

Příspěvek k hodnocení sedimentace kalů ve vířivé kádí

TOMÁŠ LEJSEK, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

663.443.242
663.444.4

Zahájení provozu na spílací lince, ve které se odstraňují hrubé kaly z horké mladiny ve vířivé kádí, bylo využito k získání bližších poznatků o průběhu sedimentace v kádí i o některých faktorech působících na její úspěšnou činnost.

Jak je obvyklé, mladina se do vířivé kádě přivádí tangenciálně, což vyvolává rychlou rotaci celého obsahu. Po vyčerpání várky kaly urychleně sedimentují a vlivem rotačního pohybu se soustřeďují u středu dna kádě. Jakmile je mladina dostatečně vyčeřena, začne se ihned spílat, takže mladina se na zákvasnou teplotu průtokově chladí z vyšší teploty kolem 90 °C, a proto se za studena provzdušňuje.

Slédovaná vířivá kád' (obr. 1) je válcová svařovaná nádoba užitého obsahu 300 hl, průměru 3150 mm a celkové výšky 4900 mm. Má rovné dno se spádem 1,5 % k výpusti a je uložena na roštu z ocelových profilů. Běžně se plní várkou objemu 300 hl, takže po naplnění je poměr výšky hladiny k průměru kádě $H/D = 1,2$. Přívod mladiny je tangenciální, ve výšce 0,8 m ode dna. Vstupní tryska je konstruována s vyměnitelnými nástavci výstupního průměru 50, 60, 70 a 80 mm, což umožnilo měnit rychlost přítoku do kádě bez omezení výkonu mladinového čerpadla.

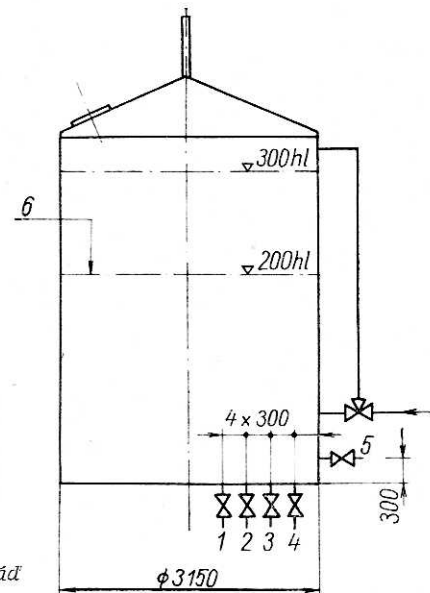
Vzhledem k technickým možnostem ve způsobu odběru vzorků bylo základní hodnocení omezeno na průzkum změny koncentrace kalů podél průřezu dna, a dále u horní a spodní části stěny. K tomu byl zabudován systém zkušebních kohoutků, jejichž rozmístění je patrné z obr. 1. Hodnocení jednotlivých závislostí vycházelo jednak ze stanovení obsahu kalů v zároveň odebraných vzorcích, dále pak z určení extraktových ztrát v usazených kalech a z určení pro tento účel nově definované účinnosti odloučení hrubých kalů.

Množství kalů v mladině se stanovilo filtrací na filtračním kelímku G 3 křemelinou HSC při teplotě 20 °C a je vyjádřeno v mg sušiny kalů obsažených ve 100 g vzorku. Sušina usazených kalů se zjišťovala běžnou metodou. Obsah extraktu zachycený v kalech se určil ze sušiny před promytím a po promytí.

Účinnost odloučení hořkých kalů se definovala jako podíl množství hrubých kalů zachycených ve vířivé kádí k celkovému množství hrubých kalů, které obsahovala horká mladina. Množství kalů zachycených ve vířivé kádí se určilo z rozdílu obsahu kalů ve vyčeřené mladině a v mladině za horka dokonale čiré, získané sedimentací za příslušné teploty. Obsah kalů v horké mladině se stanovil z rozdílu obsahu kalů ve vzorku odebraném ve varně a množství kalů v mladině za horka doko-

nale čiré. Všechna stanovení se dělala při teplotě 20 °C, proto např. u čiré horké mladiny jde o zákal, který se dodatečně vysrážel při ochlazení asi z 85 na 20 °C. Výsledná hodnota dává přehled o množství kalů, které vůbec lze ve vířivé kádí odstranit, i o úspěšnosti tohoto procesu.

