

MĚŘENÍ VZDUŠNÉHO KYSLÍKU A NADMĚRNÉHO PĚNĚNÍ PIVA V OBALECH

AIR OXYGEN AND GUSHING MEASUREMENT OF BOTTLED BEER

JAN ŠAVEL, Budějovický Budvar, n. p., Karoliny Světlé 4, 370 21 České Budějovice

Šavel, J.: Měření vzdušného kyslíku a nadměrného pění piva v obalech. Kvasny Prum. 50, 2004, č. 3, s 66–69.

Byla navržena jednoduchá metoda, umožňující měřit množství vzduchu v hrdle obalu s použitím elektrochemického oximetru s krytou elektrodou, připojenou na propichovací přístroj pro manometrické stanovení obsahu oxidu uhličitého v pivu. Plyn z hrdla obalu se po jeho propíchnutí nechá při průchodu oximetrem expandovat do atmosféry a z naměřených hodnot přetlaku v hrdle a údaje oximetru se vypočte množství vzduchu v hrdlovém prostoru. Metoda je rychlá a přesná. Při současném měření obsahu kyslíku v hrdle obalu i piva se vhodně použijí dva senzory, napojené na jeden oximetr. Pro určení náchylnosti piva k nadměrnému pění (gushing) se korunka lahve s pivem po jejím třepání a uklidnění propíchla, odpustil se přetlak oxidu uhličitého a měřila kinetika opětovného nárůstu přetlaku po uzavření komůrky přístroje.

Šavel, J.: Air Oxygen and Gushing Measurement of Bottled Beer. Kvasny Prum. 50, 2004, No. 3, p. 66–69.

The simple method for head space air volume measurement was developed, using electrochemical Oxymeter with covered electrode connected to piercing apparatus. After crown cork piercing, the gas of bottle headspace passes Oxymeter and blows free into atmosphere, from overpressure values

measured in bottle neck and Oxymeter reading will be air volume in head space of bottle calculated. This described method is quick and accurate. At simultaneous measurements of oxygen volume in head space and in beer there can be used two sensors connected to one Oxymeter. To estimate the beer predisposition to gushing, crown cork of shaken out and calmed bottled beer had been pierced, after measurement chamber closing the CO₂ overpressure released and kinetic of supplementary overpressure accrual was measured.

Šavel, J.: Sauerstoff- und übermäßige Schaumbildungsmessung (Gushing) in der Umhüllung. Kvasny Prum. 50, 2004, č. 3, s. 66–69.

Um die Luftmenge in dem Flaschenhals messen zu dürfen, wurde eine einfache und zuverlässige Methode vorgeschlagen, die einen elektrochemischen Oxymeter mit einer bedeckten Elektrode anwändt. Die Elektrode wird an einem Kronenkorkenstichapparat angeschlossen. Nach dem Durchstechen einer Kronenkorkenkorke wird aus dem Flaschenhals entführte Gas über Oxymeter geleitet und ins Freie expandiert. Aus dem gemessenen Überdruck im Flaschenhals und aus dem Oxymeterwert wird eine Luftmenge im Flaschenhals gerechnet. Mit Vorteil werden zwei am einen Oxymeter angeschlossenen Sensoren zum gleichzeitigen Messen des Sauerstoffes im Flaschenhals und im Bier ange-

wandt. Um die Neigung des Bieres zur einen übermäßigen Schaumbildung (gushing) feststellen zu dürfen, wurde eine mit Bier gefüllte Flasche geschüttelt, nach der Beruhigung wird die Kronenkorken perforiert, Kohlendioxydüberdruck durch Freilassen reduziert, nach dem Messkammerwiederschließen die Kinetik des wiederantretenden Druckanstieges gemessen.

Шавел, Й.: Измерение кислорода воздуха и фонтанирования пива в упаковках. Kvasny Prum. 50, 2004, No. 3, стр. 66–69.

Предлагается простой метод, позволяющий измерять количество воздуха в горле упаковки с закрытым электродом, подключенным на прокалывающий прибор для определения содержания двуокиси углерода манометром. Газ в горле упаковки после ее прокола экспандирует после прохождения оксиметром в атмосферу и из намеренных величин избыточного давления в горле и данных на оксиметре рассчитывается количество воздуха в горле. Метод предоставляет точные результаты скорым путем. При одновременном измерении содержания кислорода в горле упаковки и в пиве применяются подходящий способ два сенсора, подключенные на один оксиметр. Для определения склонности пива к фонтанированию кроненкорка пивной бутылки после встряхивания и последующего успокоения прокалывается, освобождается избыточное давление двуокиси углерода и измеряется кинетика повторного повышения избыточного давления после закрытия камеры прибора.

