



Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Experimentální stanovení spotřeby elektrické
a tepelné energie pro výrobu mladiny při použití
různých způsobů přípravy rmutů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ladislav Chládek, CSc.

Vypracoval: Ondřej Trnka

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Trnka Ondřej

Technologická zařízení staveb

Název práce

Experimentální stanovení spotřeby elektrické a tepelné energie pro výrobu mladiny při použití různých způsobů přípravy rmutů

Anglický název

Experimental evaluation of electric and heat energy consumption for different ways of mashing

Cíle práce

Porovnat jednotlivé typy varen z hlediska jejich specifické spotřeby tepla a elektrické energie a návrh optimalizace procesu

Metodika

1. Provedení literární rešerše
2. Vypracování metodiky měření a výběr vhodného závodu
3. Provedení experimentálních prací
4. Vyhodnocení získaných výsledků a jejich diskuze
5. Závěr

Osnova práce

1. Úvod
2. Přehled poznatků z literatury
3. Analýza základních technologických, dopravních a manipulačních operací
4. Experimentální měření
5. Ekonomické zhodnocení výsledků
6. Diskuse zjištěných výsledků
7. Závěr a doporučení pro praxi

Rozsah textové části

50

Klíčová slova

specifická spotřeba, teplo, elektrická energie, varna, rmutování, chmelovar

Doporučené zdroje informací

1. Kunze, W. Technology Brewing and Malting, VLB Berlin, 2010, ISBN 978-3-921692-64-2,
2. Kosař, K, et al: Technologie piva a sladu, VUPS Praha 2000, ISBN 80-902658-6-3,
3. Basařová, G.: Pivovarství, VŠCHT Praha, 2010, ISBN 978-80-7080-734-7
4. Chládek, L.: Pivovarství, Grada Praha 2007N: 978-80-247-1616-9,
5. Časopisy Kvasný průmysl. Brewers Digest, Brauwelt,
6. Webové stránky

Vedoucí práce

Chládek Ladislav, doc. Ing., CSc.

Konzultant práce

Ing. Bohumil Valenta

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012



doc. Ing. Miroslav Příkryl, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 23.1.2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ladislava Chládky, CSc. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Autor souhlasí se zveřejněním práce.

Poděkování

Rád bych poděkoval sládkovi našeho školního pivovaru a vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Chládkovi, CSc. za ochotu, vstřícnost a trpělivost vůči mně v průběhu vypracování této práce. Dále pánům sládkům z pivovarů, v nichž probíhalo měření, za ochotu a spolupráci při provádění měření v jejich pivovarech.

Abstrakt

Cílem této práce je v první části vypracovat ucelený přehled technologických postupů při výrobě mladiny. Dále pak posouzení těchto postupů z hlediska spotřebované tepelné energie a uvedení používaných úsporných opatření se zaměřením na regeneraci tepelné energie.

V druhé části se práce zabývá provedením měření spotřeby energie ve třech reálných provozech. Dále zpracováním zjištěných dat a provedením zhodnocení těchto dat po energetické i ekonomické stránce. V poslední části jsou navržena vhodná úsporná opatření.

Klíčová slova:

Specifická spotřeba, teplo, elektrická energie, varna, rmutování, chmelovar

Summary

The aim of the first part of this thesis is to work out a comprehensive overview of the technological procedures used in wort production. Its further aim it so assess these procedures from the point of view of thermal energy consumed and implement the cost-saving measures focusing on thermal energy recuperation.

The second part of the paper deals with carrying out the energy consumption measurement with three specific producers. It also addresses processing the data found as well as its evaluation in terms of energetics and economy.

In the final part, suitable economy measures are proposed.

Keywords:

Specific consumption, heat, electric energy, digester house, mashing, wort boiling

OBSAH

PROHLÁŠENÍ.....	3
PODĚKOVÁNÍ	4
ABSTRAKT	5
1 ÚVOD.....	8
2 PŘEHLED POZNATKŮ Z LITERATURY	9
2.1 INFUZNÍ POSTUPY.....	10
2.1.1 Rmutování infuzní.....	10
2.2 DEKOKČNÍ POSTUPY	10
2.2.1 Jednormutový postup.....	11
2.2.2 Dvourmutový postup.....	11
2.2.3 Třírmutový postup.....	12
2.3 CHMELOVAR.....	13
2.3.1 Kondenzace brýdových par.....	14
2.3.2 Mechanická komprese brýdových par	15
2.3.3 Termická komprese brýdových par.....	16
2.3.4 Podtlakový odpar- Vacuum Evaporation Plant-Ziemann.....	17
3 ANALÝZA TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ, METODIKA MĚŘENÍ A VÝBĚR VHODNÉHO ZÁVODU.....	19
3.1 TEORETICKÁ SPOTŘEBA ENERGIE PŘI RŮZNÝCH POSTUPECH.....	19
3.1.1 Ohřev.....	21
3.1.2 výparné teplo	21
3.2 METODIKA MĚŘENÍ.....	22
3.2.1 Teoretická část.....	23
3.2.2 Praktická část.....	23
3.3 VÝBĚR MĚŘENÉHO ZAŘÍZENÍ	24
3.3.1 Pivovar A.....	25
3.3.2 Pivovar B.....	27
3.3.3 Pivovar C.....	28
4 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	30
4.1 VÝUKOVÝ A VÝZKUMNÝ PIVOVAR A.....	30
4.1.1 Naměřené hodnoty.....	32
4.1.2 Vaření rmutu.....	32
4.1.3 Chmelovar	33
4.1.4 Úspora energie z chladiče mladiny:	35
4.2 PIVOVAR B	36

4.2.1	Naměřené hodnoty.....	38
4.2.2	Vaření rmutu.....	39
4.2.3	Chmelovar	40
4.2.4	Úspora energie z chladiče mladiny:	42
4.3	PIVOVAR C	43
4.3.1	Naměřené hodnoty.....	45
4.3.2	Vaření rmutu.....	46
4.3.3	Chmelovar	48
4.3.4	Úspora energie z chladiče mladiny:	49
5	EKONOMICKÉ POSOUZENÍ.....	51
5.1	SUROVINY.....	51
5.2	MZDOVÉ A PROVOZNÍ NÁKLADY.....	52
5.3	ENERGIE	53
5.4	SHRNUTÍ	53
5.5	PŘÍKLAD ROČNÍ ÚSPORY:	54
6	NÁVRH OPATŘENÍ.....	56
6.1	SPECIFICKÉ POSTUPY BAT PRO PIVOVARSKÝ PRŮMYSL.....	56
6.2	PIVOVAR A	58
6.3	PIVOVAR B	60
6.4	PIVOVAR C	60
	<i>Příklad: Capstone C1000</i>	61
7	DISKUSE A ZÁVĚR.....	62
7.1	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	62
7.2	ZHODNOCENÍ	62
8	SEZNAM LITERATURY	64
	PŘÍLOHY:.....	65

1 Úvod

Vaření piva je jednou z nejstarších potravinářských technologií v dějinách lidstva. Za mnoho staletí, kdy naši předkové nalézali stále nové a účinnější způsoby vaření se snaha sládků ubírala hlavně cestou k získání vyšší kvality piva, zlepšení chuti, čistoty, trvanlivosti. Tato tekutina měla v té době k dokonalosti ještě daleko a od dnešní kvality ji dělil velký kus cesty.

Procesy vaření se časem víceméně ustálily na několika základních postupech a eliminovaly postupy nevhodné. Finálních postupů bylo dosaženo výhradně experimentálně, bez znalostí chemických a fyzikálních procesů, které při vaření piva probíhají. Ovšem výsledky ukázaly kvalitu těchto postupů a ty se zachovaly až do dnešních dnů, kdy vědecké poznatky jen potvrdily vhodnost jejich použití.

Současný vývoj v této oblasti probíhá již na vědeckých základech a poznatcích, avšak hlavní pozornost se věnuje především snaze o urychlení a zlevnění výroby. Této snahy lze dosáhnout cestou úspor na kvalitě nebo množství základních surovin, což ovšem musí nutně vést k snížení chuťové a výživné hodnoty piva.

Další možností jsou úspory získané volbou technologie, díky níž dochází k úspoře času a především k úsporám energie, která se značnou měrou podílí na výsledné ceně produktu.

Těchto úspor lze dosáhnout ve fázi vaření sladiny (rmutování), vaření mladiny (chmelovar) a ve fázi zrání (především zkrácení doby).

Bohužel i tyto upravené postupy při výrobě výrazně ovlivňují kvalitu a charakter piva, je proto důležité najít vhodný kompromis mezi cenou a požadovanou kvalitou.

Tato práce má za úkol určit teoreticky a prakticky spotřebu energie při různých způsobech vaření piva, a to v pivovarech různých velikostí. Porovnáním této spotřeby se spotřebou teoretickou, spočtenou dle skutečných parametrů, pak získáme přehled o účinnosti sledovaných pivovarů a lze navrhnout případná opatření.

2 Přehled poznatků z literatury

Varna se podílí na spotřebě tepelné energie pivovaru 50 – 60 %. Měrná spotřeba tepla ve varně kolísá v širokém rozmezí 50 – 120 MJ na hl piva k výstavu. V závislosti na velikosti pivovaru a použitých technologiích. Výroba mladiny se pak podílí na této spotřebě až 70 %. Jak vysoká je spotřeba energie závisí především na množství odparu, konstrukci mladinové pánve a způsobu jejího ohřevu. Značnou část tepla lze získat zpět a to z chladiče mladiny při chlazení várky. Je-li chladič dobře dimenzován, lze využít téměř veškerou tepelnou energii chlazené mladiny pro ohřev vystírací vody či na zapárku.

Druhým největším zpětně využitelným zdrojem tepla ve varně je teplo brýdových par vzniklých při varu mladiny. Při výběru vhodného systému regenerace tepelné energie je nutno vycházet z konkrétních podmínek pivovaru. Používají se tyto systémy: mechanická komprese brýdových par, termická komprese brýdových par. Případně kondenzace s předehřevem sladiny.

Při mechanické kompresi brýdových par se dosahuje energetické úspory, po odečtení zvýšené spotřeby elektrické energie k pohonu kompresoru, přibližně 56 %. Čistá energetická úspora při termické kompresi může při vhodném navržnutí dosahovat 60 %.



Obr. 1. Moderní varna – Ziemann

Současné používané způsoby vaření sladiny lze rozdělit do dvou základních skupin:

Infúzní postupy, kdy se celý objem vaří najednou: rmutování infúzní, rmutování skokem

Dekokční postupy, kdy se část objemu vaří ve zvláštní nádobě: I., II., III. rmutový postup

2.1 Infúzní postupy

Při těchto postupech se celá várka uvaří najednou v jedné nádobě. To přináší zásadní rozdíl v kvalitě ale i v ceně hotového piva.

2.1.1 Infúzní rmutování

Infúzní rmutování je nejméně náročným rmutovacím postupem, pro který postačuje jediná vyhřívaná nádoba. Vyloučením přečerpávání rmutů a vyloučením varu rmutů se dosahuje světlejší barvy a méně výrazné chuti piva než u dekokčních způsobů. Pro zajištění vysokého varního výtěžku je důležité zpracování dobře rozluštěného sladu. Běžný infúzní postup pro zpracování dobře rozluštěných sladů je znázorněn na obrázku (2a). Šrot se vystře podle vybrané technologie do vody o teplotě 48-50°C, alternativně při 60-62°C a ponechá se při této teplotě asi 30 min (Kunze, Kosař). Poté se přihřeje zapáčkou nebo ohřevem na 65°C s prodlevou opět 30 minut, dále se ohřívá na teplotu 72°C s prodlevou 20 min. Následně se dílo ohřeje na odrmutovací teplotu 76°C, při které se ponechá opět 20 minut. Doba celého rmutování nepřesáhne 100 min. Výhodou tohoto postupu jsou nižší investiční náklady na zařízení varny, krátká doba vlastního rmutování, jednoduchost a nižší energetická náročnost. Pro dosažení dobrých varních výsledků je předpokladem použití velmi dobře rozluštěných sladů.

2.2 Dekokční postupy

Jde o způsoby, při nichž k vaření dochází tepelným zpracováním ve rmutovací pánvi jedné, dvou nebo tří částí, tzv. „rmutů“, odebraných postupně z původního vystřeného objemu do další nádoby, tzv. „rmutovací kádě“. Energetická náročnost takových postupů je sice vyšší, ale vzrůstá též výtěžnost a především kvalita výrobku.

2.2.1 Jednormutový postup

Z hlediska délky a mechanického účinku se infúznímu postupu nejvíc přibližuje jednormutový postup. Oba se s výhodou používají u dobře rozluštěných sladů. Jako příklad lze uvést postup dle obrázku (2c). Vystírá se při teplotě 50°C, následuje 15 min odpočinek, dále ohřev párou nebo zapaření horkou vodou na teplotu 62°C, znovu odpočinek 15 min a odběr hustého rmutu. Ten se zcukří při vyšší cukrovarné teplotě 72°C, při níž se ponechá prodleva 20 min, po které se dílo dohřeje párou na odrmutovací teplotu 76°C. Celková doba obsazení rmutovací soupravy je cca 160 minut.