Veškeré další popisované zkoušky se týkaly várek mladiny s 10 % hmot. extraktu. Teplota mladiny ve vířivé kádí se při prodlevě po čerpání i při spílání pohybovala v rozmezí 93 až 85 °C.



Obr. 1. Vířivá kád'

Průběh usazování kalů

Zkušebními kohoutky 1, jejichž rozmístění a označení je patrné z popisu na obr. 1, pozice 1 až 5, se sledovalo usazování kalů:

1. v době odpočinku, tj. časem mezi skončeným čerpáním a začátkem spílání;
2. při spílání.

Hodnocení čirosi mladiny v různých místech objemu kádě dává přehled o postupu shromažďování kalů ke středu dna a udává dobu zahájení spílání, popř. i vhodnou polohu výpusti.

Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 1 až 4, a to v závislosti na vstupní rychlosti mladiny.

Vlastní proces usazování kalů lze podle výsledků hodnocení odebraných vzorků i podle vizuálního porovnání rozdělit na dvě fáze. Přitom je nutno předeslat, že při čerpání se ke středu dna shromáždí pouze nejtěžší částice, ve větší míře nastává usazování teprve po vyčerpání celého objemu várky, když rotace kapaliny není rušena a vytvoří se aktivní středový vír. V této době probíhá nejprve sedimentace kalů ke dnu působením tíhového

zrychlení. Zároveň pak se kaly posunují po dnu směrem ke středu a shlukují se do charakteristického kužele.

Za 30 minut po ukončení čerpání byly zaznamenány rozdíly v obsahu kalů u vzorků odebíraných u kraje kádě z hladiny a od dna (tabulka 2).

Zahájit spílání se podle zahraničních zkušeností [2] doporučuje po 20 až 30 minutách od konce čerpání. Z tabulek 1 a 2 však vyplývá, že pro naše požadavky na čírost mladiny by byla tato doba příliš krátká. Vzorky z kohoutu 5, které prakticky reprezentují odebíranou mladinu, jsou ve všech případech po 20 minutách zakalené a obsahují ještě téměř původní množství hrubých kalů.

Během dalších dvaceti minut se snižuje obsah hrubých kalů v místě odběru na polovinu, takže mladina je jen mírně zakalená a může se spílat. Protože další sedimentace a shlukování ke středu kádě postupuje již velmi rychle, dosáhne se téměř

okamžitě plně uspokojující čírosti spílané mladiny. Zřejmě působí příznivě také okolnost, že ke vtoku se mladina strhuje i z míst výše nad dnem, proti odběru zkušebním kohoutkem, kde podstatně menší proudění tuto možnost neposkytuje.

Další prodlužování doby odpočinku, kterým by se zvýšila čírost prvního odběru, nelze doporučit. Jakákoli další prodleva se projeví na konci spílání menší soudržností kalového koláče a tedy i většími ztrátami mladiny. Stejná tendence se projevuje i u menších vstupních rychlostí (7 a 5 m/s), kdy je sice sedimentace zpočátku rychlejší, dosáhne se dříve požadované čírosti, ale usazené kaly nejsou dostatečně tuhé.

Utváření a zhutňování kalového kužele pokračuje i při spílání (tabulka 3) a dokonce se příznivě projevilo, jestliže je tento proces podporován delší dobou trvání rotačního pohybu obsahu kádě.

Tabulka 1

Obsah kalů v mladině na různých místech objemu kádě

Přítoková rychlost m/s	Odběr od ukončení čerpání	Obsah kalů (mg sušiny/100 g) vzorků, odebraných v místech odběru číslo					
		1	2	3	4	5	6
15	20 min	159	107	92	85	40	20
	40 min	—	533	238	59	20	14
11	20 min	158	91	93	69	47	18
	40 min	751	430	80	80	24	9,5
7	20 min	273	140	131	125	94	30
	40 min	1621	773	262	84	28	8
5	20 min	485	331	140	135	46	162
	40 min	2335	1097	107	29	18	8

Tabulka 2

Obsah kalů v mladině za 30 min po ukončení čerpání

Vstupní rychlost mladiny		15 m/s	11 m/s	5 m/s
obsah kalů mg sušiny/100 g	nahoře dole	18,51 35,38	15,73 32,75	22,38 33,43

Shlukování kalů pokračuje tak, že až po téměř 2 hodinách jsou všechny hrubé kaly shromážděny ve středu, na průměru asi 0,70 m.

