

## VÝZNAM POJMU „PASTERAČNÍ JEDNOTKA“ V MODERNÍM PIVOVARSTVÍ

## SIGNIFICANCE OF CONCEPT OF „PASTEURIZATION UNIT“ IN MODERN BREWING INDUSTRY

JAN JANOUŠEK, Pivovar Velké Popovice a. s., Ringhofferova 1, 251 69 Velké Popovice  
GABRIELA BASAŘOVÁ, Ústav kvasné chemie a bioinženýrství, Vysoká škola chemickotechnologická, Technická 5, 166 28 Praha 6

**Klíčová slova:** pasterace, mikrobiologická kontaminace

**Keywords:** pasteurization, microbiology contamination

## 1 ÚVOD

Pasterace je dnes v pivovarství často využívaným prostředkem k eliminaci nebezpečí mikrobiologického znehodnocení finálního produktu. Aby se předešlo možnému podcenění rizik spojených s neodborně aplikovaným pasteračním zásahem, je třeba znát teoretické základy pasterace. V nich se často používá pojem „pasterační jednotka“ (PU). Mnohé práce z posledních let však upozorňují na nebezpečí spojené s úzkostným lpěním na PU zejména při navrhování parametrů pasterace, ale i při vyhodnocování její účinnosti. Naším cílem proto bylo shrnout dosavadní poznatky z této oblasti a upozornit na nepřesnosti spojené s užíváním konceptu PU při pasteračním procesu.

## 2 DEFINICE A POUŽITÍ PASTERAČNÍ JEDNOTKY, VÝPOČET PASTERAČNÍHO ÚČINKU

Pasterační účinek resp. letální účinek pasterace (v PU) je tepelný účinek pasterace při použité pasterační teplotě přepočtený na srovnávací teplotu, jinými slovy kolik minut bychom museli pivo pasterovat při srovnávací teplotě (obvykle 60 °C), abychom docílili stejného tepelného účinku na mikroorganismy, jako v daném čase při použité pasterační teplotě. Benjamín v nepublikované práci v roce 1936 navrhl „1 minutu při 60 °C“ jako 1 PU pro pivo a teplota 60 °C byla později vzata jako srovnávací [1]. Takto definovaná PU je dnes běžně používána především při vyhodnocování pasterace.

Kontrola pasterace by měla sestávat ze dvou nezávislých výpočtů – „kolik potřebujeme“ (potřebný pasterační účinek) a „kolik dostáváme“ (získaný pasterační účinek).

## 2.1 Získaný pasterační účinek

Získaný pasterační účinek se při jakémkoliv použité pasterační teplotě  $t$  zjistí vynásobením doby pasterace při příslušné pasterační teplotě letálním podílem  $L$ , jehož hodnota závisí na teplotě (1). Pokud se v průběhu pasterace teplota mění, např. při tunelové pasteraci, získá se celkový získaný pasterační účinek z obecnější rovnice (2) součtem parciálních pasteračních účinků pro jednotlivé teploty [2].

$$\Sigma PU = L_t \cdot \Delta \tau \quad (1)$$

$$\Sigma PU = \int L(t) \cdot d\tau \approx (L_t \cdot \Delta \tau_t) \quad (2)$$

kde  $L_t$  je letální podíl a  $\tau_t$  doba pasterace při příslušné pasterační teplotě.

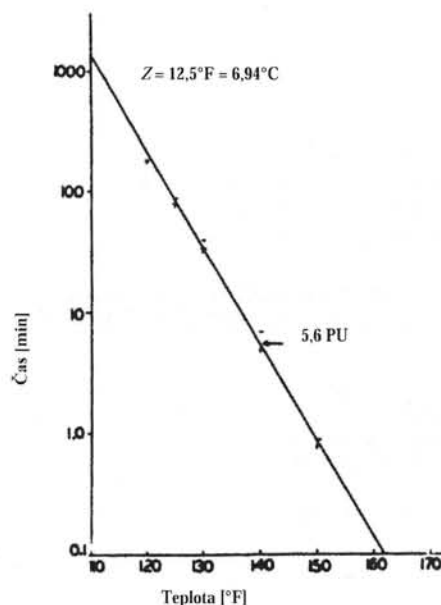
Určení hodnot letálního podílu  $L$  pro jednotlivé teploty obecně vychází ze závislosti doby nutné k usmrcení mikroorganismů na teplotě, která bývá nejčastěji uváděna v podobě letální křivky (v anglosaské literatuře označované jako thermal death time curve), jejíž příklad je uveden na obr. 1. Del Vecchio et al. [1] pak na základě rovnice popisující jimi získanou letální křivku navrhli vzorec pro výpočet letální rychlosti při použité pasterační teplotě (3).

$$L_{(t)} = 10^{(t-60)/6,94} \quad (3)$$

$$\text{Obecně pak } L_{(t)} = 10^{(t-t_{ref})/Z} \quad (4)$$

kde  $t$  – použitá pasterační teplota (°C),  $t_{ref}$  – srovnávací (referenční) teplota (°C),  $Z$  – decimální redukční teplota (°C), která za podmínek Del Vecchiova pokusu činila 6,94 °C [1].

Z rovnice (4) lze odvodit, že letální podíl je kromě použité pasterační teploty také funkcí decimální redukční teploty  $Z$ , což je záporně vzatá převrácená hodnota směrnice letální křivky. Parametr  $Z$ ,



Obr. 1 Del Vecchiova letální křivka [1]

který závisí především na vlastnostech pasterovaného média a na druhu přítomného mikroorganismu, udává, o kolik °C je třeba zvýšit pasterační teplotu, chceme-li snížit dobu pasterace na desetinu při stejném pasteračním účinku. Je třeba zdůraznit, že tento parametr v žádném případě není měřítkem termorezistence mikroorganismů, kterým je naopak decimální redukční čas  $D$ , jehož definice je uvedena v kapitole 2.2.

## Příklad výpočtu získaného pasteračního účinku (běžně užívaný způsob výpočtu)

Pivo bylo pasterováno průtokovým pasterem při teplotě 72 °C s dobou zdržení 30 s.

