

Samovolný únik oxidu uhličitého z piva a gushing

Spontaneous Liberation of Carbon Dioxide from Beer and Gushing

JAN ŠAVEL, PETR KOŠIN, ADAM BROŽ

Budějovický Budvar, n.p., Karolíny Světlé 4, 370 21 České Budějovice / Budějovický Budvar, n.p., Karolíny Světlé 4, CZ-370 21 České Budějovice

e-mail: jan.savel@budvar.cz

Šavel, J. – Košin, P. – Brož, A.: Samovolný únik oxidu uhličitého z piva a gushing. Kvasny Prum. 59, 2013, č. 2, s. 33–40.

Únik oxidu uhličitého z láhve po jejím otevření se měřil jako časová závislost unikajícího plynu, nebo objem vynesené kapaliny přes okraj láhve. Výsledky potvrzují význam pevných částic a vazby plynů na jejich povrchu při samovolném úniku oxidu uhličitého z piva a syčené vody, která neobsahuje hydrofobiny. Tento mechanismus se může uplatnit u anorganických i organických látek včetně celulosy a aktivního uhlí, které lze považovat za tepelně degradovanou celulosu. Malé částice celulosy mohou být součástí piva, a k jejich vzniku může přispívat i napadení zrn plísní. Rozpad stěn zrn sladu se může urychlit prorůstáním plísní za tvorby nano- a mikročástic celulosy. Rychlost uvolňování oxidu uhličitého závisí na dalších faktorech, jako jsou jeho koncentrace, přítomnost dalších plynů (např. vzduchu), teplota, mechanický pohyb, složení piva a zásoba plynů vázaných na povrchu nerozpustných částic. Uplatňuje se také koncentrace mikrobublinek a rychlost jejich stoupání, neboť při pohybu v kapalině se difuzí obohacují oxidem uhličitým a tím snižují jeho koncentraci v roztoku. Měření objemu unikajícího CO₂ může sloužit ke studiu faktorů indukujících, nebo potlačujících gushing.

Šavel, J. – Košin, P. – Brož, A.: Spontaneous liberation of carbon dioxide from beer and gushing. Kvasny Prum. 59, 2013, No. 2, p. 33–40.

Release of carbon dioxide from beer bottle after its opening was measured as the rate of gas liberation or the liquid volume displacement from the bottle. Results confirm the importance of solid particles and gases that are bonded on their surfaces during spontaneous liberation of carbon dioxide from beer and carbonated water, which does not contain any hydrofobins. Such a mechanism can be applied to inorganic and organic substances including cellulose and activated charcoal, which can be considered as thermally degraded cellulose. Small cellulose particles may be part of the beer, and their formation may also be enhanced by mold infection of grains. The degradation of malt grain walls can be accelerated by penetration of fungi that might produce nano and microparticles of cellulose. Rate of carbon dioxide liberation also depends on other factors, such as its concentration, the presence of other gases (e.g. air), the temperature, mechanical movement, beer composition and the supply of gases bounded to the surface of insoluble particles in beer. Its role also has the concentration of microbubbles and the speed of their movement, at which microbubbles can be enriched by diffusion of CO₂, of which concentration in the liquid declines. Measurement of CO₂ liberation rate can be helpful during studies of factors inducing or suppressing gushing.

Šavel, J. – Košin, P. – Brož, A.: Das Spontanentweichen des Kohlendioxids aus dem Bier und Gushing. Kvasny Prum. 59, 2013, Nr. 2, S.33-40.

Als die Zeitabhängigkeit des entweichenden Gases oder der austretenden Flüssigkeit aus der Mündung einer geöffneten Flasche, wurde das Entweichen des Kohlendioxids gemessen. Die Ergebnisse haben die Bedeutung der festen Teilchen und Gasbindungen an ihren Oberflächen während des Spontanentweichens des Kohlendioxids aus dem Bier und des karbonisierten Wassers ohne Hydrophobine bestätigt. Dieser Mechanismus kann auch bei den anorganischen und organischen Stoffen einschließlich der Zellulose und Aktivkohle, was als thermisch degradierte Zellulose betrachtet werden kann, angewandt werden. Die kleine Teilchen Zellulose können ein Teil des Bieres sein, zu ihrem Entstehen kann Schimmelpilz des Kornes beitragen. Der Wandzerfall des Malzkornes kann unter der Bildung von Nano- und Makroteilchen der Zellulose durch die Schimmelbildungsverwachsung beschleunigt werden. Die Geschwindigkeit der Kohlendioxidfreilegung hängt von den anderen Faktoren ab, z. B. von der Konzentration des Kohlendioxids, der Anwesenheit von anderen Gasen z. B. Luft, Temperatur, mechanischer Bewegung, Bierzusammensetzung und von der Menge auf der Oberfläche der unlöslichen Teilchen gebundenen Gasen u.s.w. ab. Die Konzentration der Mikrobubbles und die Geschwindigkeit ihrer Steigung sich auch durchsetzt, weil durch die Diffusion während der Blasenbewegung in der Flüssigkeit nimmt die Konzentration des Kohlendioxids in Blasen zu, damit wird die CO₂ Konzentration in der Lösung reduziert. Zum Studium von Faktoren, die unterstützen oder unterdrücken Gushing, kann die Volumenmessung des entweichenden Kohlendioxids angewandt werden.

