

## Vhodné způsoby chlazení kvasných a ležáckých nádob

Ing. TOMAŠ LEJSEK, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

683.452.2

*Předneseno na XII. pivovarsko-sladařském semináři v Plzni*



Při modernizaci spilek a sklepů se znovu obrací pozornost na volbu konstrukce a výkonu chladicího systému. Především je třeba rozhodnout o způsobu chlazení nádob a uvážit všechny předpoklady k udržení žádaného technologického postupu. Věnujeme se proto stručnému rozboru některých otázek, jejichž vyřešení podmiňuje plnou spokojenost s provozem spilky nebo sklepa.

### 1. Chlazení kvasných kádí

Nové typy kvasných nádob — kombitanky, stojaté tanky s kuželovými dny nebo tanky kontinuálního kvašení — nepoužívají k udržování požadované teploty mladého piva chlazení trubkovými hady, ale chladí stěny nádoby duplikátorovým nebo taškovým chladičem [1]. Umístěním chladiče se usnadňuje obtížné ruční mytí a vytvářejí se předpoklady pro použití mechanických mycích agregátů. Vzniká hladký a volný vnitřní prostor nádoby, bez koutů a možnosti usazování nečistot. Duplikátory na kvasných kádích nejsou žádnou novinkou, ale jejich rozšíření dnes doporučují moderní technologické postu-

py ve strojírenství, neboť se zjednodušila a zlevnila jejich výroba. Zároveň se dosahuje velmi dobrých přestupů tepla (chlada). Plášť duplikátorů se lisuje vcelku nebo po částech a přímo se vytvoří kanály pro chladicí médium. Na obvodu a v ploše se svařuje se stěnou nádoby obvodovým a uvnitř bodovým svarem.

Stejný způsob chlazení se prosazuje i u klasických kádí. Dokonce je známo řešení, kde na starší hliníkové kádě byl dodatečně přiložen ocelový taškový duplikátor. Kovový styk mezi hliníkem a ocelí se odstranil slabou vrstvou pryskyřice a tašky se připevnil k obvodu kádí jako spojené obruče. To vše za cenu jistě vyšších pořizovacích nákladů, které vznikly pro obtížnější upevnění chladičů i proto, že se zvětšila chladicí plocha. Přestup tepla musí být v tomto případě totiž podstatně horší než u měděné chladicí trubky.

Vlastnosti materiálu stěny kádě pochopitelně ovlivňují velikost potřebné chladicí plochy. Potřebný přehled získáme po teoretickém výpočtu přestupu tepla u jednotlivých příkladů. Budeme přitom

состав исходного материала, т. е. ячменя. Чем однороднее ячмень, тем влияние заметнее. Температура завершительной фазы сушки определяет свойства экстракта, содержание растворенного азота, диастатическую активность, цвет и долю коагулирующего азота. Высокие температуры сушки отражаются также на результатах разделительной хроматографии. При абсорбции 280 нм отпадают верхушки кривых отвечающие соединениям с молекулярным весом примерно 67 000 и 25 000. Также электрофореграммы подтвердили уменьшение содержания указанных компонентов. Высокие температуры сушки не влияют на высокомолекулярные соединения. Они не подвергаются изменениям даже в процессе варки и переходят в пиво. При варке стойких пив необходимо поддерживать в заключительных фазах сушки солода температуру, обеспечивающую оптимальное качество солода.

influence is especially significant with high grade malt, i. e. made from one variety of brewing barley. The temperature determines the properties of extracted wort, percentage of soluble nitrogen, diastatic activity, colour and content of coagulable nitrogen. The influence of temperature is reflected in the results of partition chromatography by the disappearance of apexes of curves at 280 nm absorption, characterizing components of 67 000 and 25 000 molecular weights. Electrophorogrammes also show the loss of some fractions. High-molecular components are affected neither by temperatures nor by brewing and are extracted into beer. To brew good storage beer it is necessary to maintain the drying temperature within the prescribed close limits.

reinen Gerstenpartien hervortraten. Eine bedeutende Abhängigkeit von der Abdarrtemperatur wurde bei den folgenden Malzkriterien festgestellt: Extrakt, löslicher Stickstoff, diastatische Kraft, Farbe und koagulierbarer Stickstoff. Bei der chromatographischen Trennung waren die Veränderungen in dem Verschwinden der Kurvenhochpunkte bei der Absorbanz von 280 nm deutlich, die die Stoffe mit dem Molekulargewicht von cca. 67 000 und 25 000 charakterisieren. Auch in den Fraktionen der Scheiben-Elektrophoreogramme wurde eine Abnahme festgestellt. Unbetroffen von den hohen Temperaturen bleiben die hochmolekularen Stoffe in dem ersten Hochpunkt; sie bleiben auch während des Sudprozesses unverändert und gehen in das Bier über. Es wurde die Notwendigkeit bewiesen, bei der Herstellung von Malzen für die Produktion haltbarer Biere die richtige Abdarr-Technologie und -Temperatur einzuhalten.



uvažovat obvyklý typ kvasné kádě naplněné mladinou a chlazené ledovou vodou.