Použitím rovnic (1) a (3) získáme počet PU:

$$\Sigma PU = 0,5 \cdot 10^{(72-60)/6,94} = 26,8 \text{ PU}$$

Tento výpočet má však pro pivovárníka minimální význam. Z hodnoty získaného pasteračního účinku, vyjádřeného v PU, totiž nelze přímo odvodit teoretickou účinnost pasteračního zásahu, jinými slovy je-li pasterační zásah dostatečný a jaké množství mikroorganismů teoreticky přežije. Tohoto údaje se lze dobrat použitím rovnice popisující závislost úhynu mikroorganismů na čase:

$$N = N_0 \cdot 10^{(-t/D)} \quad (5)$$

kde  $N$  je počet mikroorganismů, které teoreticky přežijí,  $N_0$  počet mikroorganismů v nepasterovaném pivu,  $D$  decimální redukční čas příslušného mikroorganismu při použité pasterační teplotě (viz dále) a  $\tau$  je doba pasterace při aplikované pasterační teplotě.

## Příklad výpočtu teoretického počtu mikroorganismů přeživších pasteraci

Pivo při vstupu do průtokového pasteru obsahovalo 24 zárodků *Pediococcus damnosus* ( $D_{72} = 0,041$  min) v 1 ml, použitá pasterační teplota byla 72 °C a doba pasterace 30 s.

Dosažením do rovnice (5) dostaneme teoretické množství mikroorganismů v pasterovaném pivu:

$$N = 24 \cdot 10^{(-0,5/0,041)} = 1,53 \cdot 10^{-11} \text{ zárodků/ml piva} \approx 3 \text{ zárodky v } 1\,000\,000 \text{ hl piva}$$

## 2.2 Potřebný pasterační účinek

Výpočet potřebného pasteračního účinku je poněkud komplikovanější. Vychází z druhů kontaminujících mikroorganismů a jejich koncentrací v nepasterovaném pivu a je založen na základech kinetiky úhynu mikroorganismů působením tepla [3, 4, 5].

Doba  $\tau$  potřebná k bezpečné inaktivaci kontaminujících mikroorganismů při použité pasterační teplotě  $t$  se zjistí z upravené rovnice (5):

$$\tau_t = D_t (\log N_0 - \log N) \quad (6)$$

kde  $D_t$  je decimální redukční čas (při použité pasterační teplotě),  $N_0$  je počet mikroorganismů v nepasterovaném pivu a  $N$  je požadovaný (tolerovaný) počet mikroorganismů v pasterovaném pivu.

Decimální redukční čas  $D_t$  je doba potřebná ke snížení počtu buněk vitální populace mikroorganismů na desetinu při použité pasterační teplotě.  $D_t$  je závislý na druhu mikroorganismu a na vlastnostech pasterovaného média (obsah alkoholu, oxidu uhličitého, pH atd.). Podle Patino et al. [6] by do rovnice (6) měla být dosazována hodnota  $D_t$  pro mikroorganismus s největší termorezistencí (největším  $D$ ) při použité pasterační teplotě, který byl zjištěn při mikrobiologických analýzách nepasterovaného piva v delším časovém období. Hodnotu decimálního redukčního času je možné získat buď experimentálně sestrojením závislosti dekadického logaritmu počtu buněk na době při dané teplotě  $t$ , nebo z literárních údajů (příklady jsou uvedeny v tab. 1, 2, 3, 5 a 6), kde bývá nejčastěji uváděna v podobě  $D_{60}$ , tj. pro referenční teplotu 60 °C.  $D_t$  při použité pasterační teplotě se pak vypočte podle vztahu:

$$D_t = D_{60} \cdot 10^{(60-t)/Z} \quad (7)$$

Z rovnice (6) je patrné, že teoreticky nelze docílit  $N = 0$ , respektive pasterační doba potřebná pro docílení nulové hodnoty  $N$  (absolutně žádné mikroorganismy v pasterovaném pivu) je rovna  $\infty$ . V praxi je proto nutné pro  $N$  zvolit hodnotu, která je ještě přijatelná. Jelikož prozatím neexistují jednoznačné údaje o závislosti doby mikrobiologické stability na počtu mikroorganismů v pasterovaném pivu, resp. zmíněné údaje jsou odlišné pro různé typy piv a jednotlivé mikroorganismy, lze těžko doporučit, jak hodnotu  $N$  nastavit a volba je plně na uvážení pivovárníka. Patino et al. [6] v příkladu výpočtu potřebného pasteračního účinku pro plechovkové pivo použili  $N = 0,000001$  buněk/355 ml (tj. 1 zárodek na  $10^6$  plechovek o obsahu 355 ml po pasteračním zásahu). Podle Frickera [7] je praktické sterility dosaženo již při koncentraci  $10^{-3}$  vitálních zárodků/ml.

Počet mikroorganismů v nepasterovaném pivu  $N_0$  by měl vycházet z mikro-

biologických rozborů za delší časové období. Patino et al. [6] doporučují dosazovat do rovnice (6) průměrnou zjištěnou hodnotu počtu celkových mikroorganismů v minulém období a považovat všechny zárodky za příslušníky nejodolnějšího kmene, zjištěného při analýzách. Jelikož při mikrobiologických rozbořech se běžně jednotlivé kmeny nestanovují, je možné vycházet ze zjištěných rodů mikroorganismů, z nichž jsou následně vybrány kmeny s největší termorezistencí při použité pasterační teplotě a porovnáním takto vybraných zástupců jednotlivých rodů nakonec zvolen nejodolnější mikroorganismus. Získá se tak jistá bezpečnostní rezerva, neboť nelze předpokládat, že by všechny zjištěné zárodky byly příslušníky nejodolnějšího mikroorganismu přítomného v nepasterovaném pivu.

### Příklad výpočtu potřebného pasteračního účinku

Průměrné mikrobiologické zatížení nepasterovaného lahvového piva odpovídalo během ročního sledování 8 zárodků/ml, největší zjištěná hodnota byla 29 zárodků/ml. Identifikovaná mikrobiota sestávala z pivovarských kvasinek, divokých kvasinek a mléčných bakterií kokovitého tvaru, pravděpodobně rodu *Pediococcus*. Pasterační teplota je 63 °C. Cílem pasterace je dosáhnout 1 zárodku/10<sup>6</sup> lahví (objem lahve 0,5 l).

