

Provzdušňovač mladiny - provozní zkušenosti

TOMÁŠ LEJSEK a MIROSLAV KAHLE, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

603.444

V mladině chlazené v uzavřeném protiproudém chladiči je zaznamenáván podstatný pokles množství rozpuštěného kyslíku. Tato zdánlivě zanedbatelná otázka způsobuje pak při kvašení značné potíže. Z technologického hlediska je optimální koncentrace kyslíku v mladině důležitým faktorem pro správnou činnost kvasnic. Při rekonstrukcích spílačích linek na uzavřený způsob chlazení je dokonalejší provzdušňovač nezbytným doplňkem. Je jistě logický rozdíl ve způsobu chlazení na sprchových chladičích, kdy již chladná mladina v tenkém filmu přichází do styku se vzduchem a naproti tomu, když v deskovém chladiči protéká systémem zcela uzavřených kanálů. Právě pro vyrovnání tohoto rozdílu je nutný v druhém případě další zásah — provzdušňování.

Rozpustnost kyslíku v mladině je při odpovídající teplotě a tlaku nižší než ve vodě, a to podle stupňovitosti až o 20 až 30 %. K přesnému vyčíslení se používá Pasteurova vzorce [8, 9, 10]. Jako minimální požadovaný obsah kyslíku v mladině uvádí *de Clerck* hodnotou 3 mg/l.

Požadovanému množství rozpuštěného kyslíku je přímo úměrné množství vzduchu, které má mladina obsahovat. Vlivem poměrně krátkodobého styku vzduchu s mladinou je rozpouštění kyslíku nedokonalé a k dosažení žádané koncentrace je nutno přivést značný přebytek vzduchu. Pro poměr rozpuštěného vzduchu k přivedenému uvádí *Scriban* [10] hodnotu 0,1 až 0,45, z níž je odvozen požadavek na přivedení 0,03 až 0,10 l vzduchu na l mladiny. Předpokládaná účinnost provzdušňování je tedy nízká, obdobné údaje však vyplývají i z diagramu, který uveřejnili *Pretzl* a *Reuther* [9].

Neméně důležitý je poznatek, že velikost bublin použitého vzduchu ovlivňuje příjem kyslíku a za nutnou podmínku úspěchu se považuje rozptýlení na bubliny průměru maximálně 0,5 mm. To vyžaduje otvor, jímž proudí vzduch, průměru okolo 50 μ m [4, 11].

Z dřívějších pokusů, konaných v laboratorním a čtvrtprovozním měřtku [12, 11], se zjistil vliv koncentrace kyslíku ve spílané mladině na přírůstek kvasnic. U 10 % mladiny odpovídá stupni nasycení vzduchem koncentrace 10,5 mg O_2 /l, při teplotě 0 °C. Výsledky ukázaly, že při stacionárním kvašení počáteční koncentrace kyslíku v dosti širokém rozmezí nasycení vzduchem nezpůsobuje skoro žádný rozdíl v přírůstku kvasnic [1, 2, 5]. Z praxe je známo, že rozhodujícím činitelem při nasycení mladiny kyslíkem je způsob chlazení. Stupeň nasycení při otevřeném způsobu chlazení se pohybuje v rozsahu 65 až 75 %, který odpovídá dávce postačující pro normální pomnožení kvasnic; průměrně 210 mg suš. na 100 ml 10% mladiny, (maximální teplota 9 °C). Naopak při uzavřeném způsobu chlazení nedosahuje koncentrace kyslíku ani nejnižší hranice uvedeného rozsahu a podle místních podmínek může stupeň nasycení klesnout až na 17 %.

Z možných způsobů provzdušňování mladiny je nejvýhodnější použít přístrojů, které dávkuje jemně rozptýlený vzduch do mladiny, protékající spílačím potrubím. Jako rozdělovací element se uplatňují porézní nerezavějící ocel [Poral] nebo keramické materiály [6]. *Pretzl* a *Reuther* [9] popisují provzdušňovač americké výroby s vrtanými jemnými dýzami. Uvedené provzdušňovače se připojují obvykle bezprostředně za chladič mladiny do potrubí, v němž proudí mladina dostatečnou rychlostí. Turbulence toku je jednou z nutných podmínek dokonalého rozptýlení bublin a rozpouštění.

