

# Chlazení a výroba piva III

663.45 663.452.0.33

## Chlazení cylindrokónických tanků

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

**Klíčová slova:** *pivo, výroba, chlazení, kvašení, dokvašování, cylindrokónické tanky, velkoobjemové nádoby.*

V návaznosti na části I a II [Kvasný průmysl č. 10 a č. 11/1985] jsou další kapitoly věnovány chlazení cylindrokónických tanků a obdobných velkoobjemových nádob.

### 4.6 Chlazení piva ve velkoobjemových nádobách

Rozvoj pivovarské technologie je zejména v posledních 20 letech spojen s používáním velkoobjemových nádob, zejména cylindrokónických tanků. Na rozdíl od klasické technologie je třeba si uvědomit základní rozdíly, které jsou spojeny s nároky na chlazení těchto nádob:

— technologický proces probíhá v několikanásobně

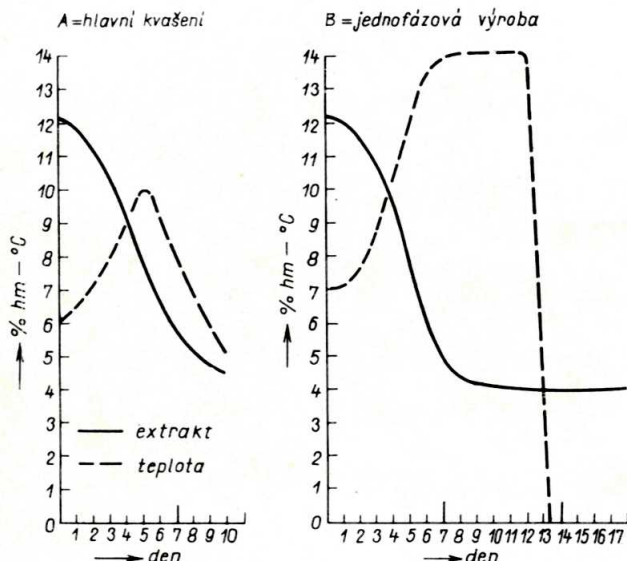
větších objemech s relativně menší plochou stěn nádoby, okolní prostředí má zpravidla vyšší teplotu a nelze proto počítat s tím, že část tepla bude účinně odváděna do okolí,

— zpravidla jde o menší počet nádob s odděleným a posunutým průběhem technologického procesu a nelze proto počítat s tím, že nároky jednotlivých nádob se vzájemně plně vyrovnávají, což např. u klasických kvasných kádí umožňuje použití empirického průměrného ukazatele spotřeby chladu,

— průběh hlavního kvašení v cylindrokónických kvasných tancích (CKT) je rychlejší než v klasických kádích,

čož vede k většímu množství prokvašeného extraktu za jednotku času a tím k většímu příkonu chladu nutnému k odvodu kvasného tepla,

— pokud se CKT využívají pro jednofázovou výrobu (kvašení i dokvašování v jedné nádobě), vyžaduje technologický postup ve fázi ukončení kvašení velmi rychlé ochlazení celého obsahu CKT na nízkou teplotu, což je příčinou krátkodobé špičkové spotřeby chladu. Pro příklad jsou na *obr. 1* znázorněny diagramy dvou základních způsobů využití CKT při výrobě 12% piva: A = pouze hlavní kvašení v CKT, B = jednofázová výroba piva v CKT.



Obr. 1. Příklady možného využití CKT při výrobě 12% piva znázorněné diagramem úbytku extraktu a průběhu teploty v průběhu jednoho technologického cyklu

B = využití CKT pro jednofázovou výrobu piva (hlavní kvašení a dokvašování v jedné nádobě)

Spotřeba chladu pro chlazení CKT je součtem výsledku vnitřní tepelné bilance technologického procesu = vnitřní spotřeba a tepelných ztrát (= ztrát chladu) do okolí tanku = vnější spotřeba.

Teplotná bilance vychází z extraktové a teplotní bilance kvasícího nebo dokvašujícího piva. Každý 1 kg prokvašeného extraktu uvolní ve formě kvasného tepla 565 kJ. Toto teplo nejprve zvyšuje teplotu kvasícího piva a po dosažení maximální technologické teploty kvašení musí být odváděno chlazením. Také ochlazení piva na požadovanou teplotu ve fázi ukončení kvašení vyžaduje chlazení. Vnitřní spotřebu chladu pro chlazení CKT v průběhu jednoho technologického cyklu lze stanovit podle vztahu

$$q = (p \cdot Ps \cdot 0,565) + (t_{mz} - t_s) \cdot 0,41868 \quad [MJ \cdot hl^{-1}] \quad (23)$$

kde  $q$  je vnitřní spotřeba chladu  $[MJ \cdot hl^{-1}]$ ,

$p$  - původní stupňovitost piva před zakvašením  
[ % hm ],

$P_s$  – skutečné prokvašení [% hm],

$t_{mz}$  – teplota zákvasná [°C],

$t_s$  – teplota piva při sudování (stáčení) [°C].

Uvedený vztah platí nejen pro celkovou bilanci technologického cyklu, ale i pro libovolný časový úsek, pro který jsou známy příslušné hodnoty. Vyráběný sortiment a technologický postup může vnitřní spotřebu chladu výrazně ovlivnit, jak je zřejmé z okrajových příkladů:

drh piva	$p$ % hm	technologické teploty		$P_s$ spotřeba chladu	
		$t_{mz}$ °C	$t_s$ °C	% hm	MJ · h <sup>-1</sup>
10 %	10,0	6,0	5,0	62,8	3,967
12 %	12,1	7,0	0,0	66,5	7,477

Spotřebu chladu v jednotlivých dnech je nutno zjistit provedením tepelné bilance v návaznosti na průběh prokvašování extraktu a na požadovaný průběh technologických teplot.