Použitím literárních údajů uvedených v tab. 1, 2, 3, 5 a 6 a rovnice (7) získáme pro všechny identifikované mikroorganismy hodnoty decimálního redukčního času při použité pasterační teplotě:

$$\begin{aligned} D_{63} (\text{Saccharomyces cerevisiae}) &= 1,9 \cdot 10^{(60-63)/6,94} = 0,702 \text{ min} \\ D_{63} (\text{Saccharomyces diastaticus}) &= 1,9 \cdot 10^{(60-63)/6,94} = 0,702 \text{ min} \\ D_{63} (\text{Pediococcus damnosus}) &= 2,07 \cdot 10^{(60-63)/6,911} = 0,762 \text{ min} \end{aligned}$$

(použity nejnejpříznivější údaje). Nejvyšší zjištěný decimální redukční čas (indikující největší termorezistenci daného mikroorganismu při teplotě 63 °C) dosadíme do rovnice (6):

$$\tau = 0,762 \cdot (\log (8.500) - \log 0,000001) = 7,32 \text{ min}$$

Pro maximální zjištěné mikrobiologické zatížení a vypočtenou dobu pasterace lze počet zárodků, které přežijí, zjistit z rovnice (5):

$$N = 29.500 \cdot 10^{(-7,32/0,762)} = 3,59 \cdot 10^{-6} \approx 4 \text{ zárodky/1 000 000 lahví}$$

Pro dosažení požadovaného limitu 1 zárodek/10<sup>6</sup> lahví při maximálním zjištěném mikrobiologickém zatížení lze zjistit potřebnou dobu pasterace opět z rovnice (6) – 7,74 minut. Vypočtená

pasterační doba navíc skýtá určitou rezervu – nelze předpokládat, že všechny zárodky zjištěné v nepasterovaném pivu by byly příslušníky druhu s největší termorezistencí. Výpočet také nezahrnuje tepelný účinek během zahřívání lahve na pasterační teplotu a jejího následného chlazení. Tyto příspěvky lze zohlednit výpočtem mikroorganismů, které přežijí, podle rovnice (5) při známém teplotním průběhu během ohřevu (či chlazení) pro každou teplotu od např. 60 °C za použití příslušných hodnot  $D$ .

Doba ohřevu z 59,5 °C na 60,5 °C byla 1 minuta:

$$N = 8.500 \cdot 10^{(-1/2,07)} = 1315,1 \text{ zárodků/lahev}$$

Doba ohřevu z 60,5 °C na 61,5 °C byla 1,5 minuty:

$$N = 1315,1 \cdot 10^{(-1,5/1,48)} = 127,5 \text{ zárodků/lahev}$$

Doba ohřevu z 61,5 °C na 62,5 °C byla 2 minuty:

$$N = 127,5 \cdot 10^{(-2/1,06)} = 1,655 \text{ zárodků/lahev}$$

Doba chlazení z 62,5 °C na 61,5 °C byla 2 minuty:

$$N = 1,655 \cdot 10^{(-2/1,06)} = 0,0215 \text{ zárodků/lahev}$$

Doba chlazení z 61,5 °C na 60,5 °C byla 1,5 minuty:

$$N = 0,0215 \cdot 10^{(-1,5/1,48)} = 2,084 \cdot 10^{-3} \text{ zárodků/lahev}$$

Doba chlazení z 60,5 °C na 59,5 °C byla 1 minuta:

$$N = 2,084 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{(-1/2,07)} = 6,852 \cdot 10^{-4} \text{ zárodků/lahev}$$

Teoretický počet zárodků, které přežijí, se pak dosadí do rovnice (6) a zjistí se potřebná doba pasterace při zvolené teplotě 63 °C:

$$\tau = 0,762 \cdot [\log (6,852 \cdot 10^{-4}) - \log 10^{-6}] = 2,16 \text{ min}$$

## 3 KOMPLIKACE A NEBEZPEČÍ SPOJENÁ S POUŽÍVÁNÍM VÝPOČTU PASTERAČNÍHO ÚČINKU NA ZÁKLADĚ PASTERAČNÍ JEDNOTKY

Míru získaného pasteračního zásahu lze, jak je patrné z rovnice (1) resp. (2), ovlivnit použitou pasterační teplotou (obsaženou v letálním podílu  $L$ ) a dobou pasterace  $\tau$ . Při nastavování požadovaného pasteračního účinku je možné jeden z těchto dvou parametrů zvolit, druhý se pak dopočítá z rovnic (1) (nebo (2)) a (3) (nebo (4)).

Z výše uvedených rovnic (1) – (4) je zřejmé, že určení získaného pasteračního účinku může být ovlivněno kromě chybného měření pasterační teploty



a času (což je dnes prakticky vyloučeno) hodnotou parametru  $Z$ . Přestože je tato hodnota závislá, jak již bylo zmíněno, na druhu kontaminujícího mikroorganismu a vlastnostech pasterovaného média, v praxi se pro výpočty dogmaticky používá hodnota parametru  $Z$ , stanovená Del Vecchiem et al., 6,94 °C (12,5 °F) [1] a neuvažuje se o možných odchylkách, což může vést k podcenění potřebného pasteračního účinku či ke zbytečnému přepasterování piva.

### 3.1 Mikrobiologické faktory ovlivňující míru potřebného pasteračního účinku

V této kapitole jsou uvedeny parametry pasterace, které jsou ovlivněny vlastnostmi kontaminujících mikroorganismů, především jejich druhem a koncentrací v nepasterovaném pivu.

#### 3.1.1 Mikrobiologické faktory ovlivňující decimální redukční teplotu $Z$ a decimální redukční čas $D$

Jak již bylo zmíněno, parametr  $Z$  závisí na přítomném mikroorganismu, je zde proto na místě připomenout, že podmínky, za kterých byla tato hodnota určena, byly popsány nedostatečně. Del Vecchio et al. [1] použili směs mikroorganismů, které označili jako „abnormální kvasinky“, „pivní sarciny“, octové bakterie, mléčné bakterie, toruly a „mladinové bakterie“. Nejodolnějším mikroorganismem, pro který byla autory sestrojena letální křivka a určena decimální redukční teplota  $Z$  (6,94 °C), byly „abnormální kvasinky“. Z tohoto popisu nelze přesně určit ani rod, ani kmen těchto kvasinek. Výše uvedená hodnota  $Z$  však nemusí nutně platit pro různé pasterační podmínky a jednotlivé kontaminující mikroorganismy. Zufall a Wackerbauer [8] sice potvrdili, že pro kvasničné druhy *Saccharomyces cerevisiae* a *Saccharomyces diastaticus* je decimální redukční teplota  $Z$  rovna 6,94 °C, kromě teplotního intervalu 72 – 84 °C, pro který autoři zjistili hodnotu 7,17 °C (tab. 3). U bakteriálních kmenů *Lactobacillus brevis* a *Pediococcus damnosus* se však decimální redukční teploty od Del Vecchiovy hodnoty lišily výrazněji (tab. 3). Kingová et al. [9] uvádějí pro *Lactobacillus brevis* decimální redukční teplotu 8,33 °C (pro pivo) či

11,22 °C (pufr o pH=7), což jsou hodnoty vyšší než Del Vecchiova. Z pozdějších prací [10, 11] vyplývá, že kvasinky nemusejí být tepelně nejodolnějšími mikroorganismy, vyšší termorezistenci se při teplotě 60 °C vyznačuje např. *Pediococcus acidilactici* a některé druhy heterofermentativních mléčných bakterií. Aplikací Del Vecchiovy hodnoty pro decimální redukční teplotu se proto vystavujeme nebezpečí zkreslení získaných výsledků. Naopak korektní je použití hodnoty  $Z$  pro druhy mikroorganismů skutečně zjištěné, popř. očekávané v nepasterovaném pivu.