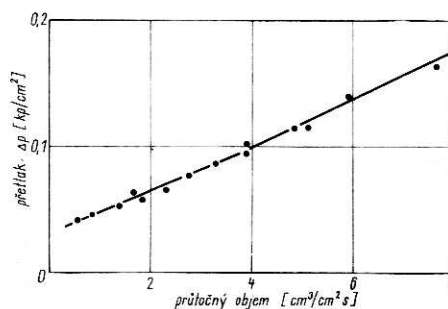
Vzduch, použitý k provzdušňování, musí být čistý, bez mikrobiálních zárodků. Z toho důvodu se obvykle před použitím filtruje, popř. i steriluje. Uplatňují se běžně známé vatové filtry nebo jednoduché deskové filtry a sterilace ultrafialovým zářením.

Popis provzdušňovače a metodika zkoušek

Návrh provzdušňovače byl vypracován ve strojním oddělení VÚPS Praha, výrobu zabezpečila vývojová dílna n. p. Jihočeské pivovary v Českých Budějovicích.

V případě návrhu se především věnovala pozornost volbě vhodného materiálu na vlastní provzdušňovací element a pak i detailnímu konstrukčnímu zpracování, které spolurozhoduje o dokonalém využití vzduchu. Při výběru porézního materiálu [7] bylo respektováno dosažení dostatečně malých bublin, vhodnost pro potravinářské použití a získání odpovídajícího průtoku vzduchu při malých tlakových spádech. Materiál měl být pevný a nepřilíš křehký a měl poskytovat možnost vyrobit plochy žádaného tvaru a rozměru. Z porovnávaných materiálů byl jako nejvhodnější zvolen bílý elektrit, který při vhodném zrnění výchozího materiálu poskytl požadované vlastnosti. Charakteristika průtoku vzduchu 5 mm tlustou stěnou zkušebního válečku je uvedena na obr. 1.

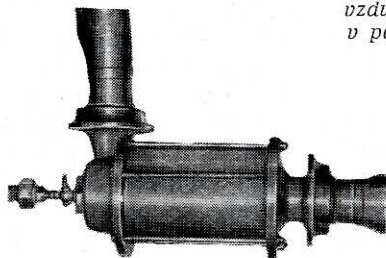
Provzdušňovač je konstruován pro umístění v pravoúhlém potrubním kolenu. Svíčka z porézního materiálu je snadno přístupná a viditelná. Další vybavení zabraňuje zpětnému průtoku mladiny do vzduchového potrubí v případě přerušení dodávky vzduchu. K ovládání průtoku vzduchu slouží jedno-



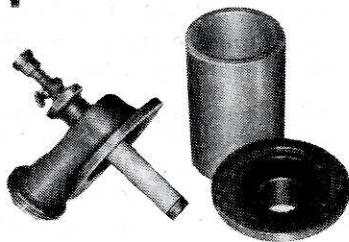
Obr. 1. Závislost potřebného přetlaku vzduchu na měřeném průtočném objemu (na cm^2) u zvoleného materiálu

duchý ruční kohout. Materiálové provedení splňuje požadavky pivovarského provozu. Rozměry a konstrukce je patrna z obr. 2 a 3. Přívod mladiny a vzduchu je shora.

Obr. 2. Pohled na provzdušňovač umístěný v potrubí



Obr. 3. Jednotlivé díly provzdušňovače (jak je naznačeno, povolením závitu je provzdušňovací svíčka odnímatelná od horního víka)



Vlastní pokusy se konaly přímo v provozních podmínkách. Provzdušňovač je zabudován do spílačního potrubí pivovaru Holešovice, kde je spílační linka složena z chladicích stoků a deskových chladiců.

Průběh kvašení se sledoval a hodnotil kromě běžné kontroly ještě podle růstu a sběru kvasnic a celkového obsahu dusíku. Maximální teplota v kvasných kádích byla 9 °C. Podmínky při dokvašování byly stejné.

Tabulka 1

Mladina 10 % hmot. světlá; 8,5 °C

Čís. měř.	Místo odběru	Provzdušňováno	Koncentrace O ₂ (mg/l)
1	stok (vzorek ochlazen)	—	0,2
2	na výtoku do kádě	ne	0,7
3	na výtoku do kádě	ne	1,6
4	kád po doplnění	ne	1,9
5	(přítok volným pádem kapaliny do kádě)	ne	2,1
6	na výtoku do kádě	ano	8,8 (max.)
7	kád po doplnění	ano	8,6 (max.)