V tab. 1 je uvedena tepelná bilance jednotlivých dnů pro CKT o obsahu 600 hl při využití tanku pouze pro hlavní kvašení podle diagramu obr. 1 A.

Obdobně v *tab. 2* je sestavena tepelná bilance pro CKT stejného obsahu při využití pro jednofázovou výrobu 12% piva podle diagramu *obr. 1 B*.

Hodnoty *tabulek 1 a 2* se změní, pokud se změní podmínky technologického procesu. Čím vyšší je původní stupňovitost vyráběného piva  $p$  a čím hlubší je prokvašení, tím větší je spotřeba chladu na odvod kvasného tepla a současně čím větší je teplotní rozdíl mezi teplotou zákvasnou  $t_{mz}$  s teplotou piva při sudování (nebo teplotou dokvašování)  $t_s$ , tím větší je spotřeba chladu na chlazení piva. Z číselných údajů *tabulek 1 a 2* vyplývá, že spotřeba chladu se v jednotlivých dnech výrazně mění. První 3 dny zpravidla není třeba CKT z hlediska vnitřní spotřeby chladit. V dalších dnech, kdy již teplota dosáhla technologického maxima, je spotřeba chladu závislá na průběhu technologického postupu.

Průběh spotřeby chladu v obou odlišných způsobech využívání CKT o obsahu 600 hl lze charakterizovat tímto přehledem:

		Způsob využití CKT		Index
Spotřeba chladu:		hlavní kvašení piva = A	jednofá- zová výroba = B	B : A
celkem	[M] . cykl <sup>-1</sup>	2 829,0	4 507,9	1,59
průměrná	[M] . den <sup>-1</sup>	282,9	250,4	0,89
maximální	[M] . den <sup>-1</sup>	607,7	2 763,2	4,55
minimální	[M] . den <sup>-1</sup>	72,7	33,9	0,47
měrná	[k] . hl <sup>-1</sup>	4 715,0	7 513,0	1,59

*Tabulka 1. Teoretická tepelná bilance CKT – hlavní kvašení*

Technologické podmínky: obsah tanku 600 hl, původní mladina 12,1 % hm, teplota zákvasná 6 °C, doba kvašení 10 dní, skutečné prokvašení 62,8 %, teplota sudování 5 °C. Es = skutečný extrakt % hm.

[illegible]



Tabulka 2. Teoretická tepelná bilance CKT — jednofázová výroba

Technologické podmínky: obsah tanku 600 hl, původní mladina 12,1 % hm, teplota zákvasná 7 °C, doba výroby 18 dní, skutečné prokvašení 66,9 %, teplota dokvašování 0 °C, Es = skutečný extrakt % hm.

Den	Extraktivní bilance			Teplotní bilance			Tepelná bilance		Chlazení	
	Es [% hm]	Es [% hm]	kvasné teplo [MJ]	t [°C]	Δ t [°C]	teplo teplotní změny [MJ]	výsledná tepelná změna [MJ]	odvod tepla chlazením [MJ]	př.kon [kW]	měrný př.kon [W · hl <sup>-1</sup> ]
1	12,1	—	—	7,0	—	—	—	—	—	—
2	11,7	-0,4	+135,7	7,55	+ 0,55	-138,2	-2,5	—	—	—
3	10,9	-0,8	+271,3	8,85	+ 1,1	-276,3	-5,0	—	—	—
4	9,7	-1,2	+407,0	10,25	+ 1,6	-401,9	+5,1	—	—	—
5	7,7	-2,0	+678,3	12,0	+ 1,75	-439,6	+238,7	238,7	2,76	4,60
6	6,0	-1,7	+578,5	13,5	+ 1,5	-376,8	+199,7	199,7	2,31	3,85
7	4,8	-1,2	+407,0	14,0	+ 0,5	-125,6	+281,4	281,4	3,26	5,43
8	4,3	-0,5	+169,6	14,0	—	—	+169,6	169,6	1,96	3,27
9	4,2	-0,1	+33,9	14,0	—	—	+33,9	33,9	0,39	0,65
10	4,1	-0,1	+33,9	14,0	—	—	+33,9	33,9	0,39	0,65
11	4,0	-0,1	+33,9	14,0	—	—	+33,9	33,9	0,39	0,65
12	4,0	—	—	3,0	-11,0	+2 763,2	+2 763,2	2 763,2	31,98	53,30
13	4,0	—	—	0,0	-3,0	+753,6	+753,6	753,6	8,72	14,54
14	4,0	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
15	4,0	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
16	4,0	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
17	4,0	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
18	4,0	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
celkem	—	-8,1	+2 747,1	—	-7,0	+1 758,4	+4505,5	4 507,9	—	—
průměr	—	—	—	—	—	—	—	—	5,80	9,66

Pozn. Výsledné tepelné změny uvedené ve dnech, kdy se nechladí, jsou způsobeny chybami výpočtu.

Absolutně vyšší hodnota spotřeby chladu vyjádřená měrnou spotřebou kJ · hl<sup>-1</sup> v případě využití CKT na jednofázovou výrobu piva (B) proti využití CKT pouze pro hlavní kvašení (A) je dána tím, že při jednofázové výrobě odpadá technologický proces v klasickém ležáckém sklepě a tak ve skutečnosti je spotřeba chladu na celou výrobu piva nižší než při klasické technologii.