Klíčová slova: gushing, pivo, dekarbonizace, průtoková rychlost CO₂, celuloza, aktivní uhlí, syčené nápoje, mikrobublinky

Keywords: gushing, beer, decarbonization, CO₂ flow rate, cellulose, activated charcoal, saturated beverage, microbubbles

1 ÚVOD

Po opatrném otevření láhve s pivem klesne tlak plynu v hrdle láhve na hodnotu okolního tlaku a z přesyceného roztoku zvolna uniká oxid uhličitý. Rychlost úniku oxidu uhličitého je zpravidla vyšší, než odpovídá jeho ztrátě difuzí. Extrémním projevem rychlého úniku CO₂ z piva je tzv. gushing.

Prepěňování piva (gushing, overfoaming, overfobbing) je jev zmiňovaný v pivovarské literatuře přes 110 let, ačkoliv první zmínky o jeho výskytu existují již od doby počátku stáčení piva do lahví. Podstatou gushingu je náhlá přeměna rozpuštěného oxidu uhličitého v nápoji na plyn. V posledních letech nabývá gushing na významu i při výrobě ostatních syčených nápojů a jeho výskyt má negativní ekonomický dopad (Kunert a Sacher, 2000; Rath, 2009; Winkelmann a Hinzmann, 2009).

Gushing představuje významnou výzvu výzkumným a vývojovým pracovníkům, kteří však dosud tento problém zcela nevyřešili. Řešení navíc ztěžuje sezónní povaha gushingu, která zvyšuje úsilí řešitele pouze při větším výskytu reklamací piva, vypěňujícího po otevření láhve. Gushing se nejčastěji zmiňuje u lahví, ale lze se s ním setkat i u plechovek.

Pro studium gushingu mají proto význam i staré studie, neboť umožňují porovnat tehdejší výsledky s moderní technologií a odlišit

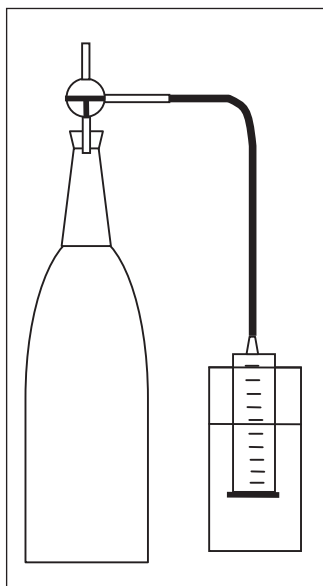
1 INTRODUCTION

After careful opening of the beer bottle the pressure in the head space drops to the ambient pressure and carbon dioxide slowly escapes from the supersaturated solution. CO₂ liberation rate is usually higher than the loss caused by diffusion. An extreme manifestation of rapid escape of CO₂ from beer is called gushing.

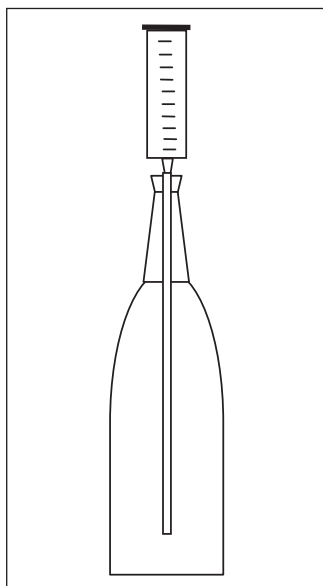
Beer gushing (overfoaming, overfobbing) has been mentioned in brewing literature for over 110 years, although the first remarks of its occurrence come from the beginning of the beer bottling. The principle of gushing is a sudden transformation of dissolved carbon dioxide to gas. Gushing has become more important also in the production of other carbonated beverages, and its occurrence has a negative economic impact (Kunert and Sacher, 2000; Rath, 2009; Winkelmann and Hinzmann, 2009).

Gushing represents a significant challenge for scientists. The solution is complicated by the seasonal nature of gushing, because researchers increase their effort only after a higher incidence of complaints on overfoaming beer. Gushing is most often mentioned in bottles but canned drinks can also be affected.

Old studies are very important for recent ones because they allow to evaluate the influence of modern technologies in brewing and



Obr. 1 Měření objemu plynu (GV) samovolně unikajícího z láhve piva po otevření / Fig. 1 Measurement of gas volume (GV) spontaneously escaping from bottle after opening



Obr. 2 Měření objemu kapaliny (DV) vytlačeného z láhve samovolným únikem oxidu uhličitého / Fig. 2 Measurement of displaced volume (DV) from bottles with spontaneous carbon dioxide release

tak vlivy, které se mohly objevit až s moderním sladařstvím a pivovarstvím. V literatuře existují jednotlivé články, souhrny a přehledy o gushing (Amaha a Kitabatake, 1981; Casey, 1996; Pellaud, 2002; Gastl a Zarnkow, 2009; Winkelmann a Hinzmann, 2009; Deckers a Gebruers, 2010; Christian a Titze, 2011).

Klasické rozdělení na primární (pocházející ze sladu) a sekundární (ostatní) gushing není vždy jednotné. Někdy se primární gushing vztahuje k základním surovinám pivovarské výroby, jindy pouze ke sladu.