Tabulka 2

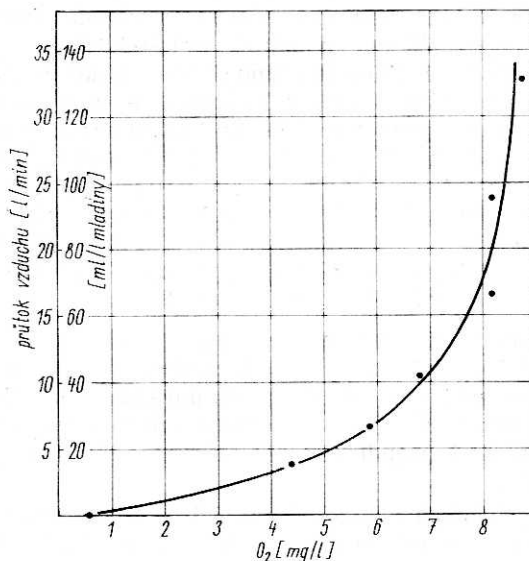
Čís. měř.	Koncentrace O ₂ v mladině (mg/l)	Průtok mladiny (hl/h)	Vzduch		Poměrné dávkování vzduchu mg O ₂ /l mlad.	Účinnost dávkování (%)	Nasycení (%)
			tlak (at)	průtok O °C 1 at (l/min)			
1	5,85	150	2,90	6,71	7,79	75,1	67,3
2	6,80	150	2,90	10,46	12,13	56,0	78,2
3	8,07	150	2,85	16,47	19,11	42,6	91,7
4	8,22	150	2,85	23,90	27,75	29,4	94,5
5	8,75	150	2,85	32,68	27,90	23,1	100,7
6	4,35	150	2,85	3,92	4,50	95,5	50,0
7	0,55	150	2,85	0	—	—	6,3

Množství přiváděného vzduchu se regulovalo ručně, v závislosti na zjištěné koncentraci kyslíku v mladině. K zjištění jeho průtoku se použilo univerzálního rotometru výrobce n.p. Laboratorní přístroje, typ PRU.U., tlak vzduchu v přívodním potrubí (tj. v místě měření rotametrem), se zjišťoval pružinovým manometrem. K stanovení koncentrace kyslíku v mladině se použilo analyzátoru MU-64, který vyrobily Vývojové dílny ČSAV v Praze.

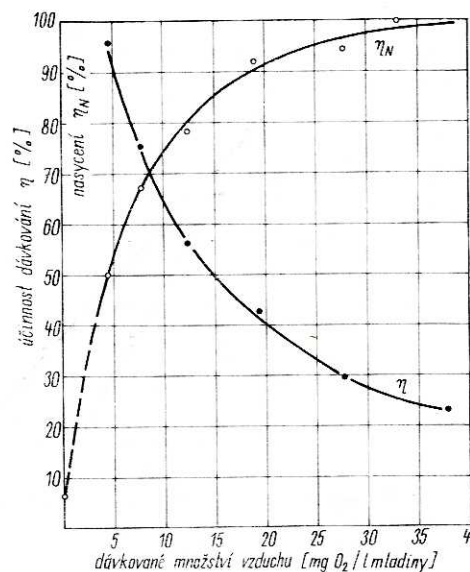
Experimentální část

Vlastním provozním zkouškám provzdušňovače předcházely průzkum dosavadní koncentrace kyslíku v mladině, a to v různých fázích chladicí linky. Měřilo se za podmínek, v nichž probíhalo i podrobné ověření funkce provzdušňovače a zachycuje se tedy původní výchozí stav. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1 a výpočtem podle Pasteurova vzorce by maximální koncentrace O₂ v mladině měla být pro danou teplotu 8,7 mg/l. Běžná hodnota koncentrace za předpokladu, že se neprovzdušňuje, pohybuje se v rozmezí 0,7 až 2,1 mg/l, tj. 8 až 24 % z max. nasycení podle způsobu přítoku mladiny do kádě.

