuty. Díky tomu dojde k změknutí zrn díky čemuž se lépe zachovává celistvost pluch, ale zrno je tím odolnější proti rozemletí.
- Mletí za mokra – zrno se máčí ve vodě po dobu deset až třicet minut. Tím opět dojde k změknutí zrn. Navíc dojde k vyloučení extraktu do máčecí vody, proto se tato voda používá pro vystírání.

Mletí sladu za sucha a za mokra z hlediska výtěžnosti extraktu porovnává Eneje [4], kdy mletí sladu za mokra vykazuje poněkud vyšší podíl extraktu ve sladince.

Vystírání

Dalším krokem ve výrobě piva, jak uvádí Basařová [3], je vystírání což je smíchání namletého sladu s vodou, tato směs se nazývá vystírka. Při vystírání je nejdůležitější převést do roztoku co největší podíl látek rozpustných ve vodě.

Množství použité vody ovlivňuje vlastnosti uvařeného piva. Pro piva světlá se používá větší množství vody, čímž vzniklá vystírka je řidší. Kdežto pro piva tmavá se volí vystírka hustší.

Voda na vystírání je označována jako nálev. Nálev se rozděluje na hlavní a následný. Následný nálev je potřebný na vyslazení mláta při svezování.

Vystírání může probíhat buď za tepla (teplota 35-38 °C) nebo za studena (teplota 20 °C a méně). V obou případech se nálev rozdělí na dva podíly. První o teplotě požadovaného postupu pro vystírku se smíchá s namletým sladem. Druhý podíl, takzvaná zapáčka, se ohřeje na přibližně 80 °C a poté se smíchá s prvním podílem. Díky tomu má hotová vystírka teplotu 50-52 °C.

Rmutování

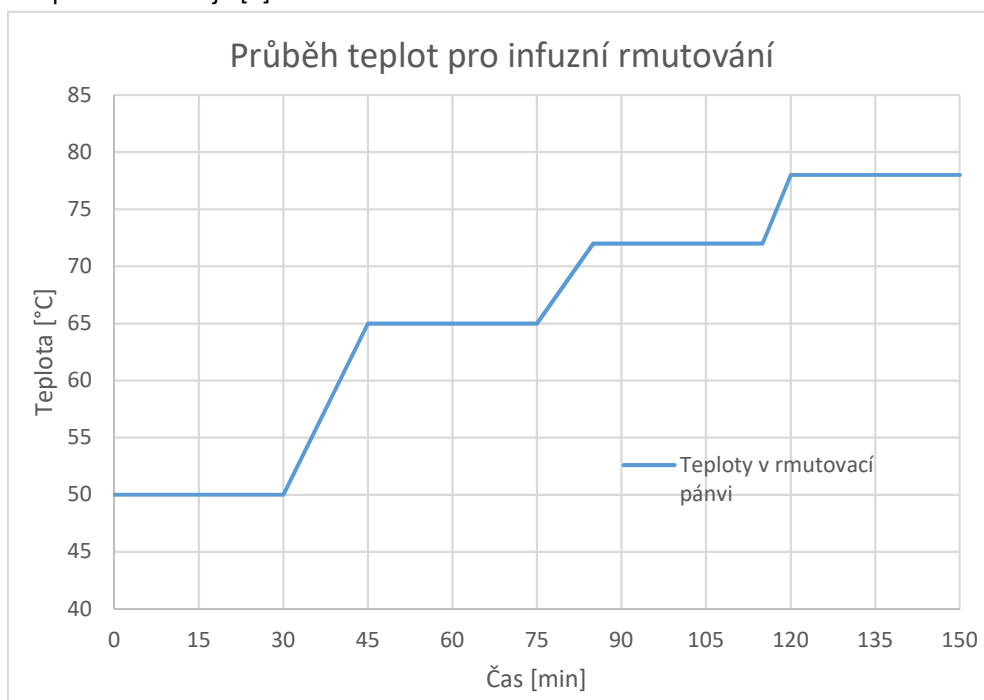
Po vystírání následuje další operace, o které mluví Basařová [3], a to rmutování. Při rmutování dochází pomocí ohřívání díla ke štěpení a přeměně různých látek. Nejvýznamnější je štěpení složitých cukrů na zkvasitelné cukry jednoduché. Proto tuto přeměnu je důležité docílit správné teploty a tuto teplotu udržet po dostatečnou dobu (časové rozmezí se pohybuje od 10 do 20 minut) pro správnou funkci enzymů. Je taky důležité této teploty dosáhnout určitou rychlostí ohřevu.

Významné teploty při rmutování (dle Basařové [3]):

- 35-38 °C – Kyselivotvorná teplota
- 45-50 °C – Peptonizační teplota – této teploty se dosahuje zapařováním
- 60-65 °C – Nižší cukrotvorná teplota na tuto teplotu je třeba se dostat rychlostí 1 °C/min
- 70-75 °C – Vyšší cukrotvorná teplota na tuto teplotu se chceme dostat rychlostí 0,7 °C/min
- 76-78 °C – Odrmutovací teplota
- Při rmutování dochází také k provaření celého rmutu, na které je potřeba rychlost 1 – 1,5 °C/min

Rmutování lze rozlišovat podle postupů na:

- Infuzní – při tomto postupu se ohřívá celý rmut a díky tomu je tento postup kratší a energetický méně náročný. Také je výhodou, že postup infuzního rmutování lze zajistit v jedné nádobě. Při tomto postupu nedochází k povařování rmutu. Tento postup se využívá u piv svrchně kvašených. Tyto piva jsou světlejší a nemají tak plnou chuť. Podobné závěry uvádí ve své práci také Eneje [4].

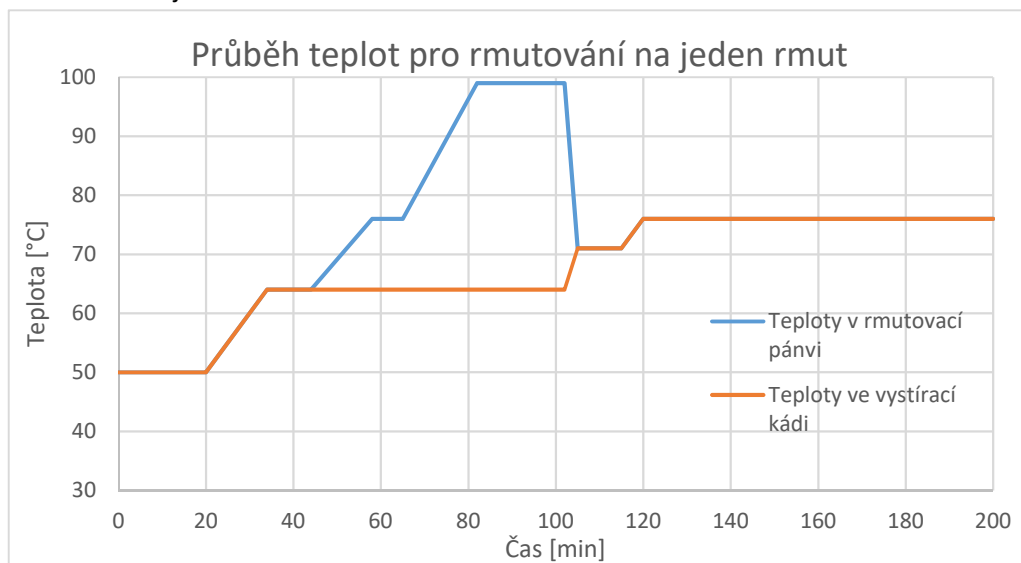


Obrázek 1 - Infuzní rmutování

- Dekokční – u dekokčního rmutování se prohřívá pouze část rmutu, tato část je přibližně třetina díla. Z tohoto důvodu je na tento postup potřeba dvou nádob. Podle počtu kolikrát se oddělí část rmutu k ohřátí, rozdělujeme dekokční rmutování na rmutování na jeden rmut, na dva rmuty nebo na tři rmuty. Po provaření se rmut vrací ke zbytku díla a musí dosáhnout

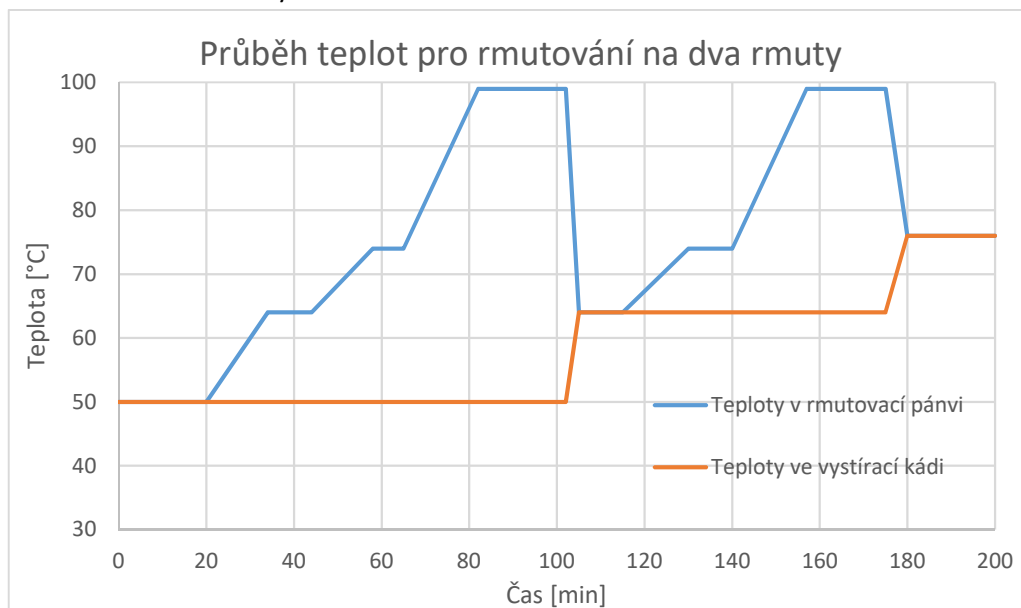
požadované teploty pro daný rmut. Eneje [4] prezentuje u dekokčního rmutování dosažení tmavší barvy mladiny v důsledku Maillardových reakcí.

- Rmutování na jeden rmut



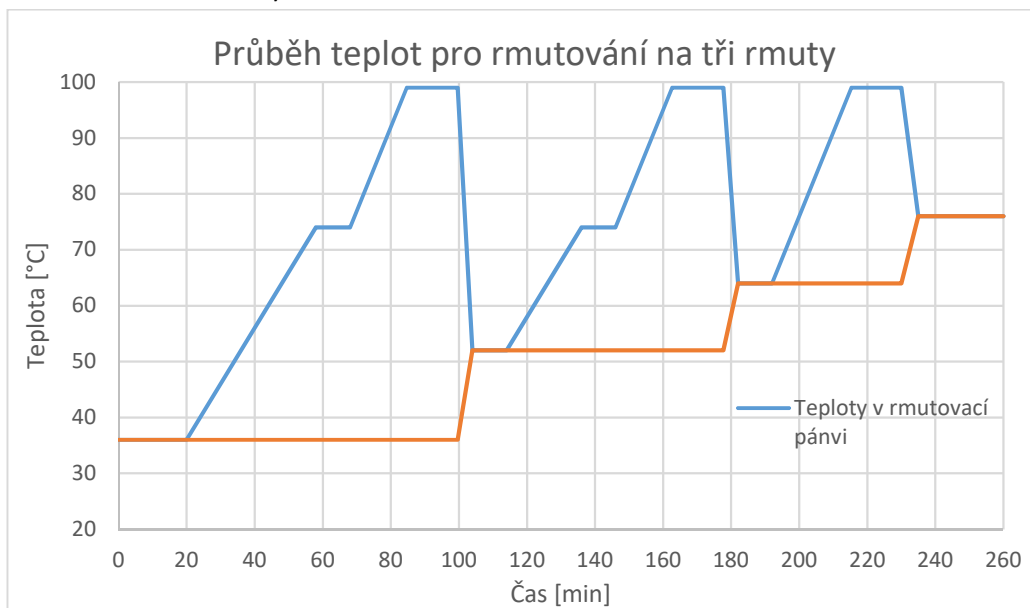
Obrázek 2 - Dekokční rmutování na jeden rmut

- Rmutování na dva rmuty



Obrázek 3 - Dekokční rmutování na dva rmuty

- o Rmutování na tři rmuty



Obrázek 4 - Dekokční rmutování na tři rmuty

Studiem vlivu teploty při sladování a metodami rmutování se zabývá Igyor [5]. Byl studován vliv jednak teploty během sladování (20 a 25 °C po dobu 5 dnů), ale především porovnává způsob rmutování na složení mladiny a výslednou chuť piva, kdy infuzní způsob rmutování dával poněkud horší výsledky.