To znamená, že výška kužele ponořeného při spílání v mladině musí přesáhnout 0,5 m. Takto vytvořený kužel není však dostatečně kompaktní, aby se při vyprazdňování udržel v původním tvaru. Jakmile poklesne hladina pod jeho vrchol, mladina obsažená v kalech počne vytékat, a tím se mění i jeho tvar. Výška se zmenšuje a tvoří se nová základna většího průměru, až ke konci spílání kaly dosahují téměř k okraji nádoby.

Tabulka 3

Koncentrace kalů u dna během spílání (1 až 4 odběrové kohouty u dna)

Doba od konce čerpání min	15 m/s				11 m/s				7 m/s				5 m/s				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
40	████████	████████	████████	—	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	—
80	████████	████████	████████		████████	████████	████████		████████	████████	████████		████████	████████	████████		
105	████████	████████			████████				████████	████████			████████	████████			
145	████████																

Vysvětlivky:

	husté kaly: 500 až 1 000 mg/sušiny.100 g
	zakalená mladina: 100 až 500 mg/sušiny.100 g
	mírně zakalená mladina: 20 až 50 mg/sušiny.100 g
	čirá mladina: do 10 mg/sušiny.100 g

Postup roztékání kalů je patrný z *tabulky 4*. Ani změna vstupní rychlosti mladiny nemá nijak podstatný vliv na tento nepříznivý proces (pouze velmi nízká vstupní rychlost — 5 m/s — nezaručuje vůbec dostatečné usazení kalů) a tak ve zkoušeném případě zůstává pouze jediná zdánlivá možnost jak roztékání kalů zabránit, tj. vhodně konstrukčně upravit dno.

Vliv vstupní rychlosti na čírost odebírané mladiny a konzistenci kalů

Mladinové čerpadlo ve varně bylo navrženo tak, aby zaručovalo dosažení předem požadované vstupní rychlosti max. 15 m/s a přečerpání várky během 12 až 15 minut. Tento předpoklad se vcelku splnil a byl ověřován nejprve měřením s vodou. Zároveň se ověřovala možnost regulace výkonu čerpadla šoupětem namontovaným v sání, což bylo důležité vzhledem k předpokládanému požadavku na zkoušení různých vstupních parametrů i pro zajištění dokonalého vyčerpání zbytku mladiny z cízu.

Při vlastních zkouškách však nebylo třeba škrtit čerpadlo, stačila pouze výměna vstupních trysek. Výměnou se dosáhlo plně vyhovujícího rozsahu rychlosti 4 až 15 m/s. Doby čerpání byly pro všechny vstupní rychlosti přibližně stejné (15 až 16 minut, 30 sekund), celé čerpání i s protláčkou trvalo 18 až 23 minut.

Z přehledu získaných výsledků (*tabulka 5*) vyplývá, že ve zvoleném rozsahu rychlosti nelze najít podstatných rozdílů ve výsledcích. Prakticky ve všech uvedených i dalších sledovaných várkách se dosáhlo 90 až 98% odloučení hrubých kalů, ztráta extraktu v sebraných kalech se pohybovala v rozmezí 0,25 až 0,40 %. Na výsledky mají značný vliv jednotlivé várky, sedimentační schopnost kalů, jejich vysrážení i celkový váhový obsah. Tyto vlastnosti, posuzovány z našeho hlediska, se dost podstatně měnily, což pochopitelně ztěžuje jednoznačné posouzení, na druhé straně však poskytuje větší provozní jistotu, uvážíme-li, že všechny výsledky jsou vcelku dobré.