V tabulce 2 a obr. 4 jsou uvedeny výsledky sledování vzájemného vztahu mezi množstvím vzduchu použitého při provzdušňování a množstvím kyslíku,



Obr. 4. Závislost rozpuštěného množství kyslíku na dávkování vzduchu



Obr. 5. Účinnost dávkování (η) a nasycení (η_N) v závislosti na dávkovaném množství vzduchu

rozpuštěného v mladině. Účelem bylo stanovit účinnost dávkování O_2 , tj. podíl koncentrace v mladině k měrnému přivedenému množství vzduchu. Poslední sloupec zachycuje údaje o dosaženém obsahu O_2 v mladině v poměru k maximálnímu teoretickému rozpuštěnému množství. Zjištěné průběhy účinnosti dávkování a nasycení jsou znázorněny na obr. 5. Zde se projevila hranice dávkování (10 mg O_2 /l mladiny, tj. asi 35 ml vzduchu/l mladiny), od níž je další zvyšování průtoku vzduchu neúčinné a bez vlivu na příjem kyslíku mladinou.

Pro sledování průběhu kvašení byl zvolen trvalý průtok vzduchu 10,5 l/min. Průtok mladiny kolísá jen nepatrně a lze jej považovat za konstantní.

K porovnání vlivu koncentrace kyslíku se vybraly vždy dvě kádě ve spilce; do jedné se mladina sespírala bez vzdušnění, v druhé kádě byla mladina, která se vzdušnila při spílání. Po doplnění obou kádí se mladiny k lepšímu rozptýlení kvasnic promíchaly vzduchem.

V tabulce 3 a obr. 6 jsou uvedeny výsledky měření.

Tabulka 3

Čas hodiny	Nevzdušněno		Vzdušněno	
	sušina kvasnic mg/100 ml	zdánlivý extrakt % hmot.	sušina kvasnic mg/100 ml	zdánlivý extrakt % hmot.
zakvašeno	32,6	9,81	42,3	10,04
24	58,8	9,41	63,7	9,34
48	103,9	8,37	117,5	8,28
72	171,6	6,73	211,7	6,10
96	191,7	5,44	252,5	4,33
120	187,3	4,71	242,0	3,61
144	—	4,05	—	2,80
168	69,8	3,47	57,5	2,33

Maximální teplota 9 °C. K zakvašení se použilo kvasnic Holešovice B.

Tabulka 4

	Nevzdušněno	Vzdušněno
Množství mladiny (hl)	160	162
Obsah O_2 (mg/l mladiny)	1,6	6,5
Množství násadních kvasnic (l)	70	70
Sušina násadních kvasnic (% hmot.)	15,4	15,7
Množství sebraných kvasnic (l)	150	300
Sušina sebraných kvasnic (% hmot.)	16,1	14,9
Celkový N_2 v mladině (mg/100 ml)	61,5	64,3
Celkový N_2 v mladém pivě (mg/100 ml)	47,0	37,0

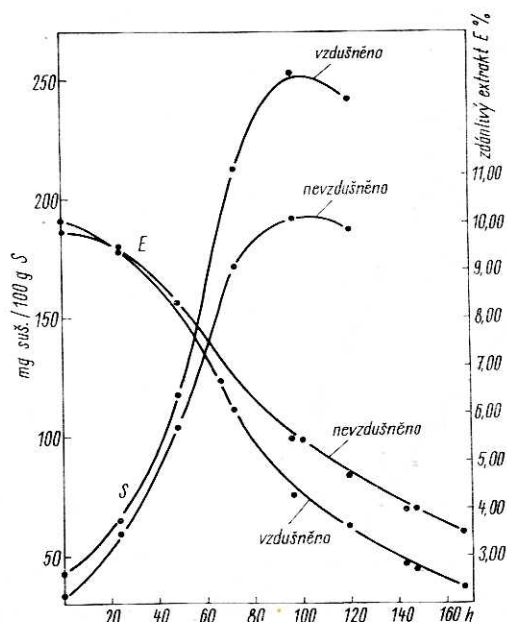
Uvedené výsledky jasně dokazují důležitost esenciální koncentrace kyslíku pro růst kvasnic.

