

Moderní způsoby chmelovaru

663.444
663.444.3

IV. část . Provozní parametry kontinuálního vařáku

Ing. TOMÁŠ LEJSEK, CSc., Ing. ZDENĚK SEIFERT, CSc., Pivovary a sladovny, Praha
STANISLAV BAXA, soudní znalec pro tepelnou energetiku pivovarů a sladoven, Praha

Klíčová slova: pivovar, pivo, výroba, varna, chmelovar, mladina, chmel, kontinuální výroba, kontinuální vařák, měrná spotřeba, úspora, odpar

Předcházející části článku [1, 2, 3] uvedly informace o možnostech získání energetických úspor při chmelovaru a zhodnotily zkušenosti získané s kvalitou piva vyrobeného v kontinuálním vařáku firmy Steinecker. Poslední část se věnuje přehledu provozních hodnot naměřených během zkoušek tohoto zařízení. Záměrem technické části měření bylo komplexně zhodnotit zdroje a využití materiálu a energie. Z tohoto důvodu se měření připravilo tak, aby zachytilo vliv nejen vlastního vařáku, ale i dalších obslužných a přidružených zařízení a postihlo tak chování celého systému v pivovaru.

K porovnání s běžným postupem pivovaru se provedlo měření dosud používaného klasického jedenapůlhodinového chmelovaru.

PŘEHLED O MĚŘENÍ

Technické měření probíhalo po předchozí nezbytné přípravě ve dvou týdenních cyklech. Provoz vycházel ze zkušeností získaných při výběru vhodné technologie, takže se použilo teploty varu 135 °C [4]. Během týdne byla vyráběna mladina v koncentraci 10 a 12 %, jedenkrát navíc i 14 %. Jednotlivé druhy mladin se oddělily krátkým sanitacním cyklem a provoz pokračoval bez přerušení.

Cílem měření bylo získat všechny důležité parametry, které jsou třeba pro sestavení hmotnostních a energetických bilancí k hodnocení provozu kontinuálního vařáku.

Všechna měřicí místa jsou uvedena ve schématu znázorňujícím zapojení kontinuálního vařáku na *obrázku 1*. Základní hodnoty se odečítaly v hodinových intervalech.

Přehled měřicích míst

1. měření objemu ochmelené sladiny v mladinové pánvi,
2. teplota sladiny v mladinové pánvi,
3. stanovení extraktu sladiny,
4. měření objemu kondenzátu z rozvářecího kotlíku na chmelový extrakt,
5. teplota sladiny ve sběrné pánvi před vařákem,
6. teplota mladiny ve sběrači — vystřačací kádi,
7. měření objemu mladiny ve vířivé kádi,

8. teplota mladiny ve vířivé kádi,
9. stanovení extraktu mladiny,
10. průtok a proteklý objem teplé vody,
11. teplota teplé vody,
12. spotřeba elektrické energie pro výrobu tlakového vzduchu,
13. spotřeba elektrické energie,
14. průtok a množství topné páry,
15. teplota topné páry,
16. tlak topné páry,
17. objem kondenzátu brýdových par,
18. teplota brýdových par,
19. objem kondenzátu topné páry,
20. teplota kondenzátu topné páry.

