

# Teplo vzniklé při kvašení mladiny

TOMÁŠ LEJSEK, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

663.45 : 536

Výkon chladicího zařízení pro spilku a ležácký sklep se obvykle posuzuje podle praktických hodnot, které udávají spotřebu chladu na čtvereční metr výrobní plochy a hodinu. Při používání těchto údajů je třeba si uvědomit, jak předchozí praxe odpovídá současným podmínkám i našemu záměru. K přesnému stanovení chladicího výkonu je nutná znalost množství odváděného tepla. Ve spilce je jeho podstatnou částí teplo, které vzniká při kvasném procesu.

Pojem „vyvinuté kvasné teplo“ zahrnuje množství tepla, které se kvasným procesem uvolňuje z mladiny podle exotermní reakce přeměny cukru v alkohol, zmenšené o energii spotřebovanou k růstu hmoty kvasničných buněk. Zajímá nás tedy množství tepla, které při kvašení skutečně přechází do mladiny a potom popř. i do okolí nebo do chladicího média.

Souborné výsledky a názory na vývin tepla při kvašení uveřejnil *Rubner* již roku 1913 [6]. Věnoval se problematice alkoholového kvašení a ke svým pokusům používal kalorimetrického měření v malých objemech cukerného roztoku [7]. Potvrdil, že v kvasící kapalině nelze dokázat žádné jiné teplo než to, které vyplývá ze zkvašení cukru. Kromě výsledku svého měření uvádí i výsledky jiných autorů:

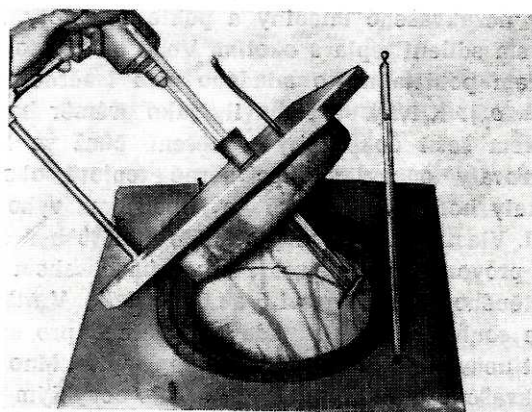
Dubrunfaut	120,9 kcal/kg sacharózy
Bouffard	131,5 kcal/kg glukózy
Brown	119,2 kcal/kg maltózy
Rubner	149,5 kcal/kg sacharózy

Další autoři [3, 5] uvádějí *Rubnerův* výsledek (150 kcal/kg) nebo vycházejí z rovnice kvašení. *De Clerck* [1] doporučuje pro zkvašování mladiny zakrouhlené číslo 140 kcal/kg extraktu, pro glukózu

uvádí 122 kcal/kg a maltózu 135 kcal/kg. *Dyr* [2] doporučuje praktickou hodnotu kvasného tepla 178 až 180 kcal/kg.

## Metodika zkoušek

Jak vyplývá z uvedených údajů, jednotlivé hodnoty se od sebe vzájemně podstatně liší. Kromě starší *Rubnerovy* hodnoty určené pro malá množství roztoku sacharózy a údaje *Browna*, který provedl provozní měření, nejsou záznamy o podrobnějším technickém průzkumu této problematiky. Z tohoto hlediska, při respektování závěrů potvrzených *Rubnerem*, jsme se zaměřili na sérii zkoušek, z jejichž výsledků by bylo možno zjistit spolehlivou průměrnou hodnotu. Vyvinuté teplo se určovalo ze zvýšené teploty mladiny v poměru k množství skutečně prokvašeného extraktu. Tato základní úloha byla doplněna orientačním ověřením vlivu některých dalších faktorů na celkový vývin tepla.



Obr. 1. Kalorimetrická nádoba použitá k měření



Hlavním problémem při zvoleném způsobu měření bylo zabránit příliš velkým nebo nepřesně určitelným ztrátám do okolí. Z tohoto důvodu také nevyhověla původně zkonstruovaná, nedokonale izolovaná aparatura. Nakonec se pro měření uprávil 20 l skleněný válec (obr. 1), vybavený snímatelným víkem s otvory pro upevnění míchadla a teploměru. Míchadlo je výsuvné, takže se po zakvašení dalo vytáhnout z kapaliny. Zařízení je tepelně izolováno polystyrénem a izolačními textilními pruhy. Celá izolace je uložena v igelitovém potahu, aby se zabránilo navlhnutí. Celek se instaloval do chladicího boxu, který zaručoval stálou teplotu okolí.

