

## Chlazení a výroba piva II.

663.452.2  
663.452.4  
663.41

### Rozdělení spotřeby chladu, chlazení kapalin, bod mrznutí piva, teplota maximální hustoty piva

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

**Klíčová slova:** pivo, mladé pivo, mladina, kvasné kádě, ležácké tanky, chlazení, dochlazování, bod mrznutí, hustota piva

V části I, uveřejněné v Kvasném průmyslu č. 10, byly objasněny základní principy průmyslového chladicího zařízení, které se využívá v převážné většině pivovarských provozů. V návaznosti na tuto úvodní část I následují kapitoly o spotřebě chladu a chlazení kapalin v pivovarech.

#### 3. ROZDĚLENÍ SPOTŘEBY CHLADU

V průběhu výroby piva se spotřeba chladu realizuje na různých místech výrobního procesu a vlastní spotřeba chladu je závislá jednak na vnější teplotě (převážně chlazení prostorů) a jednak na objemu výroby (chlazení mladiny, piva apod.). Vycházíme-li ze současného nejběžnějšího uspořádání chlazení v pivovarech, tj. nepřímé kompresorové chlazení se dvěma sekundárními okruhy — solankovým okruhem a okruhem ledové vody — lze schematicky sestavit přehled míst spotřeby chladu, charakter spotřeby a závislosti spotřeby chladu, který je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1. Přehled míst spotřeby a charakter spotřeby chladu při výrobě piva (prac. teplo = vyrovnání pracovního tepla)

Spotřeba chladu		Teplonosná látka		
místo spotřeby prov. soubor	charakter spotřeby-chlazení	solanka		ledová voda
		závislost spotřeby na		
		výrobě	vnější tepl.	výrobě
chlazení mladiny spílka	kapalin	—	—	x
	kvas. kádě	—	—	x
	prostoru	—	x	—
	prac. teplo	x	—	—
ležácký sklep	tanků	x	—	—
	prostoru	—	x	—
	prac. teplo	x	—	—
filtrace	prostoru	x	x	—
stáčení sudů	prostoru	x	x	—
stáčení tanky	prostoru	—	x	—
sklad lahového piva	prostoru	x	x	—
sklad sudového piva	prostoru	x	x	—
chmelárna	prostoru	—	x	—
dochlazování piva	kapalin	—	—	x
průtoková paserace	kapalin	x	—	—
výroba ledu		x	—	—

K uvedenému schématu je nutno zdůraznit, že v řadě případů nelze hranice rozdělení stanovit zcela přesně a že dochází ke vzájemnému ovlivňování jak spotřeby, tak i závislosti.

#### 4. CHLAZENÍ KAPALIN PŘI VÝROBĚ PIVA

Nejjednodušším případem z hlediska charakteru spotřeby chladu je chlazení kapalin. Kapaliny, které v pivovarském provozu přicházejí v úvahu, je možno charakterizovat hodnotami uvedenými v tabulce 2.

Spotřeba chladu při chlazení kapaliny o objemu  $V$  je dána obecným vztahem

$$Q = V \cdot c \cdot \sigma_v \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{kJ}] \quad (1)$$

kde:  $Q$  — spotřeba chladu kJ  
 $V$  — objem kapaliny hl  
 $c$  — měrné teplo kapaliny  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $\sigma_v$  — objemová hmotnost  $\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$   
 $t_1$  — výchozí teplota  $^{\circ}\text{C}$   
 $t_2$  — výsledná teplota  $^{\circ}\text{C}$

Tabulka 2. Fyzikální hodnoty pivovarských kapalin (podle Dvořáka-Červenky)

Kapalina fáze výroby	Teplota $t$ $^{\circ}\text{C}$	Měrné teplo $c$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Objemová hmotnost $\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$	Tepelná vodivost $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
mladina	60	3,48—3,56	105	2,01—2,14
	30	3,68—3,77	105	1,97
	4	3,77—3,85	103	1,76—1,80
zelené pivo				
3. den	7—8	3,73—3,77	104	1,80—1,93
7. den	7—6	3,73—3,94	102	1,72—1,93
pivo z tanku	1—2	3,81	102	1,67—1,93
	6	3,77—3,89	102	1,80—1,88
filtr. pivo	9	3,81—3,89	102	1,80—1,93

Při praktických provozních výpočtech se nedopustíme závažné nepřesnosti, pokud 1 hl pivovarských kapalin považujeme za rovných 100 kg a měrné teplo rovné  $c$  vody =  $4,1868 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Potom se vztah zjednoduší takto

$$Q = V \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{kJ}] \quad (2)$$

#### 4.1 Chlazení mladiny

Celá výroba piva se často rozděluje na oblast teplou (příprava mladiny) a oblast studenou (hlavní kvašení, dokvašování a filtrace). Místem přechodu mezi teplou a studenou oblastí je právě chlazení mladiny.

Vycházíme-li z předpokladu, že průměrná teplota čerpané (vyražené) mladiny je cca  $95^{\circ}\text{C}$  a zákvasná teplota je  $5^{\circ}\text{C}$ , pak v průběhu chlazení mladiny musíme každému hl mladiny odejmout teplo, tj. mladinu ochladit, 37,681 MJ.

Dříve používaný otevřený způsob chlazení mladiny — chladicí stoky + sprchový chladič — se od současného uzavřeného způsobu chlazení mladiny — vířivá kád + deskový chladič mladiny — z energetického hlediska výrazně liší.

##### 4.1.1 Otevřený způsob chlazení mladiny

Při otevřeném způsobu chlazení mladiny a použití chladicích stoků je průběh prvního stupně chlazení ovlivněn vnější teplotou. Z mikrobiologických důvodů se mladina ponechává na stoku, kde chladne vlivem odparu a vyzařováním tepla do okolí, do teploty asi  $60^{\circ}\text{C}$ , v zimním období i do nižších teplot. Druhý a třetí stupeň probíhá zpravidla na otevřeném sprchovém chladiči — předchlazení studenou vodou a dochlazení ledovou vodou. Množství studené vody bývá 2 až 2,5násobek objemu chlazené mladiny, její oteplení je poměrně malé v důsledku nízkého přestupu tepla vyplývajícího z principu sprchového chladiče.

Vycházíme-li z toho, že teplota mladiny přicházející na sprchový chladič je  $65$  až  $40^{\circ}\text{C}$ , pak v prvním stupni na stokách je odvedeno asi 12,56 až 20,93 MJ  $\cdot \text{hl}^{-1}$ , tj. 33 až 55 % tepla mladiny. V některých případech je tento podíl ještě větší (např. malé pivovary v zimním období).