(Technologie výroby sladu piva, Kosař 2000);

2.2.2 Dvourmutový postup

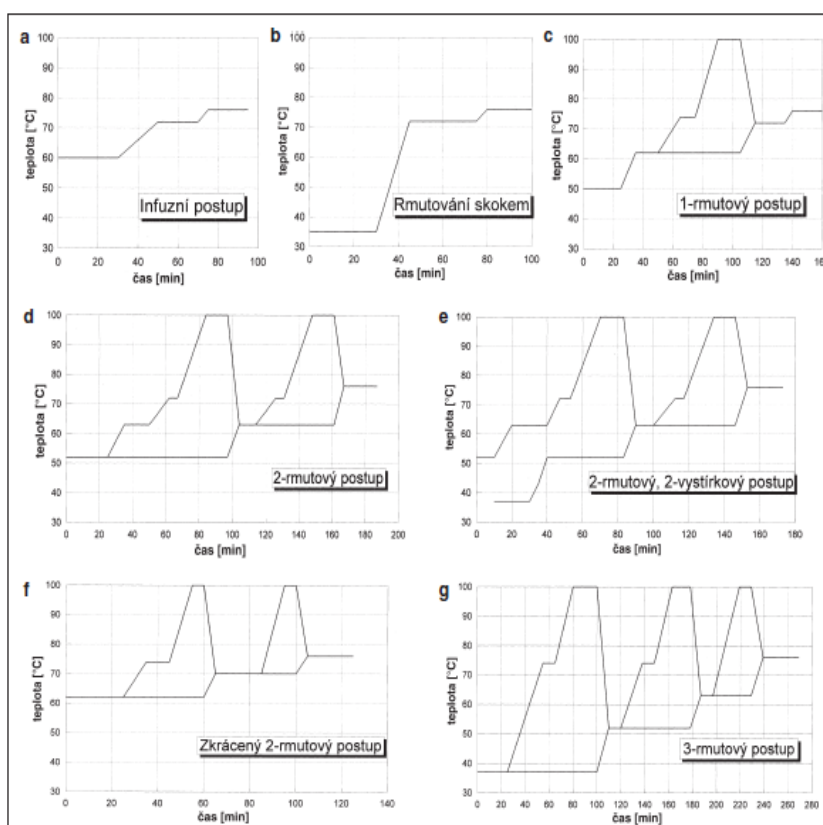
Klasický dvourmutový postup je vhodný pro výrobu světlých piv plzeňského typu při zpracování středně rozluštěných sladů. Vystírají se buď do vody o teplotě 37°C s následující zapáčkou na 52°C, nebo přímo při této teplotě. První hustý rmut se spouští do rmutovací pánve a ohřívá s gradientem 1°C/min na teplotu 63°C, kde se zařazuje dle enzymatické aktivity sladu 10-20minutová prodleva. Následně se rmut zvolna vyhřeje (gradient 0,7°C/min) na teplotu 72-74°C, při které obvykle během 5-10 minut dokonale zcukří. Po zcukření se rmut co nejrychleji (gradient 1,5°C/min) uvede do varu a vaří se 15-20 min. Pomalým vrácením povařeného rmutu do vystírací pánve při rychlém chodu míchadla se dosáhne v celém objemu pánve nižší cukrovarné teploty 62-64°C. Druhý, rovněž hustý rmut se zcukří při 72-74°C a povaří 15 min. Po jeho vrácení se dosáhne odrmutovací teploty 75-78°C. Pro podporu pěnovosti je možno snížit objem druhého rmutu tak, aby po jeho vrácení teplota vzrostla pouze na 70-71°C, při které se zařadí prodleva 20-30 min. Následně se parním ohřevem dílo dohřeje na odrmutovací teplotu. Při zpracování vysoce rozluštěných sladů je pro zachování pěnovosti a plnosti chuti piva vhodnější zvolit buď jednormutový postup, nebo zkrácený dvourmutový postup, při kterém se vystírá při 60-62°C, a dvěma malými, hustými, krátce povařenými rmuty se teplota zvýší na 70-71°C a dále na 75-78°C. Podmínkou tohoto postupu je vhodné umístění topných zón rmutovací pánve.

(Technologie výroby sladu piva, Kosař 2000)

2.2.3 Třírmutový postup

Třírmutový postup je klasickým postupem dekokčního rmutování. Vzhledem k pozvolnému zvyšování teploty a délce rmutování je možno s dobrým výsledkem zpracovat i hrubý šrot a hůře rozluštěné slady. Jeho nevýhodou je zdlouhavost a vysoká energetická náročnost. Při současné tendenci k dobře rozluštěným až přelouštěným sladům se proto používá jen zřídka a to spíše u tmavých speciálních piv, kde je vyžadována výraznější sladová chuť. Vystírá se obvykle při 37°C, odtahuje se první hustý rmut, po jehož vrácení vzroste teplota díla na 50-63°C. Rovněž druhý rmut je hustý a po jeho vrácení stoupne teplota na 62-65°C. Třetí rmut je již řídký, tzv. jalový, a vzhledem k nízkému podílu nezucukřeného škrobu se může v pánvi zahřívat rychleji a jen krátce (cca 10 min) povařit. Po jeho přečerpání do vystírací pánve se dosahuje odrmutovací teploty 75-78°C.

(Technologie výroby sladu piva, Kosař 2000)



Obr. 2. Různé způsoby rmutování

2.3 Chmelovar

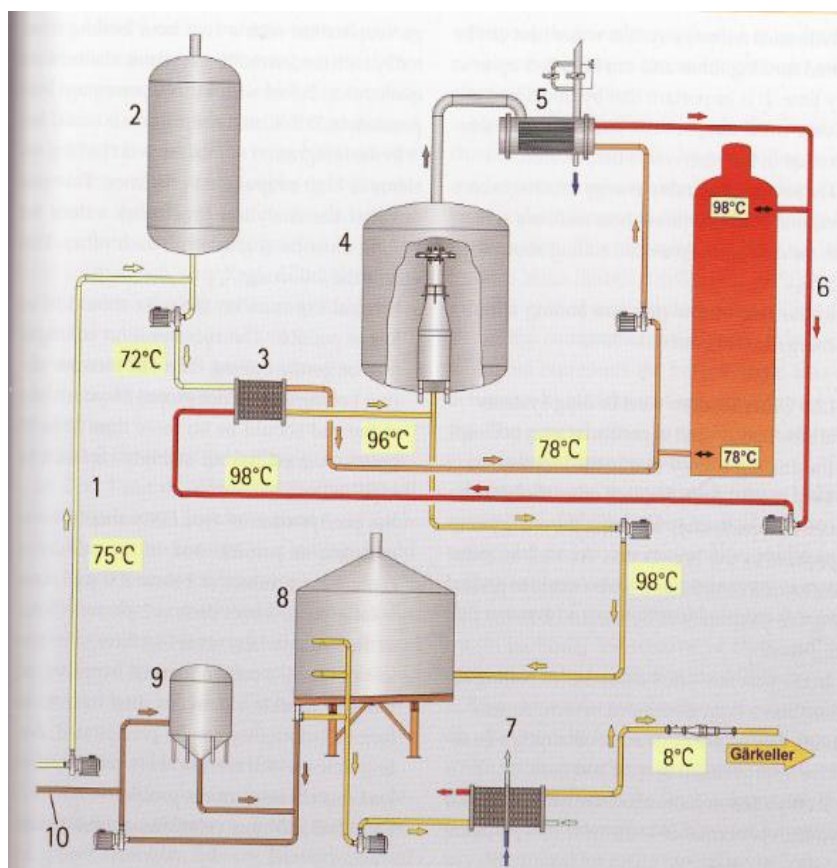
Dokonalé vyslazení mláta vyžaduje určitý přebytek vyslazovací vody. Jeho odpařením při chmelovaru se získá mladina požadované koncentrace. U klasického postupu s atmosférickým varem se volí délka varu 90-120 min. Intenzita varu a množství odpařené vody ovlivňují ve větší či menší míře ostatní probíhající děje. Důsledkem nedostatečného i nadbytečného odparu jsou kvalitativní problémy. Nadměrný odpar navíc značně zvyšuje energetickou spotřebu při chmelovaru. Pokud máme hladinu odparu zachovat na rozumné úrovni, je jediný možný způsob úspory energie její recyklace. Hlavním a v podstatě jediným využitelným zdrojem tepelné energie při chmelovaru je kondenzační teplo brýdových par, a dále teplo získané chlazením kondenzátu. V této fázi lze ušetřit až 27 MJ/hl tepelné energie. Je to po chladiči mladiny druhý největší zdroj odpadního tepla v pivovaru.

Mezi nejpoužívanější postupy patří:

- **Kondenzace brýdových par, tlakový var**
- **Mechanická komprese brýdových par**
- **Termická komprese brýdových par**
- **Podtlakový odpar**

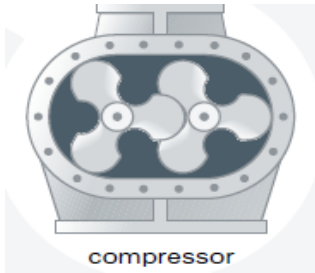
2.3.1 Kondenzace brýdových par

Ke kondenzaci brýdových par dochází ve vodou chlazeném, deskovém nebo trubkovém kondenzátoru (5), do něhož jsou přiváděny brýdové páry parníkem z mladinové pánve (4), namísto volným vypouštěním do ovzduší. Takto předané teplo ohřívá chladící vodu z 78°C až na 98°C. Voda se akumuluje v izolovaném zásobníku (6). Při přečerpávání sladiny z následující várky (2) do mladinové pánve, protéká sladina deskovým výměníkem (7), kde je předehřívána pomocí takto naakumulované horké vody z cca 72°C na 96°C. Další alternativou je tlakový var, kdy se díky vyššímu tlaku zvýší teplota varu a tím zkrátí varní čas, a zároveň sníží odpar. Zvýší se též teplota brýdových par a tím i teplota chladící vody v kondenzátoru. V tomto případě lze ohřát mladinu až na 98°C.



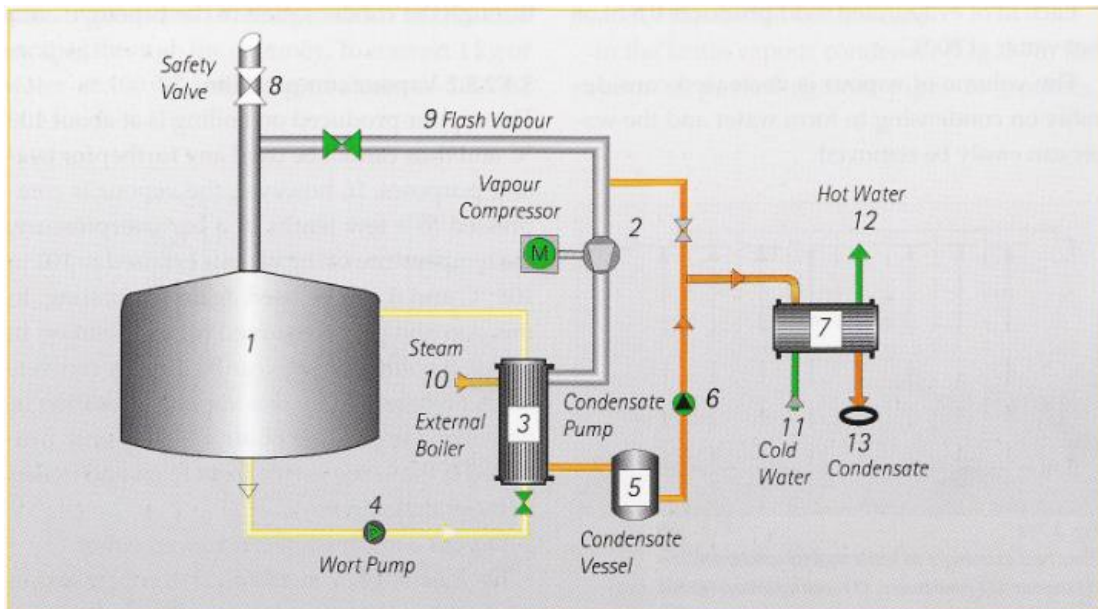
Obr. 3. Schéma zapojení kondenzátoru brýdových par

2.3.2 Mechanická komprese brýdových par



Obr. 4. Mechanický kompresor

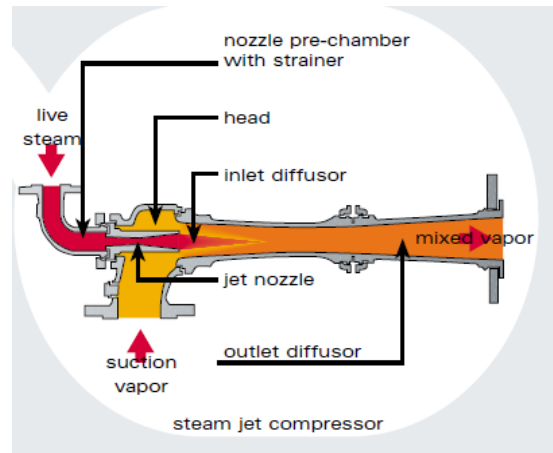
Brýdové páry z párníku jsou nasávány mechanickým kompresorem. V kompresoru se zvýší jejich tlak i teplota a následně jsou přiváděny na externí vařák, kde díky vyšší teplotě a tlaku, přivedou mladinu k varu. Po kondenzaci je kondenzát přiváděn do chladiče kondenzátu, kde předá zbylé teplo k ohřevu technologické vody. Úspora při mechanické kompresi, po odečtení nákladů na el. energii, dosahuje až 56 % z původní vložené energie.



Obr. 5. Schéma zapojení mechanické komprese brýdových par

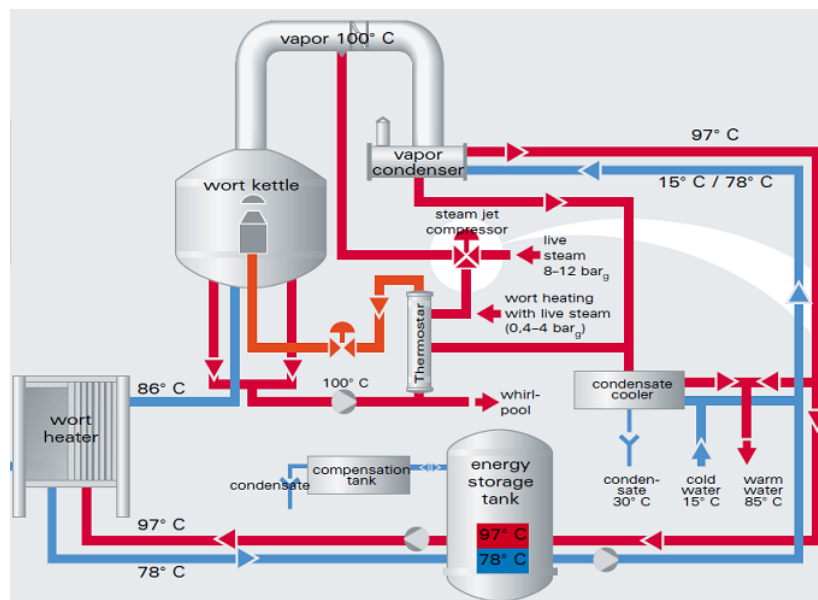
2.3.3 Termická komprese brýdových par

Brýdové páry jsou přímo z párníku nasávány termickým kompresorem a dále hnány energií přivedené externí páry na vařák, v něm díky velké teplosměnné ploše dochází k ohřevu mladiny na var i přes malou teplotu a tlak páry. Ve vařáku pára kondenzuje a je jímána do chladiče kondenzátu, kde slouží k ohřevu vody, například pro pomocné účely. Nadbytečná část brýdových par (až 45 %) může být vedena rovnou do kondenzátoru a použita k předehřevu mladiny.



Obr. 6. Termický kompresor

Energie ušetřená termickou kompresí činí až 60 % z původně vynaložené energie na chmelovar.