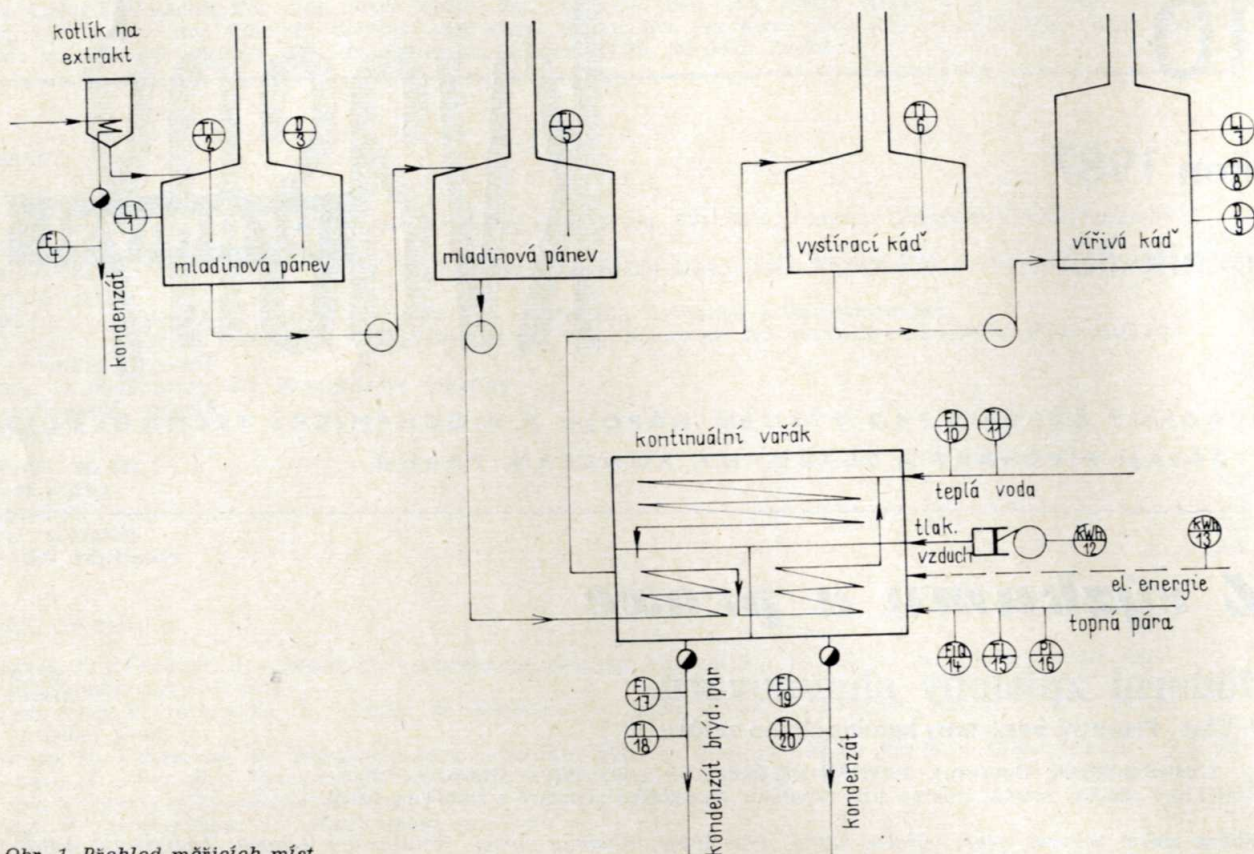
VYUŽITÍ PROVOZNÍ DOBY A VÝKON ZAŘÍZENÍ

O celkové efektivnosti zařízení rozhoduje jeho skutečná doba využití, což je důležité především u kontinuální výroby navazující na taktovou výrobu. Snížené využití zařízení je způsobeno jednak provozními prodlevami v důsledku obtížnější vazby na dosavadní provoz a dále především přestávkami pro sanitaci. Uvažovat je třeba i s možností poruch, v této oblasti nebudou však zkušenosti z pokusného zařízení zcela rozhodující, neboť nedávají přehled o rychlosti a charakteru opotřebení.

Z přehledů o průběhu týdenních provozů vyplývá, že poruchovost vlastního zařízení kontinuálního vařáku byla zcela minimální, pouze se prodlužovala doba sanitace potížemi v najetí. Po najetí a dosažení ustáleného chodu bylo zařízení spolehlivé. Potíže se vyskytovaly v navazujícím zařízení dosavadního provozu.

Celkové výsledky

Týdenní provoz	1	2
Celková provozní doba	94,6 h	94,25 h
Celková výrobní doba	75,4 h	77,25 h
Sanitační doby	12,3 h	12,9 h
Využití provozní doby	79,72 %	81,96 %
Výkon z výrobní doby	94,9 hl . h ⁻¹	93,9 hl . h ⁻¹
Výkon z provozní doby	75,6 hl . h ⁻¹	77,0 hl . h ⁻¹



Obr. 1. Přehled měřicích míst.

