

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Diplomová práce

**Srovnání energetické účinnosti vytápění mladinové
pánve pivovaru při použití páry a horkého oleje**

Dominik Hůla

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dominik Hůla

Zemědělské inženýrství

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Srovnání energetické účinnosti vytápění mladinové pánve pivovaru při použití páry a horkého oleje

Název anglicky

The comparison of energetic efficiency of wort kettle heating using steam and hot oil

Cíle práce

Cílem práce je posoudit a vybrat optimální způsob ohřevu mladinové pánve o velikosti 10 hl v pivovaru, při použití ohřevu a varu rmutu a mladiny parou a horkým olejem, definovat výhody a nevýhody obou způsobů ohřevu a cenové náklady

Metodika

Metodika zadané diplomové práce je následující:

- stanovit teplosměnnou plochu,
- stanovit koeficient přestupu tepla při použití obou způsobů ohřevu,
- vyhodnotit ekonomické parametry,
- vyhodnotit výhody a nevýhody obou způsobů ohřevu.

Doporučený rozsah práce

40 až 60 stran

Klíčová slova

pivo, mladinové pánev, ohřev, páry, olej

Doporučené zdroje informací

1. BASAŘOVÁ, Gabriela. Pivovarství teorie a praxe výroby piva. Praha: VŠCHT, 2010. ISBN-978-80-7080-734-7
2. CHLADEK, Ladislav. Pivovarnictví, Praha GRADA 2007, ISBN 978-80-247-1616-9.
3. KUNZE, Wolfgang. Technology Brewing and Malting VLB Berlin 2008 ISBN 978-3-921690-64-2

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Ladislav Chládek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Konzultant

doc.ing.Petr Vaculík Ph.D

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2019

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Srovnání energetické účinnosti vytápění mladinové pánve pivovaru při použití páry a horkého oleje" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Ladislavu Chládkovi, Csc., za odborné vedení a trpělivost při vypracovávání této práce.

Srovnání energetické účinnosti vytápění mladinové pánve pivovaru při použití páry a horkého oleje

Abstrakt

V této diplomové práci je srovnána účinnost výhřevu mladinové pánve za použití páry a horkého oleje. U obou způsobů je použit elektrokotel, jednou pro ohřev páry, podruhé pro ohřev oleje. Účinnost je porovnávána na dvou různých pivních stylech, které byly vařeny za použití obou způsobů vytápění. K porovnání jsou použity varní listy várek a je porovnávána celková doba procesů a porovnání dosažených teplot. Dále je porovnávána ekonomická stránka využívání obou způsobů vytápění.

Klíčová slova: pivo, mladinová pánev, ohřev, olej, pára

The comparison of energetic efficiency of wort kettle heating using steam and hot oil

Abstract

In this diploma thesis is compared heating efficiency of wort kettle using steam and hot oil. In both cases is used electric boiler, once for heating steam, once for heating oil. Efficiency is compared by using two different beer styles, which were brewed using both types of heating. Cooking lists of brews are used for comparison and the total process time and temperatures are compared. Economic demands for both types are also calculated.

Keywords: beer, wort pan, heating, oil, steam

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce	12
3	Výroba piva.....	13
3.1	Suroviny pro výrobu piva.....	13
3.1.1	Slad	13
3.1.2	Chmel.....	14
3.1.3	Pivovarské kvasnice.....	15
3.1.4	Voda.....	15
4	Strojní zařízení pro výrobu piva.....	17
4.1	Šrotování.....	17
4.1.1	Šrotování za sucha.....	18
4.1.2	Šrotování za mokra.....	19
4.1.3	Mletí sladu s kondicionováním.....	19
4.1.4	Příprava velmi jemného moučnatého šrotu	20
4.2	Varny.....	21
4.2.1	Ohřev varních nádob.....	21
4.2.2	Scezování sladiny.....	22
4.2.3	Chmelovar	22

4.2.4	Vířivá kád'	22
4.2.5	Chlazení mladiny	23
5	Vystírání a zapařování	24
5.1	Vystírání	24
5.2	Rmutování	25
5.2.1	Dekokční rmutování	25
5.2.2	Infuzní rmutování	26
6	Způsob separace kapalně fáze (sladiny) od tuhé fáze (mláta)	27
6.1	Scezování ve scezovací kádi	27
6.2	Sladinové filtry	31
6.3	Sladové mláto	31
7	Chmelovar	33
7.1	Ohřev varných pánví	33
8	Technologické zařízení pro chmelovar	37
8.1	Vaření mladiny za použití atmosférického tlaku	38
8.2	Vysoko a nízkotlaký chmelovar	38
8.3	Opatření pro snížení spotřeby tepelné energie při vaření mladiny	40
8.4	Mladinové pánve s vnitřním vařákem	42

8.5	Mladinové pánve s vnějším vařákem	42
9	Chlazení mladiny a odlučování kalů	43
9.1	Chlazení mladiny.....	43
9.2	Oddělování hrubých kalů.....	44
9.2.1	Oddělování hrubých kalů v chladící a usazovací kádi.....	44
9.2.2	Oddělování hrubých kalů ve vířivé kádi	45
10	Použité kotle pro ohřev	46
10.1	Parní kotel Anfra	46
10.2	Elektrokotel pro ohřev oleje EKO13.....	48
11	Porovnání	51
12	Ekonomické porovnání.....	56
13	Závěr	57
	Seznam obrázků	58
	Seznam tabulek	59
	Bibliografie	Chyba! Záložka není definována.
	Seznam použitých znaků	60

1 Úvod

Tato práce je zaměřena na porovnání dvou médií pro ohřev mladinové pánve – pára a horký olej. S rostoucí poptávkou po pivech z malých pivovarů a zvyšující se konkurencí na trhu je žádoucí snižovat náklady na výrobu piva tak, aby neovlivnily kvalitu konečného produktu. Způsob ohřevu je v tomto ohledu důležitou částí každé várky a jeho finanční náročnost je zároveň promítnuta do konečné ceny piva.

V první části této práce je stručně popsána historie použití jednotlivých procesů výroby mladiny na území České republiky. Dále jsou popsány teoretické základy pro výrobu mladiny.

V praktické části jsou popsány použité kotle pro jednotlivé média ohřevu, porovnány varní listy dvou pivních stylů, které byly vařeny za použití obou způsobů porovnávaných ohřevů a jejich ekonomické porovnání.

2 Cíl práce

V této práci budou porovnány způsoby ohřevu mladinové pánve za použití páry a horkého oleje. Bude porovnána časová a finanční náročnost obou způsobů ohřevu. Práce bude doplněna o vlastní obrázky a varní listy.

3 Výroba piva

3.1 Suroviny pro výrobu piva

Pro výrobu piva je nutné použití následujících surovin.

3.1.1 Slad

V dobách, kdy se pivo vařilo v každé domácnosti, byl slad převážně pšeničný a namačkával se tlučením ve hmoždířích. Při řemeslné výrobě byl do přelomu 18. a 19. století slad svážen do mlýnů, kde se mlel na mlýnských kolech. V tomto období sládkové poznali, že je nutné zachovávat obalové části zrna neboli pluchy, nenarušené, aby se vhodně oddělovala sladina od zbytků sladu, mláta. Za tímto účelem byl slad před převozem do mlýna vlhčen, čímž se zajistila elasticita pluch. První mačkadla na slad se objevily v pivovarech od poloviny 18. století, jelikož to bylo považované za ekonomicky i technologicky výhodné. Později byla konstrukce šrotovníků inovována, počínaje dvouválcovými až po dnes nejpoužívanější čtyř a šestiválcové mlecí stolice pro mletí zvlhčeného i suchého sladu. Další možností jsou kladívkové mlýny určené pro jemný šrot a zařízení pro mletí sladu za mokra. (Basařová, 2010)

Pro dosažení nejvyšší kvality piva je využíván slad vyrobený z jedné odrůdy či kombinace odrůd ječmene, které mají podobné genetické vlastnosti. Čerstvé a navlhlé slady vyrovnané kvality se přidávají do sypání v malých částech tak, aby bylo možné dosáhnout rovnoměrného chodu šrotovníku. Slad se skladuje v silech nebo na půdách a je před mletím vyčištěn na čističkách s vytřásadlem a sítí, popřípadě jsou použity další nástroje, následně je vysypán do dávkovacího zařízení. Samotné šrotovníky se nachází v blízkosti varen v prostorách šrotoven, kde se také nacházejí čističky sladu, odlučovač kovových příměsí, automatické váhy, transportní zařízení pro dopravu sladu a šrotu, sběrné koše na sladový šrot a odprašovací zařízení.

V současné době je většinou provoz těchto zařízení řízen programovým systémem s počítačem. Slad pro jednu várku by měl být sešrotován do dvou hodin, kdy není žádoucí uchovávat sešrotovaný slad po delší dobu, protože oxidace šrotu může ovlivnit stabilitu piva. Šrotování je možné v základu rozdělit na pět typů – mletí sladu za sucha, mletí sladu za mokra, mletí sladu s kondicionováním, mletí sladu s omezeným s omezeným přístupem vzduchu a příprava velmi jemného moučnatého šrotu. (Chládek, 2007)

3.1.2 Chmel

Původně byl chmel pěstován všemi pivovarníky. V 16. století dochází k centralizaci pěstování chmele a chmelnice jsou zakládány na místech s optimálním složením půdy a klimatem. Chmel je jednou ze tří základních surovin, které jsou používány pro výrobu piva. Jedná se v podstatě o usušené chmelové hlávky chmele evropského. Kyseliny obsažené ve chmelu dodávají pivu typickou hořkou chuť, pomáhají k tvorbě charakteristického aroma, ovlivňují pěnivost a mají baktericidní a konzervační účinek. Přítomnost kyselin obsažených v chmelu je nenahraditelná pro tvorbu chemických a sensorických vlastností piva. (Chládek, 2007)

Sklizený chmel obsahuje 72 až 82 % vody. Proto je následně sušen při teplotách 45 až 56 °C tak, aby konečná vlhkost nepřesahovala 10 %. Následně je usušený chmel stlačován do kostek o různých hmotnostech, nejčastěji okolo 50 kg, a následně skladován na půdách, kde přijímá vzdušnou vlhkost, čímž se zvedne obsah vody v chmelu na přibližně 11 %.