Obr. 7. Schema zapojení termické komprese brýdových par

2.3.4 Podtlakový odpar - Vacuum Evaporation Plant - Ziemann

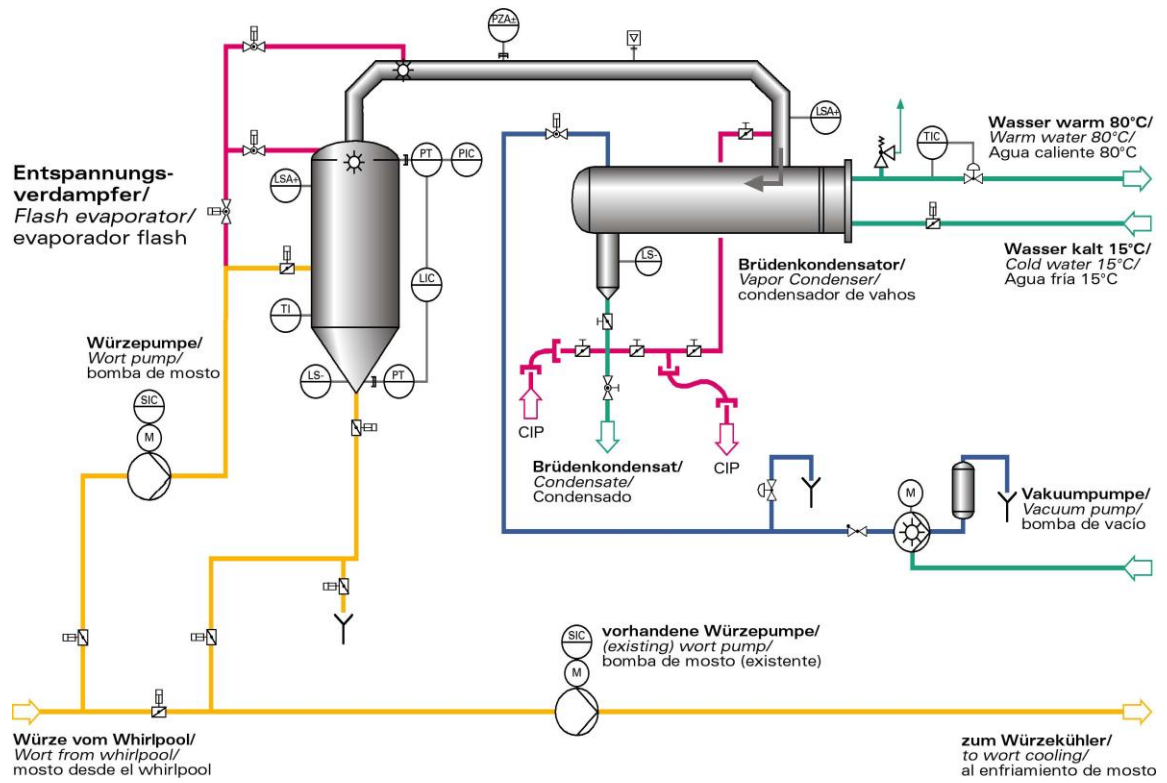
Při podtlakové technologii se mladina vaří cca. 40-50 min. běžným způsobem, s odparem pouze 4 %. Následuje obvykle zařazená vířivá kád'. Po odpočinku ve vířivé kádi je mladina na cestě k chladiči vedena bypassem přes vakuovou nádobu. Do nádoby je přiváděna tangenciálně, takže vytvoří tenký film, jenž umožňuje dobrý odpar. Podtlak v nádobě je 0,4 bar a zajistí odpar 2 %. Podtlak je z počátku zajištěn vodokružnou vývěvou, dále pak vlastní kondenzací části par.



Obr. 8. Zařízení pro podtlakový odpar systém Ziemann

Mladina dále stéká kuželovou částí do středu nádoby a je čerpadlem odváděna k chladiči mladiny. Vzniklé páry jsou při zachování podtlaku odsáty a přivedeny do kondenzátoru, kde kondenzují a předávají teplo chladicí vodě, kterou ohřívají na 80°C. Horká voda je následně uložena v izolovaném zásobníku a použita společně s vodou z chladiče mladiny k výše popsaným účelům.

Finální úspora tepelné energie je dle výrobce zařízení, po porovnání výdajů na var při běžném postupu, přibližně 35 %. Množství horké vody (80°C) získané z chladiče mladiny + kondenzátoru je srovnatelné s množstvím horké vody (80°C) získaným při přímém zařazení chladiče mladiny.



Obr 9. Schéma zapojení podtlakového odparu - Ziemann

3 Analýza technologických postupů, metodika měření a výběr vhodného závodu

Účelem práce je zjištění reálné spotřeby tepelné energie pro uvaření celé várky piva a následně její porovnání s teoretickou spotřebou, získanou výpočtem s použitím skutečných parametrů. Porovnáním hodnot poté zjistím účinnost jednotlivých systémů.

3.1 Teoretická spotřeba energie při různých postupech

Spotřeba tepelné energie při rmutování částečně roste s počtem rmutů, ale především s rostoucím odparem při varu rmutů a s klesající vystírací teplotou. Předpokladem k dosažení energetických úspor je dobré rozluštění sladu, které umožňuje rmutovací postup zkrátit. Snaha o dosažení úspory nesmí vést k poškození kvality. Bez rizika snížení jakosti lze energetické úspory dosáhnout využitím horké vody při zapařování a rozumným omezením odparu při varu rmutů.

Dosažení energetických úspor bez zásahů do technologie výroby, lze dosáhnout především důslednou recyklací tepla. Hlavním zdrojem je teplo z chladiče mladiny, přičemž energii takto získanou můžeme využít především k ohřevu zapárkové vystírací a vyslazovací vody. Dále pak vysoký potenciál nabízí energie získaná kondenzací brýdových par, případně jejich komprese.

Reálná spotřeba energie při vystírací teplotě (po zapáře) 52°C je literaturou (1) uváděna při:

dvourmutovém postupucca 25 MJ/hl

jednourmutovém postupucca 17 MJ/hl

infúzním postupucca 13 MJ/hl

Z uvedeného rozsahu je vidět, že změnou technologie lze dosáhnout úspory při vaření rmutu max. cca 12 MJ/hl, avšak na úkor kvality. Finanční úspora při takovém opatření činí přibližně 1/6 z ceny za energii pro uvaření piva. Ve srovnání s nižší kvalitou piva vařeného infúzním způsobem, a tím i jeho nižší prodejností, je podstatně výhodnější zavést jiná opatření, která o tolik nezhorší kvalitu piva. Přibližně dvojnásobné úspory, lze dosáhnout při chmelovaru

např. kompresí brýdových par (cca 30 MJ) přičemž tento zásah nemá na kvality produktu podstatný vliv.

Důležitý vliv na spotřebu energie má ovšem také velikost výstavu piva. To je dáno jednak velikostí vlastního varního zařízení, a s tím související vyšší technologickou úrovní a účinností, ale také četností varních procesů a s tím spojené možnosti regenerace energie.



Obr. 10. Porovnání moderního velkopivovaru s tradičním středním pivovarem s vlastní sladovnou

Tab. 1. – ukazuje široký rozsah od cca 70 až po 500 MJ tepla na 1 hl.

Energetická náročnost výroby piva			
teplo MJ/hl.	elektrina kWh/hl.	celkem MJ/hl.	specifikace provozu
BREF 2005			
85 – 120	7,5 – 11,5	112 – 161,4	pivovary nad 1 mil. hl výstavu
102,5	9,5	136,5	střední hodnota
118,7	10,7	165	pivovary celkem
Česká republika 2005 - 2008			
73,5 – 113,4	6,1 – 10,9	96,7 – 151,5	pivovary nad 1 mil. hl výstavu
107,4	8	136,3	vážený průměr
103,9	8,4	134,1	aritmetický průměr
109,9	8,6	139,4	medián
73,5 – 536,7*	4,6 – 20,1*	96,7 – 584,8*	pivovary celkem
140,3**	8,8**	171,9**	vážený průměr
280,7**	13,7**	329,9**	aritmetický průměr
234,1**	10,9**	281,8**	medián

Celkovou teoretickou energii pro uvaření 1 hl lze určit jako součet energie potřebné pro ohřev rmutu (mladiny) o Δt , a výparné teplo potřebné pro odpaření $n\%$ objemu rmutu.

3.1.1 Ohřev

Při výpočtu spotřeby tepelné energie potřebné k ohřevu rmutu vycházíme ze základní rovnice:

$$Q_t = \Delta t \cdot \rho \cdot V \cdot c, \quad (3.1)$$

kde:

Δt [K] rozdíl teploty mezi teplotou před začátkem ohřevu a teplotou na konci ohřevu. Uvažujeme-li vstupní teplotu vody 10°C a teplotu varu 100°C , je $\Delta t = 90^\circ\text{C} = 90 \text{ K}$. Rozdíl teplot klesá se vzrůstající teplotou vystírací vody.

ρ [kg/m^3] hustota ohříváné směsi, u rmutu předpokládáme hustotu cca $\rho = 1050 \text{ kg}/\text{m}^3$

V [m^3] objem ohříváné tekutiny. Při výpočtu energie na 1 hl použijeme $V = 0,1 \text{ m}^3$.

c [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] měrná tepelná kapacita ohříváné směsi, pro rmut $c = 3850 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, pro vodu $c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Výsledná energie v ideálním případě beze ztrát:

$$Q_t = 90 \cdot 1050 \cdot 0,1 \cdot 3850$$

$$\underline{Q_t = 36,38 \text{ MJ/hl}}$$

$$Q_t = 10,11 \text{ kWh/hl}$$

3.1.2 výparné teplo

Výparné teplo Q_v [J] určíme ze vztahu:

$$Q_v = \rho \cdot V \cdot l_v, \quad (3.2)$$

kde:

ρ [kg/m^3] hustota odpařované tekutiny, v tomto případě vody, pro jednodušší výpočet uvažujeme $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$.

$V [m^3]$ objem vody odpařené při rmutování a chmelovaru. Uvažuji maximální užívaný odpar 10 % z 1 hl, tj. $V = 0,01 m^3$.

$l_v [J.kg^{-1}]$ měrné výparné teplo vody $l_v = 2258000 J/kg$.

$$Q_v = 1000 \cdot 0,01 \cdot 2257000$$

$$\underline{Q_v = 22,57 MJ/hl}$$

$$Q_v = 6,27 kWh/hl$$

Celková spotřeba pro uvaření 1 hl mladiny pak je:

$$Q = Q_t + Q_v \tag{3.3}$$

$$\underline{Q = 63,31 MJ/hl}$$

$$Q = 17,59 kWh/hl$$

V praxi je reálný výdaj tepelné energie vždy vyšší, rozdíl nám udává účinnost varního zařízení.

Energie, kterou lze získat v reálu zpět, je udávána literaturou: z chlazení mladiny 25-30 MJ/hl, kondenzační teplo při 6-10 % odparu 15-27 MJ/hl

3.2 Metodika měření

Účelem měření bylo praktické zjištění spotřebované tepelné energie

Měření bylo prováděno vždy v průběhu celé várky a byla měřena celková energie dodaná do varny potřebná pro uvaření várky. Hodnoty byly zapisovány v technologicky významných bodech (teploty, časy)

Měření bylo rozděleno **na určení teoretických hodnot spočtených na základě skutečných parametrů a na zjištění reálných hodnoty získaných měřením.**

3.2.1 Teoretická část

V **teoretické části** byla počítána spotřeba energie v jednotlivých částech procesu dle skutečných parametrů (teplo potřebné k ohřevu o Δt + výparné teplo na *kg* odparu). Tím byly získány energetické nároky v ideálním stavu beze ztrát.

Zde byly zjišťované hodnoty:

Vaření rmutu:

- Hustota ohřivané směsi (koncentrace rmutu)
- Teplota studené vody (z vodovodu)
- Objem + teplota vystírací vody
- Hmotnost sypání (pro výpočet objemu vystírky)
- Objem + teplota díla na konci vaření rmutu (nátok na scezovací kád')

Chmelovaru:

- Objem + teplota sladiny přivedené do pánve
- Objem + teplota mladiny přečerpané do vířivé kádě
- Objem zchlazené mladiny (na spilce)

3.2.2 Praktická část

V **praktické části** byl měřen výsledný objem mladiny (výstav), a dále průtoky páry, plynu nebo spotřeba elektřiny (dále jen energie) pro dané technologické kroky. Konkrétně v jednotlivých fázích:

- Množství energie ve fázi ohřevu mladiny a rmutů
- Množství energie po dobu varu rmutů
- Množství energie po dobu ohřevu mladiny

- Množství energie po dobu varu mladiny

Veškeré údaje byly přepočítávány na výslednou jednotku MJ (1 MJ = 1/3,6 kWh)

Určení energie z páry:

V případě zjišťování energie přenesené sytou parou byla vždy naměřená hodnota udávána v tunách spotřebované páry. Celkové teplo ze zjištěného množství páry bylo určeno z tabulek syté páry jako hodnota Entalpie syté páry, přičemž byla známa vstupní teplota páry vstupující na teplosměnnou plochu či vnitřní vařák, teplota kondenzátu a tlak páry.

Zjištěné hodnoty z tabulky (příloha) jsou:

Energie přivedená jednou tunou páry v pivovaru C při průměrné teplotě 174°C a tlaku 0,9 MPa je: 2774 MJ/t

Energie přivedená jednou tunou páry v pivovaru B při průměrné teplotě 153°C a tlaku 0,4 MPa je: 2750,9 MJ/t

Určení tepelné energie z el. ohřevu:

Při měření spotřebované elektrické energie byl výstupní údaj kW/h, přičemž bylo použito přepočtu: 1 kW/h = 3,6 MJ, tedy zjištěné hodnoty v kW/h násobené koeficientem 3,6.

Určení energie spálením plynu:

V případě určení energie spálením plynu v kotli se vycházelo z tabulkových hodnot výhřevnosti zemního plynu, porovnaných s hodnotou místního dodavatele plynu.

Dodavatel plynu pro pivovary B a C uvádí výhřevnost plynu 34 MJ/m³

3.3 Výběr měřeného zařízení

Při výběru vhodného zařízení bylo předpokladem vybrat takové pivovary, které velikostí výstavu pokryjí rozmezí několika velikostních skupin pivovarů. Tedy nejlépe minipivovar, střední pivovar a velkopivovar. Z důvodů nepřístupnosti velkopivovarů byl nakonec zvolen pivovar nejnižší třídy (minipivovar) s výstavem cca 1000 hl/rok, malý pivovar s výstavem cca

80 tis hl/rok a střední pivovar o výstavu 200 tis hl/rok. Měření bylo prováděno v pivovarech, jejichž jména z důvodu anonymity nejsou uvedena. Proto byly dále v textu označeny A, B a C:

1. **A - Minipivovar: do 10 tis hl/rok**
2. **B - Malý pivovar: do 200 tis hl/rok**
3. **C - Střední pivovar nad 200 tis hl/rok**

3.3.1 Pivovar A



Obr. 11. Varna pivovaru A

Jde o výukový a výzkumný pivovar na nejmenované vysoké škole. Se svým objemem 10 hl/várku se řadí mezi nejmenší pivovary a jeho účelem je především výuka a výzkum.