Rozdíl v potřebné ploše duplikátorů a chladicího hadu určíme na příkladu výpočtu koeficientů prostupu tepla u nerezavějící hliníkové nebo ocelové epoxidované kádě s duplikátorem a u měděného hadu. Ve výpočtu se uvažovala tloušťka epoxidového nátěru 1 mm, přestože jsme u dobře natřených stěn zjistili 1,2 až 1,4 mm. Výsledky jsou přehledně uspořádány v tab. 1.

Tabulka 1

Chladič	Trubkový had. Měděná trubka 57 X 2	Taškový duplikátor		
		ocel + epoxid	nerezavějící ocel	hliník
Tloušťka stěny [mm]	2	4+1	2	5
Průtok chladicí vody [m/s]	1	1,2	1,2	1,2
Koeficient prostupu tepla [kcal/m <sup>2</sup> . deg . h]	302	74	130	132
Zvětšení chladicí plochy v porovnání s měděným hadem	—	4 X	2,3 X	2,3 X
Chladicí plocha pro 100 hl mladého piva [m <sup>2</sup> ]	1,5	6	3,5	3,5

K získání praktických údajů jsme proměřili duplikátorové chladiče tak, jak je osazují naše strojírenské závody na tanky semispilky a kombitanky. Postupně ukážeme tři příklady řešení odlišující se konstrukcí, materiálovým zpracováním a rychlostí proudění chladicího média, kterým byla vždy ledová voda. Koeficient prostupu tepla stěnou tanků se měřil přímo v provozu. Chladiče se před měřením používaly, nejednalo se tedy o zcela nové plochy. Chladilo se mladé pivo. Obsah nádob se mechanicky nemíchal, výměna tepla na straně piva probíhala pouze termoprouděním. Výsledky jsou proto dobře porovnatelné a dávají názor pro další praktické realizace (tab. 2).

#### A. Duplikátor na hliníkovém tanku

Kvasný tank obsahu 120 hl je vybaven obvyklým typem duplikátoru o chladicí ploše 5,5 m<sup>2</sup>. Průtočná komora duplikátoru je rozdělena dvěma příčkami na tři stejné části, kterými postupně protéká ledová voda. Průtočná plocha jednoho kanálu — jak již bylo zdůrazněno, duplikátor má celkem 3 — je 0,011 m<sup>2</sup>.

Průtočná rychlost byla velmi malá i při celkově větším průtoku, a to především proto, že plocha kanálu je příliš velká. Konstrukce duplikátoru nezaručuje správný průtok chladicí vody. Při výrobě duplikátoru nelze dodržet dokonalou těsnost přepážek, pod kterými voda podtéká.

I když hliníkový plech je dobrým vodičem tepla, dosáhlo se poměrně malých hodnot prostupů, maximálně 100 až 130 kcal/m<sup>2</sup> . deg . h.

Tabulka 2

Chladič	Trojkanálový duplikátor		Trojkanálový duplikátor		Duplikátor z púlených trubek	
Materiál	hliník		ocel + epoxid		ocel + epoxid	
Objem tanku [hl]	120		280		160	
Chladicí plocha [m <sup>2</sup> ]	5,5		12		6,5	
Průřez kanálu [m <sup>2</sup> ]	0,011		0,017		0,002	
Teplota chladicí vody [°C]	1,7		1,0		2,0	
Teplota mladého piva [°C]	11		8		8	
Průtok vody [m <sup>3</sup> /h]	0,25	0,46	1,5	3,5	0,39	1,36
Rychlost chladicí vody [m/s]	0,006	0,011	0,024	0,055	0,54	1,88
Koeficient prostupu tepla [kcal/m <sup>2</sup> . deg . h]	46,6	132,0	48,7	50,5	96	174

#### B. Duplikátor na ocelovém tanku

Ocelový 280 hl kvasný tank s vnitřním epoxidováním je vybaven stejným duplikátorem jako v předchozím případě. Chladicí plocha je větší, 12 m<sup>2</sup>. Jde tedy prakticky o týž případ v konstrukci chladicí plochy, posoudíme však vliv použitého materiálu na velikost prostupu tepla. Průtočný průřez kanálu je 0,0175 m<sup>2</sup>.

Výsledky jsou zřejmě ovlivněny netěsností jednotlivých komor duplikátoru. Přesto hodnota prostupu tepla kolem 50 kcal/m<sup>2</sup> . deg . h tak, jak byla naměřena, nebude ani v ideálním případě lepší a je velmi nízká.