V současné době se v pivovarech v Česku používají pro výrobu piva kombinace granulovaného chmele s extraktem získávaným pomocí oxidu uhličitého.

3.1.3 Pivovarské kvasnice

Původně byla vyrobená mladina zakvašována zákvasem, který se získal z předchozí várky. Tyto kvasnice byly získány při samovolném zakvašení, jež jsou dodnes používána pro výrobu některých, zejména belgických piv.

V dnešní době jsou pod pojmem pivovarské kvasinky používány dva druhy. Kvasinky svrchního a spodního kvašení. Oba druhy se odlišují svými vlastnostmi, což je odraženo v jejich technologickém použití. Kvasinky svrchního kvašení kvasí při vyšších teplotách, v rozsahu 15–23 °C, kdy při teplotě 10 °C přestávají kvasit. Tento typ kvasnic je využíván zejména u pšeničných piv. Kvasinky pro spodní kvašení kvasí za podstatně nižších teplot, 6–14 °C. Při snížení teploty na 6 °C kvasnice sedimentují na dně kvasných nádob. (Chládek, 2007)

Pokud by nebyly použité kvasnice, nevznikl by kvašený nápoj, který je prvním nutným krokem k dosažení vyžadované kvality piva a zabezpečení optimálního průběhu výroby podle použitého technologického postupu kvašení a dokvašování je výběr vhodného kmene kvasnic. (Chládek, 2007)

3.1.4 Voda

Voda je společně se sladem, chmelem a kvasnicemi základní surovinou, nutnou pro výrobu piva. Při použití pro vaření piva je nazývána varní vodou, voda použitá pro mytí a čištění v provozu pivovaru je nazývána užitková. Spotřeba vody převyšuje objem vyrobeného piva, kdy je na výrobu jednoho litru piva spotřebováno 7–12 litrů vody u velkých pivovarů. Spotřeba je závislá na velikosti a technickém stavu pivovaru.

Voda použitá pro vaření piva musí mít kvalitu pitné vody a splňovat všechny kritéria na pitnou vodu, která jsou požadována současnou legislativou. Pro výrobu světlých piv je žádoucí použít měkkou vodu s nižším podílem hořčíku a přechodnou tvrdostí. Použití tvrdší vody nevede u výroby tmavého piva. Varní voda by neměla obsahovat alkalické uhličitany, chlor a příliš železa, manganu a dusičnanů. (Chládek, 2007)

4 Strojní zařízení pro výrobu piva

4.1 Šrotování

Důvod, proč se slad mele je, aby došlo k perfektnímu vymletí endospermu sladových zrn na vhodný podíl hrubých a jemných částic. Zároveň při tom musí být zachována celistvost obalových pluch. Aby bylo možné se dostat k extraktivním látkám ve sladu, je nutné mechanicky rozrušit zrno. Toto má za následek urychlení rozpouštění látek a jejich fyzikální, biochemické a chemické změny, které probíhají během dalších fází přípravy mladiny. (B. Kantelberg, 1992) Mletí sladu je mechanický proces, během kterého se rozdrcují zrna, a po kterém nesmí zůstat ve šrotu celá zrna. Ze špatně rozluštěného sladu se získává menší výtěžek extraktu sladu, což má za následek problémy při scezování sladiny a filtraci piva. Nicméně toto lze částečně kompenzovat jemnějším rozemletím, které má za následek rychlejší rozpuštění a uvolnění enzymů, případně lze použít i opakované mletí. Obalové části sladového zrna neboli pluchy, ve vodném roztoku vytvářejí nerozpustnou celulózu a obsahují hořké látky sladu. Pluchy jsou do určité míry elastické a u křehkých zrn dobře rozluštěného sladu jsou schopné odolávat tlaku při mletí. Celistvost pluch je důležitá pro mletí sladu za sucha a je zároveň nutná pro vytvoření filtrační přepážky při scezování mláta. Pokud by došlo k rozemletí pluch, dojde k prodloužení procesu scezování. Zároveň látky vyloučené z pluch mají za následek zhoršení barvy sladiny, barvy piva, hořkosti a stability piva. Při použití sladových filtrů se pro oddělení mláta od sladiny melou slady včetně pluch do určité míry intenzivněji, zároveň je ale nutné zachovat určitou celistvost šrotu. Vzniká tak práškový šrot, ve kterém nejsou pluchy stanovitelné jako samostatná frakce. Mletí navlhčeného sladu neboli kondicionování, či mletí sladu za mokra má za následek rychlejší uvolňování extraktu sladu a efektivnější zachování celistvosti pluch, než je tomu u mletí sladu za sucha. Poměr objemu šrotu, pluch, jemné a hrubé krupice a mouky ovlivňuje v závislosti na ploše scezovací nádoby výšku, do které je vytvořena filtrační přepážka při scezování a vyslazování. Čím vyšší je rozemletí, tím je objem šrotu menší. Jemnější částice šrotu zadržují větší množství vody a drží u sebe pevněji, což má za následek snížení pórovitosti mlátového koláče. Dále zpomalují scezování předku a zhoršují vyslazování zbytkového extraktu v mlátě.

Dosažení optimálního objemu šrotu na hmotnostní jednotku sladu je nutné pro optimální funkci scezovacího filtru, kde je k dispozici pouze omezený prostor pro naplnění mlátem.



Obr. 1 Dopravník sladu do šrotovníku

4.1.1 Šrotování za sucha

Pro mletí sladu za sucha jsou využívány dvou až šestiválcové šrotovníky. Tyto šrotovníky mají mlecí stolice s hladkými či rýhovanými válci, které se pohybují v závislosti na konstrukci a účelu buď stejnou rychlostí, či rozdílnými rychlostmi. Mele se buď jednorázově, dvojitě nebo je možné použít diferencované mletí podílů. Výkon šrotovníku je závislý na délce válců, rýhování a otáčkách. Samotný proces mletí začíná zapnutím systém pro odprašování, následují části od konce procesu – od sběrného koše až po výstup sladu ze zásobníku. Jednotlivé frakce sladu je možné soustředit v jednom koši, případně je možné frakce oddělovat, což má za účinek optimalizaci poměru frakcí pro určitý scezovací postup.



Obr. 2 Vnitřek násypky šrotovníku s ochrannou mřížkou a magnety pro zachycení kovových příměsí

4.1.2 Šrotování za mokra

Pro mletí sladu za mokra jsou využívány šrotovníky, kde mlecí stolice mají nádrž, ve které je slad namáčen vodou o teplotě 10 až 50 °C po dobu 10 až 30 minut. Díky tomu dojde ke zvýšení obsahu vody v zrně na 28 až 30 %. Slad se dále mele na dvou válcích a je smíchán s vystírací vodou, přičemž je následná směs čerpána do vystírací nádoby ve varně. Celková doba mletí se pohybuje okolo 60 až 70 minut. Jelikož při vyšších teplotách dochází ke ztrátám dobře rozluštěných moučnatých částí zrna je doporučeno používat chladnější máčecí vodu.

4.1.3 Mletí sladu s kondicionováním

Tento způsob mletí sladu je založen na zvlhčování sladu kropením vody o teplotě okolo 30 °C, kdy se slad pohybuje ve šnekovém kondicionéru nebo v máčecí šachtě. Po zhruba dvou minutách získávají navlhčené pluchy pružnost, která jim dodává určitou odolnost proti rozemílání. Následně dochází k mletí sladu do šrotovníku. V násypce kondicionéru je vytvořena stálá zásoba sladu, díky které je vstup do kondicionéru utěsněn a je tak zabráněno přechodu vlhkosti do dřívějších částí zařízení.



Obr. 3 Automatická váha a šrotovník

4.1.4 Příprava velmi jemného moučnatého šrotu

Tento způsob úpravy využívá horizontální či vertikální kladivové mlýny. Princip činnosti je založen na rozdrčení sladu kladívky, která jsou umístěny na rotoru, který se otáčí v uzavřené komoře. Pomocí otáček a velikostí síta se upravuje jemnost mletí. Po rozemletí propadáva slad sítem do zásobníku pod strojem. (Basařová, 2010) Takto připravenou sladovou tluč je možné použít pouze pro sladinové filtry, jelikož by je scezovací kádě nebyly schopné separovat od sladin.

4.2 Varny

Do první poloviny 19. století bylo pivo vařeno infuzním způsobem a proto byla používána pouze jedna železná či měděná nádoba pro rmutování i pro vaření mladiny, ostatní nádoby byly dřevěné. Při přechodu na průmyslovou výrobu piva se užívaly jednoduché varní soupravy, jejichž součástí byly dvě kovové nádoby. Vrchní nádoba sloužila k vystírání a scezování, zatímco v druhé vyhřívané nádobě probíhalo rmutování a chmelovar. Okolo poloviny století 20. byly v pivovarech instalovány varny se čtyřmi nádobami (rmutovystírací pánev, rmutovací kád', scezovací kád' a mladinová pánev), uspořádaných ve dvou patrech, kde horní nádoby sloužily k vystírání a scezování, zatímco vyhřívané nádoby v úrovni podlahy k rmutování a chmelovaru. Takto uspořádané varny umožňovaly denně uvařit až čtyři várky. Pro zvýšení kapacity byla varna doplňována o sběrač sladiny. Největší pivovary měly instalované varny s pěti až osmi nádobami. (Basařová, 2010)

V současné době jsou využívány varny s velkokapacitní konstrukcí s plně automatizovaným provozem, který umožňuje programování a řízení provozu pomocí výpočetní techniky. Dnes převládají varny z korozivzdorné oceli, které jsou využívány hlavně v průmyslových pivovarech, varny v řemeslných pivovarech jsou někdy, zpravidla dvou nádobové varny, vyrobeny tak, že vnitřní stěna je z nerezavějící oceli a vnější stěna z mědi, což splňuje požadavek hygieniků, že měď nesmí přijít do styku s mladinou, sladinou a pivem.