V tomto pivovaru se používá dvourmutový způsob vaření, kvašení je v CKT a ležení v tlakových ležáckých tancích, pivo se nefiltruje ani nepasteruje. I přesto, že není ekonomické hledisko primární snahou, dochází v pivovaru k využití odpadní energie, jako v obou předešlých pivovarech, prostřednictvím využití horké vody z chladiče mladiny. Voda je používána především k vyslazování mláta, k vystírce a dále k pomocným provozům, např. CIP stanice. Podobných úspor jako větší měřené pivovary nedosahuje především z důvodu nižší četnosti várek. Vyloučením kontinuálního provozu nelze plně zužitkovat energii získanou z chladiče mladiny. Stejně tak je nutné opakované naběhnutí elektrokotle a s tím spojený prohřev všech parních rozvodů a CIP stanice.



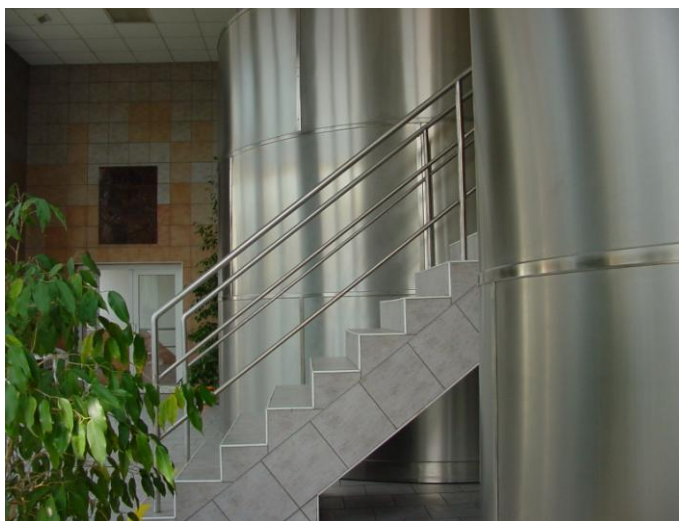
Obr. 12. Zapojení měřicího zařízení CA8332

Měření energie bylo prováděno pomocí měřicího zařízení CHAUVIN-ARNOUX CA 8332, připojeného na hlavní rozvaděč elektrokotle. Měření teplot probíhalo pomocí digitálních teploměrů (součást varního zařízení), měření objemů pomocí kalibrovaných měrek. Měření probíhalo od 8:00 ráno do 20:00 večer.



Obr. 13. Měřicí přístroj CHAUVIN-ARNOUX CA 8332

3.3.2 Pivovar B



Obr. 13. Varna pivovaru B

Pivovar B v současnosti dosahuje produkce piva 84 tisíc hektolitřů ročně. Tím se řadí mezi malé pivovary, přičemž stále dodržuje původní technologie.

Měšťanský pivovar vznikl v roce 1834 a od konce 19. století se datují jeho novodobé dějiny a moderní výroba piva.

Pivo se zde vaří klasickou metodou, 12° pivo na dva rmuty, s použitím scezovací kádě. Kvašení probíhá v otevřených spilkách a zrání v zracích tancích. V letním období, v době zvýšené produkce, jsou z kapacitních důvodů používány též CK tanky, ovšem tento fakt je uveden na obalu příslušného výrobku. Co se týče úspor energie, je ve velké míře využito odpadní teplo z chladiče mladiny, které téměř zcela pokryje nároky na ohřev vyslazovací a vystírací vody. Na rozdíl od pivovaru C není použito této vody k zapáře.

Při vaření používá pivovar zařízení firmy **Pacovské strojířny, a.s.** se čtyřmi káděmi vertikálně uspořádanými ve dvou věžích. Přičemž v první věži je v horní části scezovací kád' a v dolní mladinový kotel, v druhé věži pak nad sebou dvě rmutovystírací kádě. Ohřev je zajištěn výhradně párou, a to ve rmutovystíracích kádích prostřednictvím teplosměnné plochy, v mladinovém kotli vnitřním vařákem.

Při měření bylo vycházeno z údajů poskytnutých softwarem automatizovaného řídicího zařízení varny, získaných z permanentních čidel (průtokoměry atd.) vynášených na PC do velínu varny.

Byla průběžně měřena teplota páry a její hmotnostní tok a byl znám tlak. Dále objemy tekutin, hmotnosti šrotu a teploty ve varních nádobách a za chladičem mladiny. Vše v technologicky významných bodech (teploty, časy)

K dispozici byly vedle hodnot spotřeby páry též hodnoty spotřeby plynu.

Měření probíhalo při noční várce, v dobách, kdy byly ostatní procesy spotřebovávající páru odstaveny (lahvovna atd.). Díky tomu lze veškerou spotřebu připisovat pouze varně. Vzhledem k letnímu počasí se na spotřebě nepodílelo ani parní vytápění budovy.

Lze proto použít údaje o spotřebě energie získané na průtokoměru páry jako přímou spotřebu pro varnu.

3.3.3 Pivovar C



Obr. 14. Varna pivovaru C

Při svém ročním objemu 200 tis *hl* a objemem várky 200 *hl* lze pivovar řadit mezi střední pivovary. Pivovar vaří pivo stále na dva rmuty a při výrobě maximálně dodržuje původní postupy. Mimo jiné používá například slad z vlastní sladovny, pivo scezuje na scezovací kádi a nepožívá CK tanky.(kvašení probíhá v otevřených spilkách a zrání v ležáckých tancích). Vaří se ve 2 kotlích (rmutovací, mladinový), dále je varna osazena scezovací a vystírací pánví.

To vše přispívá k vysoké kvalitě piva, proces však klade vyšší nároky na obsluhu a především na spotřebu energie.

Takto zvýšené náklady jsou však rozhodně dobrou investicí do kvality a ta je pro podobně velký pivovar jedinou šancí do budoucna, kdy český spotřebitel stále častěji preferuje kvalitu a jedinečnost produktu před cenou a dostupností piv z velkopivovarů. Pivovarnictví je jedno z mála potravinářských odvětví, kde se díky přístupu českých spotřebitelů daří malým výrobcům odolávat tlaku velkých společností a úspěšně jim konkurovat.

Veškerá energie při vaření v pivovaru je přenášena pomocí páry vyvíjené v plynovém kotli.(fa. Ferostav) a záložním kotli Dukla.

V případě pivovaru C byly k dispozici kromě průběžné spotřeby páry též hodnoty spotřeby plynu. Hodnoty byly získávány z plynoměru před kotelnou. Dále pak byly v technologicky významných intervalech odečítány hodnoty na průtokoměru páry v centrále kotelny. Dále byly měřeny objemy a průtoky kapalin pomocí průtokoměrů a teploměrů vyvedených do velínu varny na monitor PC.

Měření probíhalo stejně jako v pivovaru B při noční várce, v dobách, kdy byly ostatní procesy spotřebovávající páru odstaveny (lahvovna atd.). Díky tomu lze veškerou spotřebu připisovat pouze varně. Vzhledem k letnímu počasí se na spotřebě nepodílelo ani parní vytápění budovy.

Lze proto použít údaje o spotřebě energie získané na paroměru jako přímou spotřebu varny pro uvaření várky.

4 Experimentální měření

4.1 Výukový a výzkumný pivovar A



Obr. 15. Varna pivovaru A

Získané údaje jsou uváděny v jednotkách:

Příkon[kW/h]

Teplota tekutin (voda, rmut, mladina)[°C]

Objem na várku[hl/várku]

Sypání na várku[kg/várku]

Tab. 2. Výsledky měření pivovar A
(přepočteno na 1 hl při výstavu 10,2 hl)

	čas (min)	fáze (hodnoty vždy na konci fáze)	rmut (°C)	dílo (°C)	pára (°C)	KW/h naměřené	kW/h	teplo (MJ)	(MJ/hl)	součet
I.rmut	10.0	Vystírka, přečerpání I. rmutu	37	37		0	0	0,00	0,00	(MJ/hl)
	15.00	Ohřev díla ve rmutovací pánvi	52	52		22	22	79,20	7,76	
	5.00	Prodleva	53	53		22	0	0,00	0,00	
	9.00	Ohřev I.rmutu	65	53		28,3	6,3	22,68	2,22	
	30.00	Prodleva	64,9	53		28,3	0	0,00	0,00	
	3.00	Ohřev I.rmut	73,5	53,3		33,2	4,9	17,64	1,73	
	31.00	Prodleva	73,8	53,3		33,2	0	0,00	0,00	
	19.00	Ohřev I.rmut	100	53,5		46,7	13,5	48,60	4,76	
Ohřev										16,48
	20.00	Var I. Rmutu	100,8	53,5		72	25,27	90,98	8,92	
Var										8,92
										23,40
II.rmut	5.0	Přečerpání I. rmutu, stažení II. rmutu	62,3	65		80,2	0	0,00	0,00	
	2.0	Ohřev II.rmutu	72,2	65		85	4,8	17,28	1,69	
	32.0	Prodleva	73,3	64		125	0	0,00	0,00	
	19.0	Ohřev II.rmutu	100	62		141	16	57,60	5,65	
Ohřev										7,34
	10.0	Var II. Rmutu	101,1	61,8		153	12,7	45,7	4,48	
Var										4,48
										13,82
										energie celkem rmut 37,22
Chmelovar	5.0	Čerpání sladiny		65		22	0	0,00	0,00	
	28.0	Ohřev sladiny		99		85,7	63,7	229,32	22,48	
Ohřev										22,48
	85.0	Var mladiny		99		167,04	81,34	292,82	28,71	
Var										28,71
										energie chmelovar 51,1906
										energie varna 88,41

4.1.1 Naměřené hodnoty

Jelikož objem horké mladiny z várky byl 10,2 *hl*, byl přepočet veškerých hodnot na 1 *hl* prováděn dle vzorce:

$$V = V_c/10,2. \quad (4.1)$$

Celková spotřeba elektřiny

Celková spotřeba energie činí 280 *kWh*, z toho 250,5 *kWh* je vlastní spotřeba varny a 29,5 *kWh* bylo použito pro dohřev vody ohřáté z minulé várky, avšak již vychladlé.

4.1.2 Vaření rmutu

Skutečná spotřeba tepla:

Energie pro ohřev rmutu:

zahřátí vystírky na 53°C + zahřátí I. a II. rmutu: 16,48 + 7,34 = **23,82 MJ/hl**

Energie pro var rmutu:

I. rmut + II. rmut = 8,92 + 4,48 = **13,4 MJ/hl**

Celková změřená spotřeba energie při rmutování na 1 *hl* = **37,22 MJ/hl**

Teoretická spotřeba tepla v daných podmínkách:

Výpočet objemů a odparu:

Objem díla změřeno po vystírce 12 *hl* (měřeno kalibrovanou měrkou)

Objem přivedený na scezovací kád' 11,4 *hl* (měřeno kalibrovanou měrkou)

Odpar rmutů: 12-11,4 = 0,6 hl

Energie pro ohřev rmutu:

Vystírací teplota 37°C

Teplota na konci rmutování 72°C

Dosažením do vzorce (3.1) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(72-37) \cdot 1,2 \cdot 1050 \cdot 3850 / 10,2 = \underline{\underline{15,13 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro odpar rmutu:

Odpar při rmutování 0,6 hl

Dosažením do vzorce (3.2) a s využitím (4.1) dostaneme

$$2257000 \cdot 0,06 \cdot 1000 / 10,2 = \underline{\underline{13,27 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková teoretická spotřeba energie při rmutování na 1 hl: **28,4 MJ/hl**

4.1.3 Chmelovar

Skutečná spotřeba tepla:

Energie pro ohřev při chmelovaru:

$$\underline{\underline{22,48 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro odpar při chmelovaru:

$$\underline{\underline{28,71 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková změřená spotřeba energie při chmelovaru na 1 hl: **51,19 MJ/hl**



Obr. 16. Vřivá kád'

Teoretická spotřeba při daných podmínkách:

Výpočet objemů a odparu:

Objem sladiny na začátku varu 11 *hl* (měřeno kalibrovanou měrkou)

Objem mladiny na konci varu 10,2 *hl* (měřeno kalibrovanou měrkou)

Odpar mladina: 11-10,2 = 0,8 *hl*

Energie pro ohřev při chmelovaru:

Teplota na začátku 65°C , teplota varu 99°C

Dosažením do vzorce (3.1) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(99-65) \cdot 1,1 \cdot 1050 \cdot 3850 / 10,2 = \underline{\underline{14,82 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro odpar při chmelovaru:

Odpar při chmelovaru 0,8 *hl*

Dosažením do vzorce (3.2) a s využitím (4.1) dostaneme

$$2257000 \cdot 0,08 \cdot 1000 / 10,2 = \underline{\underline{17,701 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková teoretická energie při chmelovaru na 1 *hl*: **32,52 MJ/hl**

4.1.4 Úspora energie získaná z chladiče mladiny:

Uspořená energie pro ohřev vystírací vody:

Ohřev 10 *hl* vystírací vody na teplotu 37°C chladičem mladiny (úspora) (viz vztah (3.1)):

$$(37-15) \cdot 4180 \cdot 1 \cdot 1000 / 10,2 = \underline{\underline{9,42 \text{ MJ/hl}}}$$

Uspořená energie pro ohřev vyslazovací vody:

Ohřev 3 *hl* vyslazovací vody na teplotu 37°C chladičem mladiny (před přihrátím parou)

$$(37-15) \cdot 0,3 \cdot 1000 \cdot 4180 / 10,2 = \underline{\underline{2,827 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková úspora energie z chlazení mladiny vztažená na 1 *hl*: **12,25 MJ/hl**

Tab. 3. Výsledky měření, souhrn:

odpar 1,4 hl - 13,7%

spotřebované teplo(MJ/hl)*	Naměřené hodnoty	Výpočtové hodnoty
rmut-ohřev	23,82	15,13
rmut-odpar	13,4	13,27
teplo rmut	37,22	28,4
mladina-ohřev	22,48	14,82
mladina odpar	28,71	17,70
mladina	51,19	32,52
součet	88,41	60,92
úspora-vystírací voda		9,42
úspora-vyslazovací voda		2,83
úspora celkem		12,25

*přepočteno na 1 *hl* piva k výstavu 10,2 *hl*

4.2 Pivovar B



Obr. 17. pivovar B

Získané údaje jsou uváděny v jednotkách:

Celková spotřeba páry na várku[t/várku]

Teplota páry[°C]

Tlak páry[MPa]

Teplota tekutin (voda, rmut, mladina)[°C]

Objem na várku[hl/várku]

Sypání na várku[kg/várku]

Spotřeba plynu na várku[m³/várku]

Tab. 4. Výsledky měření pivovar B
(přečteno na 1 hl při výstavu 155 hl)