Klíčová slova: celkový kyslík, pivo v obalu, vzduch v hrdle, rozpuštěný kyslík, analyzátor kyslíku, nadměrné pění
Keywords: total oxygen, packaged beer, air in headspace, dissolved oxygen, oxygen analyzer, gushing

1 ÚVOD

Obsah vzdušného kyslíku v hrdle lahve nebo plechovky náleží mezi důležité znaky kvality stáčeného piva. Tradiční metoda měření využívá převedení plynu z hrdlového prostoru obalu do plynové byrety, v níž se v silném roztoku alkalického hydroxidu pohltí oxid uhličitý a zbytek plyné fáze se považuje za vzduch, obsahující přibližně jednu pětinu objemu kyslíku. Tuto metodu také uvádí analytika EBC ve dvou variantách (nálevková 11.2.1 a propichovací metoda 11.2.2) [1].

V současnosti dosáhla úroveň celkového obsahu kyslíku v pivu tak nízkých koncentrací, že stanovení kyslíku plynovou byretou ztrácí smysl. Její nedostatky zahrnují:

- nízkou citlivost (min. 0,1 ml plynu)
- neznámý podíl kyslíku v analyzovaném plynu
- práce s nebezpečnou látkou (alkalický hydroxid).

Také použití dusíku při výrobě piva zneumožňuje objemové měření kyslíku v plynové byretě. Separátní stanovení kyslíku v hrdlovém prostoru obalu má přitom velký význam, neboť obsahuje informaci o kvalitě stáčení piva včetně účinnosti odstraňování vzduchu z hrdlového prostoru před uzavřením obalu.

Tuto úlohu obvykle řeší analýza obsahu kyslíku v plyné i kapalně fázi piva v stočeném obalu. V současnosti jsou na trhu analyzátoři umožňující změřit obsah kyslíku buď

v plyné, nebo kapalně fázi okamžitě po stočení a po ustavení rovnováhy kyslíku mezi oběma fázemi po důkladném protřepání piva v obalu. Tento postup vede k výpočtu koncentrace nebo množství kyslíku v obou fázích a k celkovému obsahu kyslíku v obalu. Použití přídavné nádoby připojené k hrdlovému prostoru obalu umožňuje navíc stanovit jeho objem [2].

Stanovení celkového zatížení piva kyslíkem po stočení zahrnuje stanovení obsahu kyslíku v plyné fázi v hrdle obalu nebo v kapalině (pivu) ihned po stočení a po jeho důkladném protřepání. Tento postup vyvinuli Vilacha a Uhlig [3, 4].

Základem původního odvození výpočtového vzorce byla bilance kyslíku, nacházejícího se v plyné i kapalně fázi nápoje. Odvození využívalo Henryho zákona s tehdy obvyklými jednotkami za několika přijatelných zjednodušení:

$$(1) P_{O_2} = K \cdot X$$

kde P_{O_2} byl parciální tlak kyslíku, X byla koncentrace kyslíku v kapalině v mg.kg⁻¹ (ppm) a K byla Henryho konstanta v atm.10⁶ (kg.cm⁻².mg⁻¹.kg). V kombinaci se stavovou rovnicí se množství kyslíku v plyné fázi počítalo podle vztahu:

$$(2) m(g) = \frac{K \cdot V_h \cdot X \cdot M}{R \cdot T}$$

kde $m(g)$ byl obsah kyslíku v plyné fázi v mg,

V_h objem hrdla v ml, M byla molární hmotnost kyslíku, T – teplota v K a R byla hodnota plynové konstanty 0,082 l.atm.mol⁻¹.deg⁻¹. Množství rozpuštěného kyslíku v kapalně fázi $m(l)$ v mg bylo:

$$(3) m(l) = W \cdot X = V_c \cdot X$$

kde W byla hmotnost, V_c byl celkový objem piva v obalu, přičemž se předpokládalo že 1 litr piva váží 1 kg, $W \approx V_c$. Kombinací obou vztahů se získal výsledný vztah, v němž se celkový obsah kyslíku v obalu, vztahovaný na jednotku hmotnosti (objemu) piva, počítal podle:

$$(4) \frac{m(g) + m(l)}{W} = \left(\frac{K \cdot V_h \cdot M}{V_c \cdot R \cdot T} + 1 \right) \cdot X = Z \cdot X$$

kde hodnota Z se pro usnadnění výpočtu tabulovala pro různé hodnoty procentického podílu $HS = 100 \cdot V_h/V_c$.

$$(5) Z = \left[\frac{32 \cdot 1000 \cdot HS \cdot (4,15 \cdot 10^{-7} T^2 + 2 \cdot 10^{-4} T - 0,0701)}{0,082 \cdot T \cdot 1,0332 \cdot 100} + 1 \right]$$

kde faktor 1,0332 tehdy sloužil pro přepočet tlaku v atm na tlak v barech.