4.2.1 Ohřev varních nádob

Původně byl využíván přímý otop spalinami ze dřeva nebo uhlí, který byl nahrazen vyhříváním topným olejem či plynem. Postupem času však začalo převažovat nepřímé vyhřívání s nízkotlakou a vysokotlakou párou vnitřními nebo externími vařáky. V druhé polovině 20. století začal směřovat vývoj varních zařízení a technologických procesů ke snížení tvorby či odstranění

sloučenin, které mohou nepříznivě ovlivnit sensorické vlastnosti piva, čímž začal vývoj mechanické nebo termické komprese brýd, používaných při vytápění mladinové pánve (více v kapitole Technologické zařízení pro chmelovar). (Chládek, 2007)

4.2.2 Scezování sladiny

Do 18. století bylo mláto oddělováno od sladiny scezením přes slaměný věchet. Poté do přelomu století 19. bylo oddělení zajištěno jednoduchým dřevěným zařízením s kovovou perforovanou vložkou. Následovaly jednoduché scezovací kádě a sladinové filtry, které v 60. letech 20. století byly postupně vybavovány počítačem řízeným procesem podráždění a scezování.

4.2.3 Chmelovar

Dříve bylo k chmelení používány různé suroviny, jako je například dubová a vrbová kůra či puškvorec. V dnešní době převažuje chmelení granulami či různými druhy chmelových extraktů. Důvodem je lepší skladovatelnost, snazší manipulace a delší životnost, zejména odpadá nutnost použití chmelového cízu, jako další nádoby ve varně, zpravidla umístěné v jejím podsvětím. Čerstvě načesaný chmel je dnes používán pouze při výrobě speciálních piv, jako je například Svatováclavský ležák, což je pivo uvařené z čerstvě načesaného chmele. Vařením Svatováclavského ležáku je určitou známkou prestiže, hlavně mezi minipivovary, jelikož je nutné mít chmelový cíz.

4.2.4 Vířivá kád'

Jedná se o uzavřenou vertikální nádobu s tangenciálním vstupem horké mladiny. Vířivá kád' je určena pro separaci hrubých kalů. Dno kádě je ploché a má mírný sklon ke stranám či ke středu, podle umístění vypouštěcího otvoru na kaly. Materiál použitý pro výrobu vířivých kádí je korozivzdorná ocel.



Obr. 4 Pohled do vířivé kádě

4.2.5 Chlazení mladiny

Původně se chlazení mladiny na zákvasnou teplotu a oddělování kalů provádělo tím, že horká mladina byla nalita do měkkých dřevěných nádob a ochlazený roztok nad usazeným kalem byl slit. Toto nahradilo v 19. století dvoustupňový postup na otevřených zařízeních. Zde byla v první fázi ochlazená mladina na mělkých železných vanách na teplotu okolo 60 °C a kalová mladina se zfiltrovala na kalolisu. Následně byla mladina dochlazena na otevřených sprchových chladičích, které následně nahradily uzavřené protiproudé chladiče. (Basařová, 2010)

5 Vystírání a zapařování

Účelem vystírání je správně promíchat sladový šrot s nálevem varní vody. Správný výběr surovin, jejich množství a způsob rmutování a vystírání jsou základním předpokladem pro docílení požadovaného složení sladiny určeného druhu piva. Je nutné zajistit, aby mechanické a fyzikální procesy při šrotování a vystírání byly optimálně regulovány pro chemické a biochemické reakce, jenž probíhají při rmutování, scezování a chmelovaru, což pomáhá k zajištění potřebné kvality. Pouhé míchání tuhých částí sladového šrotu s vodou má velmi omezený účinek, jelikož slad obsahuje pouze malý podíl látek ve vodě rozpustných. Pro docílení ideálního podílu látek je nutné převést do roztoku maximální množství rozpustných látek. Množství rozpuštěných látek je závislé na sypání a na objemu vody v hlavním nálevu. Obecně platí, že pro světlá piva se volí větší nálev, jelikož se tak získá řidší rmut. Naopak pro tmavá piva je volen menší nálev, kde v mlátě zůstává zachyceno více extraktu. Velký význam má také kvalita použitého sladu a vody.

5.1 Vystírání

Během vystírání se mísí sypání (rozemletý slad nebo náhražky sladu) a hlavní nálev vody. Hlavní nálev je množství vody, které je použito pro vystření – smícháním se sladovým šrotem či šrotem sladových náhražek. Při teplé i studené vystírce je obvykle hlavní nálev rozdělen na dvě části. Prvně se smíchá sladový šrot s prvním dílem nálevu, který má teplotu zvoleného postupu vystírky. Pro studenou vystírku má voda teplotu pod 20 °C a pro teplou vystírku se teplota vody pohybuje mezi 35 a 38 °C. Při vyslazování mláta závisí na spotřebě výstřelkové vody na několika faktorech, například na druhu vyráběného piva a hodnotě odparu. U tradičních postupů dekokčního rmutování mívá zhruba třetinový objem jako hlavní nálev. Objem následného nálevu musí zajistit požadovanou koncentraci vyražené mladiny. Celkové množství vody použitého na várku je větší než celkové množství vyražené mladiny. (Basařová, 2010)

Podstatná je teplota vody, která je použita pro vystírku, jelikož ovlivňuje rychlost rmutovacích postupů, Teplota je volena dle kvality sladu, postupu rmutování, zařízení varní soupravy a

požadavků ohledně kvality mladiny. Doba vystírání záleží na použitém postupu a pohybuje se od 10 do 30 minut. Použitím mokrého šrotování probíhá vystírání současně s mletím sladu. To trvá 30 až 40 minut a připočítá-li se k tomu i máčení sladu, výsledná doba celého procesu je okolo 60 minut.

Rmutovací pánev tvoří vystěradlo, míchadlo, párník, přívodní a odvodní rmutové potrubí a teploměr s registrací. Používají se vystírací pánve, ve kterých je smíchán sladový šrot s vodou a k uchování dílčích rmutů po dobu rmutování. Materiál použitý na výrobu vystírací nádoby je korozivzdorná ocel. Staré varny bývaly vyrobené z ocelového plechu. Tvar nádob je kulatý.

5.2 Rmutování

Účelem rmutování je rozštěpení a převedení optimálního podílu extraktu surovin – sladu nebo sladových náhražek – do roztoku v nutném podílu jednotlivých látek potřebných pro další technologický postup a kvalitu piva. (Novotný, 2015) Základní postup rmutování lze provádět buď dekokčním, nebo infuzním rmutováním. Tyto typy rmutování se liší v technologickém postupu a v nárocích na strojní vybavení varny.

5.2.1 Dekokční rmutování

Dekokční postupy jsou realizovány s postupným vyhříváním jednoho až tří dílů rmutu na technologicky důležité teploty a povařováním těchto dílů. (Basařová, 2010)

Rmutování na jeden rmut

Rmutování na jeden rmut se provádí tak, že 100 kg sladového šrotu je vystřeno v 420 l vody o teplotě 62,5 °C ve vystírací kádi. Po smíchání klesne teplota na 58 °C a následně je polovina díla, rmut, přečerpán do rmutovací pánve. Zde se zahřeje na 75 °C a je ponechána prodleva pro proběhnutí zcukření škrobu. Následně je vyzkoušeno pomocí jodového roztoku, zda-li je veškerý škrob zcukřen. Pokud se barva změní po přidání jodu na modrofialovou, je potřeba prodloužit dobu prodlevy dokud všechen škrob nezcukří. Když je toto splněno, vaří se rmut po dobu 10-30

minut a následně je vrácen do vystírací kádě, kde je smíchán s jejím obsahem. To má za následek zvýšení teploty v celém díle přibližně na 75 °C. Díky tomu dojde k zcukření škrobu v původním díle. (Chládek, 2007)

Rmutování na dva rmuty

Sladový šrot je vystírán do vody ohřáté na teplotu 37°C. Následně je dílo ohřáto přidáním určitého množství horké vody, kdy množství této vody je určeno tzv. křížovým pravidlem a tím je teplota díla zvýšena na 52 °C. Následně je první rmut (jedna třetina) přečerpán do rmutovací pánve, kde je ohřát na teplotu okolo 75 °C. Následně je provedena zkouška zcukření, jako je tomu u rmutování na jeden rmut. Poté je rmut povařen a vrácen zpět k původnímu dílu. Následuje spuštění druhého rmutu (jedné třetiny) a postup je opakován. Vrácením povařeného rmutu je opět dosažena teplota 75 °C v celém díle. (Chládek, 2007)

Rmutování na tři rmuty

Začátek je totožný s rmutováním na dva rmuty, nicméně po vystření je okamžitě spuštěn první rmut. Ohřev a var rmutu je také shodný, po vrácení povařeného prvního rmutu je teplota celého díla zvýšená na 52 °C a následuje spuštění druhého rmutu a postup je totožný s dvourmutovým postupem. (Chládek, 2007)

5.2.2 Infuzní rmutování

Sladový šrot je vystřen do vody o teplotě okolo 62 °C a ponechán na této teplotě až 45 minut. Následně je dílo ohřáto na 72 °C a šrot je ponechán na této teplotě dalších 60 minut. Rozdíl oproti dekokčnímu způsobu je ten, že při infuzním rmutování se část díla nepovařuje. (Chládek, 2007) Výhodou infuzního rmutování je, že se jedná o levnější a jednodušší variantu rmutování.