Nároky na předchlazení studenou vodou a dochlazení ledovou vodou jsou proto u otevřeného způsobu chlazení mladiny relativně malé. Na 1 m délky sprchového chladiče, 2 až 2,4 m vysokého, se počítá průměrný výkon chlazení 12 až 15  $\text{hl} \cdot \text{h}^{-1}$ . Průtočná rychlost studené a ledové vody v trubkách sprchového chladiče má být v rozmezí 0,8—1,5  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

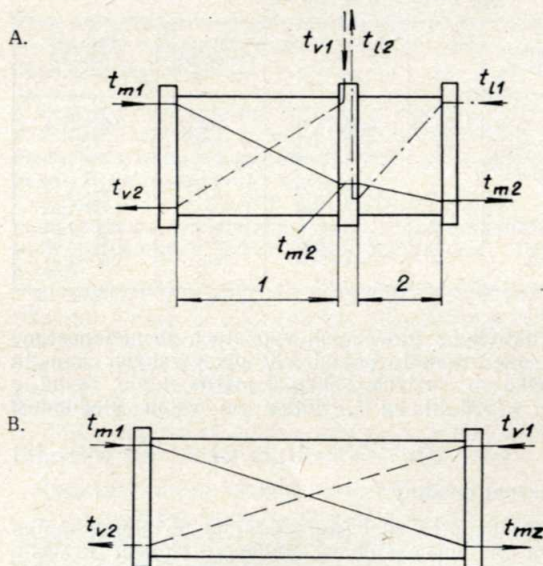
##### 4.1.2 Uzavřený způsob chlazení mladiny

Požadavky na vyšší výkony chlazení mladiny a na vyloučení nebezpečí mikrobiální kontaminace mladiny na stokách vedly k přechodu na uzavřený způsob, při použití vířivých kádí a deskových chladičů mladiny.



Ochlazení mladiny ve vířivé kádí je malé, technologické zásady doporučují, aby doba čerpání a chlazení mladiny byla celkem asi 2 hodiny, v průměru se počítá, že mladina vstupuje do deskového chladiče s teplotou asi 93 °C. Na rozdíl od otevřeného způsobu pak musíme z 1 hl mladiny odejmout asi 36,8 MJ, tj. cca 97,5 % teplota mladiny.

Chlazení mladiny na deskovém chladiči se provádí buď dvoustupňově, předchlazení studenou vodou a dochlazení ledovou vodou, což je běžný způsob, nebo jednostupňově, kde odpadá dochlazování ledovou vodou (obr. 1).



Obr. 1. Schéma průtoku kapalin deskovým chladičem při dvoustupňovém a jednostupňovém chlazení mladiny.

- A: dvoustupňové chlazení, 1 = předchlazovací část, 2 = dochlazovací část  
B: jednostupňové chlazení  
 $t_m$  = teplota mladiny — index 1 = na vstupu, 2 = přechodová (= na výstupu z části 1), z = zákvasná  
 $t_v$  = teplota chladicí vody  
 $t_l$  = teplota ledové vody

Z energetického hlediska je při chlazení mladiny důležitá teplota teplé vody (oteplené studené chladicí vody) získané v prvním stupni a potřeba chladu na dochlazení ledovou vodou ve druhém stupni chlazení.

#### Dvoustupňový způsob chlazení mladiny

Pro průběh chlazení jsou rozhodující zejména tyto parametry: poměr objemu studené vody k objemu chlazené mladiny a teplota mladiny na přechodu z předchlazovacího stupně do druhého dochlazovacího stupně.

#### Předchlazování studenou vodou — 1. stupeň chlazení

Poměr studené vody na chlazení a chlazené mladiny by měl být v korelaci s potřebou horké vody ve varně, která podle různých technologických způsobů činí 1,05 až 1,20 hl na 1 hl horké mladiny. Vzhledem k zásadě vyslazovat vodou teplotu 75–78 °C by teplota získané oteplené vody měla být pokud možno nejvyšší. V předchlazovací části (stejně jako v dochlazovací části) deskového chladiče je mladina chlazená na principu protiproudů a výměna tepla závisí zásadně na poměru objemu chladicí vody  $V_v$  a objemu chlazené mladiny  $V_m$ . Průběh teplot v deskovém chladiči v závislosti na poměru vody a mladiny je uveden na obr. 2.

Ztráty tepla při chlazení mladiny na deskovém chladiči jsou malé, lze je zanedbat a pak platí rovnice:

teplo předané mladinou = teplo přijaté vodou

$$V_m \cdot c_m \cdot (t_{m1} - t_{m2}) = V_v \cdot c_v \cdot (t_{v2} - t_{v1}) \quad (3)$$

Bez velké chyby, pro provozní podmínky s vyhovující přesností, můžeme počítat měrné teplo mladiny  $c_m$  shodné s měrným teplem vody  $c_v$  a objem chladicí vody můžeme vyjádřit jako součin  $x \cdot V_m$ , čímž rovnice (3) dostane zjednodušený tvar

$$(t_{m1} - t_{m2}) = x \cdot (t_{v2} - t_{v1}) \quad (4)$$

ze kterého pro poměr objemu vody k objemu mladiny platí

$$\frac{V_v}{V_m} = x = \frac{t_{m1} - t_{m2}}{t_{v2} - t_{v1}} \quad (5)$$

Pro celkový tepelný tok (= výměnu tepla) v deskovém chladiči pak platí vztah

$$q = F \cdot k \cdot \Delta t_{1s} \quad [\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6)$$

kde:  $q$  — celková výměna tepla  $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$   
 $F$  — teplosměnná plocha chladiče  $\text{m}^2$   
 $k$  — koeficient prostupu tepla  $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$   
 $\Delta t_{1s}$  — logaritmický střed okrajových teplotních rozdílů °C (K)

Pro logaritmický střed okrajových teplotních rozdílů  $\Delta t_{1s}$  byl odvozen matematický vztah

$$\Delta t_{1s} = \frac{\frac{t_{m2} - t_{v1}}{t_{m1} - t_{v2}} - 1}{\ln \frac{t_{m2} - t_{v1}}{t_{m1} - t_{v2}}} = \frac{(t_{m2} - t_{v1}) - (t_{m1} - t_{v2})}{\ln \frac{t_{m2} - t_{v1}}{t_{m1} - t_{v2}}} \quad (7)$$

(ln = přirozený logaritmus)

Pro deskové chladiče typu CHPM, vyráběné n. p. Chotěbořské strojírny, byla podle sdělení výrobce naměřena hodnota koeficientu prostupu tepla  $k$ :

— u zcela čistého chladiče po 6 h provozu:

$$k = 8792 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

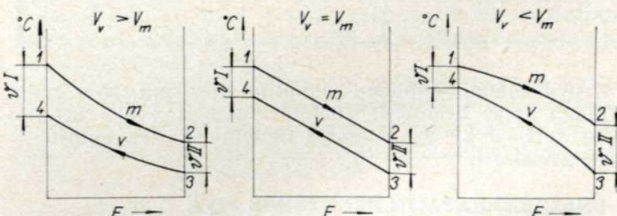
— u chladiče po 10 týdnech provozu, při obvyklém čištění:

$$k = 8248 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

V praktickém provozu zpravidla známe hodnoty průtoku mladiny  $V_m$  a vody  $V_v$ , vstupní teplotu mladiny  $t_{m1}$  a vstupní teplotu vody  $t_{v1}$ , konkrétní chladič mladiny má určitou teplosměnnou plochu  $F$  a určitou průměrnou hodnotu koeficientu prostupu tepla  $k$ . Pokud chceme určit výstupní teplotu mladiny  $t_{m2}$  (přechodovou teplotu) nebo výstupní teplotu vody  $t_{v2}$  na konci 1. stupně chlazení, nelze pro přesné výpočty použít celkové bilanční rovnice, kterou odvodíme ze vztahů (3) a (6):

$$q = F \cdot k \cdot \Delta t_{1s} = V_m (t_{m1} - t_{m2}) = V_v (t_{v2} - t_{v1}) \quad (8)$$

neboť neznáme hodnotu celkového tepelného toku  $q$  a tuto nelze bez znalosti všech okrajových podmínek vypočítat.