Podstatný rozdíl mezi využitím CKT pro hlavní kvašení a využitím CKT pro jednofázovou výrobu však je v průběhu nutného příkonu chladu během jednoho technologického cyklu. Pro názornost je tento rozdíl znázorněn na obr. 2.

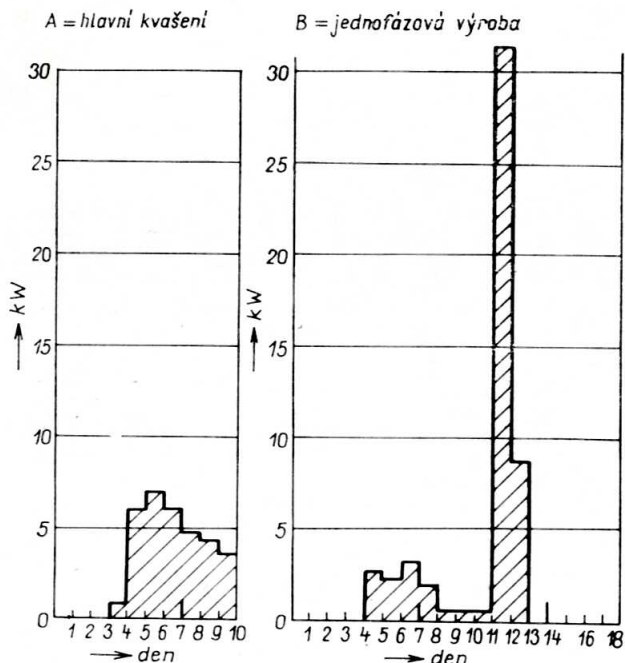
Při plynulé výrobě a využívání většího počtu CKT se vnitřní spotřeba chladu na chlazení obsahu jednotlivých tanků sčítá a částečně vyrovnává. V tab. 3 jsou uvedeny výsledné hodnoty spotřeby chladu pro skupinu CKT

za podmínky, že každý pracovní den se plní 1 CKT a pracovní týden je pětidenní.

Tabulka 3. Vnitřní spotřeba chladu skupiny CKT při denním spílání 600 hl, za podmínky plynulé a vyrovnané výroby.

A = využití CKT pro hlavní kvašení,  
B = využití CKT pro jednofázovou výrobu.

Den	A = hlavní kvašení 9 ks CKT — celkový obsah = 5 400 hl			B = jednofázová výroba 14 ks CKT — celkový obsah = 8 400 hl		
	spíláno denně [hl]	sto- čeno denně [hl]	příkon chladi celkem [kW]	spíláno denně [hl]	sto- čeno denně [hl]	příkon chladi celkem [kW]
1 Po	600	600	24,77	600	600	51,38
2 Út	600	600	28,30	600	600	51,38
3 Stř	600	600	25,90	600	600	17,03
4 Čtv	600	600	19,71	600	600	6,39
5 Pá	600	600	19,85	600	600	37,87
6 So	—	—	21,82	—	—	46,94
7 Ne	—	—	23,50	—	—	49,81
8 Po	600	600	24,77	600	600	51,38
9 Út	600	600	28,30	600	600	51,38
10 Stř	600	600	25,90	600	600	17,03
11 Čtv	600	600	19,71	600	600	6,39
12 Pá	600	600	19,85	600	600	37,87
13 So	—	—	21,82	—	—	46,94
14 Ne	—	—	23,50	—	—	49,81
15 Po	600	600	24,77	600	600	51,38
16 Út	600	600	28,30	600	600	51,38
17 Stř	600	600	25,90	600	600	17,03
18 Čtv	600	600	19,71	600	600	6,39
19 Pá	600	600	19,85	600	600	37,87
20 So	—	—	21,82	—	—	46,94
21 Ne	—	—	23,50	—	—	49,81
Celkem	9 000	9 000	490,95	9 000	9 000	782,40
Průměr [kW · den <sup>-1</sup> ]			23,38			37,26
Měrná spotřeba [kW · hl <sup>-1</sup> ]			54,55			86,93



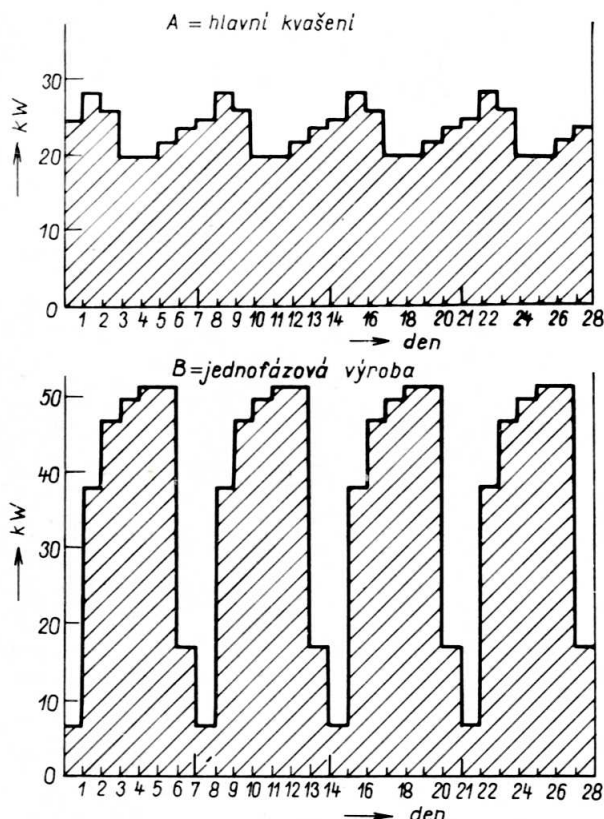
Obr. 2. Znáznornění nutného příkonu chladu pro jeden CKT v průběhu technologického cyklu v závislosti na způsobu technologického využití CKT