6 Způsob separace kapaln e fáze (sladiny) od tuhé fáze (mláta)

Pro separaci sladiny od mláta se používají zejména scezovací kádě, sladinové filtry, trikant ery a v poslední době i kontinuálně pracuj ící filtry, např. „Nessie“, vyvinutý firmou Ziemann-Holvrieka (Chládek, 2007)

6.1 Scezování ve scezovací kádi

Na proces scezování sladiny má velký vliv kvalita sladu, složení sladového šrotu, míra degradace vysokomolekulárních látek při procesu rmutování, teplotní podmínky a procesní zařízení. Filtrovatelnost sladiny a piva je ovlivněna některý vysokomolekulárními látkami extraktu sladu, zároveň ale ovlivňuje filtrovatelnost také kal ıcı částice bakterií ze sladu. Tento nechtěný efekt lze částečně eliminovat intenzivním mícháním při rmutování. Během vyslazování se ve sladině rmutov an ım snižuje obsah extraktu. Kv ůli tomuto je nutné, aby koncentrace p edku byla o 2 ař 3 % v yř ı, neř má bít výsledná koncentrace sladiny před chmelovarem. Důvod pro vyslazování je, ře je nutné jeř t e vylouhovat extrakt, který byl zachycen na povrchu a uvnitř mláta. Kromě filtrace se uplatňuje i difuzní proces, kdy se na za atku vyslazování extrakt z mláta rychle vymyje. Postupn e dochází ke zpomalení difuze, p ıčemř poslední zbytky se jen obt ıřn e vymývají. P ıř ıčinou je zanař en ı povrchu a kanálků ml atov eho kol a e a odliřn ym složením látek, které jsou postupn e uvolňovány z mláta. Jednoduře se vylouhuj ı snadno rozpustné látky zachycené na povrchu částic a v kanálcích mláta. V posledních fázích vyslazování p ech az ej ı do roztoku sloučeniny neř adouc ı pro kvalitu piva. Jedná se v ětřinou o látky vylouhovan e z pluch, které mají za následek zhorřen ı fyzikálně-chemický vlastností piva. Důležitou  ılohu má množství vody, které je pouřıt e pro vyslazování. To je závislé na množství a koncentraci p edku – čím více se pouze vody pro vyslazování, tím více je extraktu zachyceného v mlátě. Zároveň se tím ale zvyřuj ı energetické náklady na odpaření vody během chmelovaru, coř je nutné pro dosařen ı pořadovan eho extraktu mladiny. Z toho důvodu je volen kompromis mezi dobou vyslazování, ztrátami extraktu v mlátě, mezi dobou chmelovaru a energetickými nároky. Pokud je známá cena sladu a náklady na topné médium pro opařov an ı pí chmelovaru, je mořn e ur ıit hraniční hospodárnou koncentraci v yř elk u e v %:

$$e = \frac{226,3 k}{(17,9 \text{ až } 21,4) k + c}$$

Rovnice 1

Rovnice (1) je určena pro 10 až 12 % mladiny pohromadě, kde cena paliva k je udána v Kč za GJ a cena sladu c je uvedena v Kč za tunu. (Basařová, 2010)

Scezování je prováděno na scezovací kádi, kam je dílo z vystírací kádě nebo ze sladového filtru přečerpáno. Po určité době, tzv. odpočinku, který trvá okolo 30 minut, je mláto sedimentované na scezovacím dně. Zde vytvoří okolo 20 až 30 cm vysokou vrstvu, přes kterou protéká a čistí se sladina. První část sladiny je kalná, a proto je vrácena scezovacím čerpadlem pomocí potrubí zpět nad vrstvu mláta ve scezovací kádi, tento proces se nazývá podráždění. Sládek sleduje čirost stékající sladiny neboli předku během podráždění, dokud nedosáhne požadované čirosti. Následně jsou přepnuty ventily na potrubí a předek začíná téct do mladinové pánve. Mláto je prořezáváno kypřicím zařízením, které je složeno ze svisle postavených nožů, aby došlo ke zlepšení průtočnosti sladiny.

Po dokončení stékání předku je v mlátě ještě obsaženo velké množství extraktu. Z tohoto důvodu je nutné mláto vysladit neboli prolít horkou vodou – výstřelkem. Vyslazování je prováděno, dokud stupňovitost posledních výstřelků nedosáhne požadované hodnoty. Ta bývá obvykle 1 %, kdy dalším kritériem pro objem výstřelků je žádaná stupňovitost sladiny a výstřelků. Poslední výstřelky, které mají nízkou stupňovitost, jsou nazývány patoky. Ty jsou většinou odvedeny do odpadu, nicméně je možné je využít pro další várku. (Chládek, 2007)

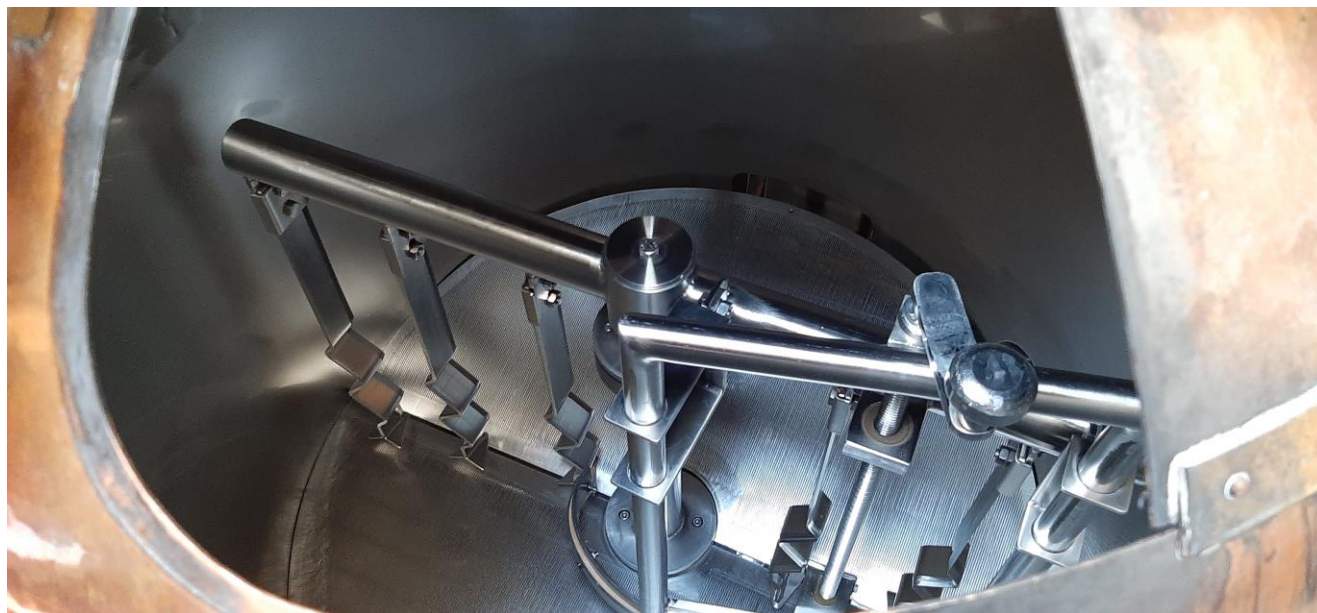
Zbylé mláto ve scezovací kádi je vyhrnuto a dopraveno do zásobníku mláta, odkud je možné jej distribuovat jako žádané krmivo pro hovězí či vepřový dobytek, případně je také vhodné pro zakrmování v rybnících.

Z pohledu kvality a stability piva je nežádoucí, aby doba scezování a chmelovaru byla dlouhá. Důvodem je podpora řady komponent staré chuti piva. Velký význam při vyslazování zastává teplota použité vody. Při teplotě 100 °C se extrakt vysladí nejrychleji, jelikož zvyšující teplota má za následek pokles viskozity roztoku. Teplota vyslazovací vody by ovšem neměla přesáhnout 78 °C, jelikož při scezování a vyslazování dobíhá zcukření díla. Zároveň by ovšem teplota neměla klesnout pod 75 °C, protože při nižší teplotě dochází k vyšším ztrátám extraktu v mlátě. Podle složení vyslazovací vody může stoupat hodnota pH výstřelků od 5,8 do 6 i výše. Vyšší hodnoty pH vody a vysoký obsah uhličitánů podporují vylouhování nežádoucích látek, které mají nežádoucí vliv na kvalitu mladiny a piva. Provzdušnění předku a výstřelků by mělo být co nejnižší, aby se co nejvíce omezila oxidační reakce. Sladina a výstřelky by měly stékat čiré, jelikož se vyšší množství mastných kyselin uvolňuje ze zakalených roztoků. Toto lze ovlivnit složením šrotu a konstrukcí zařízení. Vyslazování je náročnější pro várky, které jsou vyráběny ze sladu mletého za mokra a várky připravené na zařízeních s rychlým scezováním.

Způsob separace mláta od mladiny je závislý na konstrukčním řešení zařízení. Nejčastěji jsou v pivovarech používány scezovací varní nádoby a sladinové filtry, které se liší konstrukcí. Méně využívané jsou rychloscezovací zařízení či jiné způsoby separačních zařízení.