	čas (min)	fáze (hodnoty vždy na konci fáze)	rmut (°C)	dílo (°C)	pára (°C)	pára měřák	pára (t)	teplo (MJ)	(MJ/hl)*	energie	
I.rmut	0.0	Vystírka, přečerpání I.rmutu	32,1	32,1	155	0	0	0,00	0,00	(MJ/hl)	
	10.00	Kontinuální ohřev v obou pánvích	53	53	155,7	0,31	0,31	852,78	5,50		
	14.00	Prodleva	53	53	156,5	0,31	0	0,00	0,00		
	5.00	Ohřev I.rmutu	64,2	53	154,9	0,35	0,04	110,04	0,71		
	10.00	Prodleva	64,9	53	156,2	0,35	0	0,00	0,00		
	5.00	Ohřev I.rmutu	73,5	53,3	152,8	0,39	0,04	110,04	0,71		
	25.00	Prodleva	73,8	53,3	156,5	0,39	0	0,00	0,00		
	8.00	Ohřev I.rmutu	100	53,5	152,3	0,54	0,15	412,64	2,66		
Ohřev									9,58		
	30.00	var I. rmutu	100,8	53,5	153,1	0,93	0,39	1072,85	6,92		
Var									6,92		
									16,50		
II.rmut	0.0	Přečerpání I.rmutu, stažení II.rmutu	62,3	62,3	156,2	0,93	0	0,00	0,00		
	6.0	Ohřev II.rmutu	72,2	62,1	153,4	0,99	0,06	165,05	1,06		
	25.0	Prodleva	73,3	62,1	156,2	0,99	0	0,00	0,00		
	12.0	Ohřev II.rmutu	100	61,8	153,1	1,22	0,23	632,71	4,08		
Ohřev									5,15		
	25.0	Var II.rmutu	101,1	61,8	153,4	1,52	0,3	825,27	5,32		
Var									5,32		
									10,47		
									energie celkem rmut	26,97	
Chmelovar	0.0	Čerpání sladiny		73,8	156,4	0	0	0,00	0,00		
	50.0	Ohřev sladiny		100	153,4	0,82	0,82	2255,74	14,55		
Ohřev									14,55		
	90.0	Var mladiny		100,8	152,1	2,6	1,78	4896,60	31,59		
Var									31,59		
									energie chmelovar	46,14	
									energie varna	73,11	

4.2.1 Naměřené hodnoty

Jelikož objem mladiny je 155 hl, byl přepočítan veškerých hodnot na 1 hl prováděn dle vzorce:

$$V_{hl} = V/155 \quad (4.2)$$

Celková spotřeba plynu (plynoměr)

Celková spotřeba plynu pro celou várku (rmutování, chmelovar) $V = 550 \text{ m}^3$.

Výhřevnost plynu uváděná výrobcem $q = 34 \text{ MJ/m}^3$.

Celková energie přivedená spálením plynu na várku:

$$550.34/155 = \mathbf{120,64 \text{ MJ/hl}}$$

Celková spotřeba páry (varna)

Celková skutečná spotřeba páry je **4,12 t/várku**

Měrné kondenzační teplo páry o teplotě 154°C při tlaku $0,4 \text{ MPa}$ dle přílohy 1: $2750,9 \text{ MJ/t}$.

Celková energie dodaná parou na várku:

$$4,12.2750,9/155 = \mathbf{73,11 \text{ MJ/hl}}$$



Obr. 18. Spilka

4.2.2 Vaření rmutu

Skutečná spotřeba tepla:

Energie pro ohřev rmutu:

Přivedená pára k zahřátí vystírky na 53°C + zahřátí I. a II.rmutu: 0,54 +0,29 t

$$(0,54+0,29).2750,9/155 = \mathbf{14,73 MJ/hl}$$

Energie pro var rmutu:

Přivedená pára pro var I.rmutu + II. rmutu 0,39+0,3 t

$$(0,39+0,30).2750,9/155 = \mathbf{12,24 MJ/hl}$$

Celková změřená spotřeba energie při rmutování na 1 hl = **26,97 MJ/hl**

Teoretická spotřeba tepla v daných podmínkách:

Výpočet objemů a odparu:

Objem vystírky + oplach (průtokoměr) 95 hl

Hmotnost sypání na várku 28,35 .100 kg

Objem vystřeného šrotu dle literatury 1: 0,7.28,35 = 19,84 hl

Objem přivedený na scezovací kád' 106,5 hl

Odpar rmut: 95+19,84-106,5 = 8,34 hl

Energie pro ohřev rmutu:

Vystírací teplota 32,1°C

Teplota na konci rmutování 74,8°C

Dosazením do vzorce (3.1) a s využitím (4.1) dostaneme

$$((74,8-32,1) \cdot 11,48 \cdot 1050 \cdot 3850) / 155 = \underline{\underline{12,78 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro odpar rmutu:

Odpar při rmutování 8,3 hl

Dosazením do vzorce (3.2) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(2257000 \cdot 0,83 \cdot 1000) / 155 = \underline{\underline{12,07 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková teoretická spotřeba energie při rmutování na 1 hl: **24,85 MJ/hl**



Obr. 18. Ležácký sklep

4.2.3 Chmelovar

Skutečná spotřeba tepla:

Energie pro ohřev při rmutování:

Přivedená pára k zahřátí mladiny k varu: 0,82 t

$$0,82 \cdot 2750,9 / 155 = \underline{\underline{14,55 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro var při rmutování:

Přivedená pára pro var při rmutování: 0,69 t

$$0,69 \cdot 2750,9 / 155 = \mathbf{31,59 \text{ MJ/hl}}$$

Celková změřená spotřeba energie při rmutování na 1 hl = **46,14 MJ/hl**

Teoretická spotřeba tepla v daných podmínkách:

Výpočet objemů a odparu:

Objem sladiny přivedené na mladínovou kád' (průtokoměr) 176 hl

Objem hotové mladiny (průtokoměr) 155 hl

Odpar při chmelovaru 176-155 = 21 hl

Energie pro ohřev při rmutování:

Teplota sladiny na počátku 73,8°C

Teplota varu 100,8°C

Dosazením do vzorce (3.1) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(100,8 - 73,8) \cdot 17,6 \cdot 1050 \cdot 3850 / 155 = \mathbf{12,39 \text{ MJ/hl}}$$

Energie pro odpar při rmutování:

Odpar při rmutování 21 hl

Dosazením do vzorce (3.2) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(2257000 \cdot 2,1 \cdot 1000) / 155 = \mathbf{30,5 \text{ MJ/hl}}$$

Celková teoretická spotřeba energie při rmutování na 1 hl: **42,89 MJ/hl**

4.2.4 Úspora energie z chladiče mladiny:

Uspořená energie pro ohřev vystírací vody:

Ohřev 95 hl vystírací vody na teplotu 32,1°C chladičem mladiny (úspora) (viz vztah (3.1)):

$$(32,1-15).4180.9,5.1000/155 = \underline{\underline{4,38 \text{ MJ/hl}}}$$

Uspořená energie pro ohřev vyslazovací vody:

Ohřev 50+40+40 hl vyslazovací vody na teplotu 72°C chladičem mladiny

$$(72-15).13.1000.4180/155 = \underline{\underline{19,98 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková úspora energie z chlazení mladiny vztažená na 1 hl: **24,36 MJ/hl**

Tab. 5. Výsledky měření, souhrn:

odpar 29,3 hl = 19 % celkového odparu

spotřebované teplo(MJ/hl)*	Naměřené hodnoty	Výpočtové hodnoty
rmut-ohřev	17,73	12,78
rmut-odpar	12,24	12,07
teplo rmut	26,97	24,85
mladina-ohřev	14,55	12,39
mladina odpar	31,6	30,5
mladina	46,15	42,89
součet	73,09	67,74
úspora-vystírací voda		4,38
úspora-vyslazovací voda		24,36
úspora celkem		24,36

*přepočteno na 1 hl piva k výstavu 155 hl

4.3 Pivovar C



Obr. 20. Mladinová pánev

Získané údaje jsou uváděny v jednotkách:

Celková spotřeba páry na várku[t/várku]

Teplota páry[°C]

Tlak páry[MPa]

Teplota tekutin (voda, rmut, mladina)[°C]

Objem na várku[hl/várku]

Sypání na várku[kg/várku]

Spotřeba plynu na várku[m³/várku]

Tab. 6. Výsledky měření pivovar C

*přepočteno na 1 hl při výstavu 224 hl

	čas (min)	fáze (hodnoty vždy na konci fáze)	rmut (°C)	dílo (°C)	pára (°C)	pára měřák	pára (t)	teplo (MJ)	(MJ/hl)*
I.rmut	40.00	Vystírka + zapárka	0	50,1	176	0	0,00	0,00	(MJ/hl)
	4.00	Ohřev I.zcukření	63,7	50,1	174	0,082	227,47	1,02	
	20.00	Prodleva	63,8	50,2	175	0	0,00	0,00	
	11.00	Ohřev II.zcukření	72	50	176	0,0554	153,68	0,69	
	20.00	Prodleva	72,3	49,5	176	0	0,00	0,00	
	13.00	Ohřev na var	98	49,8	174	0,156	432,74	1,93	
ohřev									3,63
	20.00	Var I.rmutu	99	49	174	0,69	1914,06	8,54	
Var									8,54
									12,17
II.rmut	0.0	Přečerpání I. rmutu, stažení II. rmutu	63,9	63,9	174	0	0,00	0,00	
	10.0	Ohřev II.rmutu	72	63,5	173	0,0482	133,71	0,60	
	20.0	Prodleva	72,2	63	176	0	0,00	0,00	
	13.0	Ohřev II.rmutu	98	62	174	0,161	446,61	1,99	
Ohřev									2,59
	20.0	Var II.rmutu	101,1	61,8	172	0,688	1892,62	8,45	
var									8,45
									11,04
									energie celkem rmut 23,21
*přepočteno na 1 hl při výstavu 224 hl									
chmelovar	0.0	Čerpání sladiny	x	73	176	0	0,00	0,00	
	39.0	Ohřev sladiny	x	98	174	1,187	3292,74	14,70	
Ohřev									14,70
	90.0	Var mladiny	x	101	172	2,287	6344,14	28,32	
Var									28,32
									energie chmelovar 43,02
									energie varna 66,23

4.3.1 Naměřené hodnoty

Jelikož objem mladiny je 224 hl, byl přepočítan veškerých hodnot na 1 hl prováděn dle vzorce:

$$V_{hl} = V/224 \quad (4.2)$$

Celková spotřeba plynu (plynoměr)

Celková spotřeba plynu pro celou várku (rmutování, chmelovar) $V = 721 \text{ m}^3$.

Výhřevnost plynu uváděná výrobcem $q = 34 \text{ MJ/m}^3$.

Celková energie přivedená spálením plynu na várku:

$$721.34/155 = \mathbf{109,43 \text{ MJ/hl}}$$

Celková spotřeba páry (varna)

Celková skutečná spotřeba páry je **5,35 t/várku**

Měrné kondenzační teplo páry o teplotě $174,5^\circ\text{C}$ při tlaku $0,9 \text{ MPa}$ dle přílohy 1: 2774 MJ/t .

Celková energie dodaná parou na várku:

$$5,35.2774/224 = \mathbf{66,31 \text{ MJ/hl}}$$



Obr. 21. Kotelna; pivovar C

4.3.2 Vaření rmutu

Skutečná spotřeba tepla:

Energie pro ohřev rmutu:

Přivedená pára k zahřátí I. a II.rmutu (díky zapářce se vystírka neohřívá): 0,5 t

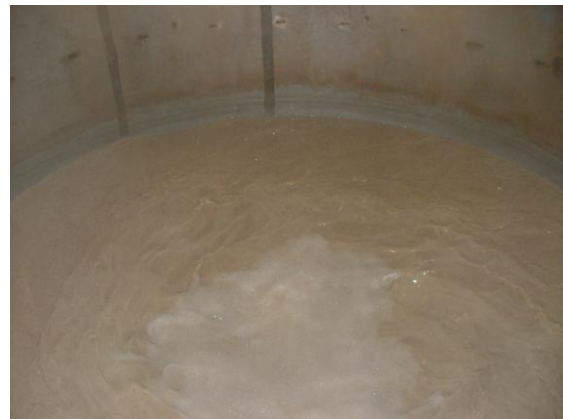
$$0,5 \cdot 2774 / 224 = \mathbf{6,18 \text{ MJ/hl}}$$

Energie pro var rmutu:

Přivedená pára pro var I.rmutu + II.rmutu: 1,38 t

$$(1,38 \cdot 2774 / 224 = \mathbf{17 \text{ MJ/hl}}$$

Celková změřená spotřeba energie při rmutování na 1 hl = **23,21 MJ/hl**



Obr. 22. Rmutovací pánev, celkový pohled a pohled do pánve; pivovar C

Teoretická spotřeba tepla v daných podmínkách:

Výpočet objemů a odparu:

Objem vystírky + zapářky + oplach (průtokoměr) 123 hl

Hmotnost sypání na várku 31 .100 kg

Objem vystřené šrotu dle literatury 1: 0,7.31 = 21,7 hl

Objem přivedený na scezovací kád' 132,7hl

Odpar rmut: $123+21,7-132,7 = 12 \text{ hl}$

Energie pro ohřev rmutu:

Vystírací teplota $50,1^\circ\text{C}$

Teplota na konci rmutování $73,8^\circ\text{C}$

Dosažením do vzorce (3.1) a s využitím (4.1) dostaneme

$$((74,8-32,1) \cdot 11,48 \cdot 1050 \cdot 3850) / 224 = \underline{\underline{6,18 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro odpar rmutu:

Odpar při rmutování 12 hl

Dosažením do vzorce (3.2) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(2257000 \cdot 1,2 \cdot 1000) / 224 = \underline{\underline{12,09 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková teoretická spotřeba energie při rmutování na 1 hl : **18,27 MJ/hl**



Obr. 23. Scezovací kád'; pivovar C

4.3.3 Chmelovar

Skutečná spotřeba tepla:

Energie pro ohřev při rmutování:

Přivedená pára k zahřátí mladiny k varu: 1,187 t

$$1,187 \cdot 2774 / 224 = \mathbf{14,7 \text{ MJ/hl}}$$

Energie pro var při rmutování:

Přivedená pára pro var při rmutování: 2,29 t

$$2,29 \cdot 2774 / 224 = \mathbf{28,3 \text{ MJ/hl}}$$

Celková změřená spotřeba energie při rmutování na 1 hl = **43 MJ/hl**



Obr. 24. Chmelovar, mladinová pánev; pivovar C

Teoretická spotřeba tepla v daných podmínkách:

Výpočet objemů a odparu:

Objem sladiny přivedené na mladinovou kád' (průtokoměr) 245 hl

Objem hotové mladiny (průtokoměr) 224 hl

Odpar při chmelovaru 245-224 = 21 hl

Energie pro ohřev při rmutování:

Teplota sladiny na počátku 68,4°C

Teplota varu 100°C

Dosažením do vzorce (3.1) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(100-68,4) \cdot 24,5 \cdot 1050 \cdot 3850 / 224 = \underline{\underline{13,97 \text{ MJ/hl}}}$$