V analytice EBC (metoda 11.5) se číselné hodnoty konstant sloučily, takže výsledný tvar vztahu (5) je:

$$(6) Z = \left[\frac{3777 \cdot HS \cdot (4,15 \cdot 10^{-7} T^2 + 2 \cdot 10^{-4} T - 0,0701)}{T} + 1 \right]$$

S použitím stejné strategie odpovídá obsahu kyslíku v plynné fázi podle vztahů (10, 11) v rovnovážném stavu množství kyslíku v kapalině podle:

$$(7) \quad m(g) = \frac{K \cdot V_h \cdot M}{V_c \cdot R \cdot T} \cdot m(l) = (Z - 1) \cdot m(l)$$

Ačkoliv metoda byla vyvinuta s použitím analyzátoru Digox (Německo), později ji pracovala firma Orbisphere (Švýcarsko) a rozšířila pro využití automatických analyzátorů se základním měřením v plynné nebo kapalně fázi [2]. Analyzátoři se zpravidla používají k měření obsahu kyslíku a oxidu uhličitého v plynné i kapalně fázi obalu, s využitím membránového čidla lze měřit i dusík. Nevýhodou jsou vysoké ceny těchto analyzátorů. Samostatné měření obsahu kyslíku v plynné fázi obalu nabízí také firma REGOM (ČR) s oximetrem pro plynnou fázi, udávajícím výsledky objemovým podílem kyslíku v plynné fázi.

Ačkoliv automatické analyzátoři obsahu plynu v kapalně i plynné fázi umožňují zpracování velkého počtu vzorků, jsou jejich základní principy měření jednoduché a napodobitelné s použitím mnohem jednodušších a levnějších přístrojů. Tyto jednoduché přístroje se navíc mohou využít i k řešení jiných úloh, např. k měření intenzity nadměrného pění, tzv. gushingu. Pro tyto úlohy lze použít většinu jednoduchých přístrojů, používaných pro manometrické stanovení oxidu uhličitého v pivu, popř. v kombinaci s oximetrem.

Cílem práce bylo navrhnout postup pro měření obsahu kyslíku v hrdlovém prostoru obalů s použitím běžného laboratorního oximetru, který se používá k měření obsahu kyslíku rozpustného v pivu. Postup se zakládá na změření tlaku plynné fáze v hrdle obalu a objemového podílu kyslíku v něm s použitím oximetru.

Samovolné uvolňování oxidu uhličitého po otevření lahve doprovází nadměrné pění piva (gushing). Otevření lahve se napodobí propíchnutím korunky a po následném uzavření hrdlového prostoru se předpokládá, že intenzita gushingu souvisí s rychlostí nárůstu tlaku.

2 MATERIÁL A METODY

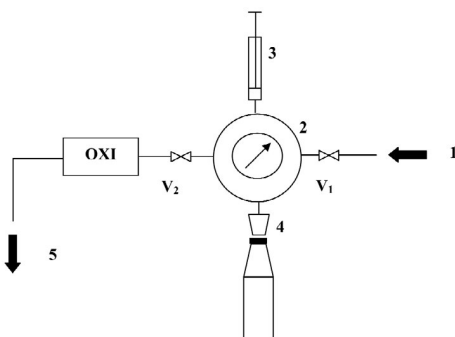
2.1 Přístroje

K měření se použil oximetr OXI 3650 (Orbisphere, Švýcarsko) ve spojení s přístrojem pro měření oxidu uhličitého s ručičkovým manometrem, nebo digitálním záznamem dat (1-CUBE, ČR). Vnitřní objem komůrky oximetru byl 1,6 ml, spojovací hadičky 2,0 ml a vstříkací pumpičky 3,0 ml.