Výkyvy ve spotřebě chladu pro vnitřní chlazení CKT jsou názorně uvedeny na obr. 3. Uvedené hodnoty v tab. 3 a odpovídající znázornění na obr. 3 platí pouze pro případ platnosti uvedené podmínky. Naruší-li se plynulost výroby tím, že se vynechá jeden den plnění tanku, nebo naopak se v jednom dni naplní tanky dva, dochází k výrazné nevyrovnanosti spotřeby chladu v jednotlivých dnech. Pro praxi z toho vyplývá, že při využívání CKT je nezbytné, aby denní výroba chladu byla podstatně těsněji a pružně spojena s vlastní výrobou piva, neboť ste-



reotyp v provozu chladicího zařízení může být příčinou jak nehospodárnosti, tak i technologických potíží.

Vedle vnitřní spotřeby chladu při využívání CKT je nutno zajišťovat i složku vnější spotřeby chladu danou



Obr. 3. Nutný příkon chladu pro skupinu CKT za podmínek pravidelného spílání 600 hl mladiny denně

A = pro hlavní kvašení je třeba 9 ks CKT  
B = pro jednofázovou výrobu je třeba 14 ks CKT

ztrátami do okolí, tj. přijímáním tepla z vnějšího prostředí. Tato složka vnější spotřeby je závislá na velikosti povrchu CKT a na rozdílu teploty uvnitř CKT a teploty okolí.

V zásadě je možno instalaci CKT řešit dvěma způsoby:

a) CKT jsou jednotlivě instalovány ve volném prostoru a každý tank je opatřen vlastním izolačním pláštěm a pouze spodní kuželová část tanku zasahuje do společné obslužné místnosti, popř. tato místnost je řešena vedle řady tanků,

b) skupina CKT je instalována uvnitř speciální budovy, jejíž obvodový plášť a střecha jsou tepelně izolovány. Uvnitř budovy se udržuje teplota odpovídající přibližně průměrné teplotě technologického procesu. I když jednotlivé CKT nemají vlastní izolační plášť, lze výměnu tepla mezi CKT a jeho okolím zanedbat. Je však třeba počítat s výměnou tepla mezi vnitřním a vnějším prostředím budovy a vnitřní teplotu zajistit chlazením.

Výměnu tepla povrchem CKT můžeme, vzhledem k velkému průměru tanku — zpravidla nad 3 000 mm, počítat jako průchod tepla rovinou deskou podle vztahu

$$q = F \cdot k \cdot \Delta t \cdot 24 \quad [\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}] \quad (24)$$

kde  $q$  je průchod tepla za 24 hodin  $[\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}]$ ,

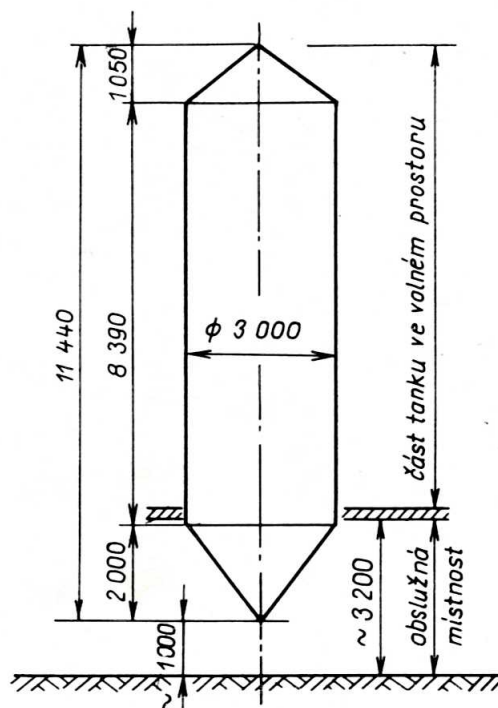
$F$  — teplosměnná plocha  $[\text{m}^2]$ ,

$k$  — koeficient průstupu tepla  $[\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ ,

$\Delta t$  — teplotní rozdíl = střední teplotní rozdíl  $[\text{°C}]$ .

Uvažujeme-li CKT s užitným obsahem 600 hl o rozměrech podle schematického náčrtu na obr. 4, pak část jeho povrchu, která zasahuje do vnějšího prostředí = teplosměnná plocha  $F$ , je dána povrchem  $P_1$  (= válcová

část tanku) a povrchem  $P_3$  (= horní kuželová část). Na vnější izolační plášť CKT se používá polyuretanová pěna s měrnou hmotností  $40\text{--}50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , s tepelnou vodivostí  $\lambda = 0,018 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a tloušťka izolační vrstvy je 60 až 100 mm. Izolační vrstva by měla mít maximální hodnotu koeficientu prostupu tepla  $k = 1,548 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .



Obr. 4. Schéma CKT o užitém obsahu 600 hl — základní rozměry tanku

CKT rozměrů uvedených na obr. 4 má včetně izolačního pláště teplosměnnou plochu  $F = 87,6 \text{ m}^2$ , uvažujeme-li střední teplotu okolí CKT  $t_v = 25 \text{ °C}$ . Lze vypočítat vnější spotřebu chladu na jeden CKT v průběhu jednoho technologického cyklu. Výsledky tohoto propočtu pro případ hlavního kvašení = A a pro případ jednofázové výroby = B jsou uvedeny v tab. 4.