Energie pro odpar při rmutování:

Odpar při rmutování 21 hl

Dosažením do vzorce (3.2) a s využitím (4.1) dostaneme

$$(2257000 \cdot 2,1 \cdot 1000) / 245 = \underline{\underline{21,16 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková teoretická spotřeba energie při rmutování na 1 hl: **35,13 MJ/hl**

4.3.4 Úspora energie z chladiče mladiny:

Uspořená energie pro ohřev vystírací vody:

Ohřev 73 hl vystírací vody chladičem mladiny na teplotu 35°C (úspora) (viz vztah (3.1)):

$$(35-15) \cdot 4180 \cdot 7,3 \cdot 1000 / 224 = \underline{\underline{2,72 \text{ MJ/hl}}}$$

Uspořená energie pro ohřev zapařovací vody:

Ohřev 50 hl zapařovací vody chladičem mladiny na teplotu 78°C (úspora) (viz vztah (3.1)):

$$(78-15) \cdot 4180 \cdot 5 \cdot 1000 / 224 = \underline{\underline{5,87 \text{ MJ/hl}}}$$

Uspořená energie pro ohřev vyslazovací vody:

Ohřev 55+52+30 hl vyslazovací vody na teplotu 78°C chladičem mladiny

$$(78-15) \cdot 13,7 \cdot 1000 \cdot 4180 / 224 = \underline{\underline{16,1 \text{ MJ/hl}}}$$

Celková úspora energie z chlazení mladiny vztažená na 1 hl: **24,69 MJ/hl**



Obr. 25. Chladíč mladiny; pivovar C

Tab. 7. Výsledky měření, souhrn:

odpar 33 hl = 14,7 % celkového odparu

spotřebované teplo(MJ/hl)*	Naměřené hodnoty	Výpočtové hodnoty
rmut-ohřev	6,18	6,18
rmut-odpar	17,06	12,09
teplo rmut	23,25	18,28
mladina-ohřev	14,7	13,97
mladina odpar	28,3	21,16
mladina	43	35,13
součet	66,25	53,41
úspora-vystírací+zapáf. voda		8,59
úspora-vyslazovací voda		16,1
úspora celkem		24,69

*přepočteno na 1 hl piva k výstavu 224 hl

5 Ekonomické posouzení

Cílem této kapitoly je posouzení, jak významnou roli hrají energetické náklady na celkových nákladech na výrobu piva. A následně jaký význam mají případné úspory na výdajích za energie na výrobní cenu výrobku.

Náklady na výrobu mladiny lze rozdělit na tři skupiny:

- Suroviny
- Mzdové a provozní náklady
- Energie

5.1 Suroviny



Obr. 26. Humnová sladovna; pivovar C

Základní surovinou pro výrobu piva je voda, slad a chmel. Pro všechny 3 skupiny pivovarů jsou náklady přibližně stejné. Významných úspor může dosáhnout pouze pivovar C díky vlastní sladovně (cena 1 kg sladovnického ječmene cca 5 Kč).

Náklady na suroviny:

slad: při spotřebě 18 *kg/hl* a ceně 13 Kč/kg je cena sladu 234 Kč/hl

chmel: při spotřebě granulovaného chmele 0,3 kg/hl a ceně gran.chmele 187 Kč/kg je cena chmele 56,1 Kč/hl

Voda: při spotřebě středního pivovaru 7,3 hl vody/hl a ceně 4 Kč/hl je cena 29,2 Kč/hl

Ostatní: kvasnice, cukr atd. paušálně 1,5 Kč/hl

Celkem náklady na suroviny: 291,6 Kč/hl mladiny (shodné pro A, B, C)

5.2 Mzdové a provozní náklady

Dle informací z nejmenovaného středního pivovaru se vaření piva podílí na celkových nákladech 50 %. Z toho 35 % představují mzdy a režie. Jelikož se tato práce zabývá pouze náklady na uvaření mladiny, tedy pouze dílčí operací, nebyly do výpočtu zahrnuty tyto nepřímé náklady spojené s chodem celého podniku, stejně jako odpisy atd. Přímé mzdové náklady jsou tedy pouze náklady na personál varny, což je vaříč a jeho pomocník. Průměrné náklady na vaříče a pomocníka uvažujeme 200 Kč/hod vaříč, 140 Kč/hod pomocník. Čas potřebný pro uvaření várky jedna 12h směna.

Náklady na mzdy:

Pivovar A: při várce 10,2 hl/12 h a při jednom pracovníkovi: **235,3 Kč/hl**

Toto číslo je ovšem pouze teoretické, protože pivovar v reálu žádné vaříče nezaměstnává. Pivo je vařeno v rámci výuky a výzkumu a vaření je prováděno vyučujícím, jenž je pedagogickým zaměstnancem školy. Funkci pomocníků pak zastávají studenti doktorandského studia. Proto uvažujeme provoz fiktivního komerčního pivovaru s jedním zaměstnancem varny a 1 denní várkou.

Pivovar B: při várce 155 hl/12 h a při dvou pracovnících: **26,32 Kč/hl**

Pivovar C: při várce 2x 224 hl/12 h a při dvou pracovnících: **9,1 Kč/hl**

5.3 Energie

Cena energie ve zkoumaných pivovarech byla určena násobkem celkové spotřeby tepelné nebo elektrické energie, cenou jedné kWh, případně jednoho m³ plynu.

Náklady na energii:

Pivovar A: při spotřebě el.energie 28 kWh/hl a při ceně energie 2,6 Kč/kWh: **72,8 Kč/hl**

Pivovar B: při spotřebě plynu 3,55 m³/hl a při ceně energie 14,2 Kč/m³: **50,387 Kč/hl**

Pivovar C: při spotřebě plynu 3,35 m³/hl a při ceně energie 14,2 Kč/m³: **47,62 Kč/hl**

5.4 Shrnutí

Z níže uvedených tabulek je jasné, že hlavní podíl na ceně mladiny mají náklady na vstupní suroviny, ale ty bohužel nelze nijak významně ovlivnit, aniž by došlo k ovlivnění kvality.

Tab. 8. Celkové náklady na výrobu mladiny (Kč): pivovar A, B, C

Pivovar	surovina (Kč/hl)	mzdy (Kč/hl)	energie (Kč/hl)	součet (Kč/hl)	celkem (Kč/várku)
A	338,2	235,3	72,8	646,3	6592,26
B	338,2	26,32	50,387	414,907	64310,585
C	338,2	9,1	47,62	394,92	88462,08

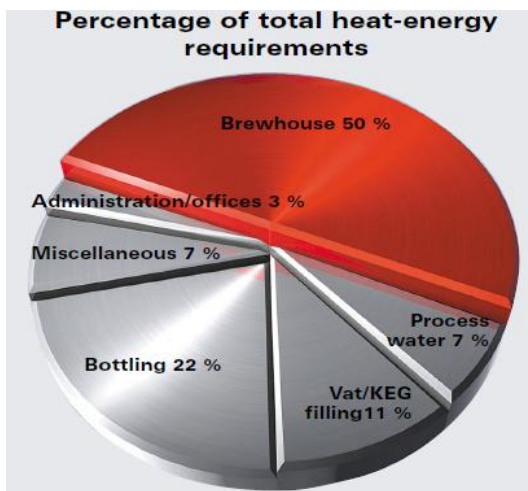
Tab. 9. Náklady na energii (Kč, %): pivovar A, B, C

pivovar/výstav(hl)	Energie: (Kč/várku)	Energie (% z celk. nákl.)	úspora/várku při 65% úspoře energie ve varně (Kč/várku)
A, 10,2	742,56	11,26411883	482,664
B, 155	7809,985	12,14416725	5076,49025
C, 242	11524,04	12,05813836	7490,626

Dalším zdrojem úspor jsou mzdové a provozní náklady varny, ale jejich význam se vzrůstající velikostí výstavu klesá.

Poslední kategorií, kde je možné dosáhnout významných finančních úspor, je tedy energie. Ve fázi výroby mladiny tvoří náklady na energii cca 10-12 % z přímých nákladů, proto se

většinou nákladné investice do regeneračních energetických systémů vyplatí především u větších pivovarů, kde je procentuální výdaj energie na varnu vyšší.



Obr. 27. Procentuální rozdělení výdajů tepelné energie v pivovaru - Ziemann

5.5 Příklad roční úspory



Tabulka 10 nám ukazuje cenu energie pro chmelovar s várkou 1000 hl. A bez úsporných opatření, B s využitím kondenzátoru brýdových par, C s využitím mechanické komprese, D s využitím termické komprese. Cena energie bez regenerace: 6400 Kč/1000 hl, cena energie s využitím termické komprese 2525 Kč/1000 hl. Cenová úspora z várky jednoho hl při použití termické komprese tedy činí: 3875 Kč/1000hl.

U velkopivovaru s výstavem 2 mil hl/rok (např. Radegast) by pak úspora činila **7,75mil Kč/rok.**

Obr. 28. Velkopivovar - Ziemann

Tab. 10. Energetické a finanční výdaje: chmelovar, Ziemann

Comparison of costs/systems - Example						
Example of the distribution of costs for a 1,000 hl brewhouse not using an energy-recovery system (with internal wort boiler) and with the different energy-recovery systems:						
Brewhouse		A	B	C	D	
A: No energy recovery, with internal boiler	Brewhouse					
B: With energy storage system	Heat requirements pre-heating of wort	kWh/Brew	3,474	796	3,474	1,449
C: With mechanical vapor compression	Heat requirements boiling of wort	kWh/Brew	6,529	6,529	0	1,941
D: With thermal vapor compression	Accumulated hot process water	hl/hl SB	0.00	0.57	0.11	0.14
Cast-out wort 1.000 hl	Hot process water to be generated additionally	hl/hl SB	0.25	0.00	0.14	0.11
Total condensation 9.1 %	Heat requirements generation of hot water	kWh/Brew	1,881	0	1,042	842
Spec. costs for primary energy: Heat: 0.0217 EUR/kWh	Total thermal energy requirements	kWh/Brew	11,884	7,325	4,516	4,232
Hot process water requirements in addition to the hot water from the wort cooling 0.25 hl/hl SB (Sales Beer)	Total electrical-power requirements	kWh/Brew	10	51	406	168
	Thermal energy costs	EUR/Brew	257.69	158.84	97.92	94.83
	Electrical power costs	EUR/Brew	0.41	2.08	16.58	6.85
	Total energy costs	EUR/Brew	258.10	160.92	114.50	101.68
	Specific costs	EUR/hl SB	0.287	0.18	0.127	0.113

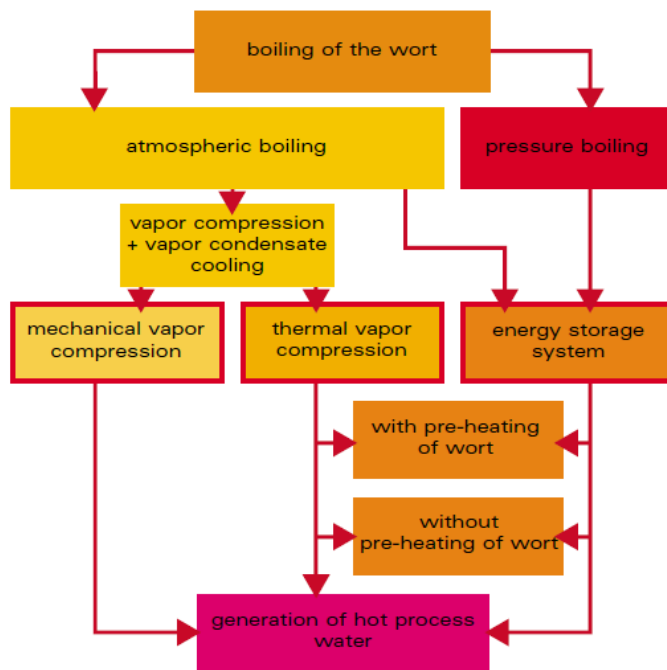
Tabulka 11 ukazuje rychlost návratnosti investice. Návratnost instalace parního kompresoru je pak při kompletní ceně dodávky 12mil asi 2 roky. U středního pivovaru s varnou 4x menší kapacity, avšak s výstavem desetinovým (250tis hl ročně) a úsporou 800tis Kč/rok, je již návratnost investice sporná i přes cca 3x menší pořizovací náklady na pořízení technologie.

Tab. 11. Náklady a úspory při instalacích regenerace tepelné energie: chmelovar, Ziemann

Brewhouse		A	B	C	D
Number of brews	brews/year	2,250	2,250	2,250	2,250
Sales beer	hl/year	2,025,000	2,025,000	2,025,000	2,025,000
Specific primary energy costs	EUR/hl SB ¹	0.286	0.18	0.127	0.113
Total energy costs	EUR/year	580,638	361,607	257,258	228,329
Gross saving per year	EUR/year	-	213,031	323,380	352,309
Investment costs					
Construction	EUR	-	25,510	25,510	25,510
Equipment	EUR	-	433,673	586,735	535,714
Total	EUR	-	459,184	612,245	561,224
Interest					
without depreciation	% p.a.	-	7.00	7.00	7.00
	EUR/year	-	32,143	42,857	39,286
Maintenance costs	% p.a.	-	2.50	3.00	2.50
	EUR/year	-	10,842	18,367	14,031
Total costs	EUR/year	-	42,985	61,224	53,316
Net saving per year	EUR/year	-	176,046	262,156	297,462
Amortization (ROI)	years	-	2.61	2.34	1.87

6 Návrh opatření

Při výběru vhodného postupu se lze inspirovat předepsanými BAT technologiemi, případně postupy používanými v praxi u větších světových dodavatelů. Vzhledem k tomu, že je ve všech třech pivovarech instalován chladič mladiny, je hlavním zdrojem energie odpar z vaření mladiny.