Klasické scezovací kádě nebo sladové filtry jsou vyrobeny korozivzdorné oceli. Tvar scezovací kádě je válcový s vestaveným scezovacím dnem, které má propustnou plochou okolo 12 %. Jsou izolované, kdy na vrchu jsou přikryté víkem s osvětlením, mycí hlavicí, průlezem, stěna kádě má teploměr s registrací a párníkem. Párník není nutný, nicméně lze jej použít pro rekuperaci páry. Typické pro scezovací kádě byly scezovací kohouty s korýtkem, kdy na dně kádě na každý 1,2 m²

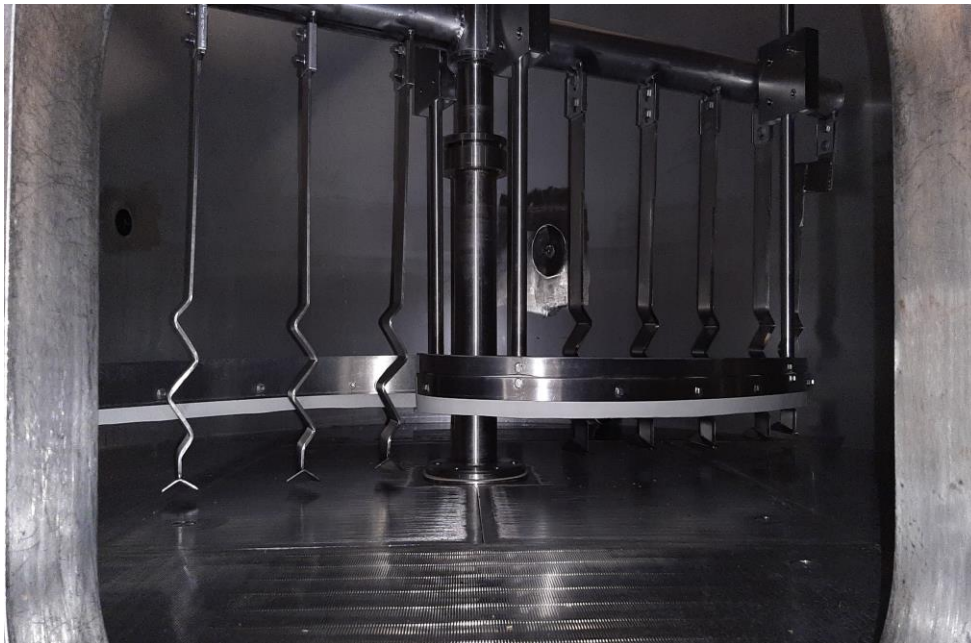
až 1,5m² připadala jedna scezovací trubka. Plochu scezovacího dna určuje celková hmotnost sypání sladového šrotu pro nejsilnější pivo. Na plochu 1 m² je voleno sypání 160 až 180 kg, při použití kondicionovaného šrotu 160 až 180 kg a při mokrém šrotování 200 až 250 kg. Pro zajištění snadnější manipulaci při rozebírání je scezovací dno větších scezovacích kádí složeno z menších segmentů. Nezbytnými prvky scezovací kádě jsou kypřidlo se soustavou nastavitelných nožů různých tvaru, kropidlo, čerpadlo a další části nádoby. Na plochu 1 m² je voleno sypání 160 až 180 kg, při použití kondicionovaného šrotu 180 až 200 kg a při mokrém šrotování 200 až 250 kg. Pro zajištění většího počtu várek je snižováno zatížení scezovacího dna a průměr kádě je zvětšován. (Basařová, 2010)



Obr. 5 Kypřicí zařízení ve varně o objemu 5 hl s možností otáčení kypřících nožů

6.2 Sladinové filtry

Důvodem pro používání sladinových filtrů je zvýšení výtěžnosti sladiny, snížení spotřeby vyslazovací vody, získání mladiny s nízkým obsahem mastných kyselin s nižším provzdušením a umožnění zpracování různého složení sypání a složení šrotu. Průtočnost filtračního koláče je úměrná ploše a tlaku. U tenkého filtračního koláče ve sladinovém filtru sice dojde k zrychlení filtrace, nicméně obsah kalů ve sladině se při běžném složení šrotu zvýší. Pro kompenzaci tohoto jevu je nutné při použití sladinových filtrů s tenkou vrstvou mláta zmenšit póry filtrační vrstvy, čehož lze dosáhnout jemnějším mletím šrotu.



Obr. 6 Kypřicí zařízení v pivovaru Antoš

6.3 Sladové mláto

Při použití 100 kg sypání surovin je po konci scezování získáno okolo 100 až 110 kg mokrého mláta, které tvoří až 80 % vody. Sladové mláto je složeno z endospermu, látek koagulovaných při rmutování a pluch, nicméně by nemělo obsahovat celá zrna. Ve velkých pivovarech je po

ukončení vyslazování mláto převáženo do sběrné nádrže pomocí šnekového dopravníku. V menších a minipivovarech je mláto odváděno ze scezovací kádě do nádob, které jsou umístěné vedle kádí a mláto je do nich nahnuto přes boční otvor. Následně je převezeno pomocí kolečka nebo paletového vozíku na uskladňovací místo. Jelikož je mláto v mokrém stavu používáno v krmných směsích pro dobytek, nezůstává obvykle dlouho v pivovaru a místní drobní chovatelé si jej odváží do několika dní. Další možností je využít mláto jako energetický zdroj v bioplynkách, či jako doplněk stavebních materiálů, který zvyšuje pórovitost. (Basařová, 2010)

7 Chmelovar

Chmelovar je proces, při kterém se vaří sladina s chmelem a probíhají při něm řady fyzikálních, chemických a biochemických reakcí, kdy na tyto reakce působí mechanický pohyb. To vše ovlivňuje složení mladiny a další průběh technologie a vlastnosti piva. Účelem chmelovaru je odpařit přebytečnou vodu, nežádoucí těkavé látky, inaktivovat enzymy, sterilizovat mladinu a inhibovat reziduální mikroflóru z vody, sladu, chmele a izomerace hořkých látek. (Urban, 2017)

7.1 Ohřev varních pánví

Pro ohřev varních pánví je možné použít přímé či nepřímé otopy, které zaručí docílení varu a odparu. Paliva mohou být tuhá, kapalná či plynná. Jako teplosměnné médium může sloužit sytá pára, vysokotlaká horká voda nebo horký olej o teplotě cca 180-200 °C. Topná plocha se instaluje na stěně a dnu pánve, nebo může být používán interní a externí vařák různé konstrukce, rozšiřuje se také ohřev přímým vstřikem páry do mladiny, sládek ovšem musí počítat s rozředěním mladiny kondenzátem. Důležitým prvkem je i konstrukce nádoby, která má za úkol zajištění dostatečné provaření mladiny, intenzitu mechanického pohybu, extrakci a rozpuštění důležitých složek chmele a chmelových produktů, či odvod brýdových par. Tyto úkony musí ovšem mít takovou intenzitu, která nepodporuje oxidaci mladiny, která by mohla mít za následek zvýšení barvy a tvorbu nežádoucích sloučenin. Pokud je snížena výhřevní plocha a zlepšen přenos tepla, je možné snížit náklady. Přenos tepla za jednotku času je možné vypočítat pomocí vzorce:

$$Q = k F (t_1 - t_2)$$

Rovnice 2

Kde je k vypočítáno pomocí vzorce:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Rovnice 3

K dosažení největšího koeficientu postupu tepla je nezbytné zvyšovat přestup tepla na straně malého koeficientu přestupu. Všeobecně platí, že nejvyšší koeficient přestupu tepla je dosažen při kondenzaci vodní páry a menší u varu mladiny, ohřevu mladiny a vody a ohřevu spaliny. Výška teploty určuje intenzitu varu a změny, které nastávají vlivem styku okrajových vrstev mladiny s teplejší stěnou.

Požadované koncentrace mladiny pro daný typ piva je dosažen během chmelovaru odpařením přebytečné vody. Objem odpařené vody je závislý na teplotě, tlaku a době, po jakou probíhá chmelovar. Těkavé látky v mladině mají původ ze sladu a chmele a další se tvoří v průběhu chmelovaru. Snadno těkající sloučeniny jsou odstraněny odparem, kdy se jedná o stovky sloučenin. Prodloužení a zintenzivnění varu usnadňuje odpar karbonylových sloučenin a vyloučení kalů. Zároveň ovšem podporuje tvorbu nových karbonylových látek. Při obvyklém chmelovaru zajišťuje hodinový proces značně sensoricky stabilnější pivo než proces půlhodinový. (Basařová, 2010)



Obr. 7 Parní potrubí vedoucí z kotle do mladinové pánve

K inaktivaci zbytkových enzymů obsažených ve sladině dochází rychle už při přivádění mladiny k varu. Dosažení varu mladiny je podstatné u várek, ve kterých byly dávkovány průmyslově vyráběné enzymové přípravky. Jedná se o bakteriální a plísňové enzymy, které jsou inaktivovány až při teplotách okolo 95 °C. Ke sterilizaci mladiny dochází díky působení varu a je dále podporována snížením pH a aseptickým působením hořkých látek chmele, jenž umrtvuje bakterie, kvasinky a plísně, jenž mají původ v surovinách, a které přicházejí do mladiny při

různých procesech – scezování, rmutování, z rozvodů a čerpadel. Sterilizace je nutná u várek, kde bylo pH sníženo biologickým okyselením.

Rozpuštění a izomerace hořkých chmelových látek během chmelovaru je jednou z nejzásadnějších podmínek pro dosažení specifických vlastností piva, jako jsou charakter piva a jeho hořkost. Jednotlivé složky mají rozdílnou rozpustnost a mají každý jiný vliv na intenzitu a charakter piva. Jedná se o α a β hořké kyseliny, které se částečně rozpouštějí a částečně zůstanou nerozpuštěné. Následné změny hořkých látek se odvíjejí od pH a teplotě. Rozpuštění a další změny hořkých látek se odvíjejí od pH mladiny, kdy s klesající pH se snižuje rozpustnost α a β hořkých kyselin. Naopak při vysokém pH je výskyt hořkých kyselin ve formě solí nežádoucí, jelikož mají nepříznivý vliv na charakter hořkosti.