Vnější spotřeba chladu CKT nemá v jednotlivých dnech takové výkyvy jako spotřeba vnitřní, z údajů tabulky 4 lze odvodit, že v průměru na jednotku teplosměnné plochy CKT vnější spotřeba činí asi  $650,5 \text{ kJ} \cdot \text{den}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . Aby bylo možno krýt i výkyvy ztrát chladu a ztráty chladu při sanitaci (nejsou v propočtu tab. 4 obsaženy), počítá se v praxi, za předpokladu koeficientu  $k = 1,5 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a střední vnější teploty  $t_v = 25 \text{ °C}$ , že vnější spotřeba chladu je v rozmezí  $850\text{--}1\,050 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ . Pokud vlastnosti izolačního pláště nebo vnější teplota mají odlišné hodnoty, pak je třeba uvedenou hodnotu spotřeby chladu příslušně upravit.

Spodní kuželová část CKT = povrch  $P_2$  zasahuje do obslužné místnosti a vnější spotřebu chladu je nutno doplnit o ztráty chladu obvodovým pláštěm této místnosti, který by měl mít stejné izolační vlastnosti jako izolační plášť tanků. Obslužná místnost je společná pro skupinu CKT. Například pro skupinu 15 ks tanků řazených  $3 \times 5$  (průměr 3 000 mm) je možno počítat s půdorysem  $13,9 \times 23,7 \text{ m}$  při celkové výšce 4,5 m. Plocha obvodového pláště, po odpočtu plochy průchodu jednotlivých tanků střechou je v daném případě  $572 \text{ m}^2$ , tj.  $38 \text{ m}^2$  na 1 tank. Podle uspořádání tanků se může velikost této teplosměnné plochy na 1 tank pohybovat v rozmezí 35 až  $50 \text{ m}^2$ .

Pro zvolený příklad skupiny CKT je pak celková teplosměnná plocha:

obvodový plášť volných částí CKT:	$15 \times 87,6 = 1\,314 \text{ m}^2$
obvodový plášť obslužné místnosti:	572 m <sup>2</sup>
<b>celkem</b>	<b>1 886 m<sup>2</sup></b>



Na 1 hl užitého obsahu CKT pak v tomto případě připadá

$$1886 : (15 \cdot 600) = 0,21 \text{ m}^2 \cdot \text{hl}^{-1}.$$

Při dodržení uvedených hodnot ( $k = 1,5 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) a uvedené vnější teploty by celková vnější spotřeba chladu skupiny CKT byla

$$1886 \cdot 0,850 = 1603,1 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1} \text{ až}$$

$$1886 \cdot 1,050 = 1980,3 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1}$$

tj. 106,9 až 132,0 MJ · den<sup>-1</sup> na 1 CKT.

Pozn. Prakticky se v tomto případě tepelně izolují i kužele tanků, což je výhodné i pro ochranu před rosením. Pro tepelné ztráty obvodového pláště obslužné místnosti se uvažuje s rozdílnými teplotními poměry než pro obsah tanku. Výpočet se pak dělí na dvě části a celková spotřeba chladu je vzhledem k nižším nárokům obslužné místnosti menší než výše vypočtená.

V případě, že CKT jsou instalovány bez vlastního izolačního pláště uvnitř budovy, je vnější spotřeba dána ztrátou chladu obvodovým pláštěm a střechou budovy. Například pro skupinu 15 ks CKT uvažovaných v předcházejícím příkladu by bylo třeba budovy o stejném půdorysu 13,9×23,7 m s výškou 16,2 m. Teplosměnná plocha obvodového pláště a střechy této budovy má velikost 1548 m<sup>2</sup>, tj. asi o 18 % menší než v předcházející variantě instalace CKT.

Tabulka 4. Vnější spotřeba chladu (tepelné ztráty) CKT o obsahu 600 hl v průběhu jednoho technologického cyklu

$t_v$  = střední teplota okolí 25 °C

$t_i$  = vnitřní teplota v závislosti na technologickém postupu

Den technologického postupu	A = hlavní kvašení			B = jednofázová výroba		
	rozdiel teplot [ $t_v - t_i$ ]	ztráty chladu [MJ · den <sup>-1</sup> ]	Ø příkon chladu [kW]	rozdiel teplot [ $t_v - t_i$ ]	ztráty chladu [MJ · den <sup>-1</sup> ]	Ø příkon chladu [kW]
1	18,6	60,5	0,70	18	58,7	0,68
2	17,9	58,3	0,67	17,45	56,8	0,66
3	16,7	54,4	0,63	16,35	53,2	0,62
4	15,1	49,1	0,57	14,75	48,0	0,56
5	15,0	48,8	0,56	13,0	42,3	0,49
6	15,8	51,4	0,59	11,5	37,4	0,43
7	16,8	54,7	0,63	11,0	35,8	0,41
8	17,8	57,9	0,67	11,0	35,8	0,41
9	18,9	61,5	0,71	11,0	35,8	0,41
10	20,0	65,1	0,75	11,0	35,8	0,41
11	—	—	—	11,0	35,8	0,41
12	—	—	—	22,0	71,6	0,83
13	—	—	—	25,0	81,4	0,94
14	—	—	—	25,0	81,4	0,94
15	—	—	—	25,0	81,4	0,94
16	—	—	—	25,0	81,4	0,94
17	—	—	—	25,0	81,4	0,94
18	—	—	—	25,0	81,4	0,94
Celkem MJ	—	561,7	—	—	1 035,4	—
Měrná spotřeba MJ · hl <sup>-1</sup>	—	0,936	—	—	1,725	—
Příkon Ø [kW]	—	—	0,65	—	—	0,66
max. [kW]	—	—	0,75	—	—	0,94
měrný [W · m <sup>-2</sup> ]	—	—	7,42	—	—	7,53

Pozn. Hodnoty měrné spotřeby chladu uváděné v tabulkách jsou pochopitelně vypočteny pro rozdílné výrobky a nelze je proto vzájemně srovnávat.