Z tab. 1, 2, 3, 5 a 6 je patrné, že rovněž decimální redukční čas  $D$  je dán druhem mikroorganismu, což zdůrazňuje nutnost identifikace kontaminující mikroflóry v nepasterovaném pivu, ať již pro přesný návrh či vyhodnocení podmínek pasterace.

Známost skutečností je, že decimální redukční teplota a decimální redukční čas závisí na stavu mikrobiální kultury, na kterou je pasterace aplikována. Jedním z faktorů, který z tohoto pohledu ovlivňuje hodnoty obou parametrů, je fyziologický stav mikroorganismu. Buňky

Tab. 1 Příklady hodnot  $D$  a  $Z$  pro některé mikroorganismy

Mikroorganismus*	Růstová fáze	Pasterované médium	$D^{**}$ [min]	$Z$ [°C]	Zdroj
<i>Candida mycoderma</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,002	3,721	[10]
<i>Kloeckera apiculata</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	1,4·10 <sup>-6</sup>	3,174	[10]
<i>Hansenula anomala</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,00388	4,622	[10]
<i>Pichia membranaefaciens</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,00025	2,806	[10]
<i>Torulopsis colliculosa</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,0029	5,005	[10]
<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,004	4,415	[10]
<i>Saccharomyces uvarum</i>	exponenciální	odplyněné nealkoholické pivo (bližší nespecifikováno)	1 (49,2 °C) 0,1 (52,6 °C)	3,7	[12]
<i>Saccharomyces uvarum</i>	stacionární	odplyněné nealkoholické pivo (bližší nespecifikováno)	1 (50,2 °C) 0,1 (55,2 °C)	5	[12]
<i>Saccharomyces uvarum</i>	stacionární	odplyněný ležák (bližší nespecifikováno)	1 (46,2 °C)	5,4	[12]
<i>Saccharomyces uvarum</i>			0,046	5,76	[4]
<i>Lactobacillus</i> sp.	stacionární	odplyněné pivo (11%, pH 4,2, 4,9% alk.)	0,15	7,7	[16]
<i>Lactobacillus</i> sp.	stacionární	odplyněné pivo (11%, pH 4,35, 4,9% alk.)	0,2	7,7	[16]
<i>Lactobacillus</i> sp.	stacionární	odplyněné pivo (10,8%, pH 4,1, 4,9% alk.)	0,25	7,7	[16]
<i>Lactobacillus</i> sp.	stacionární	pivo (10,8%, pH 4,1, 4,9% alk.)	0,25	7,15	[16]
<i>Lactobacillus</i> sp.	stacionární	odplyněné pivo (8,7%, pH 4,35, 3,3% alk.)	0,25	6,7	[16]
<i>Lactobacillus</i> sp.			0,242	4,90	[4]
<i>Lactobacillus</i> sp.			0,209	4,90	[4]
<i>Lactobacillus brevis</i>	stacionární	odplyněné nealkoholické pivo (bližší nespecifikováno)	1 (49,1 °C) 0,1 (56,8 °C)	7,4	[12]
<i>Lactobacillus brevis</i>	stacionární	odplyněný ležák (bližší nespecifikováno)	1 (47 °C)	12,4	[12]
<i>Lactobacillus brevis</i>	stacionární	odplyněný ležák (bližší nespecifikováno)	1 (46,1 °C)	7,5	[12]
<i>Lactobacillus brevis</i>	***	pivo (pH 4,4–4,6)	–	8,33	[9]
<i>Lactobacillus brevis+casei</i>	****	pufr (pH 7)	–	11,22	[9]
<i>Lactobacillus frigidus</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,44	15,395	[10]
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,091	12,257	[10]
<i>Pediococcus acidilactici</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,867	11,17	[10]

\* názvy mikroorganismů byly převzaty z původních prací a nemusí odpovídat současné taxonomii

\*\* pro 60 °C, pokud není uvedeno jinak

\*\*\* 48 hod. kultura – pravděpodobně přechod z exponenciální do stacionární

\*\*\*\* 24 hod. kultura – pravděpodobně exponenciální

Tab. 2 Rozdíly hodnot  $D$  a  $Z$  mezi sporami a vegetativními buňkami některých kvasinek

Mikroorganismus*	Růstová fáze	Pasterované médium	$D^{**}$ [min]	$Z$ [°C]	Zdroj
<i>Saccharomyces willianus</i>	stacionární	odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,00092	4,122	[10]
<i>Saccharomyces willianus</i> – spóry		odplyněné pivo (11,5%, pH 4, 5% alk.)	0,0019	2,742	[10]
<i>Saccharomyces diastaticus</i>	exponenciální	odplyněné nealkoholické pivo (bližší nespecifikováno)	1 (52,6 °C) 0,1 (57,2 °C)	4,8	[12]
<i>Saccharomyces diastaticus</i> – spóry		odplyněný ležák (bližší nespecifikováno)	1 (62,4 °C) 0,1 (70 °C)	7,4	[12]
<i>Saccharomyces</i> sp., kmen XZ66	stacionární	pivo (3,7% alk.)	0,24	8,0	[15]
<i>Saccharomyces</i> sp., kmen XZ66 – spóry		pivo (3,7% alk.)	2,9	6,9	[15]
<i>Saccharomyces</i> sp., kmen XZ66	stacionární	nealkoholické pivo (0,05% alk.)	0,53	5,5	[15]
<i>Saccharomyces</i> sp., kmen XZ66 – spóry		nealkoholické pivo (0,05% alk.)	23	4,1	[15]

\* názvy mikroorganismů byly převzaty z původních prací a nemusí odpovídat současné taxonomii

\*\* pro 60 °C, pokud není uvedeno jinak

ve stacionární fázi mají větší termorezistenci než buňky ve fázi exponenciálního růstu. Molzahn et al. [12] zjistili, že pro pivovarské kvasinky spodního kvašení ve stacionární fázi je hodnota  $Z$  rovna 5 °C, zatímco v exponenciální fázi 3,7 °C. Rovněž parametr  $D$  byl u buněk ve stacionární fázi vyšší. Dalším faktorem ovlivňujícím  $D$  a  $Z$  je možná heterogenita populace jednoho druhu. Přítomnost spór, které většinou mají vyšší termorezistenci než zbytek populace, znamená, že pro daný mikroorganismus existují dvě letální křivky (jedna pro termorezistentní a druhá pro termosenzitivní část populace) s odlišnými decimálními redukčními teplotami a časy (tab. 2).