Tabulka 4

Koncentrace kalů u dna při ukončení splnění (vysvětlivky viz tabulka 3)

Stav hladino- znaku (hl)	15 m/s				11 m/s				7 m/s				5 m/s			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30																
15																
10																
5																

Tabulka 5

Vliv změn vstupní rychlosti mladiny

rychlost výtoku tryskou	m/s	14,6	9,6	7,0	5,4	15,15	10,9	7,5	6,0				
stupňovitost mladiny	%	9,76	10,03	10,02	10,15	9,80	9,82	10,00	10,06				
objem várky	hl	304	292	296	294	284	289	300	293				
odpočinek	min	40	40	40	40	40	40	40	40				
množství kalů	kg	161,6	136	140,7	114	131,3	179,2	142,4	178				
		+ 12 l ml				+ 10,5 l ml				+ 13,6 l ml			
obsah sušiny v kalech nepromyto	%	15,60	16,07	16,37	15,27	18,60	14,96	16,00	15,07				
promyto	%	8,00	10,33	9,01	8,34	11,50	9,74	12,00	10,03				
obsah kalů v mladině za horka čiré	mg sušiny/ 100 g	5,69	9,14	4,89	6,70	6,60	4,47	4,20	3,73				
obsah kalů v mladině z varny	mg sušiny/ 100 g	36,47	52,70	46,34	51,19	48,50	38,42	26,20	42,29				
obsah kalů v mladině čerčené vířivou kádí	mg sušiny/ 100 g	9,51	12,11	7,77	7,95	9,80	5,22	7,20	5,29				
hrubé kaly	mg sušiny/ 100 g	30,78	43,56	41,45	44,49	41,90	33,95	22,00	38,56				
hrubé kaly zachycené vířivou kádí	mg sušiny/ 100 g	26,96	40,59	38,57	43,24	38,70	33,20	19,80	37,00				
účinnost vyčerení hrubých kalů	%	87	93	93	97	92	98	90	96				
ztráta extraktu výhozem kalů	%	0,44	0,27	0,35	0,27	0,36	0,32	0,24	0,34				

Použití rychlosti kolem 15 m/s za zkoušených podmínek nebylo vhodné. Krátce je možno uvést, že je to rychlost příliš velká, lze s ní sice dosáhnout dobrých výsledků, avšak pouze při zbytečném prodloužení doby odpočinku a zbytečné větší spotřebě energie.

Optimální se jeví aplikace rychlosti kolem 10 m/s; várky takto spílané měly hrubé kaly velmi dobře oddělené a odloučené v poměrně tuhé formě. Toho se již nedosáhlo při snížení rychlosti na 7 m/s a projevilo se pak markantně při použití rychlosti asi 5 m/s.

Negativně se projevuje přílišné prodloužení doby čerpání, a to i při stejné vtokové rychlosti. Pro ověření tohoto závěru bylo použito zkoušky, při níž byl průtok menší tryskou seškracen na rychlost odpovídající trysce většího průměru; tím se pochopitelně prodloužila doba čerpání (tabulka 6). Výsledkem bylo zhoršené vyčeření mladiny, další změny nebyly pozorovány. Za vhodnou lze tedy

Tabulka 6
Vliv doby čerpání

dobu čerpání (min)	15,50	23,15
vtoková rychlost (m/s)	10,4	10,2
průměr trysky (mm)	60	50
obsah kalů v mladine (mg sušiny/100 g)		
varna	34,71	32,74
u hladiny po 40minutovém odpočinku	10,98	12,05
spilka	5,70	6,54

považovat dobu čerpání asi 16 minut, její prodloužení až do 20 minut nebude mít pravděpodobně v provozu zjištělné negativní důsledky.

Závěr

V průběhu zkoušek s nově instalovanou vířivou kádí obsahu 300 hl se sledovala sedimentace kalů při čerpání a spílání mladiny a věnovala se pozornost určení vlivu přítokové rychlosti mladiny na činnost kádě.

Z výsledků vyplynuly závěry použitelné pro provoz a konstrukci vířivé kádě. Bylo zjištěno, že uspokojivé čírosti mladiny se dosáhlo až po 40 minutách po ukončení čerpání a je zajímavé, že shlukování kalů ke středu dna pokračuje intenzivně ještě dalších 60 minut. Po této době byly veškeré hrubé kaly shromážděny do poměrně malého kužele s průměrem základny asi 0,70 m. Při spílání posledních 15 hl mladiny z várky se však kaly znovu roztékají, základna kužele se rozšiřuje vytékáním mladiny zachycené v kalech.