Celková vnější spotřeba chladu skupiny 15 CKT instalovaných tímto způsobem, za stejných technologických podmínek bude

$$1548 \cdot 0,850 = 1315,8 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1} \text{ až}$$

$$1548 \cdot 1,050 = 1625,4 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1}$$

tj. 87,7 až 108,4 MJ · den<sup>-1</sup> na 1 CKT.

Pozn. Výpočet je zjednodušen zanedbáním nárůstu spotřeby chladu na krytí ventilačních ztrát a tepla vyvíjeného místními zdroji (osvětlení apod.).

Na 1 hl užitého procesu CKT připadá vnější plocha obvodového pláště  $1548 : (15 \cdot 600) = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{hl}^{-1}$ .

Z hlediska konstrukčního provedení i vlastní realizace je způsob instalace ad a (tj. horní části tanků ve volném prostoru) podstatně složitější a náročnější. Je nutno izolovat velké zakřivené plochy za podmínky stísněného přístupu, izolačním pláštěm prochází řada prostupů (potrubí), obdobně střešní plášť obslužné místnosti má velký počet prostupů, a to vše vedle ztížené možnosti dokonale izolace a vodotěsnosti tvoří tepelné mosty, které účinnost izolace snižují. Naproti tomu při způsobu instalace CKT způsobem ad b (tj. instalace uvnitř budovy), je vlastní konstrukční řešení jednodušší, lze použít příslušné zvýšené haly s ocelovou konstrukcí, jejíž obvodový plášť tvoří rovné plochy bez prostupů a tepelné mosty je možno ve většině případů vyloučit. K izolaci obvodového pláště lze použít prefabrikovaných izolačních panelů s polyuretanovou pěnou. Také praktické hledisko vlastní výstavby a zejména údržby izolovaných ploch je v případě ad b podstatně příznivější.

V obou případech je pro určitou realizaci nutno vyhodnotit a respektovat konkrétní dispozici umístění objektu z hlediska oslunění vnějších ploch. Střední rozdíl teplot není dán pouze rozdílem vnitřní teploty  $t_i$  a průměrné vnější teploty  $t_v$ , protože při dopadu slunečních paprsků na plochu obvodového pláště se vysoce přehřívá povrch (bližší viz v dalších částech). Pokud bude objekt CKT realizován na slunečně exponovaném místě, je nutno s touto skutečností počítat při řešení vlastního chlazení CKT a obdobných velkoobjemových nádob. Chlazení CKT je možno ve vazbě na technologické využívání a konstrukci tanku řešit různými způsoby.

#### Neprímé chlazení

— tanky jsou pod izolačním pláštěm opatřeny duplikátorem, ve kterém proudí chladicí (teplonosná) látka. Podle dimenzování teplosměnné plochy duplikátoru a druhu chladicí látky lze tohoto způsobu použít jak pro hlavní kvašení, tak pro dokvašování, i pro jednofázovou výrobu;

— tanky nemají vlastní izolační plášť a jsou umístěny uvnitř izolované budovy (způsob ad b). Pro využití k hlavnímu kvašení musí být tanky opatřeny duplikátorem a v okolí (uvnitř budovy) se musí udržovat teplota 5–7 °C. Při využívání takto instalovaných tanků pouze pro dokvašování není třeba tanky vybavovat duplikátorem, ale okolní teplota musí být udržována v rozmezí 0–1 °C;

— třetí variantou nepřímého chlazení je tank s izolačním pláštěm bez duplikátoru připojený na deskový výměník za účelem cirkulačního chlazení obsahu tanku. Tento způsob je možno aplikovat v případě hlavního kvašení i jednofázové výroby.

#### Přímé chlazení

— tank je opatřen pláštěm, pod kterým je duplikátorový prostor uzpůsobený pro přímý odpar chladiva. Tuto variantu je možno aplikovat pro všechny druhy využívání CKT.

Ideální teplonosnou látkou pro nepřímé chlazení CKT je ledová voda, bohužel použitelná pouze při teplotách nad 0 °C, tzn. pouze při využívání CKT pro hlavní kvašení, bez možnosti rychlého ochlazení celého obsahu na 0–1 °C. Pro požadavek rychlého ochlazení celého obsahu na nízkou teplotu (např. při jednofázové výrobě) nelze ledovou vodu aplikovat a jako teplonosné látky je nutno používat buď roztoku alkohol-voda, ethylenglykol-voda, nebo přímo solanky. Ve všech těchto případech je však teplota chladicího média na vstupu omezena na nejnižší použitelnou teplotu –4 °C, aby bylo vyloučeno namrzání piva v místech duplikátoru. Při použití solanky nesmí být vzhledem k materiálu CKT použito solanek chloridového typu, použitelná je pouze solanka A (uhličitánová). I při použití roztoků alkohol-voda nebo ethylenglykol-voda je třeba, aby tyto roztoky obsahovaly vhodné inhibitory koroze.