Již citovaná práce Zufalla a Wackerbauera [9] rovněž prokázala, že decimální redukční teplota není konstantní, nýbrž závisí na použité pasterační teplotě (tab. 3).

### 3.1.2 Mikrobiologické faktory ovlivňující dobu pasterace $t_p$

Doba, potřebná k bezpečné inaktivaci mikroorganismů při zvolené pasterační teplotě je závislá na počtu mikroorganismů v nepasterovaném pivu. Tato skutečnost však bývá často přehlížena.

Pro pokus, ze kterého získali dnes v praxi používané hodnoty letálních podílů  $L$  a decimální redukční teploty  $Z$ , Del Vecchio et al. [1] neuvedli koncentrace mikroorganismů v pivu před pasterací.

Množství mikroorganismů sice nemá přímý vliv na hodnotu  $Z$  (tj. na sklon letální přímky), avšak přímo ovlivňuje tepelný účinek potřebný k usmrcení mikroorganismů (tj. „polohu“ letální křivky, příklad uveden v tab. 4), a tím i dobu pasterace.  $Z$  tohoto důvodu je třeba považovat často citovanou „dostatečnou pasterační dávku“ 5,6 PU za platnou pouze pro Del Vecchiův pokus. Sami autoři v pozdějších publikacích tuto skutečnost zdůrazňují a uvádějí v závislosti na provozních podmínkách a požadované trvanlivosti 4,4 PU či dokonce 1 PU jako dostatečné k inaktivaci mikroorganismů v pivu za běžných provozních podmínek [13, 14]. Tsang a Ingledew [10] zjistili, že k účinné pasteraci piva infikovaného  $4 \cdot 10^7$  buněk *Pediococcus acidilactici*/ml stačí 6,1 PU.

### 3.1.3 Ostatní aspekty ovlivněné mikrobiologickým činitelem

Kilgour a Smith [15] zaměřili svou pozornost na ověření metodiky experimentálního stanovení hodnot  $D$  a  $Z$  porovnáním „tradiční“ a Reichartovy metody. Při „tradiční“ metodě je suspenze testovaného mikroorganismu vystavena konstantní teplotě a zaznamenává se úbytek vitálních zárodků v závislosti na čase. Ze semilogaritmického grafického vynesení této závislosti se pak zjistí decimální redukční čas pro danou teplotu. Pokus se pak opakuje při dalších zvolených teplotách, čímž se

získá řada hodnot  $D$ , a po sestrojení semilogaritmického grafu závislosti  $D$  na teplotě lze určit decimální redukční teplotu. Reichartova metoda vychází z jednoho pokusu, během kterého je suspenze mikroorganismu zahřívána (teplota rovnoměrně vzrůstá) a je zaznamenávána časová závislost úbytku koncentrace. Hodnoty  $D$  se pak vypočítají vždy pro dva sousední naměřené body křivky. Stanovení decimální redukční teploty je obdobné jako u „tradiční“ metody. Porovnáním obou metod

byly zjištěny značně odlišné výsledky (tab. 5) a navzdory rychlosti Reichartovy metody bylo doporučeno používat „tradiční“ metodu.

Použitá metodika stanovení  $D$  a  $Z$  může zkreslit výsledky i z jiného důvodu. V drtivé většině prací byl počet přežívajících zárodků určován kultivací na pevných půdách. Při přenesení z kapalného prostředí o vysoké (pasterační) teplotě na pevnou půdu jsou však mikroorganismy pravděpodobně vystaveny šoku, který vede ke ztrátě jejich viability, zatímco v kapalném prostředí jsou subletálně poškozené buňky schopny regenerace a následného růstu [12]. Nárůst na pevných půdách indikující počet vitálních buněk je pak nižší než počet buněk skutečně přežívajících v kapalném médiu. V praxi se tak může stát, že zatímco kultivace po tepelném zákroku prokáže nepřítomnost jakýchkoliv živých zárodků, a tedy dostatečný pasterační účinek, pasterované pivo bude mikrobiologicky znehodnoceno.

Kinetika popisující úhyn mikroorganismů vychází z rovnice popisující chemickou reakci prvního řádu (v integrované podobě ji představuje rovnice (6)). Pro čistou kulturu jednoho mikroorganismu by tudíž závislost logaritmu počtu buněk na čase měla být přímková se směrnicí  $-1/D$ . Tsang a Ingledew [10] však zjistili odchylky od tohoto ideálního chování např. u *Lactobacillus delbrueckii* a *Lactobacillus frigidus*, což autoři vysvětlují párováním, popř. řetízováním těchto mléčných bakterií.

### 3.2 Nebiologické faktory ovlivňující míru potřebného pasteračního účinku

Důležitou skutečností, kterou je třeba mít na zřeteli, je ovlivnění potřebného pasteračního zásahu „lokálními“ podmínkami, především chemickým složením piva.

Tab. 4 Závislost doby potřebné k inaktivaci *Saccharomyces diastaticus* v závislosti na koncentraci buněk (pasterační teplota 60 °C, odplyněný ležák) [12]

Koncentrace buněk/ml	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>
Doba potřebná k inaktivaci [min]	0,18	0,86	>30

Tab. 6 Hodnoty decimálního redukčního času a decimální redukční teploty pro *Lactobacillus* sp. v závislosti na pH (odplyněný 11% ležák, 4,9 % obj. alkoholu) [16]

	Pasterační teplota [°C]	$D$ [min]	$Z$ [°C]
pH 4,2	50	2,9	7,7
	53	1,4	
	55	0,6	
	57	0,45	
	60	0,15	
pH 4,35	50	4	7,7
	53	1,7	
	55	1	
	57	0,7	
	60	0,2	

Tab. 3 Závislost decimální redukční teploty  $Z$  na pasterační teplotě (průtoková pasterace pšeničného piva) [8]