2.2 Měření kyslíku v hrdle obalů

Plynovou analýzu obsahu kyslíku lze napodobit s využitím běžného oximetru a propichovací hlavy, které jsou součástí přístroje na stanovení obsahu oxidu uhličitého v lahovém pivu. Příklad sestavy s použitím propichovací hlavy s přídavnou pumpičkou pro měření obsahu oxidu uhličitého v pivu uvádí obr. 1. Měřicí postup zahrnuje:

- propláchnutí přístroje inertním plynem (V_1 , V_2 otevřené), odečet obsahu zbytkového kyslíku O_{zb} . Těsnicí zátka propichovací jehly lehce přiléhá na korunku lahve a vytváří mírný přetlak. Inertní plyn uniká přes oximetr a vodní uzávěr do atmosféry,
- propíchnutí závěru lahve (V_1 , V_2 zavřené), odečet přetlaku v hrdle P_{hr} ,



Obr. 1 Sestava k měření obsahu vzdušného kyslíku v hrdle obalu

1 – přívod inertního plynu, 2 – propichovací hlava s manometrem, 3 – vstříkací pumpička, 4 – pryžová těsnicí zátka, 5 – výstup přístroje, V_1 , V_2 – ventily, OXI – oximetr

- expanze plynu (V_1 zavřený, V_2 otevřený), odečet údaje oximetru O_{ex} .

K tomuto postupu lze použít různých propichovacích přístrojů a v základním provedení není nutná vstříkací pumpička. Objem hrdlového prostoru se potom měří šablonou, po doplnění vodou apod. Většina oximetrů se kalibruje na vzduch pro následné měření v kapalině, tzn. že údaj oximetru vyjadřuje rozpustnost vzdušného kyslíku v destilované vodě, zpravidla v jednotkách ppm, což je jedna část z milionu, přibližně mg $O_2 \cdot l^{-1}$. Rozpustnost vzdušného kyslíku v čisté vodě udávají např. tabulky, citované podle [2]. Po nastavení přístroje se jeho údaje automaticky korigují na teplotu, ale nikoliv na tlak. V laboratorních pokusech se tlak často měří přetlakovými manometry, proti tzv. normálnímu atmosférickému tlaku P_{nm} 101,325 kPa.

Většina oximetrů také může měřit kyslík v plynné fázi s udáním objemového podílu kyslíku v plynu, což pro vzduch činí 20,9 % obj. kyslíku. Pokud se zanedbá vnitřní objem propichovacího přístroje a měřicí hlavy, platí pro expanzi plynu z hrdlového prostoru do atmosféry vztah (8).

$$(8) \quad V_{ex} + V_{hr} = V_{hr} \cdot \left(\frac{P_{hr} + P_{nm}}{P_{ak}} \right)$$

kde V_{hr} je objem hrdlového prostoru, V_{ex} je objem plynu uniklého z hrdla obalu po expanzi, P_{hr} je přetlak po propíchnutí obalu proti normálnímu absolutnímu tlaku P_{nm} a P_{ak} je skutečný, aktuální okolní tlak, přičemž se předpokládá stejná teplota okolí i plynu v hrdle obalu.

Pro dokonalé propláchnutí spojovací trubičky a měrné komůrky oximetru se požaduje alespoň pětinašobný objem plynu po expanzi ve srovnání s objemem plynu v oximetru a spojovací trubičce při stejném tlaku P_{ak} :

$$(9) \quad V_{ex} \geq 5 \cdot (V_{ox} + V_{tr})$$

kde V_{ox} je vnitřní objem oximetru, V_{tr} je objem spojovací trubičky s ventilem V_2 . Za předpokladu, že se tlak měří v kPa a okolní tlak se přibližně rovná 100 kPa, platí:

$$(10) \quad \frac{P_{hr}(kPa)}{100} \geq 5 \cdot \frac{(V_{ox} + V_{tr})}{V_{hr}}$$

Proto by měl přetlak plynu P_{hr} v hrdle lahve po propíchnutí korunky v uspořádání podle odst. 2.1 dosahovat alespoň 100 kPa, při nižší

hodnotě je možné přetlak zvýšit pomocí ventilu V_1 .