I když poruchovost v druhém týdnu byla nižší, celkové výsledky jsou shodné a hovoří o 86 až 87 % využití provozní doby vlivem potřebných sanitací nebo o 80 % využití při započtení všech ztrátových dob. Doby sanitace byly opět zhruba stejné, a to i když byly ovlivňovány vynucenými přestávkami, kdy zařízení je částečně vytlačováno vodou, což se okamžitě projevuje v očištění teplosměnné plochy a prodloužování provozu mezi sanitacemi. V tomto smyslu nastalo vyrovnání mezi oběma zkouškami, kdy při druhé se navíc vyrábělo 14 % pivo. Získala se tak všeobecně platná zkušenost, neboť přechod na různé extrakty mladiny bude běžný.

HODNOCENÍ ODPARU

V průběhu výroby mladiny se kromě vlastního kontinuálního vařáku podílí na velikosti odparu ohřev sladin pohromadě ve varně, odpar v míchaných zásobnících sladin a mladiny i odpar ve vířivé kádi. Z tohoto důvodu byl celkový odpar zjištěn z hmotnostní bilance ještě podroben rozboru a dalšími dvěma metodami ověřena jeho část — vlastní odpar v kontivařáku. Prováděl se současný odběr sladin přitékající do 1. sekce kontinuálního vařáku a odběr hotové mladiny a příslušný výpočet z přírůstku koncentrace.

Druhá metoda — měření ochlazeného brýdového kondenzátu ukázala kolísání v okamžitým průtokem, ke kterému zřejmě dochází při regulaci hladin v zařízení a následujícím vypouštění.

V obou případech jsou však výsledky zhruba shodné a prokázalo se, že odpar ve vlastním kontinuálním vařáku byl 6 %, celkový odpar o 2,5 % vyšší.

Přesné podrobné údaje uvádějí tabulky 1 až 3

SPOTŘEBA TEPELNÉ ENERGIE A VODY

Spotřeba páry se určovala pro celý soubor zařízení vařáku odečtem na přívodu. Paroměr byl vždy cejchován nepřetržitým osmihodinovým měřením objemu kondenzátu a z tohoto měření se určil koeficient přepočtu [tab. 5].

Tabulka 1. Přehled o hmotnostní bilanci

Týdenní měření	Extrakt mladiny (%)	Objem sladin (hl)	Objem mladiny (hl)	Chyba měření (%)	Celkový odpar (%) (včetně zásobníků)
1	10	4 999,3	4 547,8	0,59	9,03
1	12	2 855,8	2 607,1	0,12	8,71
2	10	4 402,8	3 993,7	1,36	9,29
2	14	1 252,5	1 221,3	1,78	2,49*
2	12	2 256,4	2 038,4	1,12	9,66
Celkem		15 766,8	14 408,3	0,91	8,61

*) Dílčí chybný výsledek způsobený podle extraktu prvního vzorku mladiny protlačkou z 10% mladiny.

Tabulka 2. Odpar v kontinuálním vařáku určený z obsahu extraktu v sladině a mladině

Týdenní měření	Extrakt v sladině (%)	Extrakt v mladině (%)	Odpar (%)
1	11,53	12,27	6,03
2	13,59	14,48	6,15
2	11,44	12,22	6,38
2	11,58	12,34	6,16
Průměr			6,18

Tabulka 3. Odpar v kontinuálním vařáku určený měřením brýd

Týdenní měření	Objem brýd (l . h ⁻¹)	Nátok sladin (hl . h ⁻¹)	Odpar (%)
2	620	102,4	6,05
2	612	102,4	5,98
2	640	102,4	6,25
2	582	102,4	5,68
Průměr			5,99

Tabulka 4. Spotřeba tepla k rozváření chmelového extraktu

Týdenní měření	Počet várek	Spotřeba tepla na várku [MJ]	Celková spotřeba [MJ]	Měrná spotřeba [MJ · hl ⁻¹]
1	19	124,5	2 365,5	0,33
2	21	124,5	2 614,5	0,36