Obr. 2. Průběh teplotních křivek podél teplosměnné plochy protiproudého chladiče v závislosti na poměru objemu chladicí vody  $V_v$  a objemu chlazené mladiny  $V_m$ .  $V_v : V_m = X$ .

- $t_m$  = teplota mladiny  
 $t_v$  = teplota vody  
index 1 = teploty na vstupu  
2 = teploty na výstupu  
 $v$  = okrajový teplotní rozdíl

Pro výpočet by bylo nutno použít rovnic teplotních křivek, které jsou poměrně složité a řeší se zpravidla pomocí nomogramů.



Pouze pro ilustraci lze uvést výsledné vztahy pro:

— snížení teploty mladiny  $t_m$ :

$$t_m = t_{m1} - t_{m2} = (t_{m1} - t_{v1}) \cdot Z \quad (9)$$

— zvýšení teploty chladicí vody  $t_v$ :

$$t_v = t_{v2} - t_{v1} = (t_{m1} - t_{v1}) \cdot Z \cdot W \quad (10)$$

ve kterých kromě výše uvedených  $t_{m1}$ ,  $t_{m2}$ ,  $t_{v1}$ ,  $t_{v2}$  znamená

$$W = \frac{V_m}{V_v} = \frac{1}{x} \quad (11)$$

$$Z = \frac{1 - e^{-(1-W) \frac{k \cdot F}{V_m}}}{1 - W e^{-(1-W) \frac{k \cdot F}{V_m}}} \quad (12)$$

( $e = 2,71826$  = základ přirozených logaritmů).

Pro orientaci můžeme vyjít ze základní bilanční rovnice (8), ze které vyplývá

$$x = \frac{t_{m1} - t_{m2}}{t_{v2} - t_{v1}} \quad (13)$$

a pro teplotu vystupující vody  $t_{v2}$  z ní odvodit aproxima-  
tivní vztah

$$t_{v2} = \frac{t_{m1} - t_{m2}}{x} + t_{v1} \quad (14)$$

který při použití substituce  $t_{m2} = \delta II + t_{v1}$  lze také na-  
psat ve tvaru

$$t_{v2} = \frac{t_{m1} - (\delta II + t_{v1})}{x} + t_{v1} \quad (15)$$

Z bilanční rovnice však také se stejným zjednodušením  
platí

$$q = V_v (t_{v2} - t_{v1}) \quad (16)$$

Posouzením posledních 3 rovnic můžeme pro určitou  
teplosměnnou plochu  $F$  odvodit obecné závislosti:

a) teplota vystupující vody  $t_{v2}$  je tím vyšší, čím vyšší  
je teplota vystupující mladiny  $t_{m1}$ . Proto dlouhé od-  
počinky mladiny ve vířivé kádi nejsou jen technologic-  
ky nevhodné, ale znamenají i ztrátu možného energetic-  
kého zisku;

b) teplota vystupující vody  $t_{v2}$  se snižuje při vysoké  
hodnotě  $x$ , tj. při větším objemu chladicí vody  $V_v$  proti  
objemu chlazené mladiny  $V_m$ . Snižováním hodnoty  $x$ ,  
zmenšováním objemu vody  $V_v$  se však také snižuje cel-  
ková tepelná výměna  $q$ , což ve svém důsledku vede buď  
ke zvýšení přechodové teploty mladiny  $t_{m2}$ , nebo ke sní-  
žení celkového průtoku mladiny chladicím — snížení vý-  
konu — a tím k prodloužení doby chlazení a to není tech-  
nologicky žádoucí;

c) zvýšená vstupní teplota chladicí vody  $t_{v1}$  snižuje  
celkovou tepelnou výměnu  $q$  se stejnými důsledky jako  
v bodě b;

d) zvýšením přechodové teploty mladiny  $t_{m2}$  se sou-  
časně zvyšuje teplotní rozdíl okrajových hodnot  $t_{m2}$   
a  $t_{v1} = \delta II$ .

Teplotní rozdíl  $\delta II$ , hodnota  $x$  a velikost teplosměnné  
plochy  $F$  jsou však ve vzájemné závislosti a jak snižování  
teplotního rozdílu  $\delta II$ , tak i snižování hodnoty  $x$  vedou  
ke zvyšování nároku na velikost teplosměnné plochy, což  
lze ilustrovat tímto přehledem:

hodnota $x$	teplotní rozdíl $\delta II = t_{m2} - t_{v1}$		
	10 °C	5 °C	3 °C
	nutná poměrná velikost plochy $F$		
1,3	51	78	104
1,2	57	78	124
1,1	68	117	165
1,05	75	140	204

Jako optimální poměr objemu vody a mladiny lze dopo-  
ručit hodnotu  $x$  blízkou 1,1, při větší ztrátě tepla ve vířivé  
kádi pak pod 1,1.

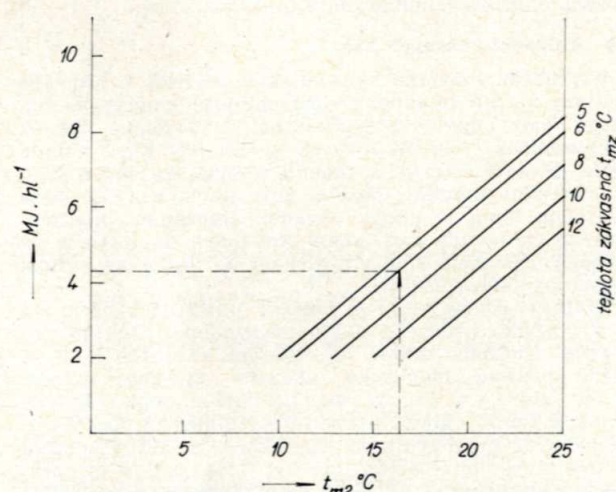
Podmínkou efektivního průběhu chlazení mladiny a vy-  
užití teplé vody je dále nutné účelné napojení a uspořá-

dání teplovodního hospodářství. Nejde jen o dostatečné  
množství vhodné vody, ale o zajištění jejího rovnoměrné-  
ho množství a dostatečného tlaku po celou dobu chlazení  
mladiny. Při řešení je třeba počítat s hydraulickým od-  
porem deskového chladiče, podle příslušných údajů  
výrobce. Pro jímání teplé vody je třeba akumulací ná-  
drže dimenzovat s ohledem na přebytek teplé vody kon-  
cem týdne při ukončení vaření, který je nutno vhodně  
využít ve prospěch prvních várek v následujícím týdnu.  
Proto musí být k dispozici dobře izolované zásobníky  
vody s obsahem odpovídajícím počtu várek v jednom dnu  
a druhu vyráběného piva. V přepočtu na 100 kg sypání  
sladu celkem (tj. včetně surogátů) je nutný uvedený  
obsah zásobníků vody:

druh vyrábě- ného piva	počet várek za 24 h celkem			
	2	4	6	8
	obsah zásobníků vody m <sup>3</sup> na 100 kg sypání			
10 %	0,9	2,7	4,5	5,4
12 %	0,7	2,1	3,5	4,2