Před analýzou se po kalibraci vzduchem na rovnovážný obsah kyslíku ve vodě odečte aktuální údaj oximetru O_{ak} a zbytkový obsah kyslíku po propláchnutí oximetru inertním plynem O_{zb} , který by měl být nižší než 30 ppb. Objem vzduchu v hrdle obalu při teplotě a tlaku okolí se vypočte podle vztahu:

$$(11) \quad V_{vz} = (V_{ex} + V_{hr}) \cdot \left(\frac{O_{ex} - O_{zb}}{O_{ak}} \right)$$

kde V_{vz} je objem vzduchu za podmínek měření. Vzhledem k přesnosti měření je možné považovat okolní tlak za normální s hodnotou přibližně 100 kPa a vzorec (11) zjednodušit na:

$$(12) \quad V_{vz} = V_{hr} \cdot \left(\frac{P_{hr}(kPa)}{100} + 1 \right) \cdot \left(\frac{O_{ex} - O_{zb}}{O_{ak}} \right)$$

Obsah kyslíku v hrdle lahve se vypočte jako objemový podíl ze vzduchu násobením hodnoty V_{vz} objemovým podílem kyslíku 0,209. K stanovení hmotnostního množství kyslíku v hrdle obalu postačí stavová rovnice:

$$(13) \quad O_2(mol) = \frac{P_{ak} V_{hr}}{RT}$$

kde R je plynová konstanta a T teplota okolí v K. Při měření objemu v ml a tlaku v kPa se pro běžné laboratorní podmínky s teplotou 20 °C a normálním tlakem P_{nm} získá vztah:

$$(14) \quad O_2(mg) = konst \cdot V_{vz} = 0,278 \cdot V_{vz}$$

což znamená, že 1 ml vzduchu obsahuje 0,278 mg kyslíku.

Postup se může dále vylepšit měřením obsahu vzduchu po stočení obalu a po ustavení rovnováhy třepáním stanovit úplnou bilanci kyslíku. V tomto případě se obsah kyslíku vyjadřuje jeho koncentrací v pivu, obvykle v mg $O_2 \cdot l^{-1}$. Při výpočtu zatížení piva kyslíkem je ovšem nutno dělením vztáhnout toto množství na objem piva v obalu.

Přístroje se vstříkací pumpičkou pro stanovení obsahu oxidu uhličitého v pivu umožňují dále měření hrdlového prostoru, podobně jako automatické analyzátoři.

Při propichování je píst pumpičky aretováný v dolní poloze, po propíchnutí při zavřených kohoutech V_1 , V_2 se odečte obvyklým způsobem přetlak P_{hr} , přičemž propichovací razník zasahuje pouze do hrdlového prostoru, nikoli do piva. Pak se píst vysune do horní polohy, čímž se objem hrdla zvětší o přídavný objem ΔV a přetlak poklesne o ΔP . Postup lze opakovat a dosáhnout tak větší přesnosti. Objem hrdlového prostoru při teplotě měření se vypočte podle:

$$(15) \quad V_{hr} = \frac{(P_{vp} + P_{nm})}{(P_{hr} - P_{vp})} \cdot \Delta V = \frac{\Delta V}{\Delta P} \cdot (P_{vp} + P_{nm})$$

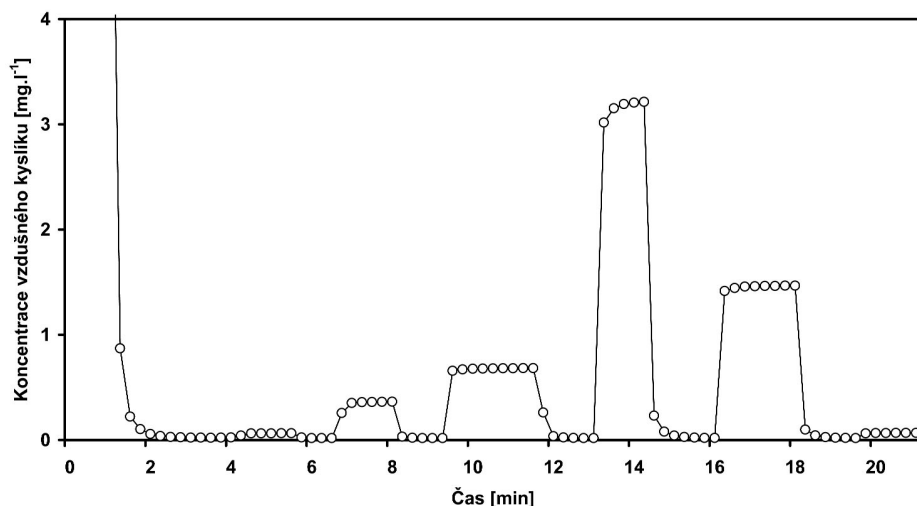
kde P_{vp} je přetlak plynu v hrdle po vysunutí pístu pumpičky do horní polohy.