Pokles kyslíku v mladině po zakvašení se určoval v daných časových intervalech a zjištěné hodnoty byly znázorněny graficky (obr. 7 a 8). Získaly se vždy přímky různého úhlu stoupání, který byl závislý na výchozím množství kyslíku a kvasnic. Doba potřebná k vydýchání kyslíku se průměrně pohybuje v rozmezí 3 až 6 h po zakvašení. Po této době nebyl v mladině zjištěn již žádný kyslík. Lze říci, že rychlost úbytku kyslíku stoupá s koncentrací násadních kvasnic.

V tabulce 5 a 6 jsou výsledky měření za různých podmínek.

Zajímavou praktickou otázkou je, do jaké míry se mohou měnit vlastnosti provzdušňovací svíčky během používání, popř. zda se nemůže mladina mikrobiálně znečistit ze zbytků usazených v pórech. Z těchto důvodů byla svíčka po čtyřměsíčním provozu vymontována a podrobena zevrubnému průzkumu. Přitom je nutno dodat, že po celou dobu se provzdušňovač běžně čistil spolu s chladičem a potrubím.

Prostupnost používané hmoty se při provozu v zjištěných mezích vůbec nezměnila, což bylo



Obr. 6. Průběh hlavního kvašení u vzdušněné a nevzdušněné mladiny

Tabulka 5

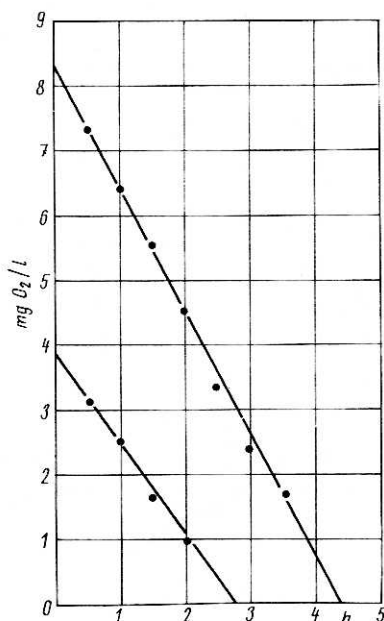
Hodin po za- kvašení	mg O ₂ /l 90 mg suš./ /100 ml násad. dáv.	mg O ₂ /l 93 mg suš./ /100 ml násad. dáv.
0	3,9	8,3
1/2	3,1	7,3
1 1/2	2,5	6,4
2	1,4	5,5
2 1/2	0,9	4,6
3	—	3,4
3 1/2	—	2,4
4	—	1,7

Tabulka 6

Hodin po za- kvašení	mg O ₂ /l 78 mg suš./ /100 ml násad. dáv. (křivka I)	mg O ₂ /l 54 mg suš./ /100 ml násad. dáv. (křivka II)
0	6,4	6,0
1/2	5,4	5,6
1	4,5	4,9
1 1/2	3,5	4,3
2	2,8	3,7
2 1/2	1,9	3,1
3	0,9	2,8
3 1/2	—	2,0
4	—	1,6
4 1/2	—	1,0

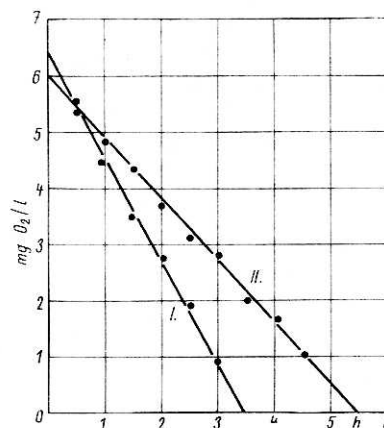
dokázáno hodnocením průtoku vzduchu a tlakové ztráty na zkušebním zařízení. Zjištěná křivka se zcela kryje s původní (obr. 1) a rozptýl hodnot odpovídal běžnému stanovení.

Při vyšetřování biologické čistoty porézního materiálu se pracovalo Kochovou metodou. Po vypláchnutí svíčky sterilní vodou a zaočkování mladiny želatiny touto tekutinou, nalily se deskové kultury



Obr. 7. Pokles množství rozpuštěného kyslíku v zakvašené mladině

Teplota mladiny 6,2 °C; různá výchozí koncentrace O₂; stejná násadní dávka — 90 mg suš./100 ml



Obr. 8. Pokles množství rozpuštěného kyslíku v zakvašené mladině

Teplota mladiny 5,7 °C; stejná výchozí koncentrace O₂; různá násadní dávka

do Petriho misek. Počet zárodků se stanovil po 6 dnech inkubace při 22 °C. Zjistily se pouze mikroorganismy ztekucující želatínu a plísně, tedy zárodky, které nepočítáme k zárodkům škodlivým piva. Z celkového počtu 12 kolonií byly 4 kolonie plísně a 8 kolonií ztekucující želatínu. Bližší identifikace mikroorganismů se neprováděla.