K měření a k vyhodnocení výsledků bylo použito metodiky obvyklé u kalorimetrických stanovení [4]. Proto byla teplota v boxu nastavena tak, aby byla rovna střední teplotě mladiny v průběhu kvašení. Zakvašovalo se tedy zhruba při 8 °C, teplota okolí byla asi 11 °C a měření se ukončilo při dosažení 14 °C. Celková doba jednoho měření byla průměrně 70 hodin. Uvedený průběh byl předem vyzkoušen s 10 % hm. mladinou, aby v poslední fázi kvašení nepoklesla teplota. Skutečný teplotní spád (oprava na tepelné ztráty) se vyhodnocoval modifikovaným grafickým způsobem podle Horáka [4, 8].

Pro každé měření se mladina vytemperovala na požadovanou teplotu, odměřila, smíchala s 300 g hustých kvasnic typu Smíchov a přelila do kalorimetrické nádoby. Zároveň se odebral vzorek pro stanovení obsahu extraktu a sušiny kvasnic. Po ustálení teploty (15 minut) se odečetla počáteční teplota měření na skleněném teploměru. Teplota okolí se zjišťovala současně s teplotou mladiny 2krát denně odečtením na skleněném teploměru umístěném uvnitř boxu v nádobce s vodou. Mezi odečítáním se teplota v boxu kontrolovala na bodovém zapisovači umístěném mimo vychlazený prostor. Po přerušení cyklu se odebral vzorek mladého piva.

### Výsledky měření a diskuse

Výsledky úvodního měření tepelných ztrát kalorimetrické nádoby se shrnuly do křivek vzrůstu teploty nezakvašené mladiny a poklesu teploty vody vlivem sdílení tepla s okolím. Voda byla k tomuto měření použita místo mladého piva (měrné teplo  $c_v = c_p$ ). Křivky se stanovily jako průměr hodnot celkem šesti dokončených měření, čímž se kompenzovaly odchylky v průměrné teplotě okolí a získaly hodnoty potřebné ke konečnému vyhodnocení. Vlastní měření se provádělo s 10 % hm. světloprovozní mladinou, s normálním obsahem rozpuštěného kyslíku (mezi 5 až 6 mg O<sub>2</sub>/l). V tabulce 1 je souhrnný přehled údajů o měření, pro stručnost neuvádíme jednotlivé průběhy teplot. Množství prokvašeného extraktu se vypočítalo obvyklým způsobem z rozdílu stanovení před měřením a po měření.

Kvasné teplo akumulované do 1 kg mladiny se vypočte jako součin opraveného teplotního rozdílu  $\Delta t$  a měrného tepla  $c$ . Měrné kvasné teplo se určí jako podíl množství kvasného tepla akumulovaného v mladině po prokvašení k celkovému množství zkvašeného extraktu. Vychází se při tom z tepelné bilance procesu, za předpokladu, že nedošlo ke sdílení tepla s okolím.

Měrné kvasné teplo:

$$q = \frac{\Delta t \cdot c_p \cdot 100}{\Delta E} \text{ (kcal/kg)}$$

kde  $\Delta t$  (°C) je opravený teplotní rozdíl,

$c_p$  (kcal/kg/deg) — měrné teplo mladého piva,

$\Delta E$  (%) — prokvašený extrakt,  $\Delta E = n_1 - n_2$ .

Takto vypočítané výsledky jednotlivých měření obsahuje sloupec pro  $q$  v tabulce 1. Konečný výsledek se stanovil jako aritmetický průměr měření a určila se i pravděpodobná chyba výsledku:

$$q = (135,5 \pm 1,4) \text{ kcal/kg}$$

Pro technické výpočty bude vyhovovat zaokrouhlená hodnota  $q = 135$  kcal/kg prokvašeného extraktu. Přitom je nutno vycházet z její definice a podle skutečně prokvašeného extraktu zjistit množství vzniklého tepla v požadovaných jednotkách, např. v kcal ze zakvašeného hl mladiny za hodinu.