Za nejdůležitější faktor se považuje druh sladu, který se může projevovat individuálně i v sezónních vlnách připomínajících epidemie. Uplatňují se sladové bílkoviny, proteolytická aktivita sladu a jeho vláha, což jsou látky, ovlivňující i rozvoj mikroorganismů.

Všeobecně se zmiňuje závislost s počáskem během sklizně ječmene. S rozvojem analytické techniky se rozšiřovaly poznatky o povaze látek vyvolávajících gushing. Přes velké množství poznatků se jednotlivé vlivy nepodařilo vždy potvrdit (Běláková a Benešová, 2012).

Mikroorganismy izolované z ječmene a přidávané do máčecí vody při mikroskladovacích zkouškách vyvolávaly gushing piva vařeného z těchto sladů v různém rozsahu (Campenhout a Iserentant, 1998). Za nejvýznamnější kontaminaci se považovala plíseň rodu *Fusarium*.

Klíčový význam mají bílkovinné faktory produkované plísněmi a vyvolávající gushing. Náleží k nim hydrofobiny, nespecifický protein reagující s lipidy (ns-LTP) a tzv. fungispuminy (Shokribousjeine a Deckers, 2011).

Situaci dále komplikuje poznání, že i hydrofobiny mohou agregovat a tím vytvářet komplexy s místy s různou smáčelností, neboť tato vlastnost je zakódována již do monomerů hydrofobinů (Shokribousjeine a Deckers, 2011). Dosud nevyřešená je i úloha shlukování celků tříslobilkovinových komplexů při stárnutí piva ve vztahu ke gushingu.

Význam mají také všechny látky, ovlivňující pěnivost, např. hořké látky, pěnotvorné bílkoviny, linalool, chmelové silice apod. (Pellaud, 2002). Hydrofobiny se pravděpodobně mohou uplatňovat při tvorbě pěny i při uvolňování plynu z nukleačních center.

Práškovité materiály hrají při uvolňování oxidu uhličitého z roztoku významnou roli. Dosud se velká pozornost věnovala podmínkám existence mikrobublinek v kapalině, ačkoliv význam pseudoklasické, nebo neklasické nukleace, vycházející z interakce pevná látka/plyn se všeobecně uznává (Jones a Evans, 1999). Ve starší literatuře se uváděly tři druhy nukleačních center pro usnadnění úniku oxidu uhličitého z roztoku (Gardner, 1973):

- druh 1: pevné hydrofobní částice
- druh 2: plyny absorbované na pevném povrchu
- druh 3: stabilizované mikrobubliny.

malting industry. Various articles, abstracts and summaries of gushing can be found in literature (Amaha and Kitabatake, 1981; Casey, 1996; Pellaud, 2002; Gastl and Zarnkow, 2009; Winkelmann and Hinzmann, 2009; Deckers and Gebruers, 2010; Christian and Titze, 2011).

Classical division into primary (originating from malt) and secondary (other) gushing is not always uniform. Primary gushing is sometimes related to all basic raw materials, other times to malt only.

The most important gushing factor is the kind of malt, which may be expressed individually or in seasonal waves resembling epidemic. Malt proteins, proteolytic activity of malt and malt moisture affect gushing potential through interaction with the development of malt microorganisms.

Gushing potential is connected with the weather conditions during the harvest of barley. Knowledge about the nature of gushing factors developed with the development of analytical techniques. Despite the large amount of information available, the individual effects could not always be confirmed (Běláková and Benešová, 2012).

Microorganisms isolated from barley and added to the steeping water at micromalting tests induced gushing of beer brewed from these malts in variable extent (Campenhout and Iserentant, 1998). The most significant contamination was considered fungi *Fusarium*.

Crucial gushing factors are proteins produced by molds, like hydrofobins, nonspecific lipid transfer protein (ns-LTP) and the fungispumins (Shokribousjeine and Deckers, 2011).

The situation is further complicated, because hydrofobins may aggregate and form complexes with different hydrophobicity, since this feature is already encoded into monomer structure of hydrofobins (Shokribousjeine and Deckers, 2011). The unsolved problem is the relation between gushing and polyphenol-protein complexes developed during beer aging.

Also relevant are all substances that affect foaming, such as foam proteins, bitter substances, linalool, hop oils, etc. (Pellaud, 2002). Hydrofobins play role during the foam development and also during the release of gas from nucleation centers.

Powdery materials are important in the release of carbon dioxide from the solution. Three types of nucleation centers for the release of carbon dioxide from solution can be found in the older literature (Gardner, 1973):

- type 1: a solid hydrophobic particles
- type 2: gas absorbed on a solid surface
- type 3: stabilized microbubbles.

Although there are various methods for gushing measurement, research tries to predict gushing from barley or malt. Secondary line of research focuses on the practical eliminations of gushing during beer production. One possibility is the mixing of raw materials and intermediate products of beer production (Christian and Titze, 2012; Brož and Košin, 2012).

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Laboratory gasometer for measuring the liberation rate of CO₂ from bottle

Bottle with beer or carbonated beverage is opened slowly and after a preset interval (usually 30 seconds) a stopper with three-way valve is inserted into the neck, connected by a thin tube with a measuring cup (60 mL plastic syringe with graduated scale), filled with water and immersed in a beaker in inverted position (Fig. 1).