Konečný obsah hořkých látek v mladině a charakter hořkosti je ovlivněn chemickým složením vody, ze které je pivo vařeno. Pokud je použita měkčí voda s nízkým obsahem uhličitanu, je nutné použít vyšší dávku chmele, kdy hořkost piva je jemnější a lahodnější. Naopak při použití tvrdé vody s obsahem uhličitanu je pivo i po nižším chmelení drsnější a má hrubší hořkost. (Basařová, 2010)

8 Technologické zařízení pro chmelovar

Způsob vaření mladiny se podřizuje spoustě kritérií, kdy mezi ty nejpodstatnější patří druh vyráběného piva, kvalita surovin a strojní vybavení varny. Nádoby používané k vaření piva jsou z korozivzdorné. Jednotlivá varná zařízení mají odlišné způsoby zahřívání mladinové pánve a liší se také konstrukcí topných ploch. Přímý ohřev pánví a použití tuhých paliv byl z větší části nahrazen nepřímým ohřevem, kdy je používána vysokotlaká horká voda nebo přímý ohřev plynovým hořákem a některé řemeslné pivovary používají přímý otop dřevem. Současné postupy ohřevu mladinové pánve (mechanická nebo termická komprese brýdových par) snižují nároky na energii a pomáhají zlepšovat sensorickou stabilitu piva.

V současné době došlo k omezení použití lisovaného chmele, čímž se obohacovala mladina o hořké chmelové látky. Místo toho jsou dnes používány převážně chmelové přípravky, s nimiž se jednodušeji manipuluje, skladuje a dají se využít pro poloautomatické a automatické dávkování, což má za následek snížení nákladů. K dostání jsou různé druhy chmelových výrobků, například dvousložkových extraktů, jednosložkových extraktů, extrakty vyrobené pomocí superkritického oxidu uhličitého nebo speciální izoextrakty.

Pro správný výběr chmele a chmelových výrobků je nutné znát odrůdu případně odrůdy, ze kterých byly vyrobeny, jelikož várky z vysoko obsažných chmelů potřebují delší dobu vary, která zaručuje odstranění sensoricky negativních složek. Na druhé straně jsou výrobky z jemných a ušlechtilých chmelů, které jsou finančně nákladnější, ale používají se v diferencovaném dávkování a až při posledních dávkách. To má za následek zachování vyššího podílu jemných aromatických látek v mladině.

8.1 Vaření mladiny za použití atmosférického tlaku

Na začátku chmelovaru v tradiční varní pánvi je zaplavena výhřevná plocha varní pánve, dochází k regulaci vyhřívání, aby došlo k varu až když je celé dílo pohromadě – až je dokončeno vyslazování. Míchadla se spouštějí až když jsou potopena pod hladinu a intenzita míchání nesmí být příliš velká, jinak by mohlo dojít k provzdušnění díla. Dílo se udržuje ve varu při teplotě 100 °C za atmosférického tlaku po dobu nepřesahující 100 minut. Odpar po tuto dobu je 8 až 10 %, což má za následek průměrné zvýšení obsahu extraktu zahuštěním o 2,5 až 3 %. Jakékoliv další prodloužení varu je nežádoucí, jelikož by došlo ke zvýšení energetických nároků a podpoře reakcí vedoucích k nadměrnému zvyšování barvy mladiny. (Basařová, 2010)

8.2 Vysoko a nízkotlaký chmelovar

Při použití moderních vysokokapacitních nádob pro chmelovar nastal problém, že nebylo možné zajistit dostatečné výhřevné plochy pánve. Bylo tedy nutné zajistit snížení energetických nároků, což bylo provedeno použitím bočních hořáků. Následkem toho bylo možné zkrátit var a zajištění rovnoměrnějšího rozložení teploty v celém díle. Zároveň se tak podpořilo vyhřívání a konvence. Tento systém je vhodný i pro zvyšování počtu várek a pro rekonstrukce, kdy by za použití vnitřního vařáku měly nízkou výšku pro intenzivní var. Použití externího vařáku je ovšem finančně náročnější než vařák vnitřní. (Basařová, 2010)

Použití vnějších vařáků umožnilo realizaci krátkodobého vysokotlakého vaření mladiny, nebo nízkotlakého vaření s použitím vnějšího a vnitřního vařáku. Během vysokotlakého vaření mohou teploty dosahovat hodnot až okolo 140 °C, kdy je doba varu okolo 2 až 3 minut. U nízkotlakých postupů může teplota dosahovat až 110 °C po dobu 15 až 30 minut. Zároveň byly zkoušeny kontinuální varní procesy s teplotami mezi 120 až 140 °C.

Při nízkotlakém chmelovaru je pánev uzavírána, její příslušenství je dimenzováno na 0,05 až 0,07 MPa a chmelovar probíhá v pěti krocích:

- 1) Krátkodobý var za použití tlaku atmosférického
- 2) Zvyšování tlaku na požadovanou hranici, která docílí požadované teploty varu
- 3) Var při nastaveném tlaku
- 4) Uvolnění tlaku
- 5) Krátkodobý var za použití tlaku atmosférického

Dále může být toto modifikováno pomocí dynamického varu, kdy se uvolňování přetlaku provede několikrát během celkového varu. Doba varu pro jednoduchý postup se pohybuje mezi 55 a 60 minutami, zatímco pro dynamický var je časové rozmezí 45 až 50 minut.

Při použití těchto postupů je důležité, aby byla správně skombinovaná působnost teploty a doby, docílena optimální izomerace α hořkých kyselin a nebyla překročena hranice odstranění těkavých látek, které by při nedokonalém odparu zhoršily vlastnosti piva. Při dlouhém působení vysoké teploty je odstraněno CO₂, ale zároveň je podpořena tvorba nových nežádoucích látek. Použití teplot varu mezi 106 a 112 °C, jenž trvají pouze několik minut se snižuje tvorba barvy a je zlepšeno vylučování lomu. Pokud dojde k nadměrnému snížení odparu, pivo může vykazovat mladinovou příchuť a mít nepříznivou hořkost. Pokud dojde ke snížení odparu u atmosférického tlaku na 8 % a na 4 % při varu za tlaku, nenastává riziko podstatných změn chuti piva. (Basařová, 2010)

Během pozorování vlivu termodynamických a geometrických podmínek s kombinací varní pánve s vnějším vařákem bylo zjištěno, že mechanické a teplotní zpracování v pánvi a vnějším vařáku je ovlivněno prouděním. Kvalita mladiny lze ovlivnit dvěma zónami zpracování – homogenizační a zónou s tlakovým prouděním. Takto je využívána vysoká rychlost mladiny, která vytéká z externího vařáku do pánve, kde je rozptýlena rotačním nástavcem či usměrňovací stříškou. Díky tomu není nutné použití čerpadla k docílení pohybu mladiny vařákem. Moderní systémy pro chmelovar mají za následek zkrácení procesu na 12 až 15 % původní doby, ve výjimečných případech až na 6 %. Dohromady tyto systémy dokázaly snížit energetické nároky pro var mladiny při kompresi brýdových par o 55 až 60 %. (Basařová, 2010)

8.3 Opatření pro snížení spotřeby tepelné energie při vaření mladiny

Jelikož je varna velkým spotřebitelem tepelné energie, jsou neustále hledány způsoby využití odpadního tepla a jiné metody, které by vedly ke snížení spotřeby energie. Tento problém se již řešil v minulém století, nicméně tato problematika byla postupně přeřazena na druhou kolej. V současnosti jsou pro úsporu páry používány tyto způsoby:

- Brýdový kondenzátor s předehřevem sladiny
- Mechanická komprese brýdových par
- Termická komprese brýdových par a předehřev sladiny

Brýdový kondenzátor s předehřevem sladiny využívá teplo odcházejících brýdových par, jenž vznikají při vaření mladiny a jinak by bez jiného využití unikaly do ovzduší. Toto teplo se výhodně využije pro předehřátí sladiny, jenž odchází ze scezovací kádě ohřátá na teplotu okolo 75 °C a

v mladinové pánvi by měla být ohřáta až na bod varu. Tento problém může být řešen pomocí kondenzátorového zařízení, do kterého jsou svedeny brýdové páry a přivedena horká voda. Následnou kondenzací brýdových par je voda ohřívána, která následně cirkulací předehřívá sladinu na vstupu do mladinové pánve. (Chládek, 2007)



Obr. 8 Příklad varny s potrubím ze svezovací kádě do párníku mladinové pánve

Mechanická komprese brýdových par a předehřev sladiny je výhodně používán u mladinových pánví s vnějším vařákem. Zde je pro var mladiny dostačující topná pára o přetlaku do 0,03 MPa. Požadovaného přetlaku je dosaženo u brýdových par pomocí piškotového dmyhadla, které komprimuje páry na požadovaný tlak. Čerstvá pára pro vaření mladiny je používána pouze na začátku chmelovaru a jen po dobu, než je mladina uvedena do varu. Následně je dodávka čerstvé páry přerušena, je spuštěno piškotové dmyhadlo a do vnějšího vařáku jsou přiváděny brýdové páry. (Chládek, 2007)

Termická komprese brýdových par a předeřevu sladiny využívá téměř shodný princip použití tepla z brýdových par jako je tomu u mechanické komprese, nicméně místo piškotového dmychadla je použit parní kompresor. Ten používá brýdové páry a částečně také čerstvou páru z kotelny. Výstupem toho kompresoru je topná pára o přetlaku 0,03MPa. To je dostatečné pro ohřev mladiny v externím výměníku. (Chládek, 2007)

8.4 Mladinové pánve s vnitřním vařákem

U těchto mladinových pánví je vnitřní vařák stojatý trubkový výměník, který je osazen v horní části nad hladinou mladiny, s kónickou stříškou, jež je vkládán do osy pánve na stojanu opřeném o dno mladinové pánve. Zde slouží trubky stojanu jako přívod páry do vnitřního vařáku a zároveň jsou používány pro odvod kondenzované páry. Jelikož je mladina ohřívána k bodu varu při průchodu vařákem, výchozím produktem z výměníku je směs páry a kapaliny, která naráží na spodní část kónické stříšky. Tou je usměřována zpět na hladinu. (Chládek, 2007)

