

# Chlazení a výroba piva IV

663.441

## Chlazení prostorů

Ing. ANTONÍN KRATOCHVÍLE, Jihočeské pivovary, k. p., České Budějovice

**Klíčová slova:** *pivovar, pivo, výroba, chlazení, zařízení, teplota, provoz.*

### 5. CHLAZENÍ PROSTORŮ

Vnitřní prostory technologických provozních souborů studené části výroby piva je nutno chlazením udržovat na teplotě, kterou vyžaduje technologický proces nebo skladování výrobků, případně surovin. Spotřeba chladu na chlazení těchto prostorů (spilka, ležácký sklep, filtrační stanice, sklep stáčecích tanků, sklady stočeného piva, sklady chmele apod.) se skládá ze dvou základních složek:

- z provozního tepla, které souvisí s provozem uvnitř těchto prostorů a které je nutno chlazením odvádět,
- z vnějšího tepla, které do chlazených prostorů vniká z okolí stěnami, podlahou, stropem, veškerými otvory přirozenou výměnou vzduchu a teplým vzduchem při větrání.

#### 5.1 Provozní teplo

Celkové provozní teplo chlazené místnosti je podle provozních podmínek a účelu provozního souboru dáno

součtem následujících dílčích složek, v rozsahu, ve kterém se v příslušném souboru uplatňují. Jedná se o tyto složky:

— teplo technologické, — teplo obsluhy, — teplo osvětlení, — teplo elektromotorů, — teplo mycí vody, — teplo sanitační.

#### 5.1.1 Teplo technologické

Teplo technologické je dáno jednak rozdílem mezi teplotou technologického produktu (spílaná mladina, sudované pivo aj.), který je do souboru přiváděn a teplotou prostoru a jednak je to teplo, které se uvolňuje v důsledku technologického procesu a není odváděno jiným způsobem a tím ovlivňuje teplotu okolí. Tyto otázky byly uvedeny v části II.

#### 5.1.2 Teplo obsluhy

Tělesná teplota pracovníků pobývajících v chlazených místnostech je vždy vyšší než teplota okolí a v závislosti na okolní teplotě a vykonávané činnosti můžeme počítat s tímto přínosem tepla 1 osoby:

pracovník vykonávající činnost	teplota okolního prostoru °C		
	0	15	20
	produkce tepla kJ . h <sup>-1</sup> . osoba <sup>-1</sup>		
v klidu	630	500	400
lehká práce	670	565	520
středně těžká práce	775	730	710
namáhavá práce	1 050	1 045	1 040

#### 5.1.3 Teplo osvětlení

Při průměrné intenzitě osvětlení chlazeného prostoru 200 až 300 luxů je možno počítat, že odpovídající příkon osvětlení v průměru činí

při osvětlení žárovkami asi 50 až 60 W . m<sup>-2</sup>  
při osvětlení zářivkami a  
výbojkami asi 10 až 20 W . m<sup>-2</sup>

a z toho pak tepelný přínos je  
u žárovek asi 180 až 200 kJ . m<sup>-2</sup> . h<sup>-1</sup>  
u zářivek a výbojek asi 30 až 70 kJ . m<sup>-2</sup> . h<sup>-1</sup>.

#### 5.1.4 Teplo elektromotorů a ventilátorů

Část elektrické energie k pohonu elektromotorů strojů a zařízení se při provozu mění na energii tepelnou a pokud je elektromotor umístěn v chlazeném prostoru, pak jeho tepelný přínos je dán vztahem

$$q_m = 3,6 P \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad [\text{MJ} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (25)$$

kde  $q_m$  je přínos tepla elektromotoru [MJ . h<sup>-1</sup>]

$P$  — štítkový příkon elektromotoru [kW]  
 $\mu_1$  — součinitel předimenzování elektromotoru  
( $\approx 0,95 - 0,60$ )  
 $\mu_2$  — součinitel skutečného zatížení ( $\approx 0,8 - 0,5$ )  
 $\mu_3$  — součinitel nesoučasnosti provozu ( $\approx 0,0 - 1,0$ ).

#### Přínos tepla ventilátorů

Při průchodu vzduchu ventilátorem se ohřívá vzduch. V případě, že v proudě vzduchu je ventilátor včetně elektromotoru, např. v klimatizačních skříních, chladičích jednotkách apod., mění se v teplo celý příkon elektromotoru. Toto teplo je dáno vztahem

$$q_v = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta_v \cdot \eta_m \cdot 0,2777} \quad [\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (26)$$

Pokud je elektromotor umístěn mimo proud vzduchu a mimo chlazené prostředí, pak se přínos tepla počítá pouze ve vztahu k ventilátoru podle rovnice

$$q_v = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta_v \cdot 0,2777} \quad [\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (26a)$$

Vlastní ohřátí vzduchu při průchodu ventilátorem lze stanovit podle vztahu

$$t = \frac{\Delta p}{1200 \cdot \eta_v} (1 - \eta_v) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (27)$$

V rovnicích 26 až 27 je

$q_v$  — přínos tepla ventilátoru [kJ . h<sup>-1</sup>]  
 $V$  — průtok vzduchu ventilátorem [m<sup>3</sup> . s<sup>-1</sup>]

$\eta_v$  — účinnost ventilátoru (podle podkladů výrobce)  
 $\eta_m$  — účinnost elektromotoru  
 $\Delta p$  — celkový tlak ventilátoru [Pa]

(Pokud v rovnicích 26 a 26a vypustíme ve jmenovateli součinitel 0,2777, pak výsledek je příkon tepla z činnosti ventilátoru v jednotkách W).