2.3 Měření samovolného úniku oxidu uhličitého z piva

Přístroj pro měření obsahu oxidu uhličitého se také může využít pro měření jeho samovolného úniku z piva. Tento proces se napodobí propíchnutím uzávěru při zavřených ventilech V_1 a V_2 , změření tlaků P_{hr} a P_{vp} a výpočtem objemu hrdla V_{hr} . Odpuštěním tlaku ventilem V_2 a jeho opětovným uzavřením se u běžného piva nemění hodnota tlaku, zatímco u piva se

Tab. 1 Měření hrdlového prostoru a obsahu vzduchu v hrdle lahví ($O_{ak} = 7900$ ppb)

Číslo měření	Nastavené hodnoty		Změřené hodnoty				Vypočtené hodnoty	
	V_{vz} [ml]	V_{hr} [ml]	P_{hr} [kPa]	P_{vp} [kPa]	O_{zb} [ppb]	O_{ex} [ppb]	V_{vz} [ml]	V_{hr} [ml]
1	0	21,6	100	75	22	35	0,1	21,2
2	2	27	100	80	23	360	2,3	27,2
3	5	39,5	100	85	20	678	6,2	37,3
4	15	16,2	100	70	20	3190	13,7	17,1
5	8	18,2	100	72	22	1460	6,8	18,6
6	0,1	15,5	110	78	22	64	0,2	16,8



Obr. 2 Záznam oximetru pro vzorky č. 1–6 (tab. 1)

samovolným únikem oxidu uhličitého lze zaznamenat časově proměnný nárůst tlaku. Tento postup se může využít k měření sklonu piva k nadměrnému pění (gushing).

Při uvolnění oxidu uhličitého podle kinetiky prvního řádu a znalosti objemu hrdla lze vypočítat veličinu, charakterizující rychlost uvolňování oxidu uhličitého podle vztahu:

$$(16) P_{ac} = P_{kc} \cdot (1 - e^{-\frac{k}{V_{hr}} \cdot \tau})$$

kde P_{ac} je aktuální přetlak oxidu uhličitého v hrdle obalu, P_{kc} je konečný (pseudorovnovážný) rovnovážný přetlak unikajícího oxidu uhličitého. Tato hodnota se nemusí obecně shodovat s rovnovážným přetlakem oxidu uhličitého, dosahovaným např. intenzivním třepáním piva.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

3.1 Měření vzdušného kyslíku v hrdle obalu

Lahve piva, odebrané z lahvárenské linky (celkový obsah kyslíku < 100 ppb) se opatrně otevřely, jejich hrdlový prostor vyplnil pěnou vstříkem piva injekční stříkačkou (přepěněním) a odsátím různého objemu pěny se získaly vzorky s různým objemem vzduchu i hrdlového prostoru (nastavené hodnoty). Lahve se uzavřely korunkou a objem vzduchu i hrdlového prostoru stanovil podle odst. 2.2. Nastavený objem hrdlového prostoru se stanovil dodatečně pipetováním vody do jednotlivých vzorků po měření (tab. 1, obr. 2).

Jako nastavené hodnoty se v tab. 1 označují hodnoty dané nebo upravené před vlastním měřením, tj. objem hrdlového prostoru a objem vzduchu v něm. Jako změřené hodnoty se označují hodnoty, získané měřením

podle odstavce 2.2. Z nich se podle vztahů (12) a (15) počítaly hodnoty hrdlového prostoru a vzduchu v něm. Tyto hodnoty by se měly shodovat s nastavenými hodnotami.

Výsledky měření objemu vzduchu i hrdlového prostoru lahví se dobře shodovaly s nastavenými hodnotami při uvažování poměrně značné nepřesnosti při úpravě obsahu vzduchu v jednotlivých vzorcích. Grafický záznam znázorňuje rychlost odezvy přístroje, jedno měření trvalo asi 3 min (obr. 2).

Důležité je přitom, že vypočtený objem vzduchu udává také množství kyslíku podle vztahu (14). U objemu vzduchu, stanoveného plynovou byretou, není nikdy jisté, kolik kys-

líku skutečně obsahovala plynná fáze v podobě tzv. „vzduchu“.

Přímé měření kyslíku v hrdle lahví představuje přesnější alternativu proti objemové metodě s plynoměrnou byretou, a při souběžném měření stočených a protřepaných obalů lze stanovit i celkové zatížení piva kyslíkem. Současně je také možné měřit obsah oxidu uhličitého.