Liberating gas displaces water from the cup, which floats, because the water level in the cup and the beaker are at the same height and the pressure in cup equals to the ambient atmospheric pressure. The cup can be connected with the surrounding atmosphere if necessary and filled with water and the measurement can be repeated as needed. The gas volume and time are recorded during measurement, which starts by sealing the stopper. The volume of liberated CO₂ is called a gas volume (GV) measured at 20 °C.

2.2 Measurement of the volume of liquid displaced from bottle by liberated CO₂

Bottle with beer or carbonated beverage is opened slowly, to the neck is loosely inserted stopper with tube connected to a measuring cup (plastic syringe, Fig. 2) and after a preset interval (usually 30 seconds) the stopper is pushed into the bottle neck.

Ačkoliv existují různé metody měření gushingu, výzkum se snaží předpovědět gushing přímo z ječmene, nebo sladu. Vedlejší směr výzkumu se zaměřuje na praktické omezení gushingu při výrobě piva. Jednou z možností je mísení surovin a meziproduktů výroby piva (Christian a Titze, 2012, Brož a Košin, 2012).

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Laboratorní plynojem pro měření úniku CO_2 z láhve

Láhev s pivem nebo syceným nápojem se zvolná otevře a po zvolené přestávce (obvykle 30 s) se do hrdla vsune zátká s trojcestným kohoutem, spojeným tenkou hadičkou s odměrnou nádobkou (60 ml) plastové injekční stříkačky, naplněnou vodou a ponořenou do kádinky v obrácené poloze (obr. 1).

Unikající plyn vytlačuje vodu z nádobky a nadnáší nádobku tak, že hladiny vody v nádobce a kádince jsou ve stejné výšce, takže tlaky v nádobce a okolní atmosféře jsou stejné. V případě potřeby se propojí nádobka s okolní atmosférou, naplní vodou a měření se podle potřeby opakuje. Během měření se zaznamená závislost objemu plynu na čase, měřeném od utěsnění zátky. Objem uniklého CO_2 se označuje jako plynový objem (GV – gas volume), měřený při 20 °C.

2.2 Měření objemu kapaliny, vytlačované z láhve unikajícím CO_2

Láhev s pivem nebo syceným nápojem se otevře bez otřesu, do hrdla se volně vloží zátká s trubičkou spojenou s odměrnou nádobkou injekční stříkačky (obr. 2) a po zvolené přestávce (obvykle 30 s) se zátká dotlačí.

Únikem oxidu uhličitého se v hrdlovém prostoru zvyšuje tlak v láhvi a nádobka se plní pivem, doba plnění se měří od dotlačení zátky do láhve. Pokud kapalina po otevření láhve přeteče, zaznamená se přeteklý objem a později přičte k objemu kapaliny v odměrné nádobce. Po naplnění nádobky kapalinou se povolením zátky opět pivo

By the liberation of the carbon dioxide the pressure is increased in the bottle head space and cup is filled with beer, filling volume and time are measured from the pushing of stopper to the neck. If liquid overflows immediately after opening the bottle, the overflowed volume is added to the volume of liquid in measuring cup. After the whole cup is filled with liquid, it can be emptied by releasing the stopper and measurement can continue. The result of experiment is time dependence of displaced fluid volume, which corresponds to the amount of released CO_2 and is called Displaced Volume (DV).

2.3 Sampling and storage of samples

Bottles (0.5 liters) of seven Czech lagers, labeled A through G, were bought in retail and stored for 1–6 months at 20 °C. As a sample from one batch were considered two beer bottles from one bought crate.

Carbonated water with CO_2 content 6 g/l was prepared in tap water saturation system and then filled into glass bottles (0.5 l) with crown (and recrowned). Iced water for dilution of carbonated water and beer was prepared by decanting tap water into bottles and cooling to 1 °C.

2.4 Powder and solid material

Activated charcoal (AC) (Charcoal decolorizing, Acros Organics, USA), boiling stones with average weight 25 mg (Merck, Germany), powdery cellulose (CE) (C 8002, Sigma, USA) and brewery spent grains dried at 105 °C.

2.5 Moistening of powder and solid materials

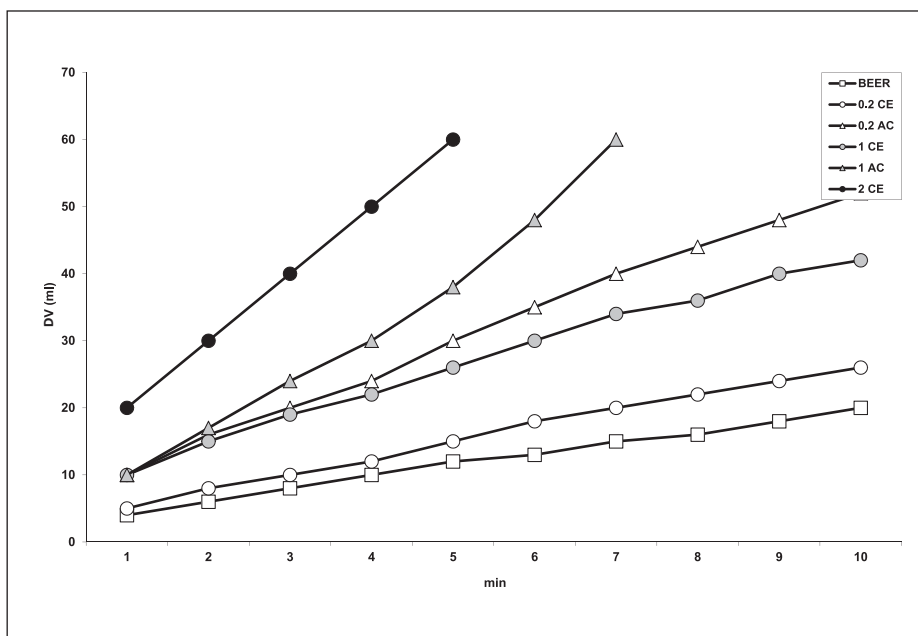
Powdery adsorbent materials were stirred in deionized water (0.1%) or boiled for 30 min under reflux condenser. When boiling is not mentioned in description, the water suspension was not boiled. Boiling stones were moistened in the same way as powder adsorbents. After cooling, the suspension or stones were dosed to bottles with beer and the liberation of gas or displacement of liquid from the bottle was measured.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Liberation of carbon dioxide from different beers