Mikroorganismus	Růstová fáze	$D^*$ [min]	$Z^{**}$ [°C]
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	stacionární	<51 (50 °C) <1,9 (60 °C) <0,0345 (72 °C) 0,00073 (84 °C) <0,00047 (90 °C)	6,94 (50-72) 7,166 (72-84) 6,94 (84-90)
<i>Saccharomyces diastaticus</i>	stacionární	<51 (50 °C) <1,9 (60 °C) <0,0354 (72 °C) 0,00076 (84 °C) <0,00047 (90 °C)	6,94 (50-72) 7,193 (72-84) 6,94 (84-90)
<i>Lactobacillus brevis</i>	stacionární	<50 (50 °C) 2 (60 °C) 0,037 (72 °C) 0,00072 (84 °C) 0,00047 (90 °C)	7,197 (50-60) 6,902 (60-72) 7 (72-84) 6,981 (84-90)
<i>Pediococcus damnosus</i>	stacionární	<51 (50 °C) 2,07 (60 °C) 0,041 (72 °C) 0,00065 (84 °C) <0,00046 (90 °C)	7,196 (50-60) 6,911 (60-72) 6,791 (72-84) 6,627 (84-90)

\* Hodnoty v závorkách uvádějí příslušnou teplotu v °C

\*\* Hodnoty v závorkách uvádějí příslušné rozmezí teplot v °C, pro které hodnota platí

Tab. 5 Porovnání výsledků dvou metod stanovení decimálního redukčního času  $D$  a decimální redukční teploty  $Z$  [15]

Mikroorganismus*	Pasterované médium	Tradiční metoda		Reichartova metoda	
		$D_{60}$ [min]	$Z$ [°C]	$D_{60}$ [min]	$Z$ [°C]
<i>Saccharomyces diastaticus</i> – spóry	pivo (3,7% alk)	1,65	5,6	0,53	3,6
<i>Saccharomyces diastaticus</i> – spóry	nealkoholické pivo (0,05% alk)	7,7	3,9	6,5	2,7

\* názvy mikroorganismů byly převzaty z původních prací a nemusí odpovídat současné taxonomii



### 3.2.1 Fyzikálně-chemické vlastnosti pasterovaného média

Pivo obsahuje celou řadu chemických látek, které ovlivňují jak růst mikroorganismů, tak i jejich citlivost k tepelnému zásahu. Na vlastnostech pasterovaného média závisí decimální redukční čas  $D$  i decimální redukční teplota  $Z$ . Z fyzikálně-chemických vlastností piva je to především obsah ethanolu, oxidu uhličitého a hodnota pH.

Obsah alkoholu ovlivňuje termorezistenci kontaminujících mikroorganismů. Garrick a McNeil [16] sledovali v rozmezí 50 – 60 °C vliv koncentrace alkoholu u dvou vzorků piva (3,3 a 4,9 % obj.), která se nelišila jinými parametry, na hodnoty  $D$  a  $Z$  pro *Lactobacillus sp.* Podle jejich výsledků se vyšší obsah alkoholu v pivu projevil snížením  $D$  především u nižších teplot z uvedeného rozmezí, zatímco při pasterační teplotě 60 °C byly rozdíly zanedbatelné. Díky této skutečnosti pak byla decimální redukční teplota  $Z$  vyšší v pivu s vyšším obsahem alkoholu. Tento trend je však třeba v budoucnosti ověřit, neboť při extrapolaci zjištěných údajů na vyšší pasterační teploty (nad 60 °C) vycházejí pro pivo s nižším obsahem alkoholu nižší decimální redukční časy (a tudíž i nižší potřebná pasterační dávka), což je v rozporu s teoretickými základy. Molzahn et al. [12] porovnávali údaje získané s *Lactobacillus brevis* a *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *uvarum* pro nealkoholické pivo a ležák s obsahem alkoholu 4 % obj. a potvrdili mírně vyšší  $Z$  pro sledovaný ležák. Teploty, při kterých byl  $D$  roven 1 minutě, pak byly v tomto pivu o 4 °C nižší než v nealkoholickém pivu (prokázání nižší odolnosti mikroorganismů v pivu s vyšším obsahem alkoholu). Kilgour a Smith [15] prokázali nižší hodnoty  $Z$  v nealkoholickém pivu (0,05 % obj. alkoholu) oproti běžnému pivu (3,7 % obj. alkoholu) i pro spóry kmene XY66 blíže nespecifikovaných kvasinek patřících k rodu *Saccharomyces* (tab. 2). Pozorované rozdíly v decimálních redukčních teplotách však opět vzbuzují pochybnosti o aplikaci těchto zjištění na vyšší pasterační teploty.

Bylo prokázáno, že  $\text{CO}_2$  přítomný v pivu se podílí na inaktivaci mikroorganismů při pasteraci. Porovnáním parametrů  $D$  a  $Z$  *Lactobacillus sp.* při pasteraci odplyněného piva a piva s  $\text{CO}_2$  vyplynulo, že při nižší pasterační teplotě (50 °C) byly decimální redukční časy srovnatelné, zatímco při vyšších teplotách 60 °C byly hodnoty  $D$  v odplyněném pivu větší (vyšší termorezistence mikroorganismů). Důsledkem byla i nižší hodnota decimální redukční teploty v odplyněném pivu [16]. Důvodem je pravděpodobně zvýšení tlaku především při vyšších pasteračních teplotách.

Hodnota pH je důležitým faktorem ovlivňujícím nejen růst mikroorganismů,

ale i jejich tepelnou odolnost. Výsledky australských autorů [16] potvrdily vyšší decimální redukční časy (a tudíž i vyšší termorezistenci) *Lactobacillus sp.* v rozsahu pasteračních teplot 50 – 60 °C u piva s hodnotou pH 4,35 oproti pivu s pH 4,2, zatímco decimální redukční teplota byla u obou pív stejná (tab. 6).

Tři výše uvedené fyzikálně-chemické parametry piva však s největší pravděpodobností nebudou jedinými. Dalšími, jejichž vliv však nebyl doposud ve větším měřítku ověřen, by mohly být obsah hořkých látek, oxidu siřičitého a dále pak faktory ovlivňující osmotický tlak (tj. původní koncentrace mladiny, zbytkový extrakt atd.).

### 3.2.2 Technické a technologické závady

Nestandardní podmínky způsobené závadami se mohou výrazně projevit na účinnosti pasterace. V zájmu pivovárníka je těmto událostem předcházet důslednou prevencí.