Scezování

Po ukončení rmutování přichází na řadu scezování. Při scezování, jak uvádí Chládek [1], dochází k separaci díla na dvě složky: na kapalnou složku – sladinu a pevnou složku – mláto. Sladina je roztok obsahující roztok extraktivních látek, kdežto mláto obsahuje pevné částice, které dále pro výrobu piva nebudeme potřebovat.

Při scezování se nejdříve celý rmut přečerpá do scezovací kádě, která má ve dně díry pro filtraci. Následně se dílo nechá odpočinout, při čemž dojde k usazení pevných částic na dně kádě, které budou fungovat jako filtr (zde je důležité správné rozemletí pluch). Tato vrstva je vysoká 20-30 cm. Dílo se nechává odpočinout po dobu 20–30 minut. Poté dojde k otevření kohoutů a začne vytékat první sladina takzvaný předeček. Předeček je ovšem stále dost kalný. Proto probíhá přečerpávání zpět do scezovací kádě, dokud nevytéká čistá sladina. Pro zlepšení průtočnosti se mláto může prořezávat soustavou nožů (v pivovarnické terminologii se často označují jako tzv. „kopačky“).

Nato dochází k vyslazení mláta, protože v tuto chvíli mláto stále obsahuje hodně extraktu. Při vyslazení se mláto prolévá vodou o teplotě 75-78 °C, tyto průlevy se nazývají výstřelky. Stupňovitost výstřelků se měří sacharometrem. Vyslazení se opakuje, dokud výstřelky nemají požadovanou stupňovitost. Poslední výstřelky s nejnižší stupňovitostí se nazývají patoky. Patoky se buď vylévají, nebo používají ve vystírce pro další várku. Mláto se nejčastěji používá jako krmení pro dobytek.

Vaření sladiny s chmelem – Chmelovar

Po scezení díla následuje chmelovar. Tento proces, jak ho popisuje Chládek [1], probíhá v mladinové pánvi, poté co do ní byla přečerpána sladina spolu s výstřelky. V mladinové pánvi dojde ke smíchání sladiny a výstřelků a změří se stupňovitost díla. Během varu se do díla přidává chmelový

extrakt nebo chmelový granulát. Chmelové šištičky se většinou nepoužívají, protože by později muselo dojít k jejich odseparování od mladiny. Provařená sladina s chmelem se nazývá mladina.

Chmelovar trvá kolem 90 minut, ale skutečný konec pozná pouze vařič, když nabere vzorek, a ten má správnou stupňovitost a mladinový lom (jestli se správně vysrážely bílkoviny).

Podle Basařové [3], nejdůležitější cíle chmelovaru jsou:

- Odpaření přebytečné vody – pro docílení potřebné stupňovitosti piva
- Odpařit těkavé látky
- Inaktivace enzymů
- Sterilizovat mladinu
- Zajistit koagulaci výše molekulárních dusíkatých látek
- Přenos hořkých látek z chmele do mladiny
- Rozpustit a upravit dalších složky chmele
- Vytvořit redukující látky
- Zajistit oxidační reakci
- Zvýšit aciditu

Chlazení mladiny a separace kalů

Podle Chládky [1] po chmelovaru následuje oddělení kalů a následné zchlazení mladiny. Jelikož mladina po chmelovaru obsahuje vysrážené bílkoviny neboli klky, a částice chmele, či sladu, které by způsobovaly problémy při kvašení, musíme je z mladiny odstranit. K tomu se nejčastěji využívají vířivé nebo usazovací kádě, odstředivky nebo dekantéry.

Jelikož je po separaci kalů mladina stále horká a kvasinky by v horké mladině byly usmrceny, přichází na řadu chlazení mladiny na teplotu kolem 6 °C. Nejčastěji se pro tento účel používají deskové tepelné výměníky chlazené ledovou vodou.

Po zchlazení je nutné vytvořit pro kvasinky vhodné životní prostředí. Proto se mladina provzdušňuje sterilním vzduchem nebo čistým kyslíkem. Provzdušňuje se tak, aby hodnota rozpuštěného kyslíku byla přibližně 6 miligramů na jeden litr mladiny.

Kvašení mladiny

Jak uvádí Chládek [1], tak po separaci, zchlazení a provzdušnění mladiny nastává kvašení mladiny. Při této operaci se k mladině přimíchají kvasnice, díky čemuž dochází ke kvašení, což má za následek množení kvasnic a přeměnu extraktu (extraktem se rozumí koncentrace zkvasitelných cukrů v mladině) na alkohol a oxid uhličitý. Tento proces má i svůj nežádoucí efekt. A to že při kvašení se vyvíjí teplo, což by mohlo mít za následek usmrcení kvasinek. Proto je důležité při kvašení udržovat teplotu mladiny na teplotě 8-14 °C pro spodní kvašení a 20-24 °C pro kvašení svrchní.

Kvašení se dá rozdělit do 4 fází:

- V první fázi dojde k takzvanému zaprášení. To znamená, že se na povrchu mladiny začne vytvářet pěna. V této fázi je úbytek extraktu kolem 0,35 % za den a nárůst teploty se pohybuje kolem 0,3 °C za den.
- Podle Basařové [3] se ve druhé fázi vytváří největší množství oxidu uhličitého. Také v této fázi dochází k největšímu množení kvasinek. Úbytek extraktu je zde 0,8 – 1,2 % za den. Nárůst teploty 0,5 – 0,8 °C za den

- Ve třetí fázi dochází k dosažení nejvyšší teploty a musí se včas začít chladit. Chladit by se mělo o 1 °C za den. V této fázi je největší úbytek extraktu 1 - 1,8 % za den.
- Čtvrtá fáze je fáze hlavního kvašení. Dochází při ní k tvorbě takzvané deky, která se usazuje na povrchu a musí se včas odstranit, jinak by mohla mít špatný vliv na chuť piva. Zde dochází jen k menšímu úbytku extraktu a to 0,2 – 0,3 % za den.

Ležení piva

Podle Basařové [3] po hlavním kvašení následuje ležení piva. Během tohoto procesu dojde k přečerpání mladého piva do ležácké nádoby a pivo se nechá zrát. Ležení probíhá za teploty 0-5 °C. Během ležení se v ležáckých nádobách udržuje mírný přetlak 0,03 – 0,07 MPa. To má za následek, že pivo dosáhne chuťové vyváženosti a získá požadovaný říz.

Po této operaci je pivo v podstatě hotové. I když jak tvrdí Chládek [1] velké a střední pivovary dále pivo filtrují. Filtrace je prospěšná k zvýšení trvanlivosti piva a také po filtraci je možno pivo pasterizovat, což má za následek další zvýšení trvanlivosti. Díky filtraci také pivo získává svou jiskrnou průzračnost.

Technologie

Stroje pro šrotování

Jak uvádí Basařová [3], k šrotování sladu se nejvíce využívají válcové šrotovníky. Jak název napovídá, tyto zařízení se skládají z válců, které mohou být hladké nebo rýhované. Nejčastěji se používají tyto šrotovníky:

- Dvouválcový šrotovník – tyto šrotovníky jsou, kvůli jejich menšímu výkonu, nejvíce využívány v malých pivovarech. Dokáží zpracovat 15 až 20 kg sladu na 1 cm délky válce za hodinu.
- Čtyřválcový šrotovník – jsou šrotovníky vhodné pro střední až velké pivovary. Dokáží zpracovat 20 až 25 kg sladu na 1 cm délky válce za hodinu.
- Šestiválcový šrotovník – se nejvíce uplatňují ve velkých pivovarech. Dokáží zpracovat 25 až 80 kg sladu na 1 cm délky válce za hodinu.

K tomuto dodává Chládek [1], že se využívají i další stroje na šrotování sladu a to:

- Kládívkové mlýny – u těchto strojů dochází k rozemletí i pluch, což ovlivňuje chuť piva. Proto při použití těchto strojů se musí používat sladinné filtry. Tyto stroje se používají pro sladové náhražky.
- Dispergátory – jsou šrotovníky tvořené ozubenými koly.

Varny

Jak hovoří pan Kunze [6], existuje několik typů varen, které jde rozdělit podle počtu nádob na:

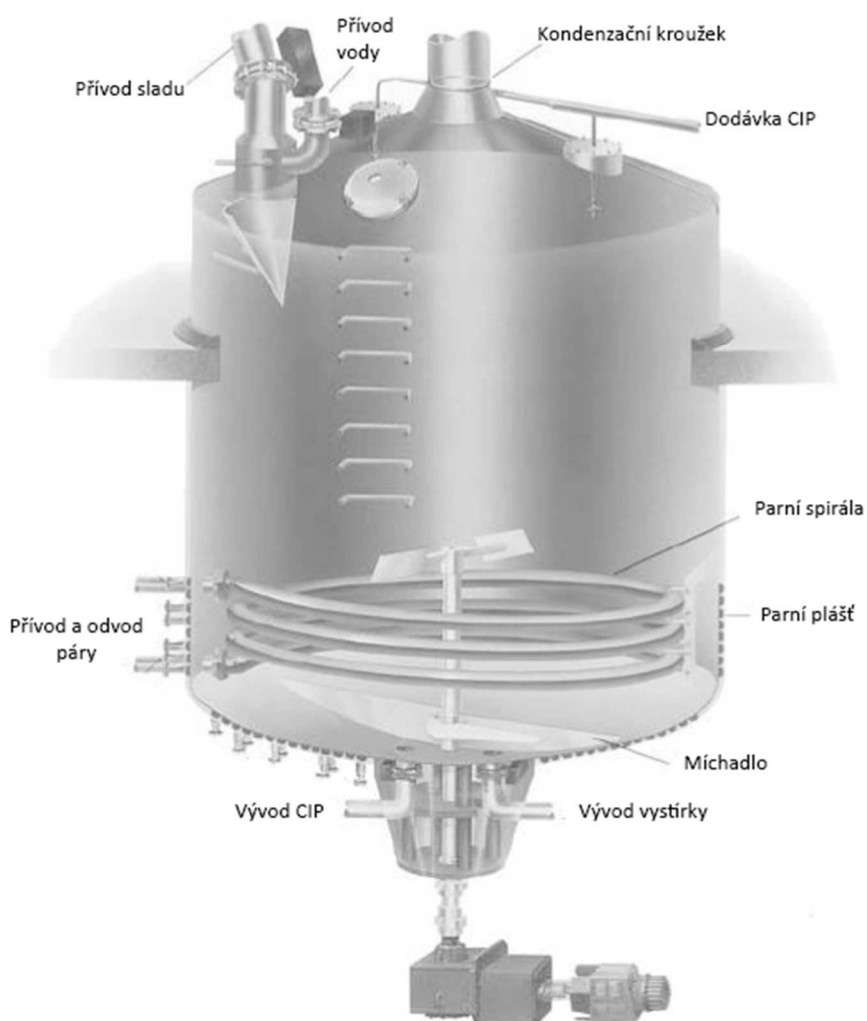
- Jednoduché – tyto varny se skládají z dvou nádob. Jedna slouží jako pánev a využívá se k ohřevu vody pro vystírání, rmutování a následně i k chmelovaru. A druhé nádoby – kádě, které se využívá pro scezování a při dekokčním rmutování se do ní přečerpá právě neohříváná část díla. Jelikož toto uspořádání dokáže vyprodukovat 1–2 várky denně, používá se nejčastěji v minipivovarech a restauračních pivovarech.