Dochlazování mladiny ledovou vodou — 2. stupeň chla-  
zení

Teplo, které je nutno odvést v dochlazovací části des-  
kového chladiče ledovou vodou, je dáno rozdílem teploty  
 $t_{m2}$  a teploty zákvasné  $t_{mz}$ . Na rozdíl od předchlazovací  
části, kde je energeticky výhodné, aby objemový průtok  
chladicí vody byl relativně malý (optimum  $x = 1,1$ ), pro  
objemový průtok ledové vody tato zásada neplatí, neboť  
naopak vysoké oteplení ledové vody při průtoku chladic-  
ím může vyvolat v chladicím systému krátkodobý ne-  
vyrovnaný a neefektivní stav. Také teplo, které odvádíme  
ledovou vodou, nelze energeticky využívat. Obecně platí  
požadavek, aby teplotní rozdíl mezi přechodovou teplotou  
mladiny  $t_{m2}$  a teplotou zákvasnou  $t_{mz}$  byl pokud  
možno malý, čímž se snižuje spotřeba chladu v ledové  
vodě. Na obr. 3 je nomogramem znázorněna závislost  
spotřeby chladu v ledové vodě na teplotách  $t_{m2}$  a  $t_{mz}$ .



Obr. 3. Spotřeba chladu v dochlazovací části chladiče  
mladiny v závislosti na přechodové teplotě mla-  
diny  $t_{m2}$  a na teplotě zákvasné  $t_{mz}$ .

Zvýšená spotřeba chladu na dochlazování mladiny má  
vedle zvýšených nákladů na energii i přímý vliv na di-  
menzování celého souboru  $NH_3$  chlazení, zejména na ve-  
likost výparníku — chladiče ledové vody.

Propočtem lze dokázat, že ochlazení mladiny o určitý  
teplotní rozdíl je z hlediska nákladů na energii asi  
o 20—45 % dražší než ohřev vody o stejný teplotní roz-  
díl. Proto regulování průtoku chladicí vody v 1. stupni  
chlazení v závislosti na teplotě vystupující vody  $t_{v2}$  není  
výhodné. Vyvolá nezbytně vyšší přechodovou teplotu  
mladiny  $t_{m2}$  a tím i vyšší spotřebu dražšího chladu. Roz-  
díl je zřejmý z těchto příkladů:



		provoz A	provoz B
poměr $x$ (voda : mladina)		1,1	1,1
teplota vstupující vody $t_{v1}$	°C	13	13
přechodová teplota mladiny $t_{m2}$	°C	20	25
teplota oteplené vody $t_{v2}$	°C	79	75
spotřeba chladu na dochlazení na $t_{m2}$ včetně ztrát	MJ . hl <sup>-1</sup>	6,9	9,2
vychladnutí vody v zásobníku	°C	3	3
spotřeba tepla na dohřátí vody na 75 °C včetně ztrát	MJ . hl <sup>-1</sup>	—	1,38

Pro efektivní dochlazování je stejně jako pro chlazení v 1. stupni důležitá jednak čistota teplosměnné plochy (jak na straně mladiny, tak i na straně vody) a jednak velikost této plochy. Kdyby např. za podmínek uvedeného příkladu provozu A byla teplosměnná plocha chladiče asi o 50 % větší, potom by teplota přecházející mladiny  $t_{m2}$  klesla na 17 °C a tím by spotřeba chladu na dochlazení byla pouze 5,5 MJ . hl<sup>-1</sup>, tj. o 20 % nižší a současně by se teplota ohřáté vody  $t_{v2}$  zvýšila asi o 3 °C.

#### Jednostupňový způsob chlazení mladiny

Jednostupňový způsob chlazení mladiny je založen na principu chlazení bez použití ledové vody. Předem se ve speciálním zásobníku ochladí voda vhodná pro následné použití ve varně na teplotu o 3–4 °C nižší, než je zá- kvasná teplota  $t_{m2}$ , v množství odpovídajícím poměru  $x =$  asi 1,1. Touto vodou se pak mladina v 1. stupni chladí na teplotu zá- kvasnou  $t_{m2}$  a ohřátá voda s teplotou  $t_{v2}$  se využije ve varně. Jak je zřejmé, nepřináší tento způsob z energetického hlediska žádné výhody. Místo použití ledové vody je nutno chladicí vodu předem podchladiť, jak je výše uvedeno. Jistou technickou výhodou je možnost pro toto podchlazování vody používat oddělené automatické jednotky na přímý odpar, nevýhodou je naopak nezbytnost dokonalé izolace zásobníků vody. Rozhodujícím rozdílem je to, že v části deskového chladiče se pracuje s malým teplotním rozdílem — pouze 2 až 3 °C — a to vyžaduje podstatně zvětšenou teplosměnnou plochu deskového chladiče. Výhody jednostupňového chlazení mladiny nelze proto prokázat.

#### 4.2 Chlazení kvasných kádí

V průběhu hlavního kvašení, kdy dochází k přeměně maltózy na ethylalkohol a oxid uhličitý, uvolňuje se současně teplo odpovídající příslušné biochemické reakci. Prokvašením 1 kg maltózy se uvolní 565 kJ. Z tohoto tepla je asi 20–25 % odváděno stěnami kvasných kádí a povrchem mladiny, avšak zbývajících cca 75–80 % kvasného tepla je nutno odvádět chlazením prostřednictvím chladicích hadů nebo chladicích duplikátorů ve stěnách ocelových kádí v závislosti na teplotním režimu technologického postupu.

Vývin kvasného tepla je úměrný intenzitě kvašení, tj. je v průběhu kvasného cyklu nerovnoměrný. Proto pro výpočet spotřeby chladu na chlazení kvasných kádí se běžně používá empirický ukazatel spotřeby 25–29 kJ . h<sup>-1</sup> . hl<sup>-1</sup> (= 7–8 W . hl<sup>-1</sup>) a dále se počítá, že současně je nutno chladit pouze 80 % celkového obsahu instalovaných kvasných kádí. Ke chlazení se běžně používá ledová voda, jejíž teplota má být 0,5–1,5 °C a při průchodu chladicími hady nebo duplikátorem se má ohřát o 2–2,5 °C. K dosažení požadovaného chladicího efektu má být chladicí plocha měděných hadů 0,015–0,020 m<sup>2</sup> . hl<sup>-1</sup> obsahu kvasné kádě, u chladicích hadů nebo duplikátorové stěny kvasné kádě z nerezavějící oceli pak 0,022–0,035 m<sup>2</sup> . hl<sup>-1</sup>. Pro velké objemy kvasných kádí je nutno volit vyšší hodnoty teplosměnné plochy. Okruh ledové vody pro chlazení kvasných kádí má být řešen tak, aby chlazení bylo rovnoměrné bez výkyvů a probíhalo nepřetržitě po celých 24 h denně. Hlavně je nutno vyloučit případ, kdy v důsledku použití stejného okruhu ledové vody jako pro chlazení mladiny dojde k dočasnému ohřátí ledové vody a tím k praktickému přerušení chlazení kvasných kádí. Pro dostatečný postup tepla je třeba chladicí hady udržovat kovově čisté.