U průtokové pasterace připadá v úvahu především korozí vyvolaná netěsnost desek, jejímž důsledkem může být sekundární kontaminace pasterovaného piva. Na vstupu piva do pasteru je vyšší tlak než na jeho výstupu a v případě zkratového toku hrozí proniknutí nepasterovaného piva do již tepelně ošetřeného výrobku. Korozí desek pasteru je v dřívějších případech způsobena chloridy. Fricker [7] zdůrazňuje nutnost kontroly potenciálních zdrojů chloridů a navrhuje několik zásad, např. sledování obsahu chloridů v detergencích, dokonalý oplach solankové části před horkou sanitací. Podle autora se nerezová ocel při vyšších teplotách stává velmi citlivou ke korozi chloridovými ionty. Tlakovou zkouškou a vizuální kontrolou desek lze odhalit případné závady. Netěsnost desek však nemá přímý vliv na potřebný pasterační účinek a zvýšení pasterační dávky tuto závadu nevykompenzuje. Další nebezpečí představuje pění pasterovaného piva. Pivní pěna má oproti pivu odlišné termodynamické vlastnosti [12] a tudíž parametry  $D$  a  $Z$  kontaminujících mikroorganismů jsou rovněž rozdílné. Obecně platí, že k inaktivaci mikroorganismů v pění je nutná mnohonásobně vyšší pasterační dávka.

Tunelový paster poskytuje z hlediska mikrobiologické stability podstatně větší jistotu než paster průtokový. Je však třeba dbát na patřičnou údržbu a pravidelné čištění. To by se mělo soustředit především na sprchovací trysky, které se mohou zanášet pevnými látkami organického či anorganického původu. Důsledkem je pak nedostatečný ohřev lahví v dané sekci a nižší pasterační účinek. Další technické problémy detailně popsali Huige et al. [17] a O'Connor-Cox et al. [18]. Přítomnost

pěny, podobně jako při průtokové pasteraci, představuje z výše uvedených důvodů riziko. Protože přepěňování piva kvůli vytěsnění vzduchu z hrdlového prostoru je důležitým prostředkem ke snížení obsahu kyslíku a tento krok nelze vypustit, pozornost by měla být upřena k vyloučení vstupu kontaminace vstřikovou vodou a k eliminaci vzdušné kontaminace mezi plnicím a korunkovačkou.

### Literatura

- [1] DEL VECCHIO, H. W., DAYHARSH, C. A., BASELT, F. C.: Proc. Am. Soc. Brew. Chem. 1951, s. 45
- [2] ŠAVAL, J.: Kvasny Prum. 30 (9), 1984, s. 193
- [3] ŠAVAL, J.: Kvasny Prum. 17 (8-9), 1971, s. 184
- [4] ŠAVAL, J.: Kvasny Prum. 30 (4), 1984, s. 78
- [5] DEINDOERFER, F. H., HUMPHREY, A. E.: Appl. Microbiol. 7, 1959, s. 256
- [6] PATINO, H., LEWIS, M. J., HEIL, J. R.: Brew. Dig. 60 (5), 1985, s. 28
- [7] FRICKER, B.: J. Inst. Brew. 90, 1984, s. 146
- [8] ZUFALL, C., WACKERBAUER, K.: J. Inst. Brew. 106 (3) 2000, s. 163
- [9] McCAIG KING, L., et al.: J. Am. Soc. Brew. Chem. 36 (3) 1979, s. 144
- [10] TSANG, E. W. T., INGLEDEW, W. M.: J. Am. Soc. Brew. Chem. 40 (1), 1982, s. 1
- [11] RÖCKEN, W.: Brauwelt Int. 3 (1), 1985, s. 95
- [12] MOLZAHN, S. W., HOCKNEY, R. C., KELSEY, P.: Proc. Eur. Brew. Conv. 19th, London, 1983, s. 255
- [13] DAYHARSH, C. A., DEL VECCHIO, H. W.: Proc. Am. Soc. Brew. Chem., 1952, s. 48
- [14] BASELT, F. C., DAYHARSH, C. A., DEL VECCHIO, H. W.: Proc. Am. Soc. Brew. Chem. 1954, s. 141
- [15] KILGOUR, W. J., SMITH, P.: Proc. Eur. Brew. Conv. 20th, Helsinki, 1985 s. 435
- [16] GARRICK, C. C., MCNEIL, K. E.: Proc. 18th Conv. Inst. Brew. (Aust. N.Z. Sect.), 1984, s. 244
- [17] HUIGE, N., SANCHEZ, G., SURFUS, J.: Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am. 26 (1), 1989, s. 24
- [18] O'CONNOR-COX, E. S. C., YIU, P. M., INGLEDEW, W. M.: Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am. 28 (3), 1991, s. 99

Lektoroval Ing. Vladimír Kellner, CSc.  
Do redakce došlo 19. 9. 2001

Janoušek, J. – Basařová, G.: Význam pojmu „pasterační jednotka“ v moderním pivovarství. Kvasny Prum. 48, 2002, č. 4, s. 82–87.

Článek shrnuje současné poznatky v oblasti pasterace piva se zvláštním důrazem na rizika nepřesností spojených s používáním veličiny „pasterační jednotka“ (PU). Kromě teoretické části zaměřené na postupy výpočtu pasteračního účinku jsou diskutovány konkrétní parametry, ovlivňující skutečně dosažené pasterační účinky. V první řadě jde o mikrobiologické faktory, ovlivněné vlastnostmi

konkrétních kontaminujících mikroorganismů (decimální redukční teplota a čas, doba pastace), dále o fyzikálně-chemické vlastnosti pastovaného média (obsah ethanolu, oxid uhličitý, pH), a konečně i technické a technologické závady, které mohou být příčinou nestandardních podmínek (např. koroze desek pasteru).

**Janoušek, J. – Basařová, G.: Significance of Concept of „Pasteurization Unit“ in Modern Brewing Industry.** Kvasny Prum. 48, 2002, No. 4, p. 82–87.

The article summarizes present findings in the scope of beer pasteurization with special emphasis on the risks of inaccuracies related with the use of the variable of „pasteurization unit“ (PU). Beside the theoretical part concentrated on the process of calculation of the pasteurization effect, the paper discusses factual parameters that affect the really attained pasteurization results. First of all, it concerns the microbiological factors influenced by the characteristics of the specific contaminating microorganisms (decimal reducing temperature and time, pasteurization period), then the physicochemical properties of the pasteurized medium (content

of ethanol, carbon dioxide, pH), and finally even the technical and technological defects that can cause nonstandard conditions (e.g. corrosion of pasteur plates).