Obr. 29. Schéma možných energetických technologií: vaření mladiny

6.1 Specifické postupy BAT pro pivovarský průmysl

Při výběru vhodného úsporného opatření se lze inspirovat tabulkou BAT technologií:

Tab. 12. Manuál BAT technologií

Číslo	technická specifikace postupu	ekonomický dopad	význam	proces
<i>A Ekologická klasifikace: snižování emisí skleníkových plynů</i>				
1	jímání kvasného oxidu uhličitého	snížení nákladů na suroviny	B	Kvašení
2	kondenzace brýdových par z rmutovacích a varných pánví	energetické úspory	A	Varna

<i>B Ekologická klasifikace: snižování energetické náročnosti výroby (vstupů tepelné energie)</i>				
3	využití horké chladicí vody z deskových chladičů vířivých kádí k: a) vystírání; b) vyslazování; c) ohřevu CIP; d) obecné produkci teplé vody	úspory nákladů na teplo	A	Varna
4	využití zkondenzovaných brýdových par k: a) vaření mladiny (po mechanické/termické kompresi; b) předehřevu sladiny před chmelovarem c) obecné produkci teplé vody	úspory nákladů na teplo	A	Varna
5	intenzifikace varního procesu prostřednictvím: a) tlakového vaření piva b) zkracování doby chmelovaru	úspory nákladů na teplo	A*	Varna
6	infúzní rmutování s případnou rekompresí par	úspory nákladů na teplo	A*	Varna
7	zvyšování efektivity postupů pasterace piva a) aplikací průtokové pasterace b) alternativními způsoby prodlužování trvanlivosti (membránová nebo mikrofiltrace)	úspory nákladů na teplo	A	Stáčení
8	instalace protiproudých výměníků tepla k: a) procesům dochlazování mladiny b) postupům průtokové pasterizace c) předchlazování vratné ledové vody	úspory nákladů na teplo	A	Varna Stáčení Kvašení
9	navarování mladiny o vyšším extraktu (aplikace technik High Gravity Brewing)	úspory nákladů na teplo	B	Varna

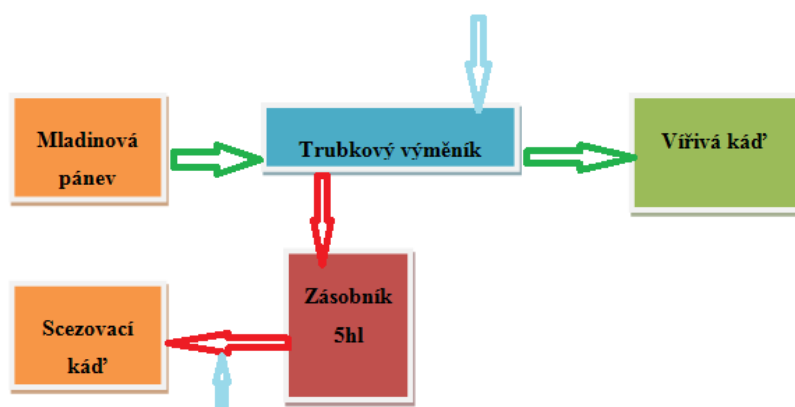
6.2 Pivovar A

Vzhledem k velikosti a využití pivovaru je instalace kondenzátoru nebo kompresoru brýdových par nereálná, hlavně z důvodu velmi dlouhé návratnosti. Navrhnutý postup by měl v tomto případě být relativně levný a pokud možno též zvýšit efektivnost výroby.

Jelikož vaření v pivovaru probíhá v cca 3 denních intervalech, dochází k ochlazení vody získané z chladiče mladiny a tu pak nelze využít na vyslazování. Navrhované zařízení je chladicí výměník, jenž zchladí mladinu na konci chmelovaru před vstupem do vířivé kádě z 99°C na 60°C . Mladina poté pokračuje předchlazena do vířivé kádě, kde se díky teplotě pod 60°C vysráží i jemné kaly, které se v současnosti díky technologickému postupu již dále mechanicky neodstraňují. Chladicí voda přivedena z řádu bude po průchodu výměníkem uložena ve zvláštním kvalitně izolovaném zásobníku.

Objem chladicí vody je navržen tak, aby její teplota na výstupu z výměníku byla 90°C při objemu 5 hl. Ochlazením za 3 dny na 80°C bude voda použita ke kompletnímu vyslazení následující várky.

Nádoba bude dále vybavena přepadem do stávajícího zásobníku horké vody a el. topnou spirálou (2kW) na případné dohřátí při delší prodlevě. Teplotu vyslazovací vody lze případně snížit použitím termostatického směšovacího ventilu.



Obr. 30. Schéma navrhovaného opatření

Zjednodušený návrh výměníku:

Energetická bilance $Q_{\text{voda}} = Q_{\text{mladina}}$:

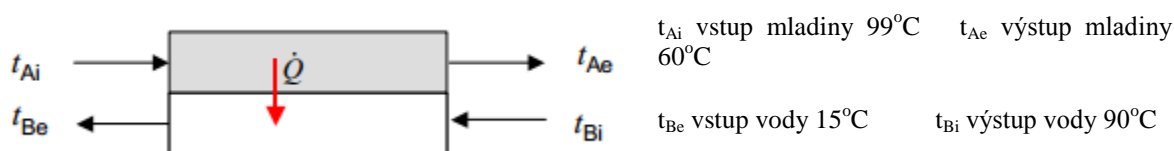
$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_A \cdot c_{pA} \cdot (t_{Ai} - t_{Ae}) \\ Q &= \dot{m}_B \cdot c_{pB} \cdot (t_{Be} - t_{Bi}) \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$Q_{\text{mladina}} = 1050 \cdot 1,02 \cdot 3850 \cdot 39 = 160,81 \text{ MJ}$$

$$Q_{\text{voda}} = 1000 \cdot 0,51 \cdot 4180 \cdot 75 = 159,9 \text{ MJ}$$

Objem chladicí vody **5,1 hl , teplota vstup 15°C, výstup 90°C**

Volím jednotrubkový protiproudý výměník, vnitřní trubka DN32, vnější plášť DN65, vzhledem k délce upraven do tvaru U.



Návrh délky výměníku:

$$L = \frac{\dot{Q}}{k_L \cdot \Delta t_{ls}}, \quad (6.2)$$

kde

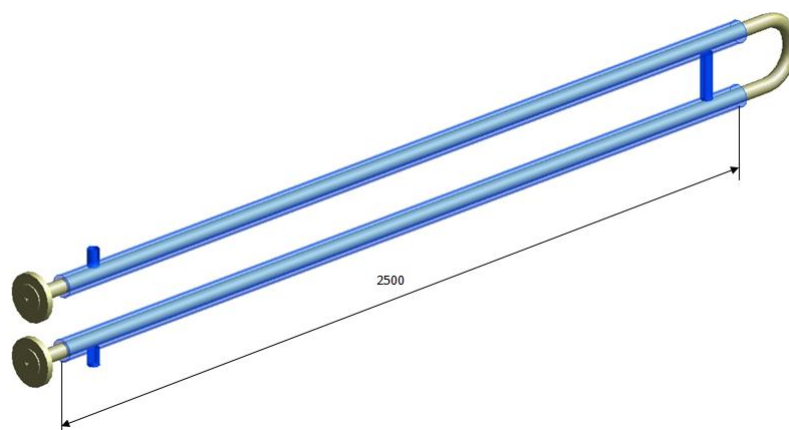
$$\Delta t_{ls} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}; \quad \Delta t_1 = (t_{Ai} - t_{Be}); \quad \Delta t_2 = (t_{Ae} - t_{Bi}) \quad (6.3)$$

$$\Delta t_s = 25,97^\circ\text{C}$$

$k_L [kJ.m^{-1}.K^{-1}]$ = při ploše jednoho metru trubky DN32 $0,1 \text{ m}^2$ a součiniteli prostupu tepla pro výměník voda-voda dle výrobce: $k = 3,5 \text{ kW}.m^{-2}.K^{-1}$, volím $k_L = 350 \text{ W}.m^{-1}.K^{-1} = 1260 \text{ J}.m^{-1}.K^{-1}$.

Poté délka trubky výměníku je:

$$L = 160810000 / 1260000 \cdot 25,97 = 4,914 \text{ m} \rightarrow \text{volím: } \underline{\underline{L = 5 \text{ m}}}$$



Obr. 31. Návrh výměníku pro pivovar A

Předpokládaná úspora na jednu várku by činila $160MJ$, tedy při 200 várkách za rok by roční úspora představovala $8,9 MW$. To je při ceně energie $2,6 Kč/kWh$ cca **23tis. Kč**.

6.3 Pivovar B

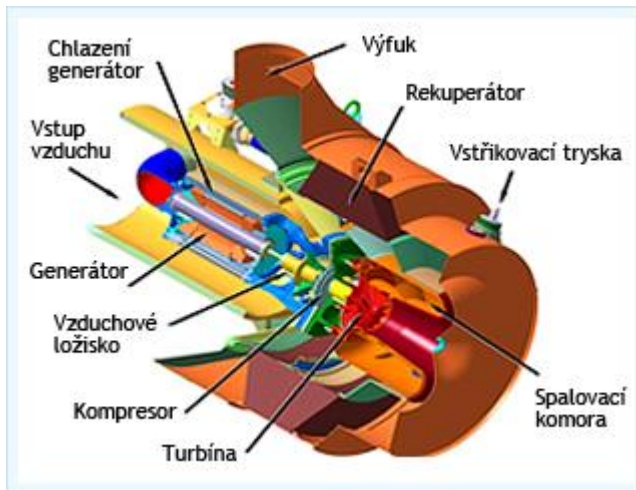
Vzhledem k tomu, že pivovar je nově vybaven kondenzátorem brýdových par a zařízením pro tlakový var, nejsou žádná další opatření třeba. Zařízení se pouze musí odzkoušet a vyregulovat. Výsledky opatření již, bohužel, z časových důvodů nemohou být zaznamenány v této práci. Další možnou úsporou by byla změna technologie, a to, vzhledem k přebytkům horké vody z chladiče mladiny, využití zapářky. Je však otázkou, zda by toto opatření neovlivnilo stávající chuť piva.

6.4 Pivovar C

Pivovar nyní využívá odpadní teplo z chladiče mladiny, a to především k zapářce, vystírce a vyslazování. Další možností úspor by byla instalace termické komprese brýdových par s následným přivedením do vnitřního vařáku. Pokud vycházíme při určení teoretické ceny instalace z tab. 11., byla by cena instalace $3,75\text{mil Kč}$. Při současném energ. výdaji na var chmelovaru $6344 MJ$ a úspoře 60% , a při 700 várkách ročně by úspora činila $2,66\text{mil MJ}$.

Při spotřebě $0,046 \text{ m}^3$ plynu na 1 MJ činí roční úspora 122360 m^3 , při ceně 14 Kč/m^3 je celková uspořená částka 1,7mil Kč. Návratnost investice poté činí cca **2 roky**.

Další možností by byla instalace spalovací mikroturbíny + spalínového generátoru páry.



Příklad: Capstone C1000

Elektrický výkon: 1000 kW

Tepelný výkon: 1400 kW

Teplota spalin: 280°C

Obr. 32. Spalovací mikroturbína Capstone

Odpadní teplo by plně pokrylo energetické nároky na výrobu páry. Elektrická energie by postačila k pokrytí nároků pivovaru, prodej přebytků do sítě ČEZ.

7 Diskuse a závěr

7.1 Porovnání výsledků měření

Tab. 13. Souhrnné výsledky měření

(MJ/hl)

pivovar	teoretická spotř.	energie kotelna	energie varna	energie rmut	energie mladina	úspora
A	60,92	99	88,41	37,22	51,19	10,89
B	67,74	120	73,11	26,97	46,15	24,36
C	53,41	109,4	66,23	23,25	43	24,69

7.2 Zhodnocení

Jak vidíme z tabulky výsledků, teoretické nároky na energii v parou vytápěných pivovarech jsou poměrně podobné skutečné spotřebě varny. Liší se především díky rozdílné výši odparu. U pivovaru C je pak jasná úspora získaná zapáčkou. Rozdíl skutečné energie na varně vůči teoretické energii je v případě obou větších pivovarů do 20 %, což lze přičíst běžným tepelným ztrátám v mladinovém potrubí, pánvích atd., a je na přijatelné míře.

Významnější je však ztráta mezi spalným teplem plynu a energií dodanou na varnu. Rozdíl činí 39 % (pivovar C) resp. 35 % (pivovar B). Tuto ztrátu lze připisovat účinnosti kotle, parním rozvodům, případně náběhu a doběhu kotelny.

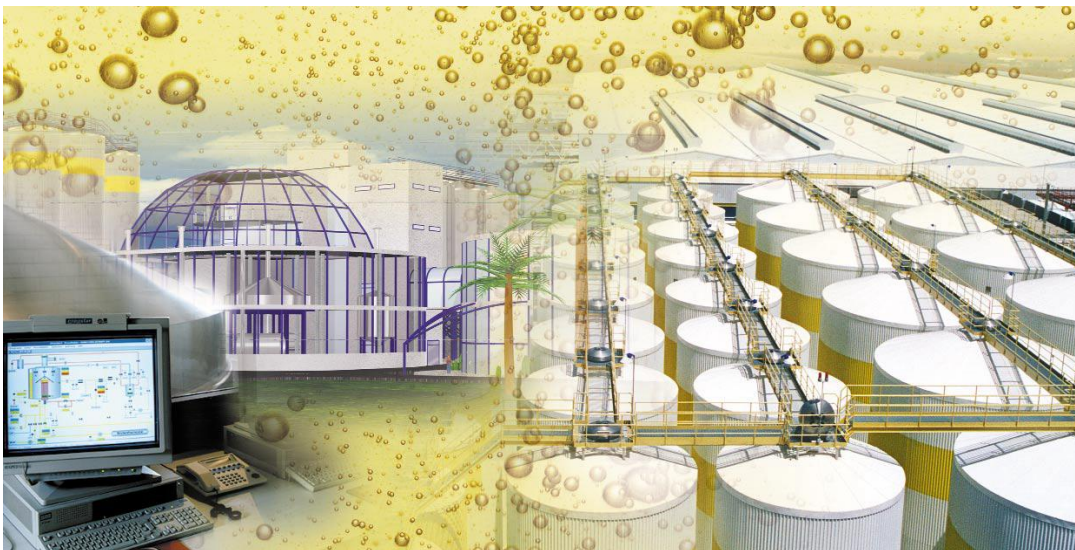
Největších úspor tedy lze dosáhnout důsledným využitím páry a zamezením ztrát v parních rozvodech atd. Následně lze řešit regeneraci energie brýdových par, která by zde mohla činit při 60% úspoře asi 30 MJ/hl.

U pivovaru C vybaveného elektrokotlem nelze rozdíl kotelna-varna změřit (měřen pouze příkon kotle). V tabulce výsledků je pouze odečtena energie 10.59 MJ spotřebovaná pro dohřev vyslazovací vody. Celkový rozdíl mezi skutečnou spotřebou celé varny na jednu várku a teoretickou spotřebou na jednu várku je asi 40 %. Hlavním důvodem je v tomto případě velký interval mezi várkami a současně horší izolace nádob na uchování horké vody.

Tuto hodnotu lze výrazně snížit kontinuálním provozem. Nyní dochází při každé várce k roztápní kotle a dohřevu horké vody z minulé várky, též tak k prohřevu veškerého potrubí a nádob.

Předložená diplomová práce potvrdila v literatuře uváděné energetické nároky na vaření piva v pivovarech různé velikosti. Jako nový prvek přináší porovnání těchto hodnot s hodnotami celkové vydané tepelné energie celého systému varny, včetně zdroje (spalné teplo plynu, el. příkon kotle). Dále ukázala skutečné spotřeby tepelné energie v jednotlivých fázích výroby (rmut, mladina).