Tabulka 5. Spotřeba páry

Týdenní měření	1	2
Paroměr počátek	56 365,5	61 404,1
Paroměr konec	58 000,0	63 456,7
Koeficient přepočtu	14,29	17,68
Spotřeba páry (kg)	23 361,3	36 289,9
Výroba mladiny (hl)	5 258,6	7 253,4
Teplota páry (°C)	165,5	166,2
Tlak páry (MPa)	0,57	0,58
Teplota kondenzátu (°C)	106,3	106,2
Teplota sladiny	75,0	72,5
Enthalpie páry (kJ · kg ⁻¹)	2 773,8	2 775,8
Enthalpie kondenzátu (kJ · kg ⁻¹)	445,9	445,5
Spotřeba tepla [MJ]	54 382,8	84 566,4
Měrná spotřeba tepla [MJ · hl ⁻¹]	10,34	11,66

Tabulka 6. Spotřeba teplé vody

Týdenní měření	Teplota vody (°C)	Celková spotřeba (m ³)	Měrná spotřeba vody (m ³ · hl ⁻¹)	Měrná spotřeba tepla (MJ · hl ⁻¹)
1	70	37,56	0,00525	1,20
2	60	38,63	0,00533	1,00

Množství kondenzátu se kromě toho průběžně sledovalo z kontrol rovnoměrnosti odběru páry a vlivu koncentrace mladiny. Průtok kondenzátu poněkud kolísá (přerušované odpouštění z odlučovačů kondenzátu), jiný vliv (kromě náběhových dob) nebyl zaznamenán.

Ze zjištěných hodnot lze vyčlenit spotřeby páry k sanitacím (včetně manipulačních dob):

malá sanitace	1	627 kg
	2	511 kg
	3	447 kg

závěrečná týdenní sanitace

1	1 393 kg
2	2 165 kg

Pro celkové hodnocení se vzhledem k delší době chodu a větší pravidelnosti provozu (i když navíc se vyráběla 14 % mladina) využily výsledky druhého týdenního měření.

Podle technologického návodu se prováděla úprava chmelového extraktu ve zvlášť vyrobeném vařáku. Tato spotřeba páry se zjišťovala separátně také měřením objemu kondenzátu (tab. 4).

U měření teplé vody byla problémem její kolísající teplota způsobená velkou vzdáleností od zásobníku a nulovou spotřebou při ustáleném chodu. Proto byla teplota uvažována podle hodnot za velkého odběru při sanitacích (tab. 6).

Souběžně se sledováním množství páry, odebírané z kotelny na paroměru, zjišťovala se podrobně u vybra-

ných várek, které je možno považovat za charakteristické, spotřeba páry posledního výměníku — vařáku mladiny, v němž se provádí dohřívání na teplotu požadovanou pro vysokoteplotní průtočný systém, což představuje čistou spotřebu páry kontinuálního vařáku (tab. 7). Tyto spotřeby páry byly zjišťovány měřením kondenzátu odcházejícího z posledního výměníku, a to jeho jímáním do předem ocejchovaných odměrných nádob. Aby byla zaručena přesnost měření, byl mezi kondenzační hrnec výměníku a odměrné nádoby zabudován nepřímý vodní chladič.

V tabulce 7 je uveden údaj „časové situování várky“, který informuje o tom, zda várka byla začata po odstávce a jaké, nebo zda probíhala v ustáleném provozu. Pro její označení byly použity tyto značky:

- KO ... várka po kratší odstávce,
- MS ... várka po malé sanitaci,
- VO ... várka po delší odstávce,
- VU ... várka v ustáleném kontinuálním provozu.

Z tabulky 7 vyplývají rozdíly měrných spotřeb páry jednotlivých sledovaných várek, které jdou na vrub především časovému situování várky (spotřeba tepla chladnějšího nebo úplně studeného agregátu na rozdíl od plynulého provozu kontinuálního vařáku bez předcházejících přerušování) a dále teplot sladiny před jejím vstupem do posledního výměníku — vařáku.

SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE

Zjištěná spotřeba elektřiny je v celém rozsahu zvýšením oproti dosavadnímu stavu, neboť přečerpání sladiny do mezizásobníku a míchání v něm nebylo hodnoceno a tato spotřeba odpovídá nároku čerpání a míchání u klasického chmelovaru.

Všechny odběry technologického zařízení vařáku byly podchyceny jedním výstupním elektroměrem, navíc je připočítána spotřeba kompresoru tlakového vzduchu k ovládání vařáku. Spotřeba kompresoru:

$$P_k = N \cdot k_T \cdot k_P \cdot \tau \quad (\text{kWh})$$

kde N je výkon motoru (kW)
 k_T — koeficient skutečného časového využití zjištěným měřením
 k_P — koeficient skutečného příkonu určený odborným odhadem
 τ — doba měření (h)

$$P_{k1} = 3 \cdot 0,26 \cdot 0,65 \cdot 94,6 = 48,0 \text{ kWh}$$

$$P_{k2} = 3 \cdot 0,26 \cdot 0,65 \cdot 94,25 = 47,8 \text{ kWh}$$

Výsledky měření uvádí tab. 8, zjištěná měrná spotřeba je 0,11 až 0,12 kWh.

ZÁVĚR

Podrobným dvoutýdenním měřením průběhu provozu kontinuálního vařáku, spotřeby páry, vody a elektřiny byly zjištěny hodnoty uvedené v tab. 9. Přitom se vycházelo z běžného provozu, postupně se vyráběla 10 %, 12 % nebo i 14 % mladina.

Jednoznačně se využitím kontinuálního vařáku prokázala značná úspora tepla. Připočtením nárůstu spotřeby elektřiny (0,11 kWh · hl⁻¹ = 0,396 MJ · hl⁻¹) a dalších spotřeb na úpravu extraktu a ohřev vody byla měrná spotřeba energie k chmelovaru celkem 13,42 MJ · hl⁻¹, tj. pouze 33,3 % dosavadní spotřeby. V úvahách o začle-

Tabulka 7. Spotřeba páry u jednotlivých várek

Označení várky	A	B	C	D	E	F	G
Mladina (% hm)	10	10	10	10	12	12	14
Časové situování várky	KO	MS	UP	VO	UP	UP	UP
Hodinový výkon kontinuálního vařáku ve sledované várce (hl · h ⁻¹)	103,2	104,2	103,8	100,5	103,1	101,6	104,6
Průměrná hodinová spotřeba páry (kg)	499	512	450	508	487	467	460
Průměrná teplota sladiny před kontinuálním vařákem (°C)	75,2	75,0	76,3	75,2	73,2	77,2	74,9
Měrná spotřeba páry (kg · hl ⁻¹)	4,833	4,915	4,333	5,051	4,721	4,599	4,399
Měrná spotřeba tepla (MJ · hl ⁻¹)	13,34	13,56	11,96	13,95	13,03	12,70	12,15

Tabulka 8. Spotřeba elektrického proudu

Číslo týdenního měření		1	2
Počáteční stav elektroměru	kWh	57 172	58 861
Konečný stav elektroměru	kWh	57 984	59 631
Spotřeba technologického zařízení	kWh	812	770
Spotřeba vzduchového kompresoru	kWh	48	47,8
Doba zkoušky	h	94,6	94,25
Výroba mladiny	hl	7 154,9	7 253,4
Spotřeba celkem	kWh	860	817,8
Příkon celkem	kW	9,1	8,7
Celková měrná spotřeba	kWh . hl ⁻¹	0,12	0,11

Tabulka 9. Přehled o měrných spotřebách

	Kontinuální vařák	Klasický chmelovar pivovar Smíchov
Spotřeba tepla při chmelovaru (včetně ohřevu) [MJ . hl ⁻¹]	13,02	40,3
Otop vařáku [MJ . hl ⁻¹]	11,66	—
Spotřeba vody [m ³ . hl ⁻¹]	0,00533	—
Spotřeba el. energie [kWh . hl ⁻¹]	0,11	—
Odpar při chmelovaru z původního množství sladiny (%)	6,18	5,87
Celkový odpar z původního množství sladiny (%)	8,61	—
Využití provozní doby (%)	81,96	—

nění kontinuálního vařáku do dosavadních provozů pivovarů je nutno počítat s návrhem poněkud vyššího hodinového výkonu (až o 20 %) k vyrovnání prodlev potřebných k sanitaci i zajištění výrobních návazností.