- Dvojité – toto uspořádání obsahuje čtyři nádoby. Dvě pánve, jednu na rmutování a druhou na chmelovar, takzvanou mladinovou pánev. Dvě kádě, jednu na vystírání a druhou na scezování mladiny.
- Více nádobové – jelikož velké pivovary se snaží uvařit co nejvíce várek denně, dochází k zdvojnásobování některých nádob a přibývá i sběrač sladiny. Nádoby, které bývají zdvojnásobovány, jsou nejčastěji ty, ve kterých proces trvá nejdéle. To jsou hlavně scezovací kádě a mladinové pánve.

Basařová [7] dále dodává, že mohou existovat dále varny spádové, blokové a hydrovarny. Jelikož pro účel minipivovarů se nevyužívají, nebudeme se jimi zde dále věnovat.

Vystírací kád'

Dle Chládky [1] je vystírací kád' zpravidla kruhová nádoba s vypouklým nebo rovným dnem. Původně ze dřeva, které postupně nahradil kov. Současně je nejpoužívanější nerezová ocel. Důležitým prvkem pro vystírací kád' je míchadlo, které zajišťuje dobré rozmíchání vody a sladu. Jelikož k vystírání je zapotřebí horké vody tak ji lze dodat ze zásobníku horké vody anebo se vystírací kád' opatřuje vyhřívacími prvky, což z ní dělá vystírací pánev. Na obrázku 5 je uvedeno schéma vystírací pánve, jak jej uvádí Bamforth [8].



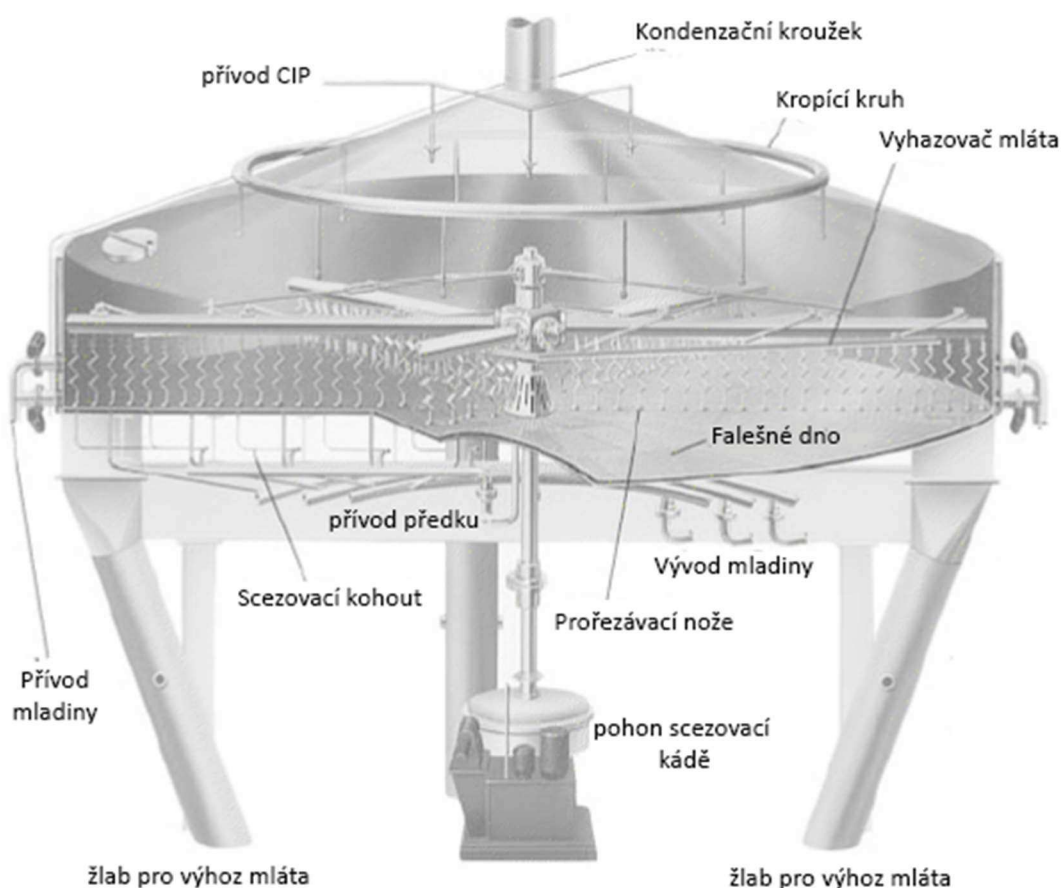
Obrázek 5 - Schéma vystírací pánve

Rmutovací pánev

Rmutovací pánev, jak o ní hovoří Chládek [1], je stejně jako vystírací kád' kruhová nádoba z oceli. Kvůli stejnoměrnému ohřevu rmutu musí být vybavena míchadlem. Rmutovací pánev se většinou vyhřívá parou díky tomu, že pára zajišťuje rovnoměrný ohřev. Ovšem některé varny se stále dělají s přímým ohřevem, kvůli následným vlastnostem piva.

Scezovací kád'

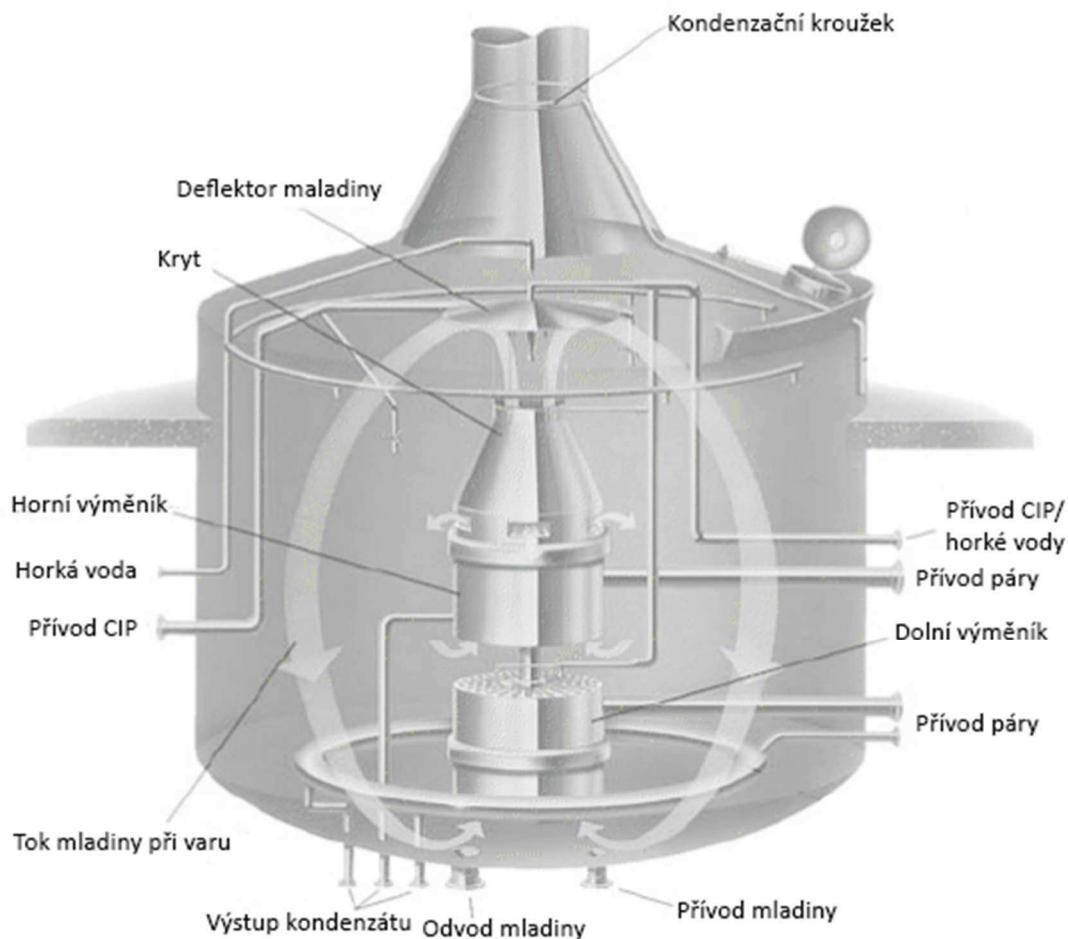
Jak říká Chládek [1], tak i scezovací kád' je kruhová nádoba z oceli. Ovšem scezovací kád' oproti ostatním má navíc takzvané „falešné dno“, což je děrovaná přepážka, na které se při scezování usazuje mláto. Navíc obsahuje čerpadlo, které přečerpává první, špatně scezené, výstřelky (předek) zpět do scezovací kádě. Pro zajištění dostatečného průtoku je důležité takzvané prořezávání mladiny, což mají na starosti otočné nože, u kterých je možné regulovat mezeru mezi noži i výšku od falešného dna. Navíc jsou vybaveny sklopnou lištou pro výhoz mláta. Schéma scezovací kádě od Bamfortha [8] je uvedeno na obrázku 6.



Obrázek 6 - Schéma scezovací pánve

Mladinová pánev

Jak uvádí Chládek [1], mladinová pánev je velice podobná rmutovací pánvi. Mladinová pánev je ovšem větší, jelikož se v ní ohřívá celé dílo. Schéma mladinové pánve podle Bamfortha [8] lze vidět na obrázku 7.



Obrázek 7 - Schéma mladinové pánve

Kvasné kádě

Kvasné kádě se dělí na Cylindro-kónické tanky (zkráceně CK tanky nebo CKT) a spilky.

Spilky, podle webu pivnitanky.cz [9], jsou otevřené kvasné kádě, vyráběné z nerezové oceli, které mají dlouholetou tradici při vaření piva v Čechách. Výhodou při kvašení ve spilce je možnost sběru deky na povrchu piva. V dnešních dobách, ale jsou již vytlačovány CK tanky a zůstávají doménou malých pivovarů.

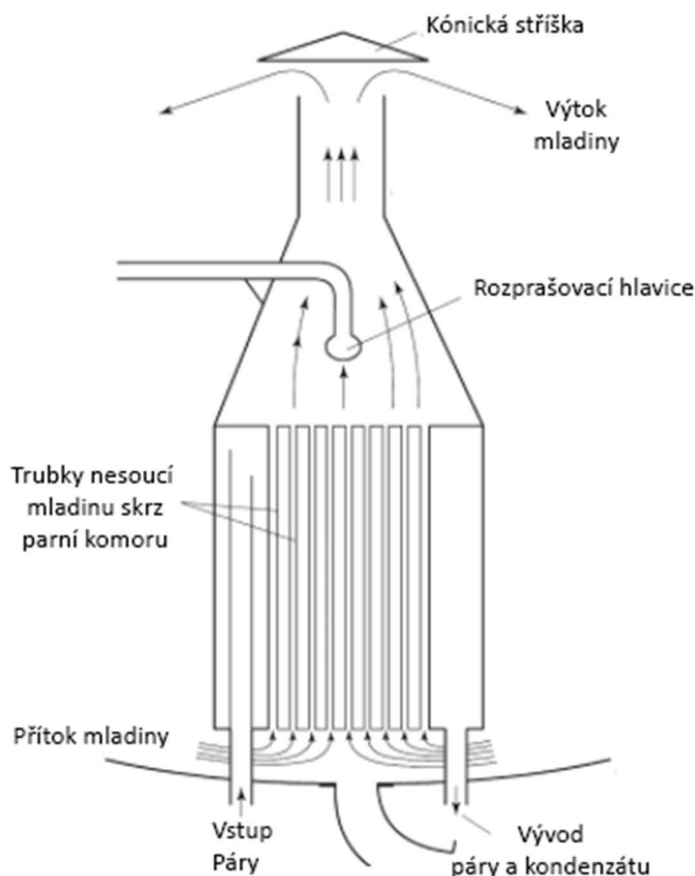
CK tanky, jak o nich píše Chládek [1], nahrazují spilky díky možnosti automatizace a snadné sanitace. Další výhodou CK tanků je, že zabírají menší půdorysnou plochu než spilky. Také díky uzavření nádoby může kvašení probíhat pod přetlakem, což jej urychlí.