#### 5.1.5 Teplo mycí vody

Voda používaná na mytí, zejména kvasných kádí a ležáckých tanků, je teplejší než okolní chlazený prostor, který částečně otepluje. Petersen [13] uvádí, že při ručním mytí těchto nádob je teplý přínos asi 400 kJ na 100 hl jejich obsahu. Při automatizovaném mytí metodou CIP, při které je spotřeba vody vyšší, je větší i přínos tepla, který v maximálních případech může dosáhnout i několikrát větší hodnoty, než je uváděno pro mytí ruční. Přínos tepla je dále podstatně větší, pokud jsou v chlazených prostorech nevhodně trvale umístěny nádoby s teplotou vodou nebo zařízení na ohřev teplé vody.

#### 5.1.6 Teplo sanitační

Jako teplo sanitační označujeme teplo, které otepluje chlazený prostor v průběhu sanitačních operací. Přichází v úvahu v případě, kdy k sanitačním operacím se používá roztoků detergentů nebo vody s teplotou vyšší než 25–30 °C, tj. kdy se nedodrží zásada, že ve studených výrobních prostorech se má používat studených sanitačních postupů. Pokud nelze požadovaného sanitačního výsledku dosáhnout mechanickým a chemickým účinkem studených mycích a dezinfekčních prostředků a je nutno používat vyšších teplot, např. při cirkulační horkovodní sterilaci pивního potrubí, je chlazený prostor čistěním potrubím nebo zařízením v podstatě vytápěn.

Neizolované potrubí předává do okolí teplo v závislosti na velikosti povrchu (tj. podle světlosti potrubí) a na rozdílu teploty mezi teplotou povrchu potrubí a teplotou okolního prostředí. Množství tepla předávaného potrubím do okolí je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1. Přestup tepla neizolovaným ocelovým potrubím v závislosti na světlosti potrubí a rozdílu teplot

Světlost potrubí DN	Přestup tepla kJ . m <sup>-1</sup> . h <sup>-1</sup> při rozdílu teplot [°C]	
	50	80
30	285	530
50	420	720
65	500	870
80	630	1 080
100	740	1 300
150	1 050	1 840

Pokud je potrubí izolováno, sníží se hodnoty prostupu tepla uvedené v tab. 1 o 70 až 95 %. Podmínkou ovšem je, aby izolační vrstva měla trvale své původní izolační vlastnosti, což zejména v podmínkách pivovarských spílek a sklepů není snadné.

Vedle potrubí jsou zdrojem tepla při sanitaci i povrchy strojů a zařízení (např. filtry, vyrovnávací tanky apod.) vyhřáté v průběhu sanitace na vyšší teplotu. Přestup tepla z povrchu těchto aparátů (= prouděním a sáláním) za normálních podmínek (přirozené proudění vzduchu) lze aproximativně stanovit podle vztahu

$$q_a = \alpha \cdot F \cdot \Delta t \quad [\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (28)$$

kde  $q_a$  je množství tepla předané z povrchu aparátu do okolí [kJ . h<sup>-1</sup>]

$\alpha$  — součinitel přestupu tepla [kJ . m<sup>-2</sup> . h<sup>-1</sup> . K<sup>-1</sup>]  
 $F$  — plocha povrchu aparátu [m<sup>2</sup>]  
 $\Delta t$  — rozdíl teploty povrchu aparátu a teploty okolí [°C]

Pro oblast rozdílu teploty  $t$  v rozsahu 50 až 350 °C lze pro stanovení hodnoty součinitele přestupu tepla použít empirického vztahu podle V. P. Linčevského [15]

$$\alpha = 4,2 (8 + 0,05 t_s) \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (29)$$

kde  $t_s$  = teplota povrchu stroje nebo zařízení [°C].