#### 4.3 Chlazení piva v ležáckých tankích

Kromě případu železobetonových tanků, které jsou vybaveny obdobně jako kvasné kádě chladicími hady, pro-

bíhá chlazení obsahu ležáckých tanků prostupem tepla stěnou tanků do okolního prostoru. Obsah tanku se z teploty při sudování  $t_s$  na teplotu ležáckého sklepa  $t_1$  postupně ochlazuje za čas  $\tau$ . Množství tepla, které odpovídá ochlazení obsahu tanku, je dáno vztahem

$$Q_T = V_T \cdot \sigma \cdot c \cdot (t_s - t_1) \quad [\text{kJ}] \quad (17)$$

Při výměně tepla musí toto teplo prostoupit povrchem - stěnou tanku a pro tento přestup platí rovnice

$$Q_T = F_T \cdot k \cdot \Delta t_{1s} \cdot \tau \quad [\text{kJ}] \quad (18)$$

Z rovnic 17 a 18 pak odvodíme vztah pro čas ochlazování tanku

$$\tau = \frac{V_T \cdot \sigma \cdot c \cdot (t_s - t_1)}{F_T \cdot k \cdot \Delta t_{1s}} \quad [\text{h}] \quad (19)$$

V rovnicích 17 až 19 je význam jednotlivých symbolů tento:

- $V_T$  — obsah ležáckého tanku m<sup>3</sup>
- $\sigma$  — hustota piva kg . m<sup>-3</sup>
- $c$  — měrné teplo piva kJ . kg<sup>-1</sup> . K<sup>-1</sup>
- $t_s$  — teplota sudovaného piva °C
- $t_1$  — teplota ležáckého sklepa °C
- $Q_T$  — teplo, které je nutno odvést - množství chladu odpovídající ochlazení obsahu tanku z  $t_s$  na  $t_1$  [kJ]
- $F_T$  — povrch tanku m<sup>2</sup>
- $\Delta t_{1s}$  — střední logaritmický rozdíl teplot °C — viz rovnici 7
- $\tau$  — čas nutný k ochlazení obsahu tanku z  $t_s$  na  $t_1$  h
- $k$  — koeficient prostoru tepla kJ . m<sup>-2</sup> . h<sup>-1</sup> . K<sup>-1</sup>

Hodnotu koeficientu pro prostup tepla při ochlazování obsahu tanků uvádí ve své práci Schack [8],  $k = 20,72$  kJ . m<sup>-2</sup> . h<sup>-1</sup> . K<sup>-1</sup>. Dále Schack pro teplotní rozdíl  $t_s - t_1 = 5$  °C uvádí hodnotu  $\Delta t_{1s} = 2$  °C. Za použití těchto hodnot lze rovnici 19 upravit na zjednodušený, pro provozní podmínky dostatečně přesný, vztah

$$\tau = \frac{500 \cdot V_T}{F_T} \quad [\text{h}] \quad (20)$$

Při použití tohoto zjednodušeného vztahu jsou v tabulce 3 vypočteny doby ochlazování obsahu ležáckých tanků běžných velikostí.

Z tabulky 3 je zřejmé, že vyrovnávání teploty trvá několik dnů. Průběh vyrovnávání teplot-ochlazování obsahu tanku není rovnoměrný, rychlejší je v prvním období,

Tabulka 3. Orientační doby  $\tau$  (h) nutné pro vyrovnání teploty sudovaného piva  $t_s$  na teplotu ležáckého sklepa  $t_1$  při teplotním rozdílu 5 °C

Průměr tanku mm	Délka tanku mm		Obsah hl		Doba ochlazování $\tau$ cca h
	od	do	od	do	
1 800	4 300	6 300	100	150	170–184
2 000	3 800	6 900	104	204	178–206
2 200	3 500	5 000	118	175	185–207
2 200	5 300	7 500	184	266	209–223
2 400	3 300	5 000	135	211	198–223
2 400	5 300	7 000	222	298	226–239
2 400	11 000		474		256
2 600	4 200	6 700	200	330	222–252
2 600	9 200	12 200	456	614	266–279

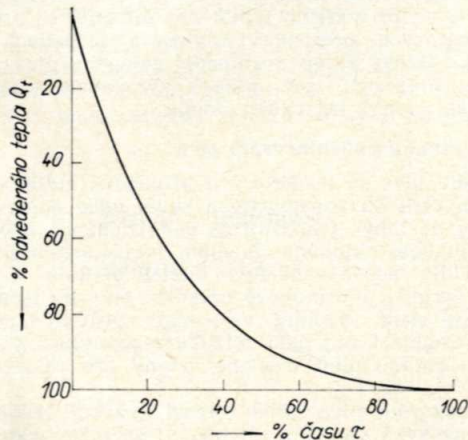
kdy teplotní rozdíl je větší. Přibližně lze stanovit, že jestliže se celková doba  $\tau$  potřebná k vyrovnání teplotního rozdílu 5 °C (=  $t_s$  6 °C —  $t_1$  1 °C) skládá z časových úseků  $\tau_1$  až  $\tau_5$  a každý z těchto úseků představuje postupné ochlazení obsahu tanku o 1 °C, pak že doby trvání těchto časových úseků jsou v poměru

$$\tau_1 : \tau_2 : \tau_3 : \tau_4 : \tau_5 = 1 : 1,2 : 1,7 : 2,8 : 10,3$$

Z tohoto pohledu lze dále odhadnout, že při vyrovnávání teploty obsahu tanku přejde asi 50–55 % tepla za cca 0,18 až 0,22 času  $\tau$ . Grafické vyjádření je znázorněno na obr. 4.



Při postupném denním sudování zeleného piva do jednoho oddělení ležáckého sklepa je pak denní přínos tepla dán součtem přínosů jednotlivých dnů. Například při sudování do sklepního oddělení s podlahovou plochou 190 m<sup>2</sup>, které má celkový obsah 4800 hl, pravidelně denně 1200 hl, tj. 4 tanky o Ø 2 400 mm o obsahu 300 hl,



Obr. 4. Orientační časová závislost ochlazování obsahu ležáckého tanku vlivem okolní teploty ležáckého sklepa  $t_1$ .

kterým odpovídá doba vyrovnání teploty  $\tau$  = asi 240 h, je při rozdílu teplot  $t_s - t_1 = 5^\circ\text{C}$ , přínos tepla do sklepního oddělení za první den

$$Q_{p1} = 120 \cdot 1000 \cdot 4,1868 \cdot 5 = 2\,512\,080 \text{ kJ} = 2\,512 \text{ MJ} \quad (21)$$

Stejná množství tepla jsou pak pivem do oddělení ležáckého sklepa dodávána druhý až čtvrtý den. Do prostoru oddělení však teplo prostupuje stěnami tanků postupně podle bilance uvedené v tabulce 4.