Vstupní rychlost ve zkoušeném rozsahu 5 až 15 m/s čerpané mladiny neměla podstatný vliv na čírosti spílané mladiny a její ztráty. Z celkového rozboru výsledků sledovaných várek bylo hodnoceno jako optimální použití rychlosti kolem 10 m/s a nebylo doporučeno prodloužovat dobu čerpání na více než 20 minut.

Literatura

- [1] HUBER, F.: Praktische Erfahrungen mit dem Ausschlagbottich System Whirlpool. „Brauwelt“ 105, 1935: 939
- [2] KRAUSS, G.: Würzebehandlung. „Brauwelt“ 107, 1967: 792
- [3] ZANGRANDO, T.: Würzebehandlung. „Der Brauereitechniker“ 18, 1933: 394

Došlo do redakce 10. 9. 1968

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕДИМЕНТАЦИИ ТРУБА В ВИХРЕВЫХ ЧАНАХ

В эксплуатационных условиях изучались эффективность седиментации труба в вихревом чане емкостью 300 гл и влияние на ход седиментации, прозрачность суслу и консистенцию осадка скорости потока суслу, поступающего в чан. В конструкции чана были предусмотрены краники для отбора проб суслу из разных зон чана. В качестве критериев для оценки работы чана служили кроме прозрачности обработанного суслу, также степень удаления грубого труба и величина потерь экстракта в осадке. Удовлетворительное осветление суслу дала лишь обработка, продолжавшаяся минимально 40 минут. Труб сосредоточивался в центральной части дна чана еще дальнейших 60 минут после прекращения обработки. Скорость суслу на входе в чан изменялась в пределах от 5 до 15 м/сек. Оптимальные результаты были отмечены при скорости 10 м/сек. Длительность подачи суслу не должна превышать 20 минут.

EFFICIENCY OF SEDIMENTATION IN WHIRLING LAUTER TANKS

The efficiency of sedimentation in a 300 hl whirling lauter tanks has been studied to ascertain the settling of sludge on the bottom of the tank and relation between the flow velocity of incoming wort, consistency of sludge and clarification efficiency. The tank was fitted with cocks for taking samples from various points of the tank. The following criteria were applied to evaluate the process: clarity of wort, sludge separation rate (for coarse sludge) and losses of extract in settled sludge. To obtain satisfactory clarity the sedimentation process must last 40 minutes. Gradual settling continues some 60 minutes more. The intake velocity was controlled and the best results from the 5–15 m/sec range were obtained with 10 m/sec rate. The pumping phase should not exceed 20 minutes.

BEITRAG ZUR BEURTEILUNG DER TRUBSEDIMENTATION IM WHIRL- POOL-BOTTICH

Es wurde im Betrieb die Funktion eines Whirlpool-Bottichs mit dem Inhalt von 300 hl verfolgt und der Verlauf der Trubsedimentation auf dem Gefäßboden sowie auch der Einfluss der Zulaufgeschwindigkeit der Würze auf die Klarheit der behandelten Würze und die Trubkonsistenz beurteilt. Der Bottich war mit Proberhähnen ausgestattet, die die Probenabnahme aus den vom Standpunkt der Arbeit wichtigen Stellen ermöglichten. Es wurde hauptsächlich die Klarheit der ablaufenden Würze, der neu definierte Grobtrubabsonderungseffekt und die Extraktverluste im ausgeschiedenen Trub bewertet. Die befriedigende Würzeklärung wurde erst 40 Minuten nach der Beendigung des Ausschlagens erreicht; die Trubkoagulation zu der Mitte des Bottichbodens war noch während weiterer 60 Minuten intensiv. In dem erprobten Intervall der Zulaufgeschwindigkeiten 5 bis 15 m/s wurde die Geschwindigkeit 10 m/s als optimal festgestellt und es wurde empfohlen, die Ausschlagdauer nicht über 20 Minuten zu verlängern.