The liberation rate of CO_2 was measured after opening bottles with various brands, which were stored at 20 °C for 1, 3 and 5 months; each sample in duplicate (Tab. 1).

The liberation rate of CO_2 from beer opened slowly and without shock depended on the brand, beer batch and to smaller extent differed among bottles of one batch, positive effect of storage time was confirmed only in some samples. Typical gushing showed only beer from brewery D (> 6 ml/min). Decisive parameter is the initial rate of gas liberation; over 5 ml/min leads to foam achieving over the edge of a beer bottle; above 10 ml/min leads to overflow of beer, which can be regarded as a manifestation of gushing.



Obr. 3 Závislost vytlačeného objemu DV na čase pro různé koncentrace (0,2; 1 a 2 mg/l) namočené celulosy (CE) a aktivního uhlí (AC) v pivo / Fig. 3 Dependence of displaced volume (DV) on time for different concentrations (0.2; 1 and 2 mg/l) of moisten cellulose (CE) and activated charcoal (AC) in beer

Tab. 1 Rychlost samovolného úniku oxidu uhličitého po otevření láhve / Liberation rate of CO_2 after opening the bottle

Skladování (měsíce) / Storage (Months)	Únik CO_2 (GV, ml/10 min), značky piva A–G / Liberation rate of CO_2 (GV, ml/10 min), beer brand A–G							
	Láhev / Bottle	A	B	C	D	E	F	G
1	1	2	0	1	36	8	0	0
	2	4	2	2	28	0	0	0
3	1	30	2	4	16	10	2	40
	2	10	8	10	22	0	2	30
5	1	8	4	0	>60	0	0	10
	2	40	0	0	>60	0	0	5

vypustí do láhve a měření se podle potřeby opakuje. Během měření se zaznamená závislost vytlačené kapaliny na čase.

Objem kapaliny v nádobce se přibližně rovná množství uniklého oxidu uhličitého z nápoje při přetlaku odpovídajícímu výšce kapaliny nad hladinou v láhvi a označuje se jako vytlačený objem (DV – displacement volume).

2.3 Odběr a uložení vzorků

Láhev (0,5 l) sedmi českých ležáků, označených A až G, se nakoupily v maloobchodu a skladovaly po dobu 1 až 6 měsíců při 20 °C. Za vzorek jedné šarže piva se považovala zakoupená přepravka s pivem, z níž se náhodně vybraly dvě láhve. Sodová voda s obsahem (6 g/l CO₂) se připravila sycením vodovodní vody v průtokovém karbonizátoru při 5 °C a stočením do lahví (0,5 l), které se uzavřely korunkou. Ledová voda pro ředění sycené vody a piva se připravila stočením vodovodní vody do lahví a ochlazením na 1 °C.

2.4 Práškovité a pevné materiály

Aktivní uhlí (AC) (Charcoal decolorizing, Acros Organics, USA), varní kamínky (Merck, Německo), práškovitá celulóza (CE), (C 8002, Sigma, USA) a provozní mláto, usušené při 105 °C.

2.5 Zvlhčení adsorpčních materiálů

Práškovité adsorpční materiály se rozmíchaly v deionizované vodě (0,1 % hm.) a vařily 30 min pod zpětným chladičem. Pokud u vzorku není uvedeno povaření, jedná se vždy o nepovařenou suspenzi. Stejným způsobem se zvlhčovaly varní kamínky. Po vychladnutí se suspenze nebo varní kamínky dávkovaly do láhve s pivem a měřil se únik plynného CO₂, nebo množství kapaliny vytlačené unikajícím CO₂. Varní kamínky se přidávaly do piva vhozením 1 kamínku (střední hmotnost 25 mg) do 0,5 l láhve (50 mg/l).