Řízení výroby

Způsob ohřevu

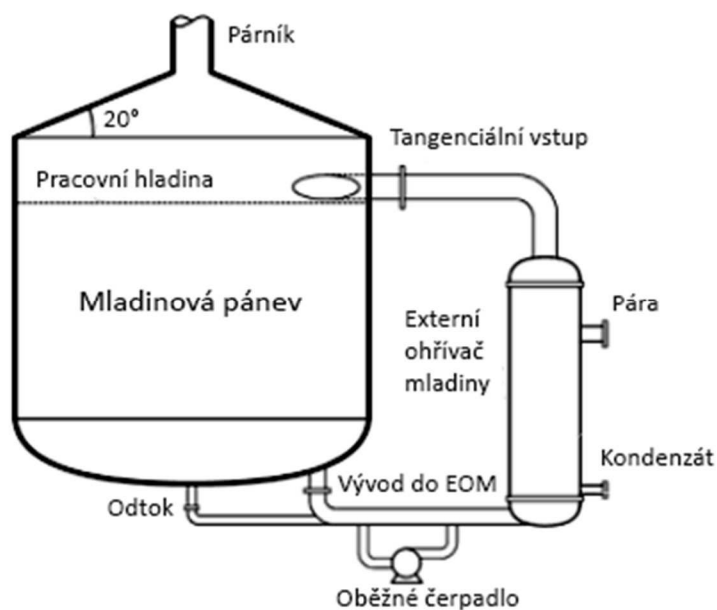
Jak uvádí Chládek [1], pro ohřev pánve je nejrozšířenější ohřev pomocí páry. Ohřev pomocí páry může být proveden několika způsoby.

Poměrně jednoduchý na provedení je parní ohřev s vnitřním vařákem, při tomto provedení je uprostřed pánve umístěn trubkový výměník, osazený v horní části, nad hladinou vařícího se díla, kónickou stříškou. Trubky tohoto výměníku slouží k přívodu páry do vařáku, i jako k odvodu kondenzované páry. Během ohřevu díla dochází k jeho varu, to má za následek, že dílo vychází z výměníku jako směs páry a kapaliny, kde naráží na kónickou stříšku a je usměrněna zpět na hladinu díla. Jelikož toto provedení parního ohřevu nenechává prostor pro míchadlo a při rmutování by mohlo doházet k usazování pluch, nedoporučuje se pro jednoduché uspořádání varny a je vhodnější spíše pouze pro mladinové pánve. Schéma vnitřního vařáku je uvedeno na obrázku 8 (dle Briggse [10]).



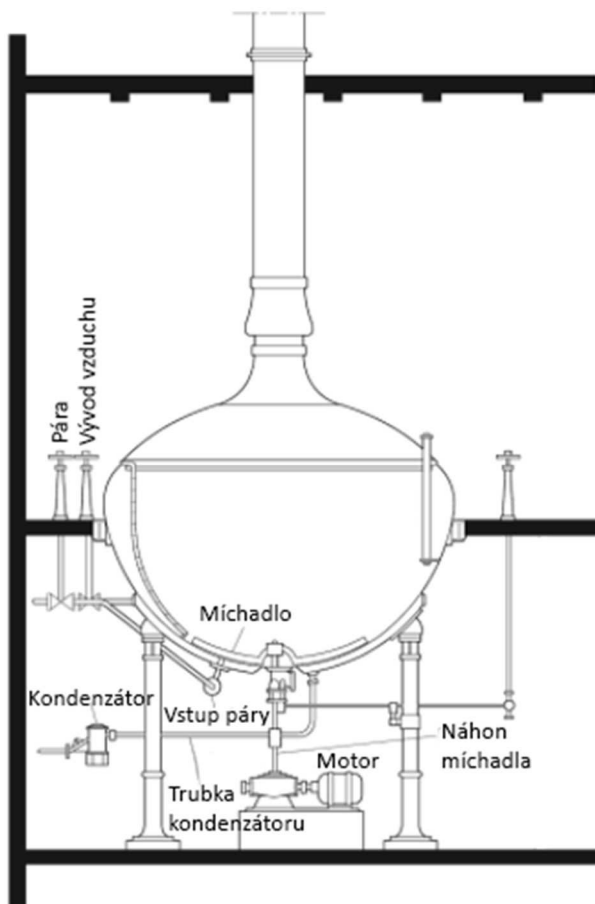
Obrázek 8 - Schéma parního ohřevu s vnitřním vařákem

Dalším provedením parního ohřevu je ohřev s vařákem externím. Toto provedení je nejnáročnější na výrobu. Výměník, který může být deskový či trubkový, je umístěn mimo vlastní nádobu a dílo je do výměníku nasáváno externím čerpadlem. Dílo je pak vráceno do pánve potrubím, které je na ni tangenciálně napojeno. Výhodou tohoto vařáku je možnost nastavení teploty a objemu průtoku na jeho výstupu. Další výhodou je možnost vaření nízkotlakou párou. Na obrázku 9 je uvedeno schéma tohoto ohřevu podle Briggse [10].



Obrázek 9 - Schéma parního ohřevu s externím vařákem

Nejjednodušším vytápěním pánve pomocí páry je vedením páry do dvojité stěny a dvojitého dna (nádobu s duplikátorem) – tento ohřev je vhodný i pro rmutovací pánve a jednoduché varny. Na obrázku 10 je uvedeno schéma ohřevu pomocí duplikátoru dle Briggse [10]



Obrázek 10 - Schéma parního ohřevu pomocí duplikátoru

Další možností pro ohřev pánve jsou elektrická topná tělesa. Vhodnější k ohřevu kapalin jsou trubková topná tělesa, která ovšem mají poměrně velkou tepelnou setrvačnost. A jsou poměrně složitě konstruovaná, což by komplikovalo čištění.

Mnohem vhodnější jsou tištěná topná tělesa. Tyto podle Heatronu [11] mají menší tepelnou setrvačnost, rychlý náběh teploty, mohou dosahovat velkého povrchového zatížení a díky tomu, že jsou nalepeny na vnější straně pánve odpadají problémy s čištěním. Bohužel tyto tělesa vyžadují rovnou plochu k přilepení, což klade požadavek na rovné dno pánve.

Další možnosti ohřevu pánve je přímý ohřev, který se nejčastěji realizuje plynovými či olejovými hořáky. Ty se ovšem hůře regulují a přibývá u nich problém s odvodem spalin. I tak jsou i v dnešních dobách používány pro docílení jiskrnější mladiny.

Přehled výukových varen v ČR z hlediska ohřevu:

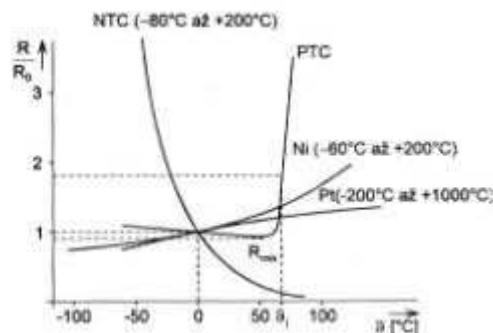
- Výukové varny s parním ohřevem – Parní ohřev se nejčastěji využívá především u velkých pivovarů, ale i u řady minipivovarů. Z hlediska varen pro výukové účely je parním ohřevem vybavena varna výukového minipivovaru ČZU [12]. Nutno podotknout, že se jedná o varnu o výstavu 10 hl mladiny/várka a jako výuková varna této velikosti je prakticky jediná.
- Výukové varny s elektrickým ohřevem – Jedná se o menší výukové varny a jsou rozšířenější. Jedná se zejména o novou varnu VŠCHT [13] (výstav mladiny max. 100 l/várku). Obdobně je řešena i výuková varna Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně [14].
- Výukové varny s přímým ohřevem – Tito výukové mikrovarny jsou ohřívány nejčastěji plynovými hořáky skrze dno pánve. Tímto způsobem ohřevu je vybavena stará varna VŠCHT [13] o výstavu 70 l mladiny/várku.

Měření teploty

Jak uvádí Kreidl [15], pro měření teploty si můžeme vybrat z několika možností. Pro jednoduchou automatizaci se zaměřím na elektrické senzory:

- Kovové odporové senzory teploty – principem těchto senzorů je závislost odporu čidla na jeho teplotě. K výrobě těchto senzorů se používají tyto kovy:
 - Platina – platinové snímače mají, díky vysoké teplotě tání, velký rozsah měřitelných teplot (-200 °C až 850 °C). Další vynikající vlastností platin je její chemická netečnost. A další výhodou platiny je poměrně lineární závislost odporu na teplotě.
 - Nikl – niklové snímače mají oproti platině výhodu, že mají větší citlivost a rychlejší odezvu. Nevýhodou ovšem je malý teplotní rozsah (-70 °C až 150 °C), menší dlouhodobá stabilita, odolnost proti působení prostředí a značná nelinearita závislosti odporu na teplotě.
 - Měď – měď se používá v rozsahu -50 °C až 150 °C, kde se dá závislost odporu dobře linearizovat. Bohužel díky malé stabilitě se měděné snímače běžně nevyrábí.

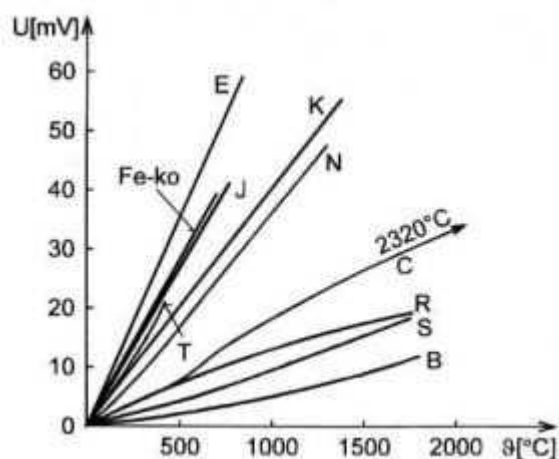
- Polovodičové odporové senzory teploty – fungují na stejném principu jako odporové senzory kovové, jen se k jejich výrobě používá polovodičů. Jak říká web VŠCHT [16], tyto senzory jsou vyráběny spékáním oxidů: Fe_2O_3 , TiO_2 , CuO , MnO , NiO , CoO , BaO a dalších. Rozdělují se na negasty (NTC) a pozistory (PTC). Výhoda polovodičových senzorů je ve větší citlivosti a menší rozměry. Nevýhodou je nelineární závislost odporu. Tyto senzory se nejčastěji využívají pro malé rozsahy, kde je snadné linearizovat závislost odporu. Pro srovnání je na obrázku 11 graf teplotní závislosti odporových senzorů.