Při přímém chlazení CKT přímým odparem chladiva se vhodně využívá výhody pouze jednostupňové výměny tepla, z čehož vyplývá, že odpařovací teplota chladiva je asi o 4–5 °C vyšší než odpařovací teplota chladiva při nepřímém chlazení, z čehož vychází asi o 15–20 % nižší spotřeba elektrické energie pro pohon kompresorů. Opět z důvodu vyloučení nebezpečí namrzání piva může být



nejnižší teplota v duplikátoru, tj. odpařovací teplota chladiva pouze  $-4^{\circ}\text{C}$ . Namrzání piva v místech duplikátoru má nejen nepříznivé technologické důsledky, ale vrstva ledu (pivního ledu) vytváří vlastně uvnitř tanku izolační vrstvu, která výrazně snižuje účinnost chlazení. K vyloučení vysokých teplotních nárazů a vyloučení nutnosti častého přerušování chlazení bývá chlazení na přímý odpar uzpůsobeno na dvě odpařovací teploty, na  $-2^{\circ}\text{C}$  a na  $-4^{\circ}\text{C}$ .

Každý tank vybavený samostatně chlazením na přímý odpar chladiva musí být opatřen regulačním zařízením, které umožní spolehlivě a s potřebnou přesností plnit tyto funkce:

- trvalé udržování předem nastavené teploty,
- časovou předvolbu začátku rovnoměrného ochlazení obsahu tanku bez teplotních výkyvů,
- vydržování předem zvolené koncové teploty po jejím dosažení,
- automatické přepínání odpařovací teploty  $-2^{\circ}\text{C}$  na  $-4^{\circ}\text{C}$  a naopak v závislosti na okamžité spotřebě chladu,
- automatické zapínání chlazení v jednotlivých chladicích zónách na základě teploty snímané v příslušných měřicích místech.

Regulační zařízení má být vybaveno možností přepínání na ruční ovládání a na automatický provoz, ukazatelem zvolených a skutečných teplot pro jednotlivé provozní stavy. Průběh skutečných teplot je zaznamenáván na víceřádkovém zapisovači.

Duplikátor pro přímý odpar chladiva je tlakovou nádobou, musí odpovídat příslušným předpisům a musí být dimenzován na vnitřní přetlak vyvolaný chladivem i při přerušování chlazení, tj. pro amoniak 1,6 MPa a pro freon 1,2 MPa. Je zřejmé, že netěsnost duplikátoru přímého odparu vyřadí chladicí systém CKT z provozu, což má nepříznivé důsledky technologické a amoniak ohrožuje obsluhu i životní prostředí.

Velikost teplosměnné plochy duplikátorů je závislá na technologii a na vstupní teplotě chladicího média (= teplosnosné látky) u nepřímého chlazení a na odpařovací teplotě u přímého odparu. Podle Schroppa [11] je pro chlazení CKT použitelná hodnota koeficientu prostupu tepla  $k = 460 \text{ kJ} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Na základě různých provozních a technologických podmínek jsou v tabulce 5

Tabulka 5. Doporučené velikosti teplosměnné plochy duplikátorů CKT v přepočtu na 100 hl užitého obsahu v závislosti na způsobu chlazení a na teplotě chladicího média, při různém rozsahu ochlazení obsahu tanku (podle Schroppa)

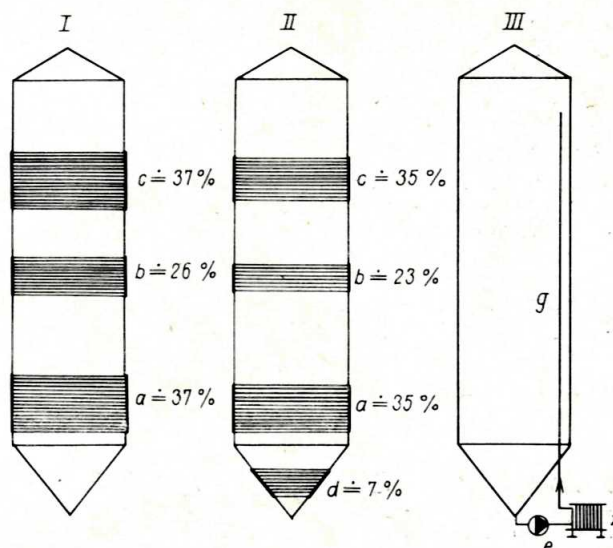
Teplota chladicího média, odpařovací teplota $[\text{C}^{\circ}]$	Teplosměnná plocha chladicího duplikátoru $\text{m}^2/100 \text{ hl}$					
	rozsah ochlazení $6^{\circ}\text{C}$			rozsah ochlazení $10^{\circ}\text{C}$		
	přímé chlazení	nepřímé chlazení $[r=1^{\circ}\text{C}]$	nepřímé chlazení $[r=2^{\circ}\text{C}]$	přímé chlazení	nepřímé chlazení $[r=1^{\circ}\text{C}]$	nepřímé chlazení $[r=2^{\circ}\text{C}]$
+1,0	3,4	3,8	4,4	—	—	—
0,0	2,8	3,1	3,4	—	—	—
-1,0	2,4	2,5	2,7	6,2	—	—
-2,0	2,0	2,2	2,4	4,8	5,4	6,2
-3,0	1,8	1,9	2,0	3,9	4,3	4,8
-4,0	1,6	1,7	1,8	3,3	3,6	3,9

použitý koeficient prostupu tepla  $k = 460 \text{ kJ} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $r$  = ohrnutí chladicího média při průtoku duplikátorem  $^{\circ}\text{C}$ .

uvedeny doporučené nutné velikosti teplosměnné plochy duplikátorů v přepočtu na 100 hl užitého obsahu CKT.