#### C. Trubkový duplikátor na ocelovém tanku

Chladicí plocha se skládá z púlených trubek těsně vedle sebe přivařených k povrchu stěny. Na tanku obsahu 160 hl má takto vytvořená plocha 6,5 m<sup>2</sup>. Trubky jsou zapojeny za sebou, průtočný průřez je 0,002 01 m<sup>2</sup>.



V tomto případě se projevil vliv vyšší rychlosti chladicí vody. Přestože tank je opět ocelový s vnitřním epoxidováním, a tedy prostup tepla je brzděn epoxidovou vrstvou malé tepelné vodivosti, byl celkový prostup tepla vyšší než v předchozích případech, až 150–180 kcal/h.m<sup>2</sup>.deg. V porovnání s duplikátorem ocelového epoxidovaného tanku je prostup tepla třikrát vyšší a pro stejný tepelný výkon by tedy postačovala pouze třetina plochy. Rychlost průtoku chladicí vody je přitom asi 20krát vyšší. Nevýhodná je příliš složitá a nákladná konstrukce tohoto duplikátoru.

Z porovnání teoretických i praktických výsledků vyplývá, že pro konstrukci duplikátorů kvasných, popřípadě i ležáckých nádob je třeba volit takové provedení, které zaručí nucený průtok chladicí vody rychlostí alespoň 1 m/s. Potom lze použít naznačených velikostí chladicích ploch nových nebo rekonstruovaných kvasných nádob a vytvořit tak předpoklady pro mechanizaci mycích prací. Především z tohoto důvodu se doporučuje používat kvasné nádoby vybavené duplikátorovým chlazením.

Při návrhu chladicího výkonu musíme kromě vlastního ochlazení mladého piva a krytí ztrát chladu do okolí uvažovat i odvedení tepla, které vzniká při kvašení. Zkracování doby kvašení zvyšuje v tomto případě nároky na chlazení a nelze již spolehlivě vycházet z dříve získaných praktických hodnot. Nověji jsme určili hodnotu kvasného tepla. Kalorimetricky se zjistilo, že zkvašením 1 kg extraktu vzniká 135 kcal [2].

Počítáme-li s dobou hlavního kvašení 10 dnů, bude průměrné kvasné teplo z 1 hl mladiny 3,08 kcal/hl.h; u pětidenní doby hlavního kvašení (např. v semispilce) pak již 6,73 kcal/hl.h. Špičkový hodinový výkon tepla však vzroste téměř třikrát, až na 16,2 kcal/hl.h. Těmto hodnotám je třeba přizpůsobovat chladicí výkony.

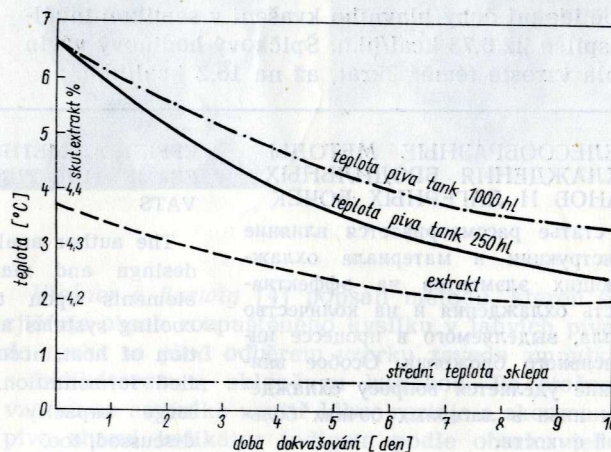
## 2. Chlazení velkokapacitních ležáckých nádob

S obdobnou problematikou se setkáváme při zvětšování objemu kvasných a ležáckých nádob. Zde se plně projevuje, jak je z hlediska chlazení nevýhodné použít obyčejné konstrukční oceli s epoxidovým nátěrem.

Ležácký tank běžné tuzemské výroby obsahu 250 hl a průměru 2 500 mm má velikost povrchu přibližně 50 m<sup>2</sup>. Na 1 hl obsahu tak připadá 0,20 m<sup>2</sup> chladicí plochy. Tank stejného provedení, ale obsahu 1 000 hl a průměru 3 600 mm má povrch 131,5 m<sup>2</sup>. Na 1 hl obsahu tohoto velkého tanku připadá 0,13 m<sup>2</sup> chladicí plochy. U průměru 3 200 mm to bude 0,14 m<sup>2</sup>/hl.