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

3.1 Únik oxidu uhličitého z různých piv

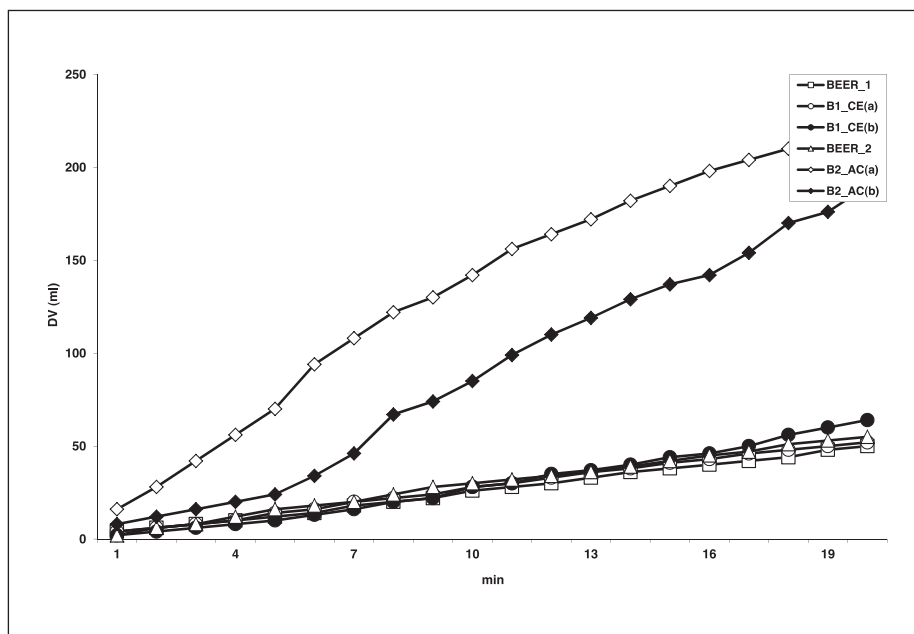
U piv uložených v klidu při 20 °C po dobu 1 až 6 měsíců se po otevření měřil únik CO₂ po dobu 10 min vždy u dvou lahví stejné šarže (tab. 1).

Únik CO₂ u piv otvíraných pomalu a bez otřesu závisel na pivovaru, vyrobené šarži a v menší míře se lišil i mezi láhvemi jedné šarže, pozitivní vliv doby uložení se potvrdil jen u některých vzorků. Typický gushing (přepění piva) se prokázal pouze u piva z pivovaru D (>6 ml/min). Rozhodující je přitom počáteční rychlost úniku plynu, nad 5 ml/min může pивní pěna dosáhnout nad okraj pивní láhve, nad 10 ml/min pivo přetéka, což lze považovat za projev gushingu.

Při studiu gushingu se obvykle neuvažuje přirozené uvolňování CO₂, které ještě nepostačuje k vynesení piva z láhve. Piva různých pivovarů uvolňovala CO₂ různou rychlostí, která rostla s náchylností ke gushingu. Je zřejmé, že pro vynesení piva z láhve se musí rychle uvolnit dostatečné množství plynu.

Piva z různých pivovarů mohou samovolně uvolňovat oxid uhličitý různou rychlostí. Gushing pravděpodobně vzniká až po překročení určité intenzity vývinu CO₂. Schopnost úniku CO₂ závisí na přítomnosti a koncentraci nukleačních center, jak o tom svědčí i pokusy s mísením (řezáním) piva (Brož a Košin, 2012). Dosud není jednoznačně prokázána povaha nukleačních center, neboť ani moderní optické metody nemohou spolehlivě rozlišit mezi pevnými nanočásticemi a stabilizovanými mikrobublínkami samotného plynu (Mitani a Joh, 2002). Tzv. hydrofobiny se zpravidla považují za látky, stabilizující již vzniklé mikrobublínky plynu, ale nelze ani vyloučit jejich spekulativní schopnost ovlivňovat vazbu mezi pevnou látkou a plynem.

Podle našich zkušeností schopnost silně přepěňovat neztratilo ani pivo, uchovávané v klidu po dobu 1 roku. Naproti tomu literatura např. uvádí ztrátu gushingu při skladování piva a naopak získání této schopnosti vyloučením částic oxalátu vápenatého, nebo koloidního zákálu (Zepf a Geiger, 2000; 2001).



Obr. 4 Závislost vytlačeného objemu DV na čase pro namočené (a) a považené (b) suspenze celulózy (CE) a aktivního uhlí (AC), dávkované do piva (1 mg/l) / Fig. 4 Dependence of displaced volume (DV) on time for moistened (a) and boiled (b) suspensions of cellulose (CE) and activated charcoal (AC), dosed to beer (1 mg/l)

Natural release of CO₂ is usually not considered when studying gushing, because it is not sufficient to deliver the beer out of bottle. Beers from different breweries released CO₂ at different rates, which increased with disposition to gushing. It is clear that beer must quickly release enough gas to deliver foam out of the bottle.

Different beer brands can liberate CO₂ with different rate, but gushing occurs only after a critical rate is exceeded. The ability to liberate CO₂ depends on the presence and concentration of nucleation centers, as evidenced by experiments with blending beer (Brož and Košin, 2012). It is not yet clear whether the nature of the nucleation centers are solid nanoparticles or stabilized gas microbubbles alone, although a modern optical methods are used (Mitani and Joh, 2002). So called hydrofobins will normally be considered as stabilizers of the already formed microbubbles of gas, but their speculative ability to influence the bond between solid and gas cannot be excluded.

In our experience, the ability to strongly overfoam did not lose even beer that was kept at rest for 1 year. In contrast, literature describes loss of gushing potential during storage of beer and vice versa origination this potential by excluding particles of calcium oxalate or colloidal turbidity (Zepf and Geiger, 2000; 2001).