Při hodnocení přírůstků kvasničné hmoty můžeme měření rozdělit do dvou skupin. Porovnáme-li vzájemně výsledky pokusů 1 až 3 (stejně i 4 a 7), můžeme zaznamenat pokles vývinu kvasného tepla s větším růstem kvasnic, a to souhlasně s teoretickým předpokladem. Při srovnání obou skupin však nedospějeme k uspokojivému výsledku a bylo by nutno hledat vysvětlení v dalších vlivech. K tomu je nutno dodat, že měření ve skupinách časově navazovala, avšak mezi měřeními 3 a 4 bylo delší přerušení. Rozptýl hodnot kvasného tepla je v obou případech přibližně stejný a změně nelze v důsledku rozdílného růstu kvasnic přikládat praktický význam.

### Příklady použití zjištěné hodnoty

Potřebným údajem je často množství tepla, které se uvolňuje při kvašení ve spílce. Pro mladinu 10 % hm. a stupeň prokvašení 65 % bude mladé pivo obsahovat  $n_2 = 4,72$  % hm. skutečného extraktu. Celkem se z 1 hl mladiny vyvine teplo:

$$Q_1 = q \cdot V \cdot \frac{n_1 - n_2}{100} \cdot \gamma = q \cdot V_{hl} \cdot (n_1 - n_2) \cdot \gamma = 135 \cdot 1 \cdot (10 - 4,72) \cdot 1,038 = 740 \text{ kcal/hl}$$

$q$  (kcal/kg extraktu) je měrné kvasné teplo,

$V_{hl}$  (hl) — objem mladiny v hl,

$V$  (l) — objem mladiny v l,

$n_1$  (% hm.) — počáteční obsah skutečného extraktu,



Tabulka 1

Číslo měření	Doba trvání cyklu	Teplota mladiny		Teplotní rozdíl	Opravený teplotní rozdíl	Střední teplota okolí	Obsah extraktu počátek	Skutečný extrakt konec	Zkvašený extrakt	Měrné kvasné teplo	Přírůstek sušiny kvasnic
		počáteční	konečná								
	$T$ (h)	$t_p$ (°C)	$t_k$ (°C)	$\Delta t'$ (°C)	$\Delta t$ (°C)	$t_o$ (°C)	$E_p$ (%)	$E_k$ (%)	$\Delta E$ (%)	$q$ (kcal/kg)	$\Delta S$ (mg/100 ml)
1	47	10,27	16,32	6,05	7,10	11,82	9,52	4,45	5,07	137,1	229,1
2	51:30	8,07	14,80	6,73	6,80	11,40	10,01	4,93	5,07	131,3	255,3
3	93:30	7,43	13,54	6,11	6,08	10,91	9,41	5,24	4,17	142,8	181,4
4	70:15	7,92	13,90	5,98	5,88	10,96	9,71	5,52	4,19	137,6	215,8
5	53:45	8,20	13,92	5,72	5,55	11,30	9,90	5,96	3,94	138,1	211,8
8	70:45	7,22	14,00	6,78	6,55	11,15	9,55	4,48	5,07	126,6	224,8
7	74:30	8,20	13,90	5,70	5,50	10,82	9,81	5,80	4,01	134,7	198,6

$n_2$  (% hm.) — konečný obsah skutečného extraktu,  
 $\gamma$  (kg/dm<sup>3</sup>) — hustota

Počítáme-li s dobou hlavního kvašení 10 dnů, bude průměrné kvasné teplo vyvinuté z 1 hl mladiny:

$$Q_{JP} = \frac{Q_1}{T} = \frac{740}{240} = 3,08 \text{ kcal/hl} \cdot \text{h}$$

$T$  (h) — doba kvašení

Z posledního příkladu je patrné, že zkrácení doby kvašení úměrně zatěžuje chladicí zařízení spilky.

Pro výpočet chlazení kvasné kádě pak uvažujeme, že u spodního kvašení lze počítat s maximálním prokvašením 1 kg extraktu z hl mladiny za den [1]. Uvolní se tedy 135 kcal/hl. den, tj. 5,65 kcal/hl. h.