8.5 Mladinové pánve s vnějším vařákem

Jedná se o složitější mladinové pánve, které mají vyšší náklady. Zde se trubkový nebo deskový výměník nachází mimo vlastní nádobu, kdy mladina je externím čerpadlem čerpána ze dna mladinové pánve a vedeno do trubkového či deskového výměníku. Vratné mladinové potrubí má však dvě paralelně uspořádané větve, jež jsou obě tangenciálně zavedené zpět do mladinové pánve. Vrchní větev je umístěná nad hladinou mladiny, která je používána při vaření mladiny. Dolní větev slouží k přívodu mladiny pod hladinu a má za účel vrácení mladiny, jakmile je chmelovar dokončen. Výhodou tohoto způsobu je možnost nastavení teploty a objemu průtoku na výstupu z vnějšího vařáku, což je z technologického pohledu výhodné. Další výhodou je možnost vaření nízkotlakou párou a snadná možnost kombinace s vířivou kádí. (Chládek, 2007)

9 Chlazení mladiny a odlučování kalů

Výslednou mladinu je nutné ve varně pivovaru ochladit na zákvasnou teplotu, než je možné ji zakvasit. Během chlazení je mladina také zároveň provzdušňována a vylučují se z ní hrubé kaly a částečně také dochází k vylučování chladových kalů. Toto probíhá při teplotách okolo 100 °C na teplotu okolo 5 °C pro tradiční hlavní kvašení, pro zrychlené kvašení to jsou teploty 10 až 15 °C a pro výrobu svrchně kvašených piv to jsou teploty 12 až 18 °C. Podmínky nutné pro chlazení mladiny musí zajistit vyloučení biologických nečistot rozvojem mikrobiální infekce.

Fyzikální a chemické děje probíhající při chlazení mladiny jsou závislé na teplotě a principu použitého zařízení. Z mladiny jsou vylučovány hrubé a jemné kaly, zatímco je mladina sycena kyslíkem. Dalším jevem je snížení objemu, které je způsobeno chlazením, a to je doprovázeno mírným zvýšením extraktu mladiny. Zároveň dochází ke změně koncentrace mladiny odparem, která je závislá na druhu použitého zařízení.

9.1 Chlazení mladiny

U otevřených chladicích stokách a sprchových aparátů bývá odpar až 10 %, kdy dochází ke kolísání podle povětrnostních podmínek a ročního období. V průměru je horní hranice zvýšení extraktu mladiny 0,5 % hmotnosti. Při chlazení v uzavřených systémech je odpar a zvýšení extraktu mladiny zanedbatelné. Teplo, které je nutné odvést z mladiny pro docílení ochlazení na požadovanou zákvasnou teplotu lze vypočítat ze vzorce:

$$Q = \frac{V \rho c \Delta t}{\eta} \times 100$$

Rovnice 4

Chlazení, provzdušňování a odstraňování kalů mladiny je prováděno různými způsoby. Původně používané otevřené systémy měly nevýhodu v tom, že mohlo dojít k rozšíření kontaminace, obzvláště v letních měsících. Z tohoto důvodu došlo k nahrazení systémy uzavřenými. Chlazení ve skříňových chladičích se již dnes nepoužívá. Těmito chladiči procházela chladící voda svazky měděných trubek, které byly obklopeny ledem a odlučování kalů bylo prováděno pytlými filtry z lněné tkaniny. Postupně se z pivovarů také vytratily postupy založené na předchlazení mladiny v mělkých plochých mísách, kdy dochlazování probíhalo v otevřených sprchových, nebo uzavřených trubkových chladičích.

9.2 Oddělování hrubých kalů

K oddělování hrubých kalů z mladiny je využívána řada postupů, které jsou neustále zdokonalovány. Mezi postupy patří:

- Oddělování hrubých kalů v chladící a usazovací kádi
- Oddělování hrubých kalů ve vířivé kádi

9.2.1 Oddělování hrubých kalů v chladící a usazovací kádi

Chladící stoky jsou v tomto případě nahrazeny chladící a usazovací kádí, kdy je výhodou menší riziko infekce a nižší nároky na prostor. Jedná se o válcovitou uzavřenou nádobu s chladícími hady, nebo může být vybavena míchadlem, jenž zvíří kaly.

Nejdříve je přečerpána uvařená mladina do vrstvy 1 až 2 metry, následně je usazovací kád' předchlazena na 50 až 60 °C. Poté se usazené kaly začnou vířit pomocí mírného pohybu míchadla a v následných 10 až 20 minutách se znovu sedimentují, kdy zároveň probíhá strhávání jemných kalů. Vyčiřená a předchlazená mladina se následně stáhne plovákem, kalová mladina je vypuštěna k další úpravě otvorem na dně nádoby. V posledních letech ovšem došlo k nahrazení toho zařízení spolehlivějšími vířivými káděmi.

9.2.2 Oddělování hrubých kalů ve vířivé kádi

Vířivou kádí se rozumí uzavřená vertikální nádoba, která má podle velikosti jeden až dva tangenciální vstup horké mladiny, čerpané z mladinové pánve. Vířivá kád' začala nahrazovat chladicí a usazovací kádě v druhé polovině 20. století. Do kádě je vysokou rychlostí napuštěna tangenciálně horká mladina, která začne rotovat. Jakmile je pohyb mladiny uklidněn, vytvoří se na středu dna vířivé kádě kalový koláč a vyčiřená horká mladina je ze strany pomalu stahována čerpadlem k následnému zchlazení. Dno kádě může být buď zcela ploché, nebo má mírně kuželovitý tvar. Na obvodu kádí je někdy udělán sběrný kanálek, který zachycuje kaly. Vířivé kádě jsou vyráběny buď izolované nebo neizolované, což si určuje pivovar podle toho, jak horkou mladinu hodlá přivádět k chlazení. Poměr výšky hladiny mladiny vůči průměru vířivé kádě po přečerpání mladiny je volen 0,5 až 1:1. (Chládek, 2007)

10 Použité kotle pro ohřev

10.1 Parní kotel Anfra

Parní vyvíječ je opatřen nerezovým podstavcem, který slouží k umístění v nezamrzajícím prostředí. Připojení parního vyvíječe do elektrického vedení je provedeno pomocí průmyslové zásuvky, která je napájena 400 V o frekvenci 50 Hz. Odkalení parního vyvíječe je nutné mít napojeno na vhodnou vychlazovací nádrž.



Obr. 9 Parní kotel Anfra

Jedná se o model A.V. 300, který má výrobní kapacitu páry 300 kg/h a výkon 227 kW/h. Pracovní tlak činí 0,5 MPa, spotřeba plynu je 23 m³/h. Všechny údaje jsou uvedené v následující tabulce (Tabulka 1).

Model A.V.	A.V. 250	A.V. 300	A.V. 350
Výroba páry	250 kg/h	300 kg/h	350 kg/h
Výkon	189 kW/h	227 kW/h	264 kW/h
Pracovní tlak	5 bar	5 bar	5 bar
Spotřeba plynu	19 m ³ /h	23 m ³ /h	27 m ³ /h
Spotřeba ELTO	16,2 kg/h	19,2 kg/h	22,7 kg/h
Spotřeba LPG	13,5 kg/h	16,2 kg/h	18,9 kg/h
Spotřeba LPG	6 m ³ /h	7,2 m ³ /h	8,4 m ³ /h
Příkon	1,5 KVA	1,5 KVA	1,5 KVA
Výstup páry	1"	1"	1"
Hrdlo spalínového vedení	200 mm	200 mm	200 mm
Přetlak spalin	3,5 Mbar	4 Mbar	5 Mbar
Hmotnost	430 kg	460 kg	490 kg
Délka trysky hořáku	200/250	200/250	200/250
Výška bez hořáku	1670 mm	1670 mm	1670 mm
Šířka mm	1200 mm	1200 mm	1200 mm
Hloubka	700 mm	700 mm	700 mm

Tabulka 1 - Technické parametry parního vyvíječe Anfra

Jedná se o produkt od firmy Destila s.r.o.

10.2 Elektrokotel pro ohřev oleje EKO13

Elektrokotel EKO13 je vybaven třemi tělesy, které mají dohromady příkon 37,5 kW. Elektrokotel je vybaven bezpečnostním termostatem, který v případě poruchy řízení teploty odpojí topení elektrokotle a signalizuje poruchu na ovládacím panelu. Dále obsahuje přírubu pro připojení oběhového čerpadla a jímku pro teplotní čidlo.

Proudová sestava	3NPE AC 400/230 V TNC
Maximální příkon	51kVA
Přívodní kabel	4 x 25 mm ² CYKY
Předřazené pojistky	100 A
Pult PZP	1000 x 600 x 400 mm (V x Š x H)
Krytí	IP54/20

Tabulka 2 - Technické parametry elektrokotle EKO13



Obr. 10 Elektrokotel pro ohřev oleje

Dále je připojený jednostupňový výměník tepla [Obr.11] od firmy Sondex a.s., které mají následující technické parametry (Viz Tabulka 3). Pro chlazení mladiny je použita předchlazená voda o teplotě 0 až 1 °, jenž proudí proti směru mladiny.

Jmenovitá kapacita	90 kW
Teplosměnná plocha	71 m ²
Maximální pracovní tlak produktu	1 MPa
Maximální pracovní tlak média	1 MPa
Objem produktu	0,006 m ³
Objem média	0,006 m ³
Minimální pracovní teplota	0 °C
Maximální pracovní teplota	110 °C

Tabulka 3 - Technické parametry výměníků tepla

Na [Obr.12] je možno vidět červeně označená místa, ve kterých je mladinová pánev ohřívána.