Celková teplosměnná plocha duplikátorů je u CKT zpravidla rozdělena na tři chladicí zóny na válcové části tanku tak, že spodní a horní zóna je asi 37 % a střední zóna asi 26 % celkové plochy. Pokud je CKT vybaven chladicím duplikátorem i na spodní kuželové části, pak tato chladicí zóna má velikost asi 7 % celkové plochy, spodní a horní zóny na válcové části asi 35 % a střední zbývajících asi 23 %. Schéma rozdělení chladicích zón na CKT je znázorněno na obr. 5.

Jednotlivé chladicí zóny se při jednotlivých technologických fázích různě využívají např. podle schématu uvedeného v tabulce 6.



Obr. 5. Schéma základních možností rozdělení chladicích zón CKT a schéma cirkulačního chlazení CKT

I = CKT vybavený třemi chladicími zónami  
II = CKT vybavený čtyřmi chladicími zónami  
III = CKT chlazený cirkulačním způsobem  
a = spodní chladicí zóna, b = střední chladicí zóna, c = horní chladicí zóna, d = chladicí zóna spodního kuželu, e = oběhové čerpadlo, f = deskový výměn k, g = výtlačné potrubí cirkulačního okruhu.

Tabulka 6. Příklad využívání jednotlivých chladicích zón CKT v různých technologických fázích (podle Heyse)

Využití CKT	Technologická fáze	Využívaná chladicí zóna	Měřicí místo
hlavní kvašení	řízení teploty kvašení	střední a horní	pokud možno dole
	ochlazování do max $3^{\circ}\text{C}$	střední a horní	pokud možno dole
dokvašování	ochlazování pod $3^{\circ}\text{C}$	boční zóny včetně kónusu	pod boční zónou
	udržování na $0^{\circ}\text{C}$	chladicí zóna kónusu	ve 2/3 výšky

Cirkulační chlazení CKT je řešeno tak, že ze spodní části kónusu je čerpadlem nasáván obsah tanku, protlačován deskovým chladičem a ochlazená kapalina je vytlačována svislým potrubím uvnitř tanku asi 10–20 cm pod hladinu. Jako chladicího média (teplosnosné látky) se zpravidla používá roztoku ethylenglykol-voda podchlazeného na  $-5^{\circ}\text{C}$  (chlazení za pohybu kapaliny). Teplotní spád chladicího média je z  $-5^{\circ}\text{C}$  na  $1^{\circ}\text{C}$ , tj.  $6^{\circ}\text{C}$ , teplotní spád chlazeného piva asi 8 až  $10^{\circ}\text{C}$ . V přepočtu na 1 hl užitého obsahu tanku je průtočný objem chladicího média asi  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{hl}^{-1}$  a chlazeného piva asi  $0,05$  až  $0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{hl}^{-1}$ . Celková intenzita chlazení obsahu tanku je asi  $0,4$  až  $0,5^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ . V souladu s těmito hodnotami, podle velikosti tanku, musí být dimenzován výkon oběhového čerpadla, velikost teplosměnné plochy deskového chladiče a příkon chladicího média. Regulace teploty obsahu tanku se provádí jednak regulací průtoku piva a chladicího média deskovým chladičem a jednak časovým omezením průtoku.

## Literatura

- [11] SCHROPP, H. P.: Brauwelt, 1979, č. 33, s. 1173.
- [12] CIHELKA, J.: Vytápění a větrání, SNTL Praha, 1969.
- [13] PETERSEN H.: Brauwelt, 1982, č. 1/2, s. 16.
- [14] ČSN 73 0548.
- [15] PILAŘ, A., PECHOČ, V.: Základy chemického inženýrství, SNTL Praha, 1956.

**Kratochvíle, A.: Chlazení a výroba piva III.** Kvas. prům., 32, 1986, č. 3, s. 52—58.

Třetí článek seriálu navazuje na části I a II uveřejněné v č. 10 a 11 minulého ročníku časopisu Kvasný průmysl. Pojednává o chlazení velkoobjemových nádob, zejména cylindrokónických kvasných tanků.

**Кратохвилье, А.: Охлаждение и производство пива III. Охлаждение цилиндроконических танков.** Квас. прум. 32, 1986, № 3, стр. 52—58.

Третья статья серии работ продолжает части I и II, опубликованные в номерах 10 и 11 прошлого года настоящего журнала. Уделяется внимание охлаждению крупнообъемных сосудов, особенно цилиндроконических танков.

**Kratochvíle, A.: Chilling and Beer Output. III. Chilling**

**of the Cylindrical Conical-Bottom Vessels.** Kvas. prům. 32, 1986, No. 3, pp. 52—58.

The third part of the serial is a continue of the part I and II published in No. 10 and 11 issues of the last volume. Chilling of large-volume vessels especially of those having cylindrical conical-bottom shape are described.

**Kratochvíle, A.: Kühlung und Biererzeugung. III Kühlung der zylindrokonischen Tanks.** Kvas. prům. 32, 1986, Nr. 3, S. 52—58.

Der dritte Beitrag des Serials stellt die Fortsetzung der Teile I und II dar, die in den Nummern 10 und 11 des vorigen Jahrgangs veröffentlicht wurden. Der dritte Teil behandelt die Kühlung der Großgefäße, insb. der zylindrokonischen Tanks.