Tepelný přínos sanitačních operací prováděných metodou CIP lze také stanovit z tepelné bilance na základě spotřeby tepla sanitační stanice v průběhu vlastní sanitační operace (tj. kromě spotřeby tepla v přípravné fázi na ohřev náplně sanitační stanice) a z rozdílů teplot sanitálních kapalin známých objemů následovně

$$q_s = 4,1868 \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot (t_{ni1} - t_{ni2}) + q_{st} \quad [\text{MJ}] \quad (30)$$

kde  $q_s$  je tepelný přínos sanitační operace [MJ]

$n$  — pořadové číslo použitého sanitačního roztoku nebo vody

$V_n$  — objem použité sanitační kapaliny [ $\text{m}^3$ ]

$t_{n1}$  — teplota  $n$ -té sanitační kapaliny na vstupu do sanitovaného okruhu v rámci chlazeného prostoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{n2}$  — teplota  $n$ -té sanitační kapaliny na výstupu ze sanitovaného okruhu v rámci chlazeného prostoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$q_{st}$  — spotřeba tepla sanitační stanice v průběhu sanitační operace, tj. mimo teplo spotřebované v přípravné fázi [MJ]

Propočet je zřejmý z tohoto příkladu:

Soubor pivního potrubí ležácký sklep — filtrace je cirkulačně sanitován metodou CIP takto:

a) 5 minut proplach vodou:

objem  $V_1 = 4,5 \text{ m}^3$

teplota  $t_{11} = 15^{\circ}\text{C}$

$t_{12} = 5^{\circ}\text{C}$

b) 20 minut cirkulace detergentu:

objem  $V_2 = 1,8 \text{ m}^3$

teplota  $t_{21} = 95^{\circ}\text{C}$

$t_{22} = 82^{\circ}\text{C}$

spotřeba tepla  $q_{st} = 180 \text{ kg}$  páry,  $q = 0,2 \text{ MPa}$   
nepřímý ohřev detergentu

c) 3 minuty výplach vodou po dobu chlazení potrubí na  $t_{31}$ :

objem  $V_3 = 2,7 \text{ m}^3$

teplota  $t_{31} = 13^{\circ}\text{C}$

$t_{32} = 32^{\circ}\text{C}$

d) 2 minuty výplach vodou po ochlazení potrubí na teplotu vody  $t_{31}$ :

objem  $V_4 = 1,8 \text{ m}^3$

teplota  $t_{41} = 13^{\circ}\text{C}$

$t_{42} = 2^{\circ}\text{C}$

Využitelné teplo páry při přetlaku  $p = 0,2 \text{ MPa}$  je:

při nepřímém ohřevu  $r = 2,164 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,

při přímém ohřevu  $i = 2,725 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,

v daném případě pak  $q_{st} = 180 \cdot 2,164 = 389,5 \text{ MJ}$ .

Výpočet:  $V_1 (t_{11} - t_{12}) = 4,5 (15 - 5) = 45$

$V_2 (t_{21} - t_{22}) = 1,8 (95 - 82) = 23,4$

$V_3 (t_{31} - t_{32}) = 2,7 (13 - 28) = -40,5$

$V_4 (t_{41} - t_{42}) = 1,8 (13 - 2) = 19,8$

$q_s = 4,1868 (45 + 23,4 - 40,5 + 19,8) + 389,5 =$   
 $= 4,1868 \cdot 47,7 + 389,5 = 589,2 \text{ MJ}$

tj. 163,7 kWh.

Z výsledku lze učinit závěr, že v uvedeném příkladu je třeba k vyrovnání vlivu horkovodní sanitační, v průběhu následujících 8 hodin, průměrného chladicího příkonu

$163,7 : 8 = 20,5 \text{ kW}$ .

**Kratochvíle, A.: Chlazení a výroba piva IV. Chlazení prostorů.** Kvas. prům. 32, 1986 č. 4, s. 78—80.

Příspěvek navazuje na část III, uveřejněnou v č. 3/1986. Obsahuje úvodní kapitulu o chlazení provozních místností. Jsou uvedeny jednotlivé složky provozního tepla ovlivňující teplotní poměry chlazených provozních souborů pivovaru.

**Кратохвиле, А.: Охлаждение и производство пива IV. Охлаждение помещений.** Квас. прум. 32, 1986, № 4, стр. 78—80.

Статья продолжает тему третьей части, опубликованной в № 3/1986 г. Она содержит введение об охлаждении помещений производства. Приводятся отдельные компоненты эксплуатационного тепла, оказывающие влияние на температурные отношения охлаждаемых эксплуатационных частей пивоваренного завода.

**Kratochvíle, A.: Chilling and Beer Output IV. Chilling of Rooms.** Kvas. prům. 32, 1986, No. 4, pp. 78—80.

The contribution is connected with the part III published in the issue of No. 3/1986. The article contains the opening chapter of the chilling of technological rooms. The individual parts of the technological heat that affects temperature regimes of chilled rooms in the brewery are described.

**Kratochvíle, A.: Kühlung und Biererzeugung. IV. Raumkühlung.** Kvas. prům. 32, 1986, Nr. 4, S. 78—80.

Der Beitrag stellt die Fortsetzung des III. Teils dar, der in der Nr. 3, 1986 enthalten ist. Der IV. Teil enthält die Einführung in die Problematik der Kühlung der Betriebsräume. Es werden die einzelnen Komponenten der Betriebswärme angeführt, die die Wärmeverhältnisse der gekühlten Betriebsabteilungen der Brauerei beeinflussen.