Obr. 11 Tepelný výměník



Obr. 12 Ovládací panel

11 Porovnání

Operace	Čas při použití topného oleje [min]	Teplota při použití topného oleje [°C]	Čas při použití páry [min]	Teplota při použití páry [°C]
Vystírka	5	60	13	60
Peptonizační prodleva	10	57	10	52
Rmut				
Nižší cukrotvorná	40	65	35	65
Vyšší cukrotvorná	20	72	30	72
Odrmutování	5	77	5	78
Odpočinek	30	76	30	77,2
Předek	45		70	
Vyslazování	70		70	
Chmelovar	75	65	75	65

Tabulka 4 - Porovnání varních listů stylu Premium Bitter

Operace	Čas při použití topného oleje [min]	Teplota při použití topného oleje [°C]	Čas při použití páry [min]	Teplota při použití páry [°C]
Vystírka	4	54	11	54
Peptonizační prodleva	10	52	10	52
Rmut				
Nižší cukrotvorná	45	65	45	65
Vyšší cukrotvorná	52	72	20	72
Odrmutování	5	78	5	78
Odpočinek	30	76,8	30	76
Předek	52		55	
Vyslazování	78		78	
Chmelovar	90	65	90	65

Tabulka 5 - Porovnání varních listů u stylu IPL

Z porovnání varních listů u stylu IPL je patrné, že doba celého procesu je delší při použití topného oleje. Doba při použití oleje je 366 minut, zatímco při použití páry je 344 minut.

Naopak u porovnání varních listů stylu Premium Bitter je doba celého procesu vyšší při použití páry. Celý proces trval 300 minut za použití oleje a 338 minut u páry.

Z těchto výsledků je možné vyvodit, že pro styl IPL je časově výhodnější použít parní kotel, který při stejných dosažených teplotách zvládne celý proces o 22 minut rychleji. Pro pivní styl Premium Bitter zvládne kotel pro ohřev oleje celý proces o 38 minut rychleji než kotel pro ohřev páry.

Výpočet parametrů páry při chmelovaru

- $Q=131405,89 \text{ kJ}$
- $F=2,2 \text{ m}^2$
- $t_2=100 \text{ }^\circ\text{C}$
- $t_1=65 \text{ }^\circ\text{C}$

Podle vztahu $Q=F \cdot k \cdot (t_2 - t_1)$ lze vypočítat koeficient pro postup tepla k (2)

$$131405,89 = 2,2 \cdot k \cdot (100 - 65)$$

$$131405,89 = 77k$$

$$k = 1706,57 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K} = 0,474 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$$

Dále podle vztahu $1/k = 1/\alpha_1 + s/\lambda + 1/\alpha_2$ lze vypočítat koeficient přestupu tepla α_1 (Rovnice 3)

- $\alpha_2 = 14000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{h}$
- $\lambda = 20 \text{ kJ/m} \cdot \text{K} \cdot \text{h}$
- $s = 0,01 \text{ m}$
- $k = 1706,57 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}$

$$1/1706,57 = 1/\alpha_1 + 0,01/20 + 1/14000$$

$$6948,8 \alpha_1 = 477839600$$

$$\alpha_1 = 68765,77 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{h} = 19,1 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}$$

Výpočet parametrů horkého oleje při chmelovaru

- $Q=391046,92 \text{ kJ}$
- $F=2,2 \text{ m}^2$
- $t_2=180 \text{ }^\circ\text{C}$
- $t_1=65 \text{ }^\circ\text{C}$

Podle vztahu $Q=F \cdot k \cdot (t_2 - t_1)$ lze vypočítat koeficient pro postup tepla k (2)

$$391046,92 = 2,2 \cdot k \cdot (180 - 65)$$

$$391046,92 = 253k$$

$$k = 1545,64 \text{ kJ/m}^2 \text{ h} \cdot \text{K} = 0,4293 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$$

Dále podle vztahu $1/k = 1/\alpha_1 + s/\lambda + 1/\alpha_2$ lze vypočítat koeficient přestupu tepla α_1 (3)

- $\alpha_2 = 14000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{h}$
- $\lambda = 20 \text{ kJ/m} \cdot \text{K} \cdot \text{h}$
- $s = 0,01 \text{ m}$
- $k = 1545,64 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}$

$$1/1545,64 = 1/\alpha_1 + 0,01/20 + 1/14000$$

$$32697,6 \alpha_1 = 432779200$$

$$\alpha_1 = 13235,81 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{h} = 3,677 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}$$

12 Ekonomické porovnání

	Ohřev pomocí páry	Ohřev pomocí oleje
Odběr [kW/h]	45	37,5
Celková doba používání [min]	344	366
Cena za kWh [Kč]	4,91	4,91
Celkem [Kč]	1266,78	1 123,16

Tabulka 6 - Ekonomické porovnání pro styl IPL

	Ohřev pomocí páry	Ohřev pomocí oleje
Použitý výkon [kW/h]	45	37,5
Celková doba používání [min]	338	300
Cena za kWh [Kč]	4,91	4,91
Celkem [Kč]	1 244,69	920,63

Tabulka 7 - Ekonomické porovnání pro styl Premium Bitter

13 Závěr

Výsledné koeficienty pro přestup α_1 při chmelovaru činí u horkého oleje 13235,81 kJ/m²*K*h a tu páry 68765,77 kJ/m²*K*h

U pivního stylu IPL (Indian Pale Lager) při použití horkého oleje trval celý proces 366 minut a ekonomické náklady na jednu várku činily 1 123,16 Kč. Stejný proces při použití páry trval 344 minut a finanční náklady na jednu várku činily 1 244,69 Kč.

Pro pivní styl Premium Bitter trval celý proces za použití horkého oleje 300 minut a finanční náklady činily 920,63 Kč, zatímco při použití páry trval proces 338 minut a náklady činily 1 244,69 Kč.

Z těchto poznatků je patrné, že náklady na elektrickou energii jsou nižší při použití kotle pro ohřev horkého oleje. Rozdíl časové náročnosti se liší podle pivního stylu – pro styl IPL byl proces rychlejší za použití parního kotle o 22 minut, zatímco u stylu Premium Bitter byl naopak proces rychlejší o 38 minut při použití kotle pro ohřev horkého oleje. Při porovnání koeficientů přestupu tepla α_1 je jednoznačně vyšší koeficient pro horkou páru, což znamená, že lze dosáhnout několikanásobně vyšší intenzity varu.

Seznam obrázků

Obr. 1 Dopravník sladu do šrotovníku.....	18
Obr. 2 Vnitřek násypky šrotovníku s ochrannou mřížkou a magnety pro zachycení kovových příměsí.....	19
Obr. 3 Automatická váha a šrotovník.....	20
Obr. 4 Pohled do vířivé kádě	23
Obr. 5 Kypřicí zařízení ve varně o objemu 5 hl s možností otáčení kypřících nožů	30
Obr. 6 Kypřicí zařízení v pivovaru Antoš.....	31
Obr. 7 Parní potrubí vedoucí z kotle do mladinové pánve	35
Obr. 8 Příklad varny s potrubím ze scezovací kádě do párníku mladinové pánve.....	41
Obr. 9 Parní kotel Anfra.....	46
Obr. 10 Elektrokotel pro ohřev oleje.....	48
Obr. 11 Tepelný výměník	50
Obr. 12 Ovládací panel	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Technické parametry parního vyvíječe Anfra.....	47
Tabulka 2 - Technické parametry elektrokotle EKO13.....	48
Tabulka 3 - Technické parametry výměníků tepla	49
Tabulka 4 - Porovnání varných listů stylu Premium Bitter.....	51
Tabulka 5 - Porovnání varných listů u stylu IPL.....	52
Tabulka 6 - Ekonomické porovnání pro styl IPL	56
Tabulka 7 - Ekonomické porovnání pro styl Premium Bitter	56

Bibliografie

B. Kantelberg, H. Herrmann. 1992. Kvasný průmysl. *Web Kvasnyprumysl.cz.* [Online] 1992.
<https://www.kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/1992/01/02.pdf>.

Basařová, Gabriela. 2010. *Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva.* Praha : Vydavatelství VŠCHT Praha, 2010. 978-80-7080-734-7.

Chládek, Ladislav. 2007. *Pivovarnictví.* Praha : Grada Publishing, a.s., 2007. 978-80-247-1616-9.

Novotný, Petr. 2015. *Diversity Beer.* [Online] 11. Prosinec 2015.
<http://www.diversity.beer/2015/12/proces-1-dil-rmutovani.html>.

Urban, Martin. 2017. *alkoholium.cz. Alkoholium.* [Online] 2017.
<https://www.alkoholium.cz/uvarte-si-s-nami-domaci-pivo-3-dil-od-sladiny-k-mladine/>.

Seznam použitých znaků

Použitý znak	Význam [jednotky]
e	Hraniční hospodárná koncentrace výstřelku [%]
k	Cena paliva [Kč/GJ]
c	Cena sladu [Kč/t]
Q	Teplo předané od výhřevného média do mladiny [kJ/h]
F	Topná plocha [m ²]
t ₁	Teplota topného média [°C]
t ₂	Teplota mladiny [°C]
k	Koeficient postupu tepla [kJ/m ² h ¹ K]
α ₁	Koeficient přestupu tepla z topného média na vnější straně teplosměnné plochy [kJ/m ² *K*h]
α ₂	Koeficient přestupu tepla z vnitřní stěny teplosměnné plochy do mladiny [kJ/m ² *K*h]
s	Tloušťka stěny [m]
λ	Tepelná vodivost materiálu stěny – měď 330 kJ m ⁻¹ h ⁻¹ K, ocel 52 kJ m ⁻¹ h ⁻¹ K, korozivzdorná ocel 20 kJ m ⁻¹ h ⁻¹ K
Q	Teplo nutné k odvedení u mladiny [kJ /kg]

V	Objem vyrobené mladiny, kterou je nutné ochladit [l]
ρ	Měrná hmotnost mladiny [kg/l]
c	Měrné teplo mladiny [3,99kJ/kg*K]
Δt	Rozdíl teplot mladiny při vstupu a výstupu chladiče [°C]
η	Tepelná účinnost chladičího zařízení – konstanta 0,9