Uvedené informace mohou posloužit k hodnocení a posuzování návrhů na úsporná opatření v testovaných pivovarech nebo jim podobných.



Obr. 32. Soubor CKT v současném pivovaru (firma Ziemann)

8 Seznam literatury

Tištěná literatura:

- (1) Kosař a kol: *Technologie výroby sladu piva*. VÚPS, Praha, 2000, ISBN 80-902658-6-3
- (2) Basařová, G. a kol: *Pivovarnictví*. VŠCHT, Praha, 2010, ISBN 978-80-7080-734-7
- (3) Kunze, W.: *Technology Brewing and Malting*. VLB, Berlin, 2011, ISBN 13: 978-3-921690-65-9
- (4) Kadlec, P: *Technologie potravin I. , II.* VŠCHT, Praha, 2002
- (5) Ziemann, A.: (*Propagační materiály.*) Group Ludwigsburg
- (6) Krbek, J., Polesný, B.: *Kogenerační jednotky, zřizování a provoz*. Praha, 2007
- (7) Lohrová, M: *Manuál k praktickému využití nejlepších dostupných technik (BAT) v pivovarech a sladovnách*. Plzeň, 13.9.2010

Webové stránky:

- (8) *Pivovar Postržiny* [on-line]. [cit. 7.4.2012], dostupné na: <<http://www.postriziny.cz/>>
- (9) *Měšťanský pivovar Havlíčkův Brod* [on-line]. [cit. 7.4.2012], dostupné na: <<http://www.hbrebel.cz>>
- (10) *Suchdolský Jeník, výukový a výzkumný minipivovar* [on-line]. [cit. 7.4.2012], dostupné na: <<http://pivovar.tf.czu.cz>>
- (11) *Gascontrol, společenství sesterských firem* [on-line]. [cit. 7.4.2012], dostupné na: <<http://www.gascontrol.cz>>

9 Přílohy:

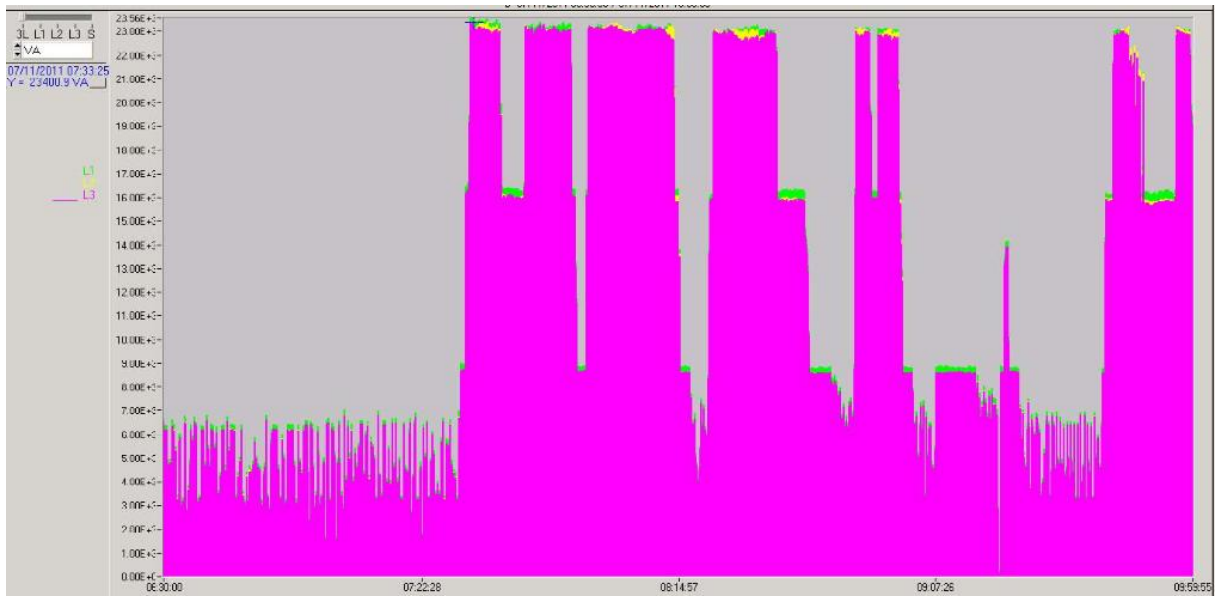
Parní tabulka syté páry 140°C – 200°C

Tlak		Teplota	Měrné entalpie			Měrný objem páry
			Entalpie syté kapaliny	Skupenské teplo vypařování	Entalpie syté páry	
Bar	kPa	°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	m3/kg
<i>Absolutně</i>						
0.3	30.0	69.10	289.23	2336.1	2625.3	5.229
0.5	50.0	81.33	340.49	2305.4	2645.9	3.240
0.75	75.0	91.78	384.39	2278.6	2663	2.217
0.95	95.0	98.20	411.43	2261.8	2673.2	1.777
1.00	100.0	99.63	417.51	2257.9	2675.4	1.694
1.013	101.3	100.00	419.06	2257.0	2676.0	1.673
<i>Přetlak</i>						

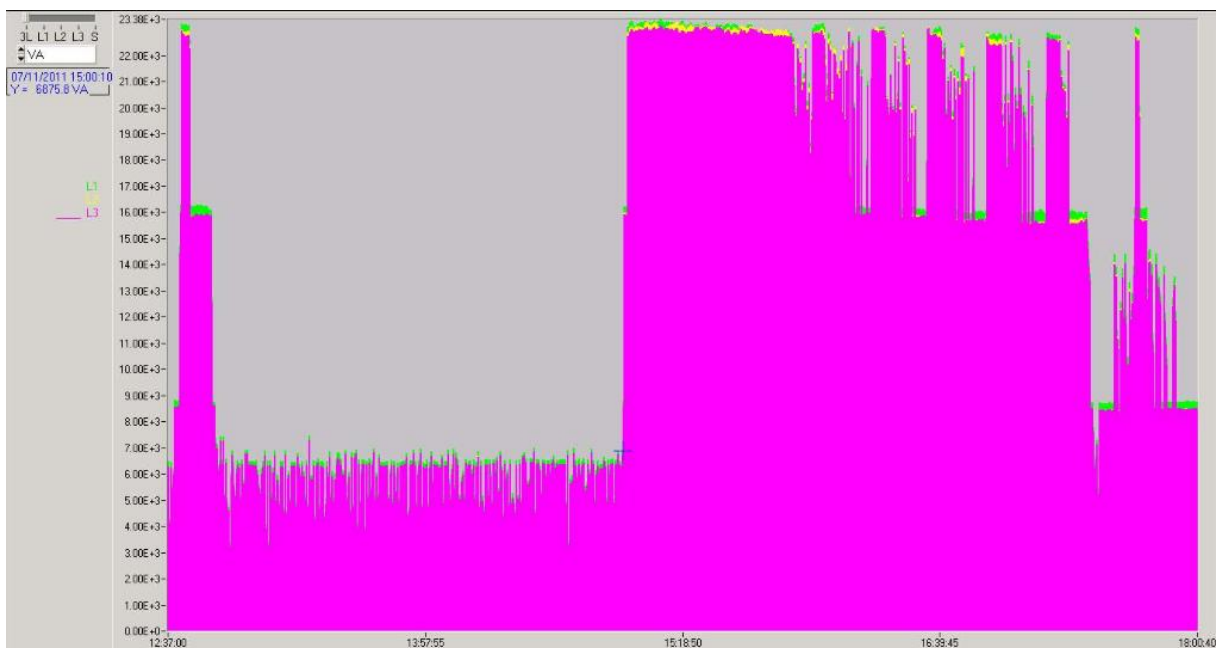
2,4	260.0	140.00	589.2	2144.7	2733.9	0.509
2,6	280.0	141.92	597.4	2139.0	2736.4	0.483
2,8	300.0	143.75	605.3	2133.4	2738.7	0.461
3	320.0	145.46	612.9	2128.1	2741.0	0.440
3,2	340.0	147.20	620.0	2122.9	2742.9	0.422
3,4	360.0	148.84	627.1	2117.8	2744.9	0.405
3,6	380.0	150.44	634.0	2112.9	2746.9	0.389
3,8	400.0	151.96	640.7	2108.1	2748.8	0.374
4	450.0	155.55	656.3	2096.7	2753.0	0.342
4,5	500.0	158.92	670.9	2086.0	2756.9	0.315
5	550.0	162.08	684.6	2075.7	2760.3	0.292
5,5	600.0	165.04	697.5	2066.0	2763.5	0.272
6	650.0	167.83	709.7	2056.8	2766.5	0.255
6,5	700.0	170.50	721.4	2047.7	2769.1	0.240
7	750.0	173.02	732.5	2039.2	2771.7	0.227
7,5	800.0	175.43	743.1	2030.9	2774.0	0.215
8	850.0	177.75	753.3	2022.9	2776.2	0.204
8,5	900.0	179.97	763.0	2015.1	2778.1	0.194
9	950.0	182.10	772.5	2007.5	2780.0	0.185
9,5	1000.0	184.13	781.6	2000.1	2781.7	0.177
10	1050.0	186.05	790.1	1993.0	2783.3	0.171
10,5	1100.0	188.02	798.8	1986.0	2784.8	0.163
11	1150.0	189.82	807.1	1979.1	2786.3	0.157
11,5	1200.0	191.68	815.1	1972.5	2787.6	0.151
12	1250.0	193.43	822.9	1965.4	2788.8	0.148
12,5	1300.0	195.10	830.4	1959.6	2790.0	0.141
13	1350.0	196.62	837.9	1953.2	2791.1	0.136
13,5	1400.0	198.35	845.1	1947.1	2792.2	0.132
14	1450.0	199.92	852.1	1941.0	2793.1	0.128

Výstup měřicího softwaru: pivovar A (VA/čas)

7:00-10:00



12:30-18:00



Varní list - pivovar A

Varní list																
vářka číslo ze dne 19.03.2012																
č.	světlý slad chm. pelety	190,00 1,50	č. dod. č. dod.	čas (min)	čas zač (°C)	čas kon (°C)	Δ t (min)	mšadinová pánev				svozovací káď				
								teplota t1	teplota t2	Δ τ (°C)	hl	teplota t1	teplota t2	Δ τ (°C)	hl	
1	ohřev vody							37		37	10					0
2	vystřání		8:15		8:00			37		37	0					0
3	prodleva		8:20		8:15			37		37	0					0
4	ohřev 52°C		8:37		8:20			37		52	15					0
5	přečerpání do SK		8:37		8:39			52		52	0	4				8
6	1.R. ohřev na 65°C		8:39		8:48			52		65	13	4				8
7	1.R. prodleva		8:48		9:18			65		65	0	4				8
8	1R. ohřev na 72C		8:48		9:18			65		72	7	4				8
9	1R. prodleva		9:18		9:24			72		72	0	4				8
10	1 R. ohřev 100°C		9:24		9:53			72		100	28	4				8
11	1 R. var		10:12		10:12			100		100	0	4				8
12	přečerpání do SK		10:37		10:37			100		100	0		52,00	52,00		12
13	2 R. do mlad. pánev		10:35		10:38			65		65	0	4	52,00	52,00		8
14	2R. ohřev na 72°C		10:38		10:40			65		72	7	4	52,00	52,00		8
15	2R. prodleva		10:40		11:12			72		72	0	4	52,00	52,00		8
16	2R. ohřev 100°C		11:12		11:31			72		100	28	4	52,00	52,00		8
17	2R. var		11:31		11:41			100		100	0	4	52,00	52,00		8
18	2R. přečerp do SK		11:41		11:45						0		65,00	72,00	7	12
19	odpočinek		11:45		11:45						0		72,00	72,00		12
20	podražení		12:15		12:30						0		72,00	72,00		12
21	předek		12:30		13:40						9	8	72,00	72,00		12
22	1. výstřelek		13:40		13:50						0		72,00	72,00		4
23	stékání 1. vys.		13:50		14:52						0	10,5	72,00	72,00	6,00	stup. 11,0% voda 3 hl 78°C
24	2. výstřelek										0		72,00	72,00		stup. 5%
25	stékání 2. vys.										0		72,00	72,00		
26	pohromadě		14:52		15:20						0	10,5				stup. 11,0%
27	chmelovar 1 Ch		15:20		15:45			100		100	0					
28	2. chmel		15:45		16:15			100		100	0					
29	3. chmel		16:15		16:45			100		100	0					
30	konec chmel		16:45		17:00			100		100	0					stup. 12,0%
31	čerpání		17:00		18:30			100		100	0	10				stup. 12,0%

10,2 hl

Varní list – pivovar C

Datum tisku : 04.10.11 16:02:03

VARNÍ LIST

Číslo várky: 39 / 441

Typ piva: 10

Datum začátku: 09 . 27 . 11

Datum ukončení: 09 . 27 . 11

Hmotnost sladů: 3100 kg Chmel český: 13.0 kg Chmel zahran.: 5.0 kg Chmel gran.: 0.0 kg Cukr: 50 kg Extrakt: 1 : 300 1.0 kg				
PROCES	KROK	ZAČÁTEK	KONEC	
RVP	Vystírání	12 : 47	13 : 27	Číslo receptu: 1
	1.mut - ohřev na 1.zcukření	13 : 44	13 : 58	Voda do vystírky: 73 hl
	1.mut - prodleva na 1.zcukření	13 : 58	14 : 18	Mn. vody po zapáče: 123 hl
	1.mut - ohřev na 2.zcukření	14 : 18	14 : 29	
	1.mut - prodleva na 2.zcukření	14 : 29	14 : 49	Kvalita zcukření 1. mut: 1
	1.mut - ohřev na var	14 : 49	15 : 02	
	1.mut - var	15 : 02	15 : 22	
	2.mut - ohřev na 2.zcukření	15 : 34	15 : 44	
	2.mut - prodleva na 2.zcukření	15 : 44	16 : 04	Kvalita zcukření 2. mut: 1
	2.mut - ohřev do varu	16 : 04	16 : 17	
2.mut - var	16 : 17	16 : 37		
SK	Čerpání mmutu na SK	00 : 00	17 : 21	Číslo receptu: 1
	Prodleva po přečerpání	17 : 21	18 : 12	
	Podráženi	18 : 12	18 : 19	
	Scezování předku	18 : 19	19 : 26	Stupňovitost předku: 14.8 %
	1.vyslazovací voda	19 : 26	19 : 57	
	2.vyslazovací voda	19 : 57	20 : 26	Stupňovitost výstřelku: 1.3 %
	3.vyslazovací voda	20 : 26	20 : 54	Pohromadě: 245 hl
MP	Předohřev	20 : 21	00 : 00	Stupňovitost mladiny: 10.2 %
	Var	21 : 02	22 : 28	Množství mladiny: 220 hl
	Čerpání na vřívou kád	22 : 30	22 : 58	Množství protlačky: 3 hl