Oxid uhličitý se měří po uzavření obou kohoutů V_1 , V_2 po expanzi, která odstranila vzduch z hrdlového prostoru obalu. Vhodným impulsem, např. zpětným vstříkem piva, se ustaví rovnováha mezi oxidem uhličitým v hrdle a pivu a po odečtení rovnovážného přetlaku se vypočte obsah oxidu uhličitého.

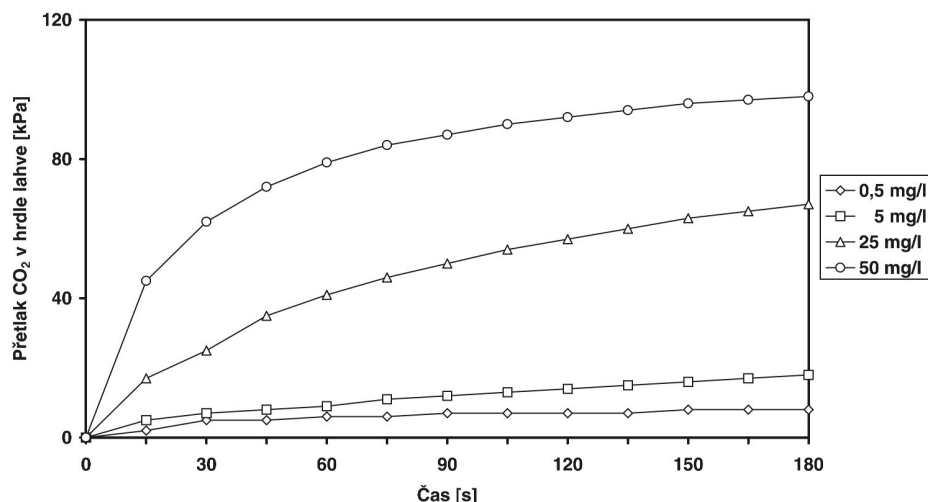
Pokud se použije tzv. rovnovážná metoda měření celkového obsahu kyslíku v pivu v obalu, musí se po protřepání (zpravidla 3–10 min) a uklidnění piva změřit množství kyslíku v rovnovážné plynné fázi a z něj vypočítat celkové zatížení piva kyslíkem v obalu násobením faktorem $Z/(Z - 1)$, což plyne ze vztahu (7). Tento postup jsme již experimentálně neověřovali a tab. 1 obsahuje pouze výsledky nerovnovážného měření u lahví bez třepání.

Protože měření celkového obsahu rozpuštěného kyslíku vyžaduje třepání naplněných obalů pro dosažení rovnováhy, je tato metoda pracná, a znemožňuje separátní měření obsahu kyslíku v hrdle obalu i piva u stejného obalu. Proto je vhodnější použít dvou oximetrů, nebo alespoň dvou senzorů, připojených na jeden přístroj.

Při použití dvou senzorů s jedním oximetrem se v jediném měření zjistí odděleně množství kyslíku v hrdle obalu i v pivu a tím i celkové množství kyslíku v obalu bez jeho třepání při velmi výhodné ceně sestavy.

3.2 Měření nadměrného pění piva

Manometrický přístroj pro měření oxidu uhličitého se používá k jeho stanovení výpočtem z rovnovážného přetlaku, ustaveného v hrdle po intenzivním třepání. Většina piv neuvolňuje výrazně oxid uhličitý ani po jejich třepání, následně uklidnění a po otevření obalu, výjimkou jsou piva náchylná k tzv. gushingu. Příčinou gushingu (nadměrného vypěnění po otevření lahve) jsou mikroskopické částice šťavelanu vápenatého, koloidních zákalů anebo bílkovinný faktor, pocházející z plísni.



Obr. 3 Samovolný vývin oxidu uhličitého v lahvovém pivu s různou dávkou křemeliny (0,5–50 mg.l⁻¹). Objem piva 500 ml, hrdlový prostor 20 ml, teplota 8 °C, obsah CO₂ 0,52 %

Pro napodobení tohoto jevu se do lahví piva, odebraných z lahvárenské linky, po otevření dávkovala suspenze křemeliny Hyflo Super Cel v malém množství vody a po vytěsnění vzduchu z hrdla pěnou se lahve opět uzavřely. Po 10 min třepání se lahve ponechaly 10 min v klidu, pak se v přístroji pro měření obsahu oxidu uhličitého s elektronickým tlakoměrem propíchlá korunka, odpustil přetlak oxidu uhličitého na nulovou hodnotu a po uzavření ventilů propichovací hlavy zaznamenávalo nové ustavení přetlaku pro různé dávky křemeliny v pivu (obr. 3). Pivo bez přídavku křemeliny nevykazovalo znatelný nárůst tlaku. Piva s dávkou nad 5 mg · l⁻¹ nadměrně pěníla po otevření lahví.