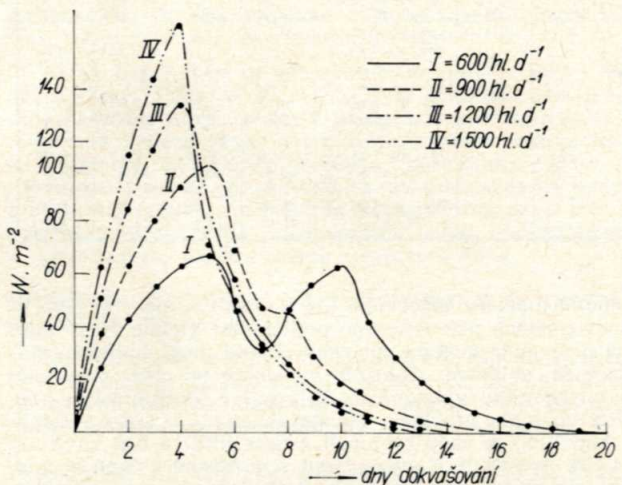
Tabulka 4. Bilance přínosu tepla přestupem z obsahu ležáckých tanků do okolí při ochlazování vyrovnáváním teploty  $t_s$  na teplotu  $t_1$

Den (24 h)	Přestup tepla z přínosu jednotlivých dnů								Celkem
	$Q_{p1}$		$Q_{p2}$		$Q_{p3}$		$Q_{p4}$		
	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	
1	33	829	—	—	—	—	—	—	829
2	22	553	33	829	—	—	—	—	1 382
3	15	377	22	553	33	829	—	—	1 759
4	11	276	15	377	22	553	33	829	2 035
5	7	176	11	276	15	377	22	553	1 382
6	5	126	7	176	11	276	15	377	955
7	3	75	5	126	7	176	11	276	653
8	2	50	3	75	5	126	7	176	427
9	1	25	2	50	3	75	5	126	276
10	1	25	1	25	2	50	3	75	175
11	—	—	1	25	1	25	2	50	100
12	—	—	—	—	1	25	1	25	50
13	—	—	—	—	—	—	1	25	25
14 a další	—	—	—	—	—	—	—	—	—
celkem		2 512		2 512		2 512		2 512	10 048

V uvedeném příkladu je obsah oddělení sklepa 4 800 hl a podlahová plocha 190 m<sup>2</sup>, z toho plyne ukazatel využití podlahové plochy  $4800:190 = 25,3 \text{ hl} \cdot \text{m}^{-2}$ . Protože je zvykem počítat potřebný příkon chladu pro chlazení ležáckých sklepů empirickým ukazatelem na 1 m<sup>2</sup> podlahové plochy, je pro ilustraci v tabulce 5 a na obr. 5 přepočten a graficky znázorněn tepelný přínos sudovaného piva na 1 m<sup>2</sup> podlahové plochy, při různých objemech sudovaného piva do jednoho oddělení v jednom dni. Z křivky I (600 hl · d<sup>-1</sup>) a II (900 hl · d<sup>-1</sup>) je zřejmý vliv přerušování sudování koncem týdne, v sobotu a v neděli.

Tabulka 5. Přínosy tepelného zatížení sklepního oddělení v závislosti na objemu sudovaného piva

Den (24 h)	Objem sudovaného piva hl za den (% obsahu oddělení)							
	600 (12,5)		900 (18,75)		1 200 (25,0)		1 500 (31,25)	
	MJ · d <sup>-1</sup>	W · m <sup>-2</sup>	MJ · d <sup>-1</sup>	W · m <sup>-2</sup>	MJ · d <sup>-1</sup>	W · m <sup>-2</sup>	MJ · d <sup>-1</sup>	W · m <sup>-2</sup>
1	414	25,2	622	37,9	829	50,5	1 036	63,1
2	690	42,0	1 036	63,1	1 382	84,2	1 727	105,2
3	878	53,5	1 319	80,3	1 759	107,2	2 198	133,9
4	1 016	61,9	1 526	92,9	2 035	124,0	2 543	154,9
5	1 104	67,3	1 658	101,0	1 382	84,2	1 174	71,5
6	735	45,9	1 130	68,8	955	58,2	816	49,7
7	515	31,4	773	47,1	653	39,8	540	32,9
8	766	46,7	735	44,8	427	26,0	358	21,8
9	917	55,9	478	29,1	276	16,8	221	13,5
10	1 030	62,7	319	19,4	175	10,7	145	8,8
11	691	42,1	201	12,2	100	6,1	76	4,6
12	465	28,3	119	7,2	50	3,0	38	2,3
13	315	19,2	69	4,2	25	1,5	6	0,4
14	202	12,3	37	2,2	—	—	—	—
15	126	7,7	13	0,8	—	—	—	—
16	76	4,6	7	0,4	—	—	—	—
17	51	3,1	6	0,4	—	—	—	—
18	26	1,6	—	—	—	—	—	—
19	13	0,8	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—



Obr. 5. Tepelné zatížení oddělení ležáckého sklepa vyjádřené ve  $W \cdot \text{m}^{-2}$  podlahové plochy, při rozdílu teploty sudovaného piva  $t_s$  a teploty ležáckého sklepa  $t_1$ ,  $t_s - t_1 = 5^\circ\text{C}$ , při různých objemech piva sudovaného do oddělení v jednom dni

Naopak při větších objemech sudování v jednom dni je zřejmě krátkodobé vysoké tepelné zatížení prostoru oddělení ležáckého sklepa. Po vyrovnání teploty  $t_s$  na  $t_1$  je obsah ležáckých tanků z hlediska chlazení bez vlivu na okolní prostor, neboť malé množství kvasného tepla, z extraktu který dokvašuje, je z hlediska ostatních vlivů zanedbatelné.

Z hlediska celého ležáckého sklepa dosahují přínosy tepla sudovaným pivem, při vyrovnaném provozu, určité vyrovnané hladiny, která závisí na teplotním rozdílu  $t_s - t_1$ , na délce dokvašování a na využití sklepa vyjádřeném v hl · m<sup>-2</sup>. V tabulce 6 jsou pro orientaci sestaveny vypočtené přínosy tepla při pravidelném provozu v přepočtu na množství tepla MJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> a na nutný příkon chladu k odvedení tohoto tepla  $W \cdot \text{m}^{-2}$  při využití ležáckého sklepa 18, 25 a 35 hl · m<sup>-2</sup>. Pro názornost jsou hodnoty tabulky 6 graficky znázorněny na obr. 6.