Teplo vyvíjející se při dokvašování i další teplo, které se musí při ochlazování odvést z hektolitrů piva, zůstává i u velkých nádrží stejné. Chladicí plocha se však zmenší, a to v našem případě na 65 až 70 % původní plochy. Úměrně tomuto snížení se musí prodloužit doba chlazení piva ve velkých nádobách. Ochladnutí na stejnou teplotu bude v našem případě trvat asi 1,5krát déle než u menšího tanku.

Naměřený průběh ochlazování piva v 250 hl ležáckém tanku běžné tuzemské výroby je znázorněn na obr. 1. Průměrná teplota vzduchu v boxu byla příznivá, a přesto trvalo ochlazení z 6,5 °C na 2,5 °C téměř 10 dní. U 1 000 hl tanku bude tedy stejné ochlazení trvat nejméně 15 dní. Předpokládaný průběh ochlazení velkokapacitního tanku znázorňuje horní křivka na obr. 1. Již od sudování probíhá chlazení velké nádoby pomaleji. Tento průběh se ještě zhorší u méně prokvašeného mladého piva nebo při vyšší teplotě sklepa, než byla v našem případě.



Obr. 1

Dodržení stávajících podmínek technologického postupu dokvašování u velkokapacitních nádob vyžaduje konstrukci s lepšími tepelnými vlastnostmi, než je dosud obvyklé u běžných tanků. Zpomalené ochlazování lze odstranit pouze uplatněním tanků z nerezavějící oceli s podstatně menší tloušťkou stěny nebo uvažovat o přímém plášťovém chlazení stěn.

## Souhrn

Upozorňuje se především na vliv konstrukce i materiálového provedení chladicích prvků na chladicí výkon, dále na zvýšené množství kvasného tepla, které vzniká při intenzifikaci kvašení a diskutuje se o chlazení piva ve velkých ležáckých nádobách.

Teoreticky se posoudily prostupy tepla z měděných chladicích hadů kvasných kádí (pro daný případ  $k = 302$  kcal/m<sup>2</sup>.deg.h) a taškových duplikátorů kádí vyrobených z epoxidované oceli ( $k = 74$  kcal/m<sup>2</sup>.deg.h), nerezavějící oceli ( $k = 130$  kcal/m<sup>2</sup>.deg.h) a hliníku ( $k = 132$  kcal/m<sup>2</sup>.deg.h). Prakticky se zjišťoval prostup tepla při chlazení duplikátory různé konstrukce. Při malé rychlosti proudění (0,1 až 0,3 m/s) chladicí vody byly u duplikátoru na hliníkovém tanku zjištěny prostupy tepla ve výši 100 až 130 kcal/m<sup>2</sup>.deg.h, u ocelového epoxidovaného tanku ve stejném případě pouze kolem 50 kcal/m<sup>2</sup>.deg.h. Zatímco při zvýšení rychlosti průtoku chladicí vody asi na 1 m/s se prostup tepla u ocelového tanku zvýšil na 150 až



180 kcal/h. Doporučuje se používat kvasné nádoby vybavené duplikátorovým chlazením, neboť při vhodném řešení lze dosáhnout dobrého výsledku a zároveň se vytvoří předpoklady k úspěšnému uplatnění mechanického mytí ve spilkách.

Při návrhu chladicího výkonu se musí kromě dalších spotřeb uvažovat odvedení vzniklého kvasného tepla. Zkracování doby kvašení zvyšuje i v tomto případě nároky na chlazení a nelze již spolehlivě vycházet ze známých praktických hodnot. Proto se kalorimetrickým měřením určila hodnota kvasného tepla 135 kcal/kg prokvašeného extraktu. Počítá-li se s dobou hlavního kvašení 10 dnů, bude průměrné kvasné teplo 3,08 kcal/hl.h; u pětidenní doby hlavního kvašení v semikontinuální spílce již 6,73 kcal/hl.h. Špičkový hodinový vývin tepla vzroste téměř 3krát, až na 16,2 kcal/hl.h.

V závěru se uvádí průměrná křivka poklesu teploty piva během doby ležení v ocelovém epoxidovaném ležáckém tanku obsahu 250 hl. Při čtyřnásobném zvýšení objemu tanku se sníží chladicí plocha připadající na 1 hl objemu o 30 až 35 % a úměrně vzroste chladicí doba. Pro dodržení technologie dokvašování je třeba velkokapacitní ležácké nádoby stavět v provedení s lepším prostupem tepla stěnou anebo je vybavit vlastním chladicím zařízením.

#### Literatura

- [1] ZINNG, D.: Die technische Ausführung des Gärkellerneubaus der Brauerei Haldengut, Winterthur. „Brauwelt“ 109, 1969: 737.
- [2] LEJSEK, T.: Ermittlung bei der Vergärung von Würze freigegebenen Wärme. „Brauwelt“ 109, 1969: 829.