Obrázek 11 - Porovnání teplotní závislosti odporových senzorů [15]

- Monolitické PN senzory – jsou založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Mají rozsah -55 $^{\circ}\text{C}$ až 150 $^{\circ}\text{C}$.
- Termoelektrické články – jsou snímače založené na Seebeckově jevu, tj. jevu, při kterém dochází k přeměně tepelné energie na elektrickou. Termoelektrické články jsou tvořeny dvěma vodiči, kteří jsou na obou koncích vodičů spojeni. Pokud se teplota na jednom ze spojených konců liší od teploty druhého konce, vzniká v obvodu napětí a dochází v obvodu k průtoku proudu. Jelikož k výrobě termočlánku stačí pouze dva různé vodiče, vzniklo mnoho typů termočlánků s různými vlastnostmi. Podle použitých materiálů byly termočlánky normalizovány. K jejich označení se používají velká písmena:
 - Typ K – složení: NiCr – NiAl, rozsah teplot: 0 $^{\circ}\text{C}$ až 1100 $^{\circ}\text{C}$, je vhodný pro oxidační a inertní atmosféru.
 - Typ T – složení: Cu – CuNi, rozsah teplot: -185 $^{\circ}\text{C}$ až 300 $^{\circ}\text{C}$, vhodný pro kryogenní aplikace. Vhodný pro redukční i oxidační atmosféru.
 - Typ J – složení: Fe – CuNi, rozsah teplot: 20 $^{\circ}\text{C}$ až 700 $^{\circ}\text{C}$, vhodný pro redukční, oxidační i inertní atmosféru.
 - Typ N – složení: NiCrSi – NiSiMg, rozsah teplot: 0 $^{\circ}\text{C}$ až 1100 $^{\circ}\text{C}$, je vhodný pro cyklickou změnu teplot. Vhodný pro jadernou energetiku.
 - Typ E – složení: NiCr – CuNi, rozsah teplot: 0 $^{\circ}\text{C}$ až 800 $^{\circ}\text{C}$, vhodný pro středně oxidační atmosféru.
 - Typ R – složení: PtRh13 – Pt, rozsah teplot: 0 $^{\circ}\text{C}$ až 1600 $^{\circ}\text{C}$, odolný vůči oxidaci a korozi.
 - Typ S – složení: PtRh10 – Pt, rozsah teplot: 0 $^{\circ}\text{C}$ až 1550 $^{\circ}\text{C}$, stejné využití jako typ R.
 - Typ B – složení: PtRh30-PtRh6, rozsah teplot: 100 $^{\circ}\text{C}$ až 1000 $^{\circ}\text{C}$, Využívá se při vysokých teplotách.
 - Typ G – složení: W – WRh, rozsah teplot: 20 $^{\circ}\text{C}$ až 2320 $^{\circ}\text{C}$, vhodný do extrémně vysokých teplot, a je chemicky stabilní.
 - Typ C – složení: WRh5 – WRh26, rozsah teplot: 50 $^{\circ}\text{C}$ až 1820 $^{\circ}\text{C}$, stejné vlastnosti jako typ G.

Pro přehled uvádím na obrázku 12 Charakteristiku vybraných termočlánku podle Kreidla [15]:



Obrázek 12 - Charakteristika vybraných termočlánků

Pro shrnutí uvádím tabulku výhod a nevýhod jednotlivých senzorů dle webu VŠCHT [16]:

	Výhody	Nevýhody
Kovový odporový senzor	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoká stabilita - Vysoká přesnost - Linearita závislosti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoká cena - Potřeba napájecího zdroje - Nízká hodnota odporu a jeho malá změna - Zahřívání proudem
Polovodičový odporový senzor	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoká citlivost - Rychlá odezva 	<ul style="list-style-type: none"> - Nelinearita závislosti - Omezený teplotní rozsah - Potřeba napájecího zdroje - Zahřívání proudem
PN senzory	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoká citlivost - Nízká cena 	<ul style="list-style-type: none"> - Pomalá odezva - Zahřívání proudem - Omezené použití - Potřeba napájení
Termočlánky	<ul style="list-style-type: none"> - Jednoduchost - Nízká cena - Odolný - Široký teplotní rozsah - Široce použitelný 	<ul style="list-style-type: none"> - Nelineární - Nízká úroveň signálu - Nutnost referenčního signálu - Nízká citlivost a stabilita

Tabulka 1 - Srovnání výhod a nevýhod tepelných senzorů

Řídicí systémy

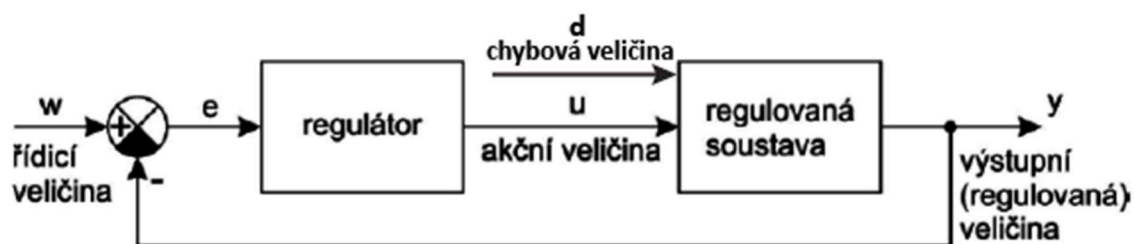
K řízení systému můžeme využít logické nebo spojitě řízení, jak o něm píše Zítek [17].

Logické řízení je poměrně jednoduché na provedení, jelikož akční zásahy se zjednoduší na děj probíhá nebo děj neprobíhá. V logickém řízení dále můžeme zanedbat dynamiku systému.

U spojitěho řízení se řízená veličina sleduje jako spojitě proměnná a akční veličina, řídicí sledovanou veličinu, je také spojitě proměnná. K řízení těchto veličin se využívají regulátory. Spojení regulátoru a řízeného procesu vytváří nový dynamický systém, jehož dynamické vlastnosti ovlivňují správně navržené parametry regulátoru. Ovšem pro správné navržení regulátoru je důležité určit model dostatečně vystihující vlastnosti řízeného systému.

Regulátory se zapojují podle obrázku 13. Jak lze vidět, tak do regulátorů přichází regulační odchylka e . Regulační odchylka e je rozdíl mezi řídicí veličinou w a regulovanou veličinou y . Regulátor

tedy na základě regulované odchylky vyšle akční veličinu u do regulované soustavy. Akční veličina má za úkol přizpůsobit podmínky v regulované soustavě, aby bylo dosaženo požadované řídicí veličiny. Do regulované soustavy navíc přichází chybová veličina d , která ovlivňuje regulovanou veličinu.



Obrázek 13 - Schéma řídicího systému se zpětnou vazbou [17]

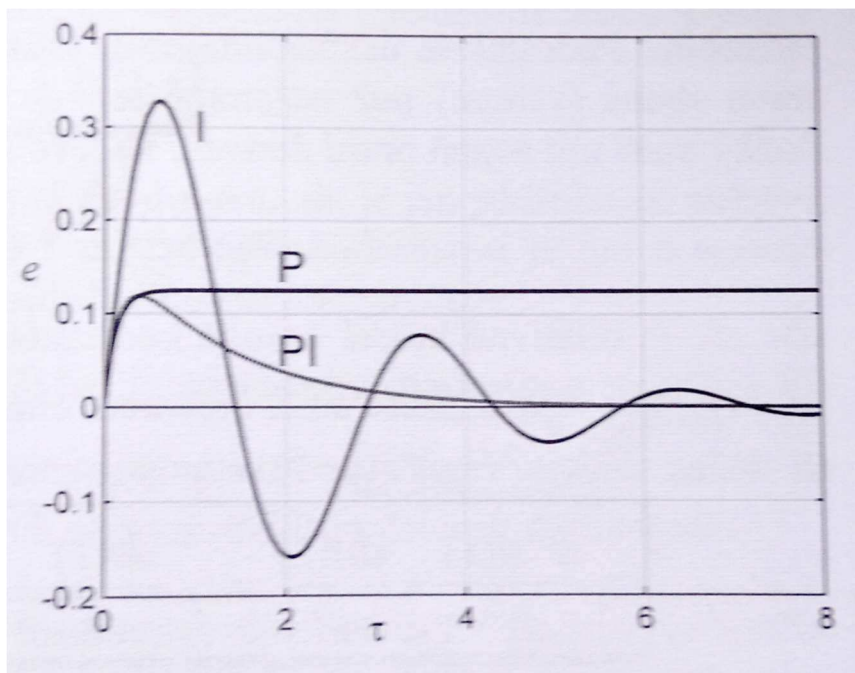
Regulátor je konstruován, aby pracoval podle určité diferenciální rovnice. Tato rovnice se uvádí ve tvaru:

$$u'(t) = r_p e'(t) + r_i e(t) + r_D e''(t) \quad (1)$$

Dynamické vlastnosti soustavy závisí na nastavených koeficientech r_p , r_i a r_D . Podle těchto koeficientů se regulátor označuje jako PID regulátor.

Nejjednodušším typem regulátoru je takzvaný P regulátor, kdy koeficienty r_i a r_D jsou nulové. Zůstává pouze koeficient r_p , který se nazývá proporcionální. Výhodou tohoto regulátoru je jednoduchost na realizaci. Nevýhodou je že při použití P regulátoru vzniká nenulová trvalá regulační odchylka.

Pro odstranění trvalé regulační odchylky se používá I regulátor u kterého jsou nulové koeficienty r_p a r_D . Bohužel nevýhodou I regulátoru je, že při snaze dosáhnout nulové odchylky dochází k velkým překmitům regulační odchylky jak ukazuje obrázek 14.



Obrázek 14 - Srovnání regulačních odchylek pro různé regulátory [17]

Proto se nejčastěji využívá kombinace P a I regulátoru, kdy dostaneme příznivé dynamické vlastnosti systému, jak ukazuje obrázek 14.

Pro zlepšení vlastností PI regulátoru, jak udává Peacock [18], se může přidávat D regulátor, který více stabilizuje systém a díky tomu můžeme pomocí P a I složek urychlit přechod na požadovanou hodnotu. Nevýhodou D regulátoru je jeho náchylnost na šum přijatého signálu.

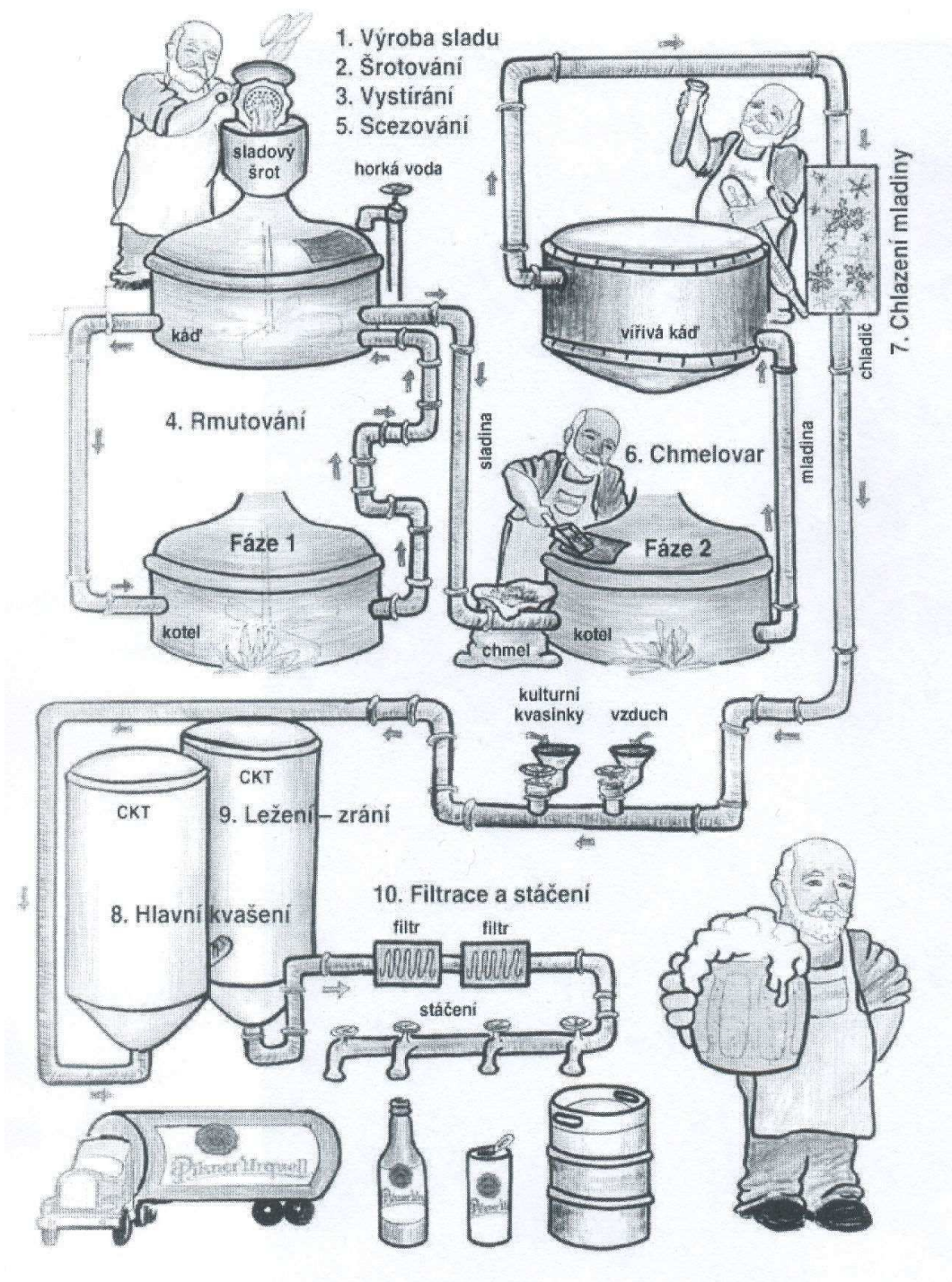
Pro realizaci řízení, jak uvádí Kovář [19], se používají programovatelné automaty (PLC). Ty nahradili zastaralé řízení pomocí relé spínačů a dokáží zpracovávat jak logické úlohy, tak analogické. Do tohoto automatu se nahraje předem připravený program, a automat ho následně vykonává.