Předpokládáme-li u semikontinuálního kvašení dosažení stejného stupně prokvašení jako v klasické spilce, bude i celkové uvolněné teplo u stejných množství stejné. Urychlení kvasného procesu v semispilce však znamená vyšší hodinové prokvašení, a tedy i vyšší průměrný vývin tepla. Pro pětidenní kvasný cyklus v této spilce (110 hodin kvašení) pak dostaneme:

$$Q_{JS} = \frac{Q_1}{T_s} = \frac{740}{110} = 6,73 \text{ kcal/hl} \cdot \text{h}$$

V průběhu druhého až třetího dne kvašení se však zjišťují vyšší úbytky extraktu, které jsou rozhodující pro určení maximální hodnoty kvasného tepla u semispilky. Pro maximální úbytek extraktu 0,12 kg/hl. h je pak okamžité vyvinuté teplo až 16,2 kcal/hl. h.

#### Souhrn

Výsledkem prováděných měření vývinu tepla z kvasící mladiny je stanovení hodnoty měrného kvasného tepla  $q = (135,5 \pm 1,4)$  kcal/kg prokvašeného extraktu.

Zkvašovaly se 20 l vzorky mladiny a kalorimetricky se určovalo vzniklé teplo, které se při kvasném procesu uvolňuje z mladiny podle exotermní reakce přeměny cukru v alkohol a je zmenšeno o energii spotřebovanou k růstu hmoty kvasničných buněk.

V závěru článku se uvádějí příklady praktického výpočtu vývinu tepla ve spilce při klasickém a semikontinuálním kvašení.

#### Literatura

- [1] DE CLERCK, J.: Lehrbuch der Brauerei I. Berlin, 1962, s. 637.
- [2] DYR, J.: Chemie a technologie sladu a piva, 2. díl. SNTL, Praha 1965, s. 81, 96.
- [3] FEHRMANN, K. - SONNTAG, M.: Mechanische Technologie der Brauerei, Berlin, 1962.
- [4] HORÁK, Z.: Praktická fyzika. Praha 1947, s. 414.

- [5] LÜERS, H.: Die wissenschaftl. Grundlagen von Mälzerei und Brauerei. H. Carl Nürnberg, 1950. [7] RUBNER, M.: Die Umsetzungswärme bei der Alkoholgärung. „Archiv für Hygiene“, 1904, s. 260, 355.
- [6] RUBNER, M.: Die Ernährungsphysiologie der Hefezelle bei alkoholischer Gärung. Verlag Veit & Comp. Leipzig, 1913. [8] LEJSEK, T.: Závěrečná zpráva výzkumného úkolu S 1 C/1966. VÚPS Praha.

#### ТЕПЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ БРОЖЕНИИ СУСЛА

Автор рассматривает проблему теплообразования, сопровождающего процессы брожения и дображивания сусла. Объясняется методика измерений, описанная в технической литературе и приводятся результаты экспериментального изучения хода брожения. Исследовательские работы проводились в опытной установке и в уменьшенных — по сравнению с производственными — масштабах. Намечены возможности использования на практике полученных результатов. На примерах показан расчет количества тепла, образующегося в бродильне при традиционном и полунепрерывном методах брожения.

#### HEAT GENERATION IN FERMENT- ING WORT

The article deals with the generation of heat during fermentation and after-fermentation of wort. The author outlines the method which has been developed to study the heat generation and which is described in available literature, and analyses the results obtained by applying this method in a series of experiments. The research works were carried out with wort batches corresponding roughly to 25 % of standard brewings. The practical application of the method is explained by examples of calculations covering both conventional and semi-continuous fermentation.

#### DIE WÄHREND DER WÜRZGÄ- RUNG ENTSTEHENDE WÄRME

Der Autor befasst sich mit der Wärmeentwicklung bei der Haupt- und Nachgärung. Von bisherigen Literaturangaben ausgehend, beschreibt er die Methodik und die Ergebnisse der Messungen, die im Kleinbetrieb durchgeführt wurden. Es werden die Möglichkeiten der praktischen Applikation der erzielten Ergebnisse angedeutet. Zum Schluss werden Beispiele praktischer Berechnungen der Wärmeentwicklung im Gärkeller für die klassische und die semikontinuierliche Gärungstechnologie angeführt.