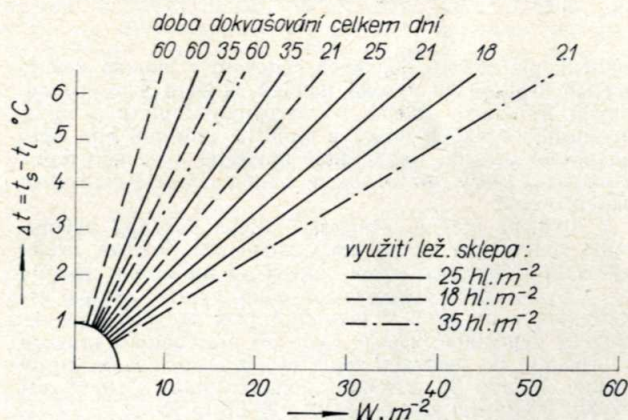
Uvedené hodnoty jsou aproximativní, ve skutečnosti se do vývoje a výsledků tepelných poměrů promítá řada dalších vlivů a krátkodobě dochází i k neustálené výměně tepla. Přesto však dostatečně ilustrují, jak při vlastním provozu, tj. při sudování zeleného piva, jsou



Tabulka 6. Tepelné zatížení ležáckého sklepa teplem sudovaného piva v závislosti na využití ležáckého sklepa, době dokvašování a na teplotním rozdílu mezi teplotou sudovaného piva  $t_s$  a teplotou dokvašování = teplotou ležáckého sklepa  $t_1$

Využití lež. sklepa hl. m <sup>-2</sup>	Doba dokvašování dnů	Jednotka	Teplotní rozdíl $t_s - t_1 = ^\circ\text{C}$			
			6	5	4	3
25	18	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	3,49 40,4	2,91 33,7	2,33 26,9	2,09 24,2
	21	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	2,99 34,6	2,49 28,8	1,99 23,1	1,74 20,2
	25	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	2,51 29,1	2,09 24,2	1,67 19,4	1,26 14,5
	35	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	1,79 20,8	1,50 17,3	1,20 13,8	0,90 10,4
	60	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	1,05 12,1	0,87 10,1	0,70 8,1	0,52 6,1
18	18	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	2,51 29,1	2,09 24,2	1,67 19,4	1,26 14,5
	21	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	2,15 24,9	1,79 20,8	1,44 16,6	1,08 12,5
	25	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	1,69 19,5	1,51 17,4	1,21 14,0	0,90 10,5
	35	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	1,29 15,0	1,08 12,5	0,86 10,0	0,64 7,5
	60	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	0,75 8,7	0,63 7,3	0,50 5,8	0,38 4,4
35	21	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	4,18 48,5	3,49 40,4	2,79 32,3	2,09 24,2
	60	MJ. d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> W. m <sup>-2</sup>	1,46 17,0	1,22 14,1	0,98 11,3	0,73 8,4

tepelné poměry ležáckého sklepa ovlivňovány. V širších souvislostech pak nesmíme podlehout klamu, že se jedná o pouhou záměnu spotřeby chladu mezi spilkou a ležáckým sklepem. Chlazení ve spilce je vždy provozně a energeticky výhodnější. Chlazení v kvasné kádí, kde přestup tepla probíhá v soustavě kapalina - kovová stěna - kapalina, je vždy rychlejší a beze ztrát a bez vlivů na okolní prostředí. Naproti tomu v ležáckém sklepě je, jak bylo uvedeno, přestup tepla do prostoru velmi pomalý, zejména se však nelze vyhnout negativním vlivům na okolí. Při větších teplotních rozdílech mezi  $t_s$  a  $t_1$  se kolísavě zvyšuje teplota sklepních oddělení a současně s kolísáním teploty kolísá i vlhkost vzduchu, což se promítá



Obr. 6. Tepelné zatížení ležáckého sklepa (tepelný přínos sudovaného piva) vyjádřené ve W. m<sup>-2</sup> podlahové plochy, při vyrovnaném provozu (sudování = stáčení) v závislosti na využití ležáckého sklepa v hl. m<sup>-2</sup> a na celkové době dokvašování

jak do vlhkosti stěn a stropů, tak i vede k rychlejšímu nárůstu námrazy na chladicích solankových sítích klidového chlazení ležáckého sklepa. Z uvedených důvodů je proto třeba dodržovat technologicky vhodné dochlazení zeleného piva ve spilce v kvasných kádích a nepřenášet tuto operaci do ležáckého sklepa. Pro případy velkých objemů denně sudovaného piva, nebo při technologii hlavního kvašení při vyšších teplotách, zařazuje se proto do technologických postupů v některých případech mezi spilkou a ležácký sklep dochlazení zeleného piva deskovými dochlazovači, což vede k výraznému vyrovnání teplotních poměrů ležáckého sklepa.

#### 4.4 Chlazení a podchlazování piva

Chlazení piva se v některých případech aplikuje před stáčením piva do transportních sudů, nebo častěji před stáčením do lahví. Používají se buď trubkové, nebo deskové chladiče, chladičím médiem (teplonosnou látkou) je zpravidla ledová voda nebo roztok glykolu. V zahraničí se vyrábějí i průtokové chladiče piva na přímý odpar, které však vyžadují vyrovnaný průtok a přesnou účinnou regulaci, aby bylo vyloučeno zamrznutí piva. Pro spotřebu chladu platí uvedené vztahy pro chlazení kapalin.

Podchlazování piva před filtrací, pomocí trubkových nebo deskových chladičů při použití solanky, podchlazeného roztoku glykolu nebo při použití speciálních chladičů na přímý odpar je součástí některých technologických postupů. Hlavním přínosem je vyloučení nežádoucího oteplení piva v důsledku vyšší teploty jednotlivých zařízení — filtrů, směšovačů, potrubí apod. — které se projevuje zejména na začátku provozu a dále vyrovnání vlivu teplejšího vnějšího okolí. Pro zvýšení koloidní stability piva není pouhé průtokové podchlazení a přímá následná filtrace dostatečně efektivní. Přínos podchlazení piva před filtrací je prokazatelný, pokud je před filtrem zařazen vyrovnávací-vydržovací tank, ve kterém dojde k vydržení teploty minimálně  $-1^\circ\text{C}$  po dobu nejméně 1 hodiny, avšak toto opatření nemůže vyrovnat přínos dlouhodobého studeného dokvašování. Z hlediska dosažení dobré stability a stabilizované trvanlivosti vlivem podchlazení se doporučuje zařazení studené fáze dokvašování 1 týden při teplotě  $-1^\circ\text{C}$ , nebo 2 týdny při  $-0,5$  až  $0,0^\circ\text{C}$  před filtrací piva.

#### 4.5 Chlazení piva při průtokové pasteraci

Průtokové pastéry jsou v podstatě několikastupňové deskové výměníky tepla, které pracují na principu rekuperace tepla. Pivo vystupující z výdržnickové části pastéru s pasterační teplotou je nejprve v předchlazovací části ochlazováno vstupujícím nepasterovaným pivem (které se tím současně předejde) a v dochlazovací části se pak dochlazuje solankou nebo podchlazeným roztokem glykolu. Pokud jsou desky pastéru vyrobeny z běžné nerezavějící oceli, pak musí být použit roztok glykolu podchlazovaný v samostatném sekundárním okruhu buď solankou, nebo chladičí jednotkou na přímý odpar. Pro možnost použití solanky je podmínkou, aby teplosměnné desky dochlazovací části pastéru byly vyrobeny ze speciální nerezavějící oceli legované titanem, která je odolná vůči Cl<sup>-</sup> iontům do teploty asi  $60^\circ\text{C}$ . Pro případ sterilace pastéru pak musí být dochlazovací část pastéru přizpůsobena tak, aby z prostoru solanky bylo možno před sterilací solanku vytlačit vodou. Rozsah dochlazování piva při průtokové pasteraci je dán úrovní rekuperace tepla a z ní vyplývající teploty, se kterou pivo do dochlazovací části pastéru vstupuje, tato teplota je zpravidla v rozsahu  $8-12^\circ\text{C}$  a teplotou, na kterou je pivo dochlazováno, která bývá  $2^\circ\text{C}$ . Teplota teplonosné látky (solanky nebo roztoku glykolu) bývá na vstupu  $-3$  až  $-6^\circ\text{C}$ , na výstupu z pastéru pak  $+1$  až  $+5^\circ\text{C}$ . Objemový průtok teplonosné látky je zpravidla 1 až 2násobek objemového průtoku piva.