**Janoušek, J. – Basařová, G.: Bedeutung des Begriffs „Pasteurisationseinheit“ in dem modernen Brauwesen.** Kvasny Prum. 48, 2002, Nr. 4, S. 82–87.

Der Artikel bringt eine Zusammenfassung der gegenwärtigen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Pasteurisierung des Bieres mit besonderer Hinsicht zu den Risiken der Ungenauigkeiten, die mit der Anwendung des Begriffs „Pasteurisationseinheit“ (PU) verbunden sind. Neben dem theoretischen Teil, der auf die Berechnungsmethoden des Pasteurisationseffektes orientiert ist, werden konkrete Parameter diskutiert, die die tatsächlich erzielte Pasteurisationwirkungen beeinflussen. Es handelt sich vor allem um mikrobiologische Faktoren, die durch die Eigenschaften der konkreten kontaminierenden Mikroorganismen beeinflusst werden (dezimale Reduktionstemperatur und Zeit, Pasteurisationsdauer), weiter um physikalisch-chemische Eigenschaften des pasteurisierten Mediums (Äthanolgehalt, Kohlenoxid, pH) und

schliesslich um technische und technologische Mängel, welche die Standardbedingungen aufheben (z. B. Korrosion der Pasteur-Platten).

**Яноушек, Й. – Басаржова, Г.: Значение термина «пастеризационная единица» в современном пивоварении.** Kvasny Prum. 48, 2002, No. 4, стр. 82–87.

В статье подытожены современные знания из области пастеризации пива, причем особое внимание уделяется риску неточности, связанному с использованием величины «пастеризованная единица». Кроме теоретической части направленной на последовательность расчета эффекта пастеризации объясняются конкретные параметры, влияющие на реально достижимый эффект пастеризации. Внимание направлено прежде всего на микробиологические факторы, на которые влияют свойства конкретных загрязняющих микроорганизмов (децимальная температура восстановления и времени, время продолжения пастеризации), на физико-химические свойства пастеризованной среды (содержание этанола, двуокись углерода, pH) и на технологические дефекты, которые могут стать причиной нестандартных условий (напр. коррозия плит пастеризатора).

## CHMELOVAR S VAKUOVÝM ODPAREM

### VACUUM WORT BOILING

IRENE SENGE, Konstrukční skupina firmy ZIEMANN AG, Ludwigsburg, Německo

**Klíčová slova:** pivo, chmelovar, mladina, vakuum, odpar  
**Keywords:** beer, wort boiling, wort, vacuum, evaporating

#### 1 ÚVOD

Chmelovar je považován za jednu z klíčových operací při výrobě piva, která může ovlivnit kvalitu finálního výrobku. Proto jsou intenzivně hledány způsoby pro zlepšení chemických parametrů vyráběné mladiny. Nezanedbatelným cílem je i snížení spotřeby tepla během tohoto energeticky velmi náročného procesu. Touto problematikou se zabývala i firma ZIEMANN, která vyvinula zcela novou technologii – chmelovar s vakuovým odparem. Funkce a popis zařízení s dosaženými výsledky jsou obsahem tohoto článku.

#### 2 PROBLEMATIKA CHMELOVARU

Při chmelovaru s nízkým odparem nebo při vaření velkého objemu mladiny v mladinové pánvi s malou plochou odparu dochází poměrně často k překročení limitní hodnoty 100 µg/l volného dimethylsulfidu (DMS) nebo jeho prekurzorů v zakvašované mladině. Je známo, že při šetrném chmelovaru dochází ve vířivé kádí z přítomných prekurzorů dimethylsulfidu k dodatečné tvorbě volného DMS. Naproti tomu při intenzivním chmelovaru jsou hodnoty DMS v hotové mladině příznivější, neboť jsou nižší. Nevýhodou tohoto procesu je však příliš nízký obsah koagulovatelného

ného dusíku a vysoké hodnoty barvy mladiny a čísla thiobarbiturové kyseliny.

Při novém způsobu chmelovaru, vyvinutém firmou ZIEMANN, je hodnota odparu redukována na pouhých 4 – 6 %, přesto i při těchto hodnotách zůstává obsah koagulovatelného dusíku v zakvašované mladině stále příznivý. Potřebný dodatečný odpar probíhá ve vakuovém výparníku, tedy až po separaci hrubých kalů ve vířivé kádí. V tomto zařízení je též zajištěna dostatečně velká fázová plocha, nutná pro dostatečný odpar mladiny. Při použití vakuového odparu je např. obsah DMS v mladině výrazně pod limitem, který připouští německá norma DIN 8777. Další výhodou nového systému je významná úspora tepelné energie.

#### 3 STROJNÍ ZAŘÍZENÍ PRO VAKUOVÝ ODPAR MLADINY

##### 3.1 Schéma strojního zařízení pro vakuový odpar mladiny

Strojní zařízení ZIEMANN je patrné ze schématu na obr. 1. Zařízení bylo konstruováno pro výkon 1 300 hl mladiny za hodinu, docilovaný podtlak ve vakuovém výparníku je 0,06 MPa (abs.). Vstupní teplota mladiny je 99 °C, teplota odpařování mladiny 85 °C, dosahovaný

odpar v zařízení činí 2 %. Pro instalaci systému vakuového odparu mladiny je nutná jen vestavba by-passu do spílačního potrubí v úseku za vířivou kádí. Zařízení je tvořeno klasickou vířivou kádí 1, oběhovým čerpadlem 2, vakuovým výparníkem 3, vodokružnou vývěvou 4, vakuovým brydovým kondenzátorem 5, spílačním čerpadlem 6 a mladinovým chladičem 7. Do úseku potrubí mezi vířivou kádí 1 a chladičem mladiny 7 se vloží by-pass s výparníkem 3 a vakuovým brydovým kondenzátorem 5.

##### 3.2 Průběh vakuového odparu

Chmelovar probíhá v stávající mladinové pánvi po dobu přibližně 40 až 50 minut. Během této doby je nutné zajistit odpar asi 4 % a dostatečné štěpení prekurzorů DMS na volný dimethylsulfid. Po skončení tohoto zkráceného chmelovaru probíhá přečerpání do vířivé kádě 1 a následuje obvyklý postup separace hrubých kalů. Po skončení tohoto procesu se mladina z vířivé kádě 1 čerpá oběhovým čerpadlem 2 přes by-pass tangenciálně do výparníku 3, v kterém stéká po stěně ve slabém filmu, přičemž se intenzivně odpařuje. Velikost odparu činí asi 2 %, je však možno dosáhnout i vyššího odparu (obr. 2). Vznikající bry-