Diskuse

Uzavřený způsob chlazení je nesporně výhodnější než způsob otevřený. Vyžaduje však dokonalé provzdušnění mladiny po zchlazení na zákvasnou teplotu, kdy jsou pro rozpustnost kyslíku nejlepší fyzikální a technologické podmínky. Rychlost rozpouštění je však závislá ještě na mnoha faktorech a lze ji vypočítat z rovnice, kterou uvádí Finn [3]. V zásadě platí, že v nemíchaném prostředí musí být vzduch dokonale rozptýlen, má-li se rozpouštět. Nejčastěji se používá k rozptýlení porézního materiálu. Při vzdušnění prováděném obvykle v praxi děrovanými trubicemi se uplatňuje pouze sekundární efekt, míchání kapaliny vzduchem. Tím se zajistí lepší styk kvasnic se substrátem, avšak obsah kyslíku v mladině se nezvyšuje.

Z průběhu úbytku kyslíku po zakvašení (obr. 5, 6) vyplývá, že je důležitý poměr množství rozpuštěného O₂ k násadní dávce, vztaženo na základní jednotku. Podle způsobu a časového odstupu po zakvašení se projeví větrání přímo na chuti a vůni piva. V nevzdušněné mladině, chlazené v uzavřeném systému se prodlužuje nejen lag-fáze, nýbrž celý průběh kvašení. Předávkování vzduchu se projevuje značným pěněním, avšak obsah kyslíku nemůže být vyšší než asi 10 mg/l (v závislosti na teplotě mladiny). Vyšší dávkování vzduchu neznamená také, jak bylo zjištěno, nadměrný vzrůst obsahu rozpuštěného kyslíku. Větší přívod vzduchu, než odpovídá optimálnímu nasycení, nemá smyslu a je ztrátový. V každém případě je nejvhodnější seřadit přívod vzduchu na optimální hodnotu, aby se zajistil dostatečný obsah kyslíku a dobrá účinnost větracího zařízení.

Malá pozornost, která se zatím věnuje vlivu výchozí koncentrace kyslíku na průběh kvašení způ-

sobuje často potíže a jejich příčiny se přisuzují obyčejně špatné aktivitě kvasnic. Hlavní příčina nižšího prokvašení a prodloužení doby fermentace je menší růst buněk. Úplné zastavení růstu buněk pro nízkou hladinu rozpuštěného kyslíku však při stacionárním kvašení skoro nenastane. Je to způsobeno jednak určitým provětráním kvasnic při sběru a praní, jednak omezeným využitím sebraných kvasnic pro další kvašení. Přesto, vzhledem k průběhu kvašení, musí se obsah rozpuštěného kyslíku při uzavřeném způsobu chlazení upravit do datečným větráním mladiny.

Závěr

Účelem provedených zkoušek bylo ověřit větrací zařízení, navržené na základě rozboru výsledků spotřeby kyslíku při kvašení a teorie jeho rozpouštění v kapalinách. Nejdůležitějším úsekem, kterému se věnovala podstatná část fyzikálních měření, byl výběr vhodného porézního materiálů. Umístění celého zařízení do spílačního potrubí vyžadovalo volit snadno čistitelnou konstrukci. Po odzkoušení prvního prototypu se vyrobil provzdušňovač s parametry, které vyhovují provozním potřebám.

Ze získaných hodnot vyplývá, že navržený provzdušňovač mladiny vyhovuje plně technologickým požadavkům. Provzdušňováním se opět dosáhlo požadované rovnováhy v obsahu rozpuštěného kyslíku, která byla porušena zavedením uzavřeného způsobu chlazení v deskových chladičích.