#### 4.5 Teplota mrznutí piva a teplota maximální hustoty piva

Teplota mrznutí piva je výrazně ovlivňována obsahem alkoholu v pivě a lze ji stanovit podle vzorce:

$$t_{mp} = -[0,42 A + 0,04 p + 0,2] \quad [^\circ\text{C}] \quad (21)$$

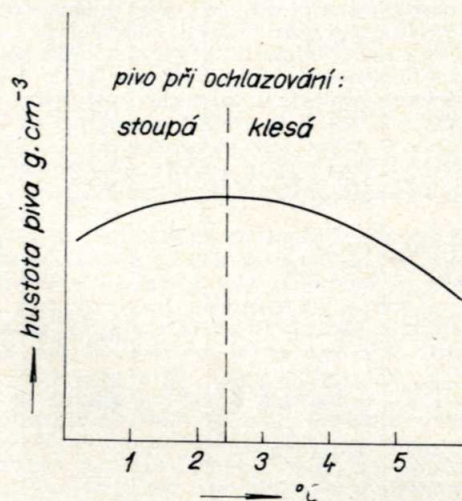


kde  $t_{mp}$  — teplota mrznutí piva °C  
A — obsah alkoholu % hm  
p — původní mladina % hm

Například 12% pivo, které má obsah alkoholu A = 3,9 % a původní mladina byla 12,1 %, má teplotu mrznutí

$$t_{mp} = - [0,42 \cdot 3,9 + 0,04 \cdot 12,1 + 0,7] = - [1,638 + 0,484 + 0,2] = -2,3 \text{ °C.}$$

Druhou důležitou hodnotou při chlazení piva je tzv. teplota maximální hustoty. Pivo obdobně jako voda vykazuje teplotní anomálii, tj. nejnižší teplota kapalného skupenství nemá nejvyšší hustotu. Nejvyšší hustota vody



Obr. 7. Schematické znázornění vlivu teploty maximální hustoty piva na cirkulaci při ochlazování piva ve velkoobjemových nádobách [podle Brauwelt Brevier 1982]

je při teplotě +4 °C. U piva je pak teplota maximální hustoty  $t_{mhp}$  závislá na obsahu alkoholu a skutečného extraktu piva. Tuto teplotu lze vypočítat podle vzorce:

$$t_{mhp} = 4 - [0,65 E_{sk} - 0,24 A] \text{ [°C]} \quad (22)$$

kde  $t_{mhp}$  — teplota maximální hustoty piva °C  
 $E_{sk}$  — skutečný extrakt piva % hm  
A — obsah alkoholu % hm

Podle tohoto vzorce má pivo s obsahem alkoholu 3,9 % a skutečným extraktem  $E_{sk} = 4,3$  % maximální hustotu při teplotě

$$t_{mhp} = 4 - [0,65 \cdot 4,3 - 0,24 \cdot 3,9] = 4 - [2,795 - 0,936] = 2,1 \text{ °C.}$$

Tato teplotní anomálie piva nemá praktický význam a vliv při průtokovém chlazení, ale uplatňuje se při chlazení piva ve velkoobjemových nádobách, např. cylindrických kvasných tancích. Při ochlazování pivo nejdříve

ve v důsledku zvyšující se hustoty v nádobě klesá, vytváří se proudění, které podporuje vyrovnávání složení piva v průběhu kvašení v jednotlivých vrstvách. Jakmile však pivo dosáhne teploty nižší, než je teplota maximální hustoty  $t_{mhp}$ , začne opět v nádobě stoupat. V dolní části nádoby se pak hromadí pivo s teplotou maximální hustoty, uklidňuje se proudění a tato vrstva piva pak může vykazovat jiné složení a odlišný obsah některých složek, především diacetylu, který bývá důležitým kritériem technologického postupu a kvality piva.

### Použitá a doporučená literatura

- [8] SCHACK: Der industrielle Wärmeübergang, Aufl. Band I
- [9] MILLER, A.: Approximative Preise und spezifischer Kältebedarf, Brauwissenschaft, 1971, 24, č. 4
- [10] PILAŘ, A.: Chemické inženýrství II. SNTL Praha 1964

Kratochvíle, A.: Chlazení a výroba piva II. Kvas. prům., 31, 1985, č. 11, s. 251—257.

Článek je volným pokračováním části I (Kvas. prům. č. 10, s. 227). Úvodem je uveden charakter spotřeby rozdělení spotřeby chladu při výrobě piva. Dále se článek zabývá chlazením kapalin, zejména mladiny, chlazením kvasných kádí, ochlazováním piva v ležáckých tancích, dochlazováním piva. V závěru je uvedena závislost bodu mrznutí piva a teploty maximální hustoty piva.

Кратохвиль, А.: Охлаждение и производство пива II. Квас. прум. 31, 1985, № 11, стр. 251—257.

Статья определенным способом продолжает тему 1-ой части (Квас. прум. № 10, стр. 227). В введении описывается характер потребления и распределения расхода холода при производстве пива. Далее статья занимается охлаждением жидкостей, особенно охмеленного сусла — путем охлаждения бродильных чанов, охлаждением пива в лагерьных танках, добавочным охлаждением пива. В заключение приводится зависимость точки замерзания и температуры максимальной плотности пива.

Kratochvíle, A.: Chilling and Beer Output II. Kvas. prům. 31, 1985, No. 11, pp. 251—257.

The article describes a cooling of fluids especially that of wort, cooling of fermenters and beer cooling in tanks. At the end the dependence of the freezing point and the temperature of maximum density of beer are given.

Kratochvíle, A.: Kühlung und Bierherstellung. II. Kvas. prům. 31, 1985, Nr. 11, S. 251—257.

Der Artikel stellt eine freie Fortsetzung des I. Teils dar (Kvas. prům. Nr. 10, S. 227). Einführend wird der Charakter und die Verteilung des Kälteverbrauchs bei der Bierherstellung angeführt. Weiter befaßt sich der Artikel mit der Kühlung der Flüssigkeiten, insb. der Würze, mit der Kühlung von Gärbottichen, Kühlung des Bieres in Lagertanks und mit der Nachkühlung des Bieres. Zum Schluß wird die Abhängigkeit des Gefrierpunkts des Bieres und der Temperatur der maximalen Bierdichte angeführt.