Techniku měření je nutno dále zpracovat, ale lze předpokládat, že by ji bylo možné využít k měření gushingu.

Literatura

- [1] Analytica-EBC, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, 1998.
- [2] Hale, J. M., Fitzgerald, B.: Instrumental analysis of all gases in beer. EBC Congress. Brusel, 1995, s. 661–669.
- [3] Vilacha, C., Uhlig, K.: Die Messung niedriger Gesamtsauerstoffgehalte im abgefüllten Bier. Brauwelt **124**, 1984, č. 17, s. 754–758.
- [4] Vilacha, C., Uhlig, K.: The measurement of low levels of oxygen in bottled beer. Brew. Dig. **61**, 1986, č. 3, s. 10–13.

Lektoroval Ing. Pavel Čejka, CSc.
Do redakce došlo 3. 11. 2003

Seznam symbolů a jednotek

HS	procentický podíl hrdlového prostoru z objemu piva	[%]
K	Henryho konstanta	[kg·cm ⁻² ·mg ⁻¹ ·kg]
$m(g)$	obsah kyslíku v plynné fázi (hrdle obalu)	[mg]
$m(l)$	obsah kyslíku v pivu v lahvi	[mg]
M	molární hmotnost kyslíku	[g·mol ⁻¹]
O_{ex}	údaj oximetru po expanzi plynu do atmosféry	[mg·l ⁻¹ , μg·l ⁻¹] [ppm, ppb]
O_{zb}	údaj oximetru po propláchnutí inertním plynem	[mg·l ⁻¹ , μg·l ⁻¹] [ppm, ppb]
O_{ak}	údaj oximetru v okolní atmosféře	[mg·l ⁻¹ , μg·l ⁻¹] [ppm, ppb]
P_{ak}	aktuální okolní tlak	[kPa]
P_{ac}	aktuální přetlak oxidu uhličitého v hrdle obalu	[kPa]
P_{hr}	přetlak v hrdle po propíchnutí korunky	[kPa]
P_{nm}	normální tlak (101,325)	[kPa]
P_{O_2}	parciální tlak kyslíku	[atm, kg·cm ⁻²]
P_{kc}	pseudorovnovážný přetlak oxidu uhličitého	[kPa]
P_{vp}	přetlak plynu v hrdle obalu po vysunutí pístu pumpičky	[kPa]
R	plynová konstanta (0,082)	[l·atm·mol ⁻¹ ·deg ⁻¹]
T	absolutní teplota	[K]
V_c	objem piva v obalu	[l]
V_{ex}	objem plynu uniklého z hrdlového prostoru po expanzi	[ml]
V_{hr}, V_h	objem hrdlového prostoru	[ml]
V_{ox}	vnitřní objem oximetru	[ml]
V_{tr}	objem spojovací trubičky	[ml]
V_{vz}	objem vzduchu v hrdle lahve při okolním tlaku a teplotě	[ml]
ΔV	objem pumpičky	[ml]
ΔP	pokles přetlaku po vysunutí pístu pumpičky	[kPa]
X	koncentrace kyslíku	[mg·kg ⁻¹ , ppm]
W	obsah piva v obalu	[kg]

Laboratorní vybavení

rotační odparky

termostaty

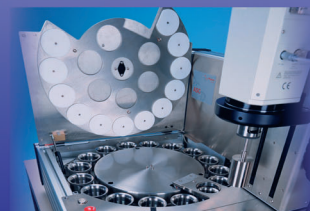
viskozimetry

laboratorní/provozní analyzátoři

refraktometry

pH metry

a další ...



in-line měření

Senzory

obsah alkoholu, extraktu,
stupňovitosti, CO₂, O₂, pH,
vodivosti, zákalu ...



Systémy

on-line karbonizace nápojů

průtokový paster

kontinuální úprava stupňovitosti

modulární systém pro odplynění vody

automatické provzdušňování mladiny

automatické dávkování kvasnic do mladiny

on-line úprava barvy a hořkosti piva

CIP stanice

vizualizace provozních dat



je tu pro Vás

Centec automatika s.r.o.

Pekařská 8, 155 00 Praha 5

Tel.: 257 084 111, Fax: 235 518 701

<http://www.centec.cz>, prodej@centec.cz