Pro vytvoření programu existuje hned několik způsobů:

- Jazyk mnemokódů
- Jazyk kontaktních schémat – program pracuje se základními logickými prvky, grafickou formou v podobě schémat reléových prvků
- Jazyk logických schémat – grafický jazyk, který pracuje s funkčními bloky.
- Jazyk strukturovaného textu – přibližuje se vyšším programovacím jazykům jako je Pascal nebo C
- Grafické prostředí pro sekvenční řízení – graficky popisuje sekvenci daných úloh a podmínky k přechodu z jedné úlohy do druhé.

Shrnutí z literární rešerše

Shrnutí technologického postupu nejlépe vyjádří obrázek číslo 15 z webu hotelový provoz [20].



Obrázek 15 - Schéma postupu výroby piva

Dále z rešerše získáváme další důležité poznatky pro pokračování práce:

- Důležité teploty pro vystírání a rmutování. Zároveň i potřebné rychlosti ohřevu pro docílení důležitých teplot při rmutování.
- O rmutování jsme se dále dozvěděli, že existuje více způsobu, tj. dekokční a infuzní. Přičemž nejčastěji v Čechách používaný způsob rmutování je dekokční rmutování na dva rmuty.
- Dále jsme se dozvěděli o uspořádání varen. Existují tři hlavní typy a to jednoduché, dvojité, a více nádobové varny. Nejvyužívanější v mikropivovarech jsou varny jednoduché. Ty jsou složeny ze dvou nádob, jedné pánve a jedné kádi.
- Pro ohřev pánve existuje několik možností, parní ohřev, elektrický ohřev a přímý ohřev plynovým nebo olejovým hořákem. Pro mikropivovary je vhodné využít elektrického ohřevu, jelikož oproti parnímu ohřevu je levnější a jednodušší na konstrukci a oproti přímému ohřevu se lépe reguluje.
- Pro měření teplot existuje velké množství senzorů. Pro návrh měření teploty ve varně mikropivovaru je vhodné volit takový snímač, který bude dobře chemicky odolný, bude přesný a ideálně bude v rozsahu teplot 20–100 °C co nejvíce lineární.
- Řízení systému může probíhat logicky či spojitě. Při logickém řízení lze zanedbat dynamické vlastnosti. U spojitého řízení se sledují dynamické vlastnosti soustavy a pro jejich zlepšení se zapojují PID regulátory.

Návrh

Cílem této práce bylo navrhnout způsob ohřevu varny výukového mikropivovaru, jeho regulaci a způsob měření a sběru dat. Pro návrh bylo zadáno jednoduché uspořádání varny s výstavem mladiny 50 l na várku.

Návrh nádoby

Jelikož výstav má být 50 litrů, je třeba zvážit, jaký objem bude potřeba na nádobu. Do celkového objemu nádoby by měl být započítán i objem sladu, který je potřeba. Jak uvádí Chládek [1], pro výrobu 100 litrů 12 % piva je nutno přibližně 17-20 kg sladu. Tedy pro potřeby výukové varny bude potřeba 10 kg sladu. Jelikož extrahovaný slad musí být z díla vyloučen, musí se počítat s větším objemem. Hustota sladu je $\rho_s = 1\,130 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tedy objem sladu je $V_s = 8,8 \text{ l}$. Dále by neměly být opomenuty ztráty, vzniklé odpařením vody při ohřívání. Kvůli tomu je počítáno s přírůžkou objemu 10 % vody navíc. Tedy výsledný objem potřebné nádoby je alespoň 63,8 l.

Pro návrh nádoby byl zvolen poměr mezi výškou nádoby a jejím průměrem 1:1. Tento poměrně dobře minimalizuje plochu pro tento objem a tím minimalizuje ztráty tepla. Pro výpočet průměru byl použit vztah v rovnici 2:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 63,8}{\pi}} = 4,33 \text{ dm} \quad (2)$$

Výsledná hodnota byla zaokrouhlena na $d = 440 \text{ mm}$, a byla zvolena výška hladiny $H = 440 \text{ mm}$. Tedy objem zaplněné části je:

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{4} = \frac{\pi \cdot 440^3}{4} = 66,9 \text{ l} \quad (3)$$

Výšku nádoby je třeba zvolit vyšší než výšku zaplněné části, a tedy je zvolena výška nádoby $H_N = 600 \text{ mm}$. Tedy celkový objem nádoby je:

$$V_N = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H_N = \frac{\pi \cdot 440^2}{4} \cdot 600 = 91,2 \text{ l} \quad (4)$$

Dále je potřeba zvolit materiál nádoby. Nejvíce využívané materiály v konstrukci pivovarů jsou měď a nerezová ocel. Měď je výhodná kvůli dobré tepelné vodivosti. Bohužel je více náchylná na korozi a může ovlivnit chuť piva. Nerezová ocel má sice oproti mědi horší tepelnou vodivost, ale je odolnější vůči korozi. Pro své výhody byla zvolena nerezovou ocel, a to konkrétně ocel značky 1.4301 (AISI 304), jak doporučuje Partington [21]. A jak uvádí Swissprofile [22], tepelná vodivost tohoto materiálu je $\lambda = 15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tloušťku stěny volíme $s = 4 \text{ mm}$.

Návrh Ohřevu

Jelikož varna má být dobře automatizovaná, tak se pro ohřev nabízí dvě možnosti, buď parní ohřev, nebo elektrický ohřev. Jelikož parní ohřev je konstrukčně náročný a drahý, volíme ohřev elektrický, konkrétně ohřev pomocí tištěných topných těles, jelikož při jejich použití je jednodušší čištění, mají menší tepelnou setrvačnost a rychlejší náběh teplot.

Pro návrh topných těles je třeba si nejdříve spočítat, jaký výkon bude potřeba k ohřevu celého díla, přičemž rychlost ohřevu nemusí být větší než $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ za minutu. Budeme uvažovat, že dochází k rovnoměrnému prohřívání celého díla. Dalším předpokladem je, že hustota a tepelná kapacita díla

jsou stejné jako u vody (tedy hustota $\rho = 998,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a tepelná kapacita $c = 4182 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Změny hustoty a tepelné kapacity s rostoucí teplotou jsou zanedbány.

$$\dot{Q} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

Tedy potřebný výkon pro infuzní rmutování a chmelovar je:

$$\dot{Q} = 998,2 \cdot 4182 \cdot 66,9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1,5}{60} = 6981 \text{ W} \quad (6)$$

Abychom byli schopni dosáhnout přesného průběhu teplot při rmutování je potřeba si spočítat i nejmenší potřebný výkon, abychom ho byli schopni docílit navrhnutým způsobem ohřevu. Tedy nejmenší výkon je potřeba při ohřevu na vyšší cukrotvornou teplotu při dekokčním rmutování, kdy se ohřívá pouze jedna třetina díla. Tedy potřebný výkon je:

$$\dot{Q} = 998,2 \cdot 4182 \cdot \frac{1}{3} \cdot 66,9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,7}{60} = 1086 \text{ W} \quad (7)$$

Nesmíme zapomenout na ztráty tepla do okolí.

$$\dot{Q}_z = \frac{T_{in} - T_o}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot H \cdot r_{in} \cdot \alpha_{in}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot H \cdot r_{ex} \cdot \alpha_{ex}}} \quad (8)$$

α_{in} je podle Lejska [23] o mnoho větší atak může být zanedbána. Teplota okolí se předpokládá $T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\dot{Q}_z = \frac{100 - 25}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,44 \cdot 15 \ln \frac{0,224}{0,22}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,44 \cdot 0,224 \cdot 15}} = 694 \text{ W} \quad (9)$$

Tedy celkový potřebný výkon je:

$$\dot{P} = \dot{Q} + \dot{Q}_z = 6981 + 694 = 7675 \text{ W} \quad (10)$$

Navíc je třeba započítat účinnost topných těles, která je v rozmezí 70–95 %. Odhadujeme účinnost na 80 %. Tedy potřebný výkon těles je:

$$P = \frac{\dot{P}}{0,8} = \frac{7675}{0,8} = 9593 \text{ W} \quad (11)$$

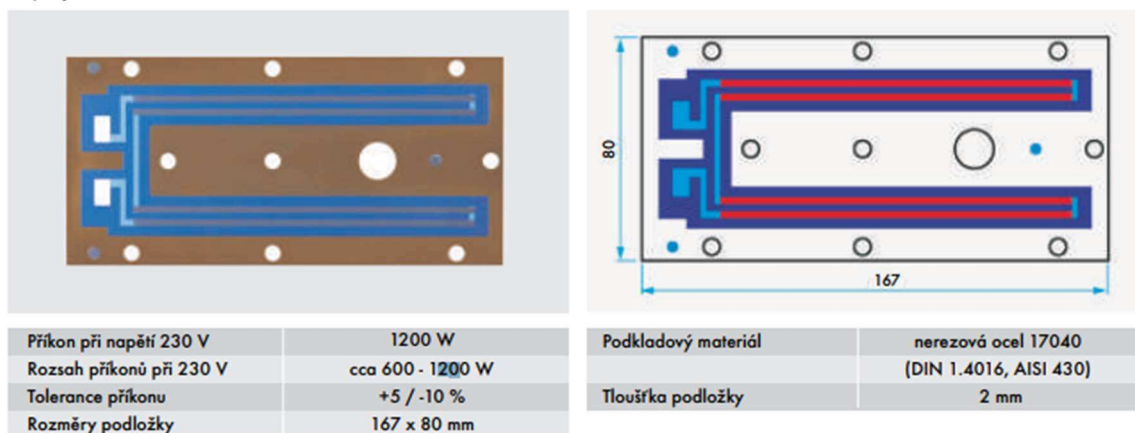
Pro výběr topných těles byl použit katalog firmy Backer [24]. Bylo vybráno šest topných těles. Čtyři tělesa, která jsou v katalogu označena jako topný element č.7 a dvě topná tělesa, označena jako topný element č.2. Jejich parametry jsou na obrázku 16 a 17.