3.2 Displacement of beer from bottle after the addition of powdered material

Bottles with beer were carefully opened and the displaced volume of beer was measured before and after the addition of different volumes (0.1 to 1 ml) of boiled and non-boiled suspensions of cellulose and activated charcoal (0.1% wt.) at 20 °C. This dose corresponds to dose of solids in range of 0.2 to 2 mg/l. Displaced volume of beer depended on the time, type of material and increased with the concentration of material (Fig. 3).

Displaced volume measurement technique allows to measure the theoretical amount of carbon dioxide that is needed to deliver beer out of bottle (Fig. 2). Majority of CO₂ has usually time to escape when bottle is opened, so only its small part can contribute to the delivery of beer from bottles and so perform work. Whether beer will show gushing or not depends on many factors, such as the amount of foam, which partially prevents liberation of CO₂, because it forms a kind of foam stopper.

Bubble size also significantly affects the gushing performance, because bubbles are being enriched by diffusion of CO₂ during their way through liquid. Gas exchange depends on the total surface of the bubbles, which is connected with their size and concentration. Head space volume is also of importance.

This is also why a bottle, which is filled to the rim, probably cannot show gushing (Casey, 1996). The situation is further complicated by the density of the foam in the mixture with the liquid;

3.2 Vytlačování piva z láhve po přidavku práškovitých materiálů

Láhev s pivem se opatrně otevřely a měřil se vytlačený objem piva z láhve před a po přidavku různých objemů (0,1 až 1 ml) nepovařených suspenzí celulosy a aktivního uhlí (0,1 % hm.) při 20 °C. Tomuto dávkování odpovídají dávky pevných látek v rozmezí 0,2 až 2 mg/l. Vytlačený objem závisel na čase, druhu materiálu a rostl s jeho koncentrací (obr. 3).

Technika měření vytlačného objemu umožňuje měřit teoretický objem oxidu uhličitého, který je potřebný k vynesení piva z láhve (obr. 2). Při otevření láhve obvykle stačí většina CO_2 uniknout, takže jen jeho malá část se může podílet na vynesení piva z láhve, tj. konat práci. I při částečném úniku uvolněného CO_2 do okolí o gushingu rozhodují další faktory, např. množství pěny, která částečně brání úniku plynu, protože tvoří jakousi pěnovou zátka.

Velikost bublinek rovněž výrazně ovlivňuje projevy gushingu, protože během své dráhy kapalinou se bublinky obohacují difuzí oxidu uhličitého z kapaliny. Výměna plynu také závisí na celkovém povrchu bublinek, závislejícím na jejich velikosti a koncentraci. Význam má i velikost hrdlového prostoru.

Z tohoto důvodu také láhve, naplněné až po okraj, pravděpodobně nevykazují gushing (Casey, 1996). Situaci dále komplikuje hustota pěny ve směsi s kapalinou, jejíž nižší hodnota sice usnadňuje únik piva, ale současně s tím nedovoluje v hrdle vytvořit dostatečný přetlak CO_2 .

Přidavkem odpěňovacích látek (lipidy) lze také zabránit přepěňování i při masivním úniku CO_2 .

Podobné chování vykazuje např. vzduchová pistole, neboť pro úspěšný výstřel je nutné náboj nejen přiměřeně utěsnit, ale také použít náboj s dostatečnou hmotností, jinak neopustí hlavni s dostatečnou energií a tím i rychlostí. Je zde také určitá analogie s aktivací energií, která se musí překonat, aby zbraň vystřelila. Stejně se chová pěnová, nebo i korková zátka v láhvi syceného nápoje. Zátka může samovolně vystřelit, což lze vyvolat i snížením okolního tlaku.

Také práce, potřebná pro uvolnění plynu z pevné látky, silně závisí na vlastnostech pevného povrchu. Při odtržení kapky z kapiláry (stalagmetrie) je zapotřebí překonat energii, mající původ v povrchovém napětí a poloměru kapiláry, což lze usnadnit mechanickým pohybem např. poklepnutím. Také poklepáním na láhev s pivem lze krátkodobě přepěnit pivo, únik CO_2 se však zastaví. Naopak při silném vstřiku vody do piva může pivo silně přepěnit.

O úloze anorganických materiálů, jako příčině gushingu se literatura hojně zmiňuje, ale zanedbává se úloha přirozených přírodních materiálů, jako je celulosy, popř. ještě narušená působením plísní. Aktivní uhlí se použilo pro modelování gushingu, ale v podstatně vyšší koncentraci, než v této práci (Hanke a Kern, 2009). Organické materiály uvolňují CO_2 z roztoku dokonce účinněji, než v literatuře často zmiňovaná filtrační křemelina. Navíc poskytují široké spektrum velikosti pórů nebo dutin na povrchu pevného materiálu.

Nelze ovšem přehlédnout značné rozdíly mezi celulosou narušenou plísní a celulosou, degradovanou působením vysokých teplot při výrobě aktivního uhlí.

Gushing lze snadno vyvolat i přidavkem mláta, nebo i celých zrn ječmene a sladu do piva.

3.3 Vliv zvlhčení práškovitých materiálů na vytlačování piva z láhve

Do láhví s pivem se dávaly nepovažené i považené suspenze aktivního uhlí, celulosy (1 mg/l) a měřil se vytlačený objem piva. Vytlačený objem piva závisel na čase, druhu materiálu a rostl s jeho koncentrací (obr. 4). Pro porovnání se do piva vhodil suchý a namočený varní kamínek (obr. 5).