Lektoroval Ing. Jan Šíma

Literatura:

- [1] TOPKA, P. et al.: Kvas. prům., **33**, 1987, s. 130.
- [2] TOPKA, P. et al.: Kvas. prům., **33**, 1987, s. 161.
- [3] PROCHÁZKA, S. et al.: Kvas. prům., **33**, 1987, s. 193.
- [4] FERKL, P. - LEJSEK, T.: Hodnocení technologie výroby mladiny na kontinuálním modelovém vařáku. (Závěrečná zpráva), PaS, Praha, 1986.

Lejsek, T. - Seifert, Z. - Baxa, S.: Moderní způsoby chmelovaru. IV. část. Provozní parametry kontinuálního vařáku. Kvas. prům. **33**, 1987, č. 10, s. 289—292.

Vyhodnocením provedených měření chmelovaru v kon-

tinuálním vařáku byla prokázána měrná spotřeba energie 13,42 MJ . hl⁻¹, což činí v průměru 33,3 % spotřeby energie u chmelovaru v dosud provozovaných klasických varnách. Z hmotnostní bilance byl stanoven průměrný celkový odpar z původního množství sladiny, který dosáhl hodnoty 8,6 %. Provozní doba vařáku se využívala v průměru na 82 %.

Lejsek, T. - Seifert, Z. - Baxa, S.: Современные способы хмелеварки. IV. часть. Эксплуатационные параметры непрерывного чана. Квас. прум. **33**, 1987, № 10, стр. 289—292.

Při обработке произведенных измерений хмелеварки в непрерывном варочном чане был доказан удельный расход энергии 13,42 МДж . гл⁻¹, что составляет в среднем 33,3 % потребления энергии при хмелеварке в до сих пор эксплуатирующихся классических варочных цехах. Из массового баланса было определено среднее суммарное испарение из исходного количества охмеленного сула, который достиг величины 8,6 %. Время эксплуатации варочного чана использовалось в среднем в 82 %.

Lejsek, T. - Seifert, Z. - Baxa, S.: Modern Procedures of Hop Boiling. IV. Technical Parameters of Continuous Boiler. Kvas. prům. **33**, 1987, No. 10, pp. 289—292.

Evaluating the measurement of hop boiling in a continuous boiler, specific energy consumption of 134.2 MJ . m⁻³ was found. This value forms about 33.3 % of specific energy consumption needed for hop boiling in classical boilers. The whole mean value of evaporated water was 8.6 %. The time of operation of the boiler was utilized to 82 %.

Lejsek, T. - Seifert, Z. - Baxa, S.: Moderne Verfahren der Würzebereitung. IV. Teil. Betriebsparameter des kontinuierlichen Würzekochers. Kvas. prům. **33**, 1987, Nr. 10, s. 289—292.

Es wurden die durchgeführten Messungen des Hopfenkochens in dem kontinuierlichen Kocher ausgewertet und ein Energieverbrauch von 13,42 MJ . hl⁻¹ bewiesen. Dieser Verbrauch repräsentiert im Durchschnitt 33,3 % des Energieverbrauchs der Würzekochung auf den gegenwärtig in Betrieb befindlichen klassischen Sudwerken. Aus der Massebilanz wurde die durchschnittliche Gesamtverdampfung aus der ursprünglichen Süßwürzmenge ermittelt, die den Wert von 8,6 % erreichte. Die Betriebszeit des kontinuierlichen Kochers wurde im Durchschnitt auf 82 % ausgenutzt.