Přístroj umožňuje dosáhnout optimálního rozpouštění kyslíku pro předpokládaný výkon 200 hl mladiny/h, a to s potřebnou rezervou. Zjištěná účinnost dávkování dosahuje překvapivě dobrých hodnot při 75% optimu rozpouštění (asi 10 l/min při 1 at). Seřízením množství dávkovaného vzduchu lze tedy dosáhnout optimálního obsahu kyslíku v mladině, zabránit zbytečné spotřebě vzduchu a nadměrnému pění mladiny.

Literatura

- [1] Andreassen, A. A. - Stier, T. J.: Anaerobic Nutrition of *Saccharomyces cerevisiae*. I. Ergosterol Requirements for Growth in a Defined Medium. = „J. Cell. Comp. Physiol.“, **48**, 1953: 95.
- [2] Bauchop, T. - Elsdon, S. R.: The Growth of Microorganism in Relation to Their Energy Supply. = „J. Gen. Microbiol.“, **23**, 1960: 457.
- [3] Finn, R. K.: Agitation-aeration in the Laboratory and in Industry. = „Bacteriol. Rev.“, **18**, 1954: 254.
- [4] Franz, B.: Der optimale Bedarf an molekularem Sauerstoff in den Zuchtungsstufen der Presshefefabrikation. = „Die Nahrung“, **2**, 1959: 1104.
- [5] Kahler, M. - Hospodka, J. - Časlavský, Z.: Influence of Aeration of Wort during Continuous Beer Fermentation. = „ASBC Proc.“, 1965.
- [6] Lagakos, J.: Porous Stainless Steel Polishing. = „Amer. Brewer“, **94**, 1961: 38.
- [7] Lejsek, T.: Závěrečná zpráva — Výzkum kontinuální výroby piva, úsek C. 1965: 38.
- [8] McCully, R. et al.: Air in Beer, Part IV. The Solubility of Air in Beer Wort. = „Amer. Brewer“, **83**, 1950: 27.
- [9] Pretzl, O. - Reuther, H.: Moderne Würzebelüftung. = „Brauwelt“, **106**, 1966: 853.
- [10] Scriban, R.: Das Belüften der Würze und das Anstellen. = „Brauwelt“, **102**, 1962: 1249.
- [11] Kahler, M.: Závěrečná zpráva — Výzkum kontinuální výroby piva, úsek B, 1963: č. XI, 2, 3. b.
- [12] Kahler, M.: — Závěrečná zpráva — Výzkum kontinuální výroby piva, úsek B. — 1964 — 1965: č. XI, 203—4.

Lektoroval Ing. J. Voborský

Došlo do redakce 31. 1. 1967.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ОПЫТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АЭРАТОРА СУСЛА

В статье анализируются результаты применения на практике аэратора суслу в условиях замкнутого цикла охлаждения. Было установлено, что при указанной системе охлаждения и при отсутствии устройств, обеспечивающих эффективную аэрацию, на ход сбраживания влияет весьма неблагоприятно недостаток кислорода. Описывается установка аэратора на трубопровод, обеспечивающая оптимальную концентрацию кислорода в сусле при минимальном расходе воздуха. Опытная установка себя полностью оправдала и отвечает всем производственным требованиям.

WÜRZEBELÜFTUNGSAPPARAT — BETRIEBSERFAHRUNGEN

Der Würzebelüfter wurde in Betriebsbedingungen in dem System der geschlossenen Würzekühlung erprobt. Die Ergebnisse zeigten, dass ohne Einschaltung der nachträglichen Würzebelüftung das geschlossene Kühlungssystem einen Sauerstoffmangel verursacht, der sich im Verlauf des Gärungsprozesses ungünstig auswirkt. Die direkte Einschaltung des Belüftungsapparates auf die Kühlwürzeleitung garantiert die Erreichung der optimalen Sauerstoffkonzentration in der Würze bei minimalem Luftverbrauch. Die entwickelte Apparatur hat sich vollkommen bewährt und entspricht allen Betriebsanforderungen.

PRACTICAL EXPERIENCE WITH WORT AERATOR

The article deals with the results achieved with a wort aerator installed in a brewery using a closed cycle cooling scheme. It has been found that without an additional aeration the closed cooling scheme affects very unfavourably the fermentation which is retarded through the shortage of oxygen. If the aerator is suitably incorporated in the pipeline it maintains optimum oxygen concentration in the wort with minimum air consumption. The described installation has proven its efficiency and meets the requirements of modern breweries.