Topný element č. 7



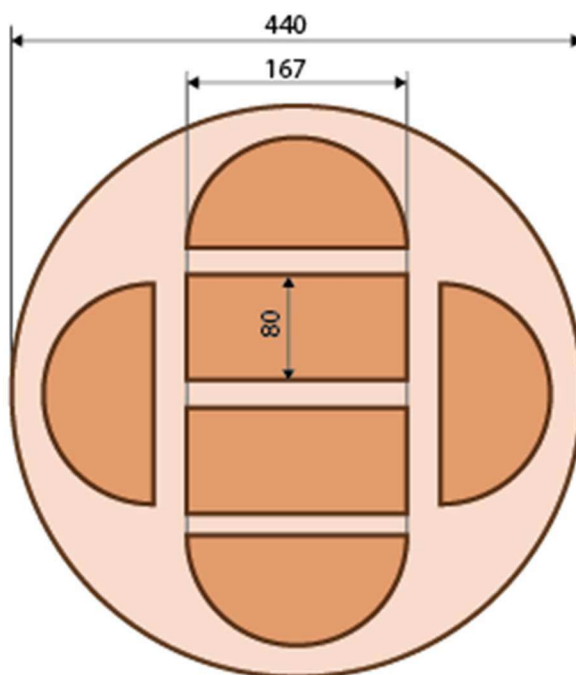
Obrázek 16 - Topný element č.7 [24]

Topný element č. 2



Obrázek 17 - Topný element č.2 [24]

Dohromady tato tělesa mají příkon 10 400 W. Jejich rozmístění na dně nádoby je vyobrazeno na obrázku číslo 18.



Obrázek 18 - Schéma rozmístění topných těles

Návrh snímače teploty

Pro měření teploty byly voleny kovové odporové snímače Pt100, protože tyto snímače disponují velkou stabilitou, chemickou odolností a dobrou linearitou pro převod teploty. Konkrétně byl zvolen snímač Baumer TE2 [25].

Jak udává Strnad [26] na vliv měření teploty má i hloubka ponoru snímače. Proto volíme délku stonku $l = 154 \text{ mm}$, kdy by podle Strnada měla vznikat nejmenší chyba měření. Pro volbu vzdálenosti mezi dnem a snímačem si musíme uvědomit, že snímač musí být dostatečně ponořen. Minimální výšky hladiny se dosahuje při rmutování, kdy je vařena pouze třetina celkového objemu. Výška hladiny při rmutování je:

$$H_r = \frac{H}{3} = \frac{440}{3} \doteq 145 \text{ mm} \quad (12)$$

Volíme tedy vzdálenost umístění snímače ode dna zhruba uprostřed této vzdálenosti. Tedy $H_s = 75 \text{ mm}$.

Dále Strnad uvádí, že vzniklá chyba samo ohřevem senzoru při měření vody je 0,0001 až 0,01 °C. Tuto chybu zanedbáme.



Obrázek 19 - Odporový senzor teploty Baumer TE2 [25]

Návrh řízení teploty

Ohřívání díla se v technologii výroby piva vyskytuje hned několikrát. Poprvé při vystírání, při tomto postupu je důležitý ohřev zapáčky, kterou je potřeba ohřát na přibližně 80 °C (pro určení teploty přesněji je potřeba znát, jestli vystírání bude probíhat za tepla nebo za studena). Dále při vystírání je ohřev první části vystírky, pokud bude probíhat vystírání za studena není třeba počítat s ohřevem, jelikož potřebnou teplotu bude mít voda ze zdroje. Při vystírání za tepla bude potřeba vodu ohřát na 35-38 °C.

Jelikož u zapařování není kladen důraz na rychlost ohřevu pro jeho řízení bude použito logického řízení, kdy po dosažení potřebné teploty se vypne přívod tepla. Dále bude uvažováno vystírání za studena.

Další ohřev se objevuje při rmutování. U tohoto postupu je důležité poměrně přesně dodržet rychlost ohřevu a dobu výdrže na konkrétních teplotách. Toho zde bude docíleno logickým řízením. Při ohřevu se na požadovanou teplotu se spočítá potřebný výkon, k dosažení správné rychlosti ohřevu a

tento výkon bude nastaven na topných tělesech. Po dosažení potřebné teploty se výkon topných těles zmenší (např. zařazením jen určitého počtu topných těles, nebo snížením napájecího napětí topných těles), aby pokrýval ztráty tepla do okolí a tím došlo k provaření za stálé teploty. V tomto stavu zůstane, dokud obsluha nepotvrdí, že došlo k dostatečnému povaření. Pro návrh je počítáno s infuzním rmutováním a s dekokčním rmutováním na dva rmuty. Potřebné výkony jsou pro infuzní rmutování jsou v tabulce číslo 2. Výkony pro rmutování na dva rmuty jsou uvedeny v tabulce číslo 3. V těchto tabulkách byl spočítán výkon pro ohřev podle rovnice 5, ztrátový výkon dle rovnice 8 a celkový výkon dle rovnice 10 a 11.

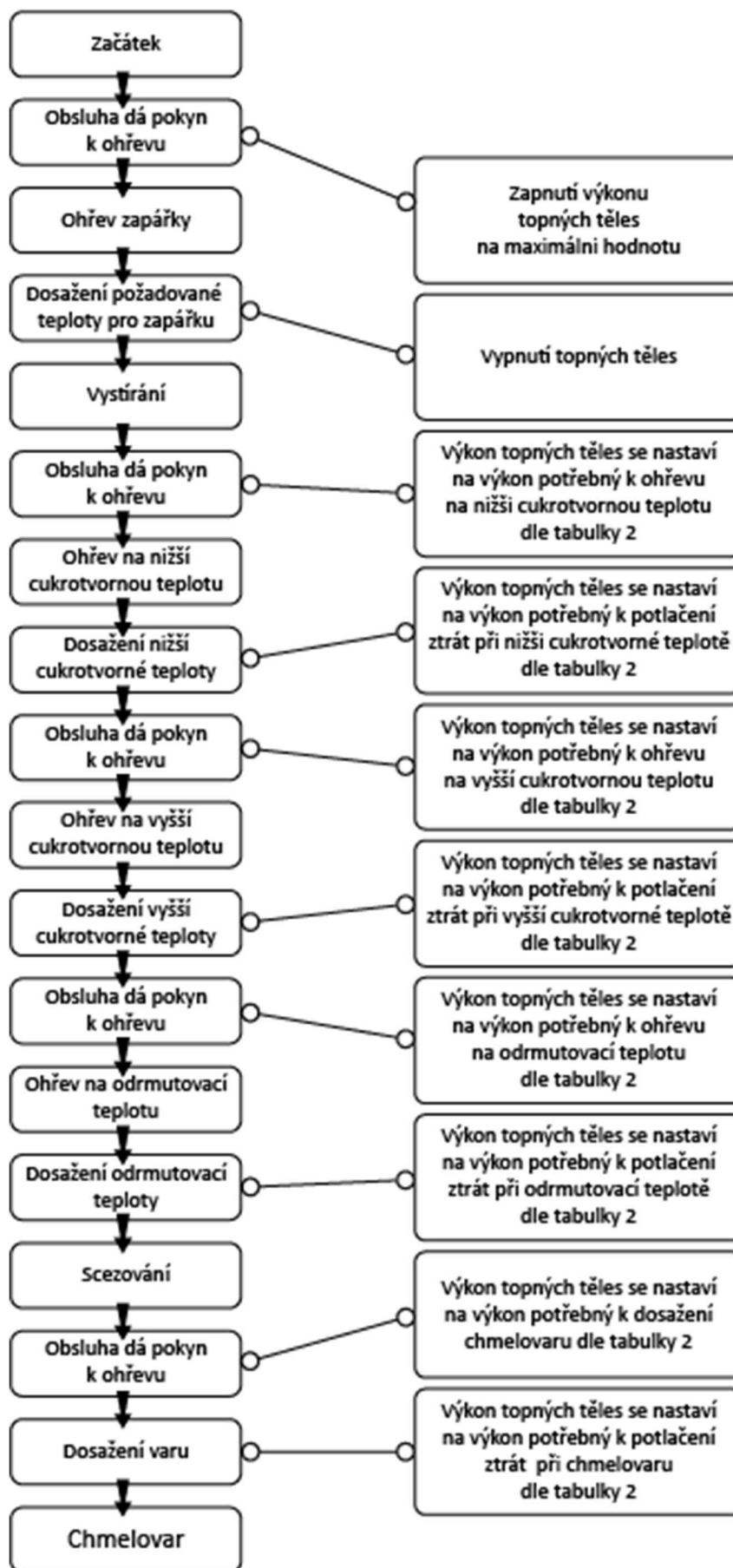
	Požadovaná teplota [°C]	rychlost ohřevu [°C/min]	Výška hladiny [mm]	Výkon pro ohřev [W]	Ztrátový výkon [W]	Celkový výkon [W]
Nižší cukrotvorná teplota	65	1	440	4655	370	6281
	65	0	440	0	370	463
Vyšší cukrotvorná teplota	72	0,7	440	3258	435	4616
	72	0	440	0	435	544
Odrmutovací teplota	78	1	440	4655	490	6431
	78	0	440	0	490	613
Chmelovar	100	1,5	440	6982	694	9595
	100	0	440	0	694	867

Tabulka 2 - Přehled potřebných výkonů pro infuzní rmutování

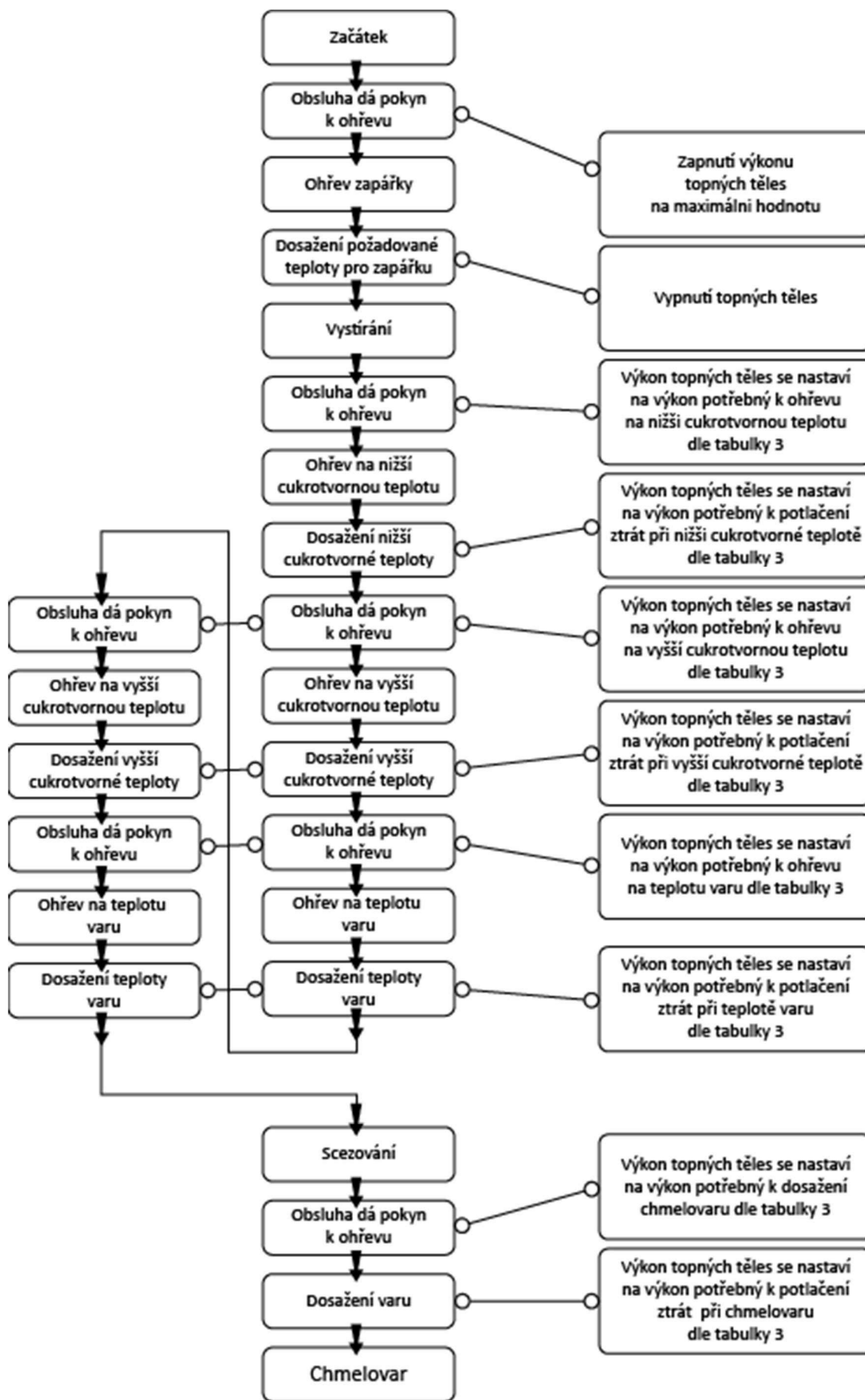
	Požadovaná teplota [°C]	rychlost ohřevu [°C/min]	Výška hladiny [mm]	Výkon pro ohřev [W]	Ztrátový výkon [W]	Celkový výkon [W]
Nižší cukrotvorná teplota	64	1	145	1534	119	2066
	64	0	145	0	119	149
Vyšší cukrotvorná teplota	74	0,7	145	1074	149	1529
	74	0	145	0	149	187
Teplota varu	100	1,5	145	2301	229	3162
	100	0	145	0	229	286
Chmelovar	100	1,5	440	6982	694	9595
	100	0	440	0	694	867

Tabulka 3 - Přehled potřebných výkonů pro dekokční rmutování na dva rmuty

Posledním případem ohřevu je chmelovar. Zde je potřeba dosáhnout buď varu a na bodě varu vařit. Pro chmelovar byl navržen stejný způsob řízení jako u rmutování. Potřebné výkony pro chmelovar jsou v tabulce 2 a 3. Pro názornost je na obrázku 20 uveden diagram pro řízení výroby piva, při použití infuzního rmutování. Na obrázku 21 je uveden diagram pro řízení výroby piva, při použití dekokčního rmutování na dva rmuty.



Obrázek 20 - Diagram řízení výroby piva při infuzním rmutování



Obrázek 21 - Diagram řízení výroby piva při dekokčním rmutováním na dva rmuty

Závěr

V rešeršní části této bakalářské práce byl shrnut postup výroby piva, především pak postupy vystírání, rmutování a chmelovaru. Postup rmutování je nejsložitější na regulování ohřevu, protože je zde důležité poměrně přesně docílit správných teplot, rychlostí ohřevu a doby výdrže na daných teplotních stupních. Dále se rešerše zabývá strojní vybavením pivovaru, především varny. A to uspořádáním varny a konstrukcí jednotlivých nádob. Na konci rešerše je seznámení se způsoby ohřevu, snímání a regulace teploty.

Na základě těchto poznatků je navrhována dvou nádobová varna mikropivovaru s výstavem 50 l na várku. Pro tyto požadavky je vhodná nádoba o průměru $d = 440$ mm a výšce $H_N = 600$ mm. Tato nádoba bude vyrobena z nerezové oceli 1.4301 s tloušťkou stěny $s = 4$ mm.

Pro návrh ohřevu byl spočítán minimální potřebný výkon na $P = 9600$ W. Toho bylo docíleno pomocí šesti tištěných topných těles. Dohromady mají celkový příkon 10 400 W.

K snímání teploty bude sloužit odporový snímač Pt100. Jeho délka je volena $l = 154$ mm, tak aby docházelo k co nejlepšímu snímání teploty. Vzdálenost snímače ode dna je $H_s = 75$ mm.

Pro řízení teploty je zvoleno logické řízení, pomocí sekvenčních diagramů, díky kterému se nastaví potřebný výkon pro správnou rychlost ohřevu a při dosažení požadované teploty se výkon přenastaví na výkon potřebný k potlačení ztrát.

Seznam použitých symbolů a zkratek

d	Průměr nádoby	[mm]
H	Výška hladiny	[mm]
H_r	Výška hladiny při rmutování	[mm]
H_s	Vzdálenost mezi dnem a snímačem	[mm]
H_N	Výška nádoby	[mm]
l	Délka stonku teplotního senzoru	[mm]
s	Tloušťka stěny	[mm]
r_{in}	Vnitřní poloměr	[m]
r_{ex}	Vnější poloměr	[m]
V_N	Objem nádoby	[l]
V_s	Objem sladu	[l]
V	Objem zaplavené části	[l]
ρ	Hustota díla	[kg.m ⁻³]
ρ_s	Hustota sladu	[kg.m ⁻³]
T	Teplota	[°C]
T_{in}	Teplota díla	[°C]
T_o	Teplota okolí	[°C]
t	Čas	[s]
\dot{Q}	Tepelný výkon k ohřevu díla	[W]
\dot{Q}_Z	Ztrátový výkon	[W]
P'	Předběžný potřebný výkon	[W]
P	Minimální potřebný výkon	[W]
c	Tepelná kapacita díla	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
λ	Tepelná vodivost nádoby	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
α_{in}	Součinitel přestupu tepla mezi dílem a nádobou	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
α_{ex}	Součinitel přestupu tepla mezi okolím a nádobou	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
w	Řídící veličina	[-]
e	Regulační odchylka	[-]
u	Akční veličina	[-]
y	Regulovaná veličina	[-]
d_i	Chybová veličina	[-]
r_p	Proporcionální koeficient PID regulátoru	[-]
r_i	Integrační koeficient PID regulátoru	[-]
r_D	Derivační koeficient PID regulátoru	[-]
CK	Cylindro-kónické	
CKT	Cylindro-kónické tanky	
EOM	Externí ohříváč mladiny	

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Infuzní rmutování	6
Obrázek 2 - Dekokční rmutování na jeden rmut.....	7
Obrázek 3 - Dekokční rmutování na dva rmuty	7
Obrázek 4 - Dekokční rmutování na tři rmuty	8
Obrázek 5 - Schéma vystírací pánve	11
Obrázek 6 - Schéma scezovací pánve	12

Obrázek 7 - Schéma mladinové pánve.....	13
Obrázek 8 - Schéma parního ohřevu s vnitřním vařákem.....	14
Obrázek 9 - Schéma parního ohřevu s externím vařákem.....	15
Obrázek 10 - Schéma parního ohřevu pomocí dvojitého dna	15
Obrázek 11 - Porovnání teplotní závislosti odporových senzorů.....	17
Obrázek 12 - Charakteristika vybraných termočlánků.....	18
Obrázek 13 - Schéma řídicího systému se zpětnou vazbou	19
Obrázek 14 - Srovnání regulačních odchylek pro různé regulátory [12]	19
Obrázek 15 - Schéma postupu výroby piva.....	21
Obrázek 16 - Topný element č.7 [18].....	25
Obrázek 17 - Topný element č.2 [18].....	25
Obrázek 18 - Schéma rozmístění topných těles.....	25
Obrázek 19 - Odporový senzor teploty Baumer TE2.....	26
Obrázek 20 - Diagram řízení výroby piva při infuzním rmutování	28
Obrázek 21 - Diagram řízení výroby piva při dekokčním rmutováním na dva rmuty	29

Reference

- [1] L. Chládek, Pivovarnictví, Praha: Grada Publishing, a.s., 2007.
- [2] Pividky.cz, 28 Květen 2017. [Online]. Dostupné z: <http://www.pividky.cz/mapa.php>. [Přístup získán 16 Srpen 2017].
- [3] G. Basařová, J. Šavel, P. Basař a T. Lejsek, Pivovarství, Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010.
- [4] L. O. Eneje, S. O. Obiekezie, C. U. Aloh a R. C. Agu, „Effect of milling and mashing procedures on millet (*Pennisetum maiwa*) malt wort properties,“ *Process biochemistry*, č. 36, pp. 723-727, 2001.
- [5] M. A. Igyor, A. C. Ogbonna a G. H. Palmer, „Effect of malting temperature and mashing methods on sorghum wort composition and beer flavour,“ *Process biochemistry*, č. 36, pp. 1039-1044, 2001.
- [6] W. Kunze, Technology Brewing and Malting, Berlin: VLB Berlin, Germany, 2004.
- [7] G. Basařová a J. Čepička, Sladařství a pivovarnictví, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [8] C. Bamforth, Beer: Tap into the Art and Science of Brewing, Oxford: Oxford University Press, 2003.
- [9] Pivní tanky, „Otevřené kvasné kádě pro netlakové kvašení piva,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.pivnitanky.cz/>. [Přístup získán 14 červenec 2017].
- [10] D. E. Briggs, C. A. Boulton, P. A. Brookes a R. Stevens, Brewing Science and Practice, Cambridge: Woodhead publishing limited, 2004.

- [11 Heatron, „Thick Film heating elements,“ [Online]. Dostupné z:
] http://www.customcomponentsales.com/images/Heatron_THICK_FILM_Brochure.pdf. [Přístup získán 9 srpen 2017].
- [12 L. Chládek, „Výukový a výzkumný minipivovar,“ [Online]. Dostupné z: <https://pivovar.czu.cz/cs/>.
] [Přístup získán 17 Srpen 2017].
- [13 VŠCHT v Praze, „Technologický celek Pivovar Lachout,“ [Online]. Dostupné z:
] <http://ub.vscht.cz/ustav/vybaveni/technologie-lachout>. [Přístup získán 17 Srpen 2017].
- [14 Mendelova univerzita v Brně, „Podklady ústavu technologie potravin,“ [Online]. Dostupné z:
] <http://is.mendelu.cz/pracoviste/pracoviste.pl?id=29;nerozbaluj=1;zpet=/pracoviste/pracoviste.pl?strom=1>. [Přístup získán 17 Srpen 2017].
- [15 M. Kreidl, MĚŘENÍ TEPLITY - senzory a měřící obvody, Praha: Nakladatelství BEN, 2005.
]
- [16 VŠCHT - ústav počítačové a řídicí techniky, „Měření teploty,“ [Online]. Dostupné z:
] <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm#k4332>. [Přístup získán 31 červenec 2017].
- [17 P. Zítek, AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ - Sylaby a aplikace, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2016.
]
- [18 F. Peacock, „Control Solutions,“ [Online]. Dostupné z:
] https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html. [Přístup získán 14 Srpen 2017].
- [19 J. Kovář, Z. Prokopová a L. Šmejkal, „Programování PLC,“ [Online]. Dostupné z:
] http://www.spszl.cz/soubory/plc/programovani_plc.pdf. [Přístup získán 16 Srpen 2017].
- [20 Hotelovyprovoz.cz. [Online]. Dostupné z: <http://hotelovyprovoz.webnode.cz/maturitni-okruhy/napojova-gastronomie/>. [Přístup získán 16 Srpen 2017].
- [21 E. Partington a R. Štefec, „Korozivzdorné ocel v potravinářském a nápojářském průmyslu,“
] [Online]. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/StSt_in_FoodandBeverage_CZ.pdf. [Přístup získán 9 Srpen 2017].
- [22 Swissprofile.com. [Online]. Dostupné z: <http://www.swissprofile.com/data/documents/fiches-techniques/EN/304.pdf>. [Přístup získán 9 Srpen 2017].
- [23 T. Lejsek, „kvasnyprumysl.cz,“ 1978. [Online]. Dostupné z:
] <https://www.kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/1978/02/02.pdf>. [Přístup získán 10 Srpen 2017].
- [24 BeckerElektroCZ, „Tíštěná topná tělesa,“ [Online]. Dostupné z: https://www.backer-elektro.cz/sites/default/files/docs/tistena_topna_telesa.pdf. [Přístup získán 10 Srpen 2017].
- [25 Baumer, „Profess.sk,“ [Online]. Dostupné z:
] <http://www.profess.sk/dynamic/produkty/dokument/TE2.pdf>. [Přístup získán 10 Srpen 2017].
- [26 R. Strnad, „Odbornecasopisy.cz,“ 6 2009. [Online]. Dostupné z:
] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39158.pdf>. [Přístup získán 10 Srpen 2017].