Obr. 5 Vypěnění piva po vhození suchého (vlevo) a namočeného (vpravo) varního kamínku / Fig. 5 Foaming of beer after throwing dry (left) and moistened (right) boiling stone

lower values can facilitate the escape of beer, but at the same time does not allow sufficient overpressure of CO_2 to be created in the head space. Addition of antifoams substances (lipids) can prevent overfoaming even at massive liberation of CO_2 .

Similar behavior shows for example air gun; for a successful shot it is necessary to appropriately seal the bullet, but also to use bullet with sufficient weight, otherwise the bullet will not leave the barrel with sufficient energy and speed. There is also an analogy with activation energy which must be overcome for gun to fire. The same behavior has cork stopper in bottle with carbonated beverage. Stopper can fire spontaneously, for example after a reduction of ambient pressure.

Also work that is required to discharge a gas from a solid substance strongly depends on the properties of the solid surface. When drop comes off a capillary (stalagmetry), it needs to overcome the energy that originates from surface tension and the radius of the capillary, which can be made easier by mechanical movement such as tapping. Beer can also be overfoamed by tapping on the bottle, after which the liberation of CO_2 stop shortly. In contrast, when water is strongly injected of into beer, it can strongly overfoam.

The role of inorganic materials as a cause of gushing is frequently mentioned in literature. Less is mentioned the role of natural materials such as cellulose, respectively cellulose damaged by the action of fungi. Activated charcoal was used for modeling of gushing, but in substantially higher concentrations than in own work (Hanke and Kern, 2009). Organic materials can liberate CO_2 from solution even more efficiently than

in literature frequently mentioned diatomaceous earth. Moreover, they provide a wide range of pore sizes or cavities on the surface of solid materials.

One cannot overlook the significant differences between cellulose damaged by fungi and cellulose that was degraded by high temperatures during the production of activated charcoal.

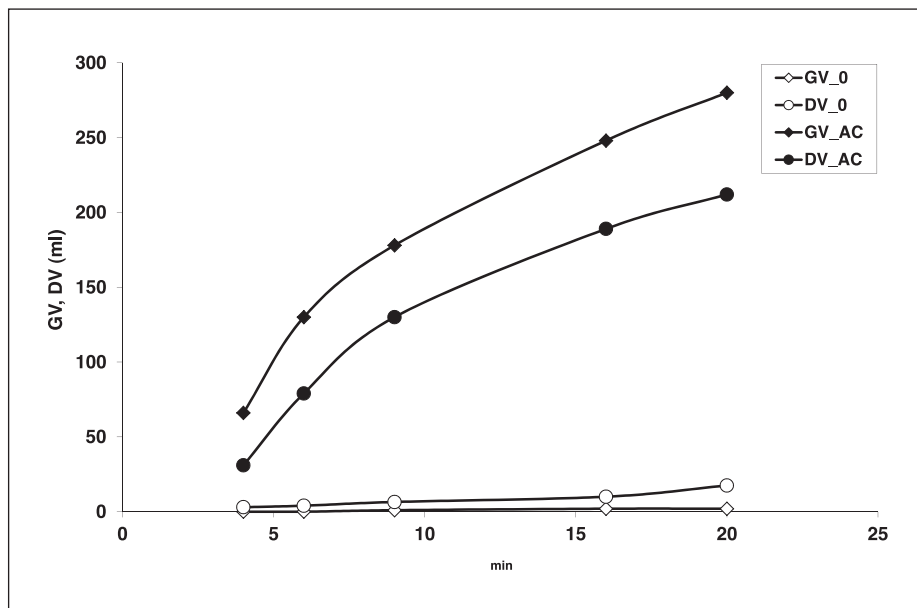
Gushing can also be easily generated by the addition of spend grains or even whole grains of barley or malt to beer.

3.3 Impact of moistening of powder materials on displacement of beer from bottles

Boiled and non-boiled suspensions of activated charcoal and cellulose (1 mg/l) were dosed into bottles with beer and displaced volume of beer was measured. Result was dependent on time and kind of material and increased with the concentration of material (Fig. 4). Dry and moistened boiling stones were also added to beer (Fig. 5).

The rate of CO_2 release depended on the degree of moistening of solid or powdery materials, which is related to their hydrophobicity. It is also likely that the presence of foreign gases bonded to solids promotes the liberation of CO_2 , because one of the actions against gushing is short bubbling of beer by carbon dioxide. This theory is strongly supported by the fact that short electrolysis of beers, such as in the gehaltemeter, generate bubbles of oxygen and hydrogen on the solid surface, facilitates the release of CO_2 from beer. These observations are consistent with recent findings on the effect of nanoparticles, which can support the gushing according to their size and electrical charge (Christian and Ilberg, 2009).

In addition to the natural decline of beer displacement rate due to the loss of carbon dioxide, it is necessary to consider the loss of micro-bubbles of other gases on the surfaces of solid particles. Individual gases present in beer may behave differently



Obr. 6 Objem uniklého oxidu uhličitého (GV) a piva vytlačeného z láhve (DV) po přidavku namočeného aktivního uhlí (AC, 1 mg/l) / Fig. 6 The volume of liberated CO_2 (GV) and beer displaced volume (DV) after the addition of moistened activated charcoal (AC, 1 mg/l)

Rychlost uvolňování CO_2 závisela na stupni zvlhčení suchých pevných nebo práškových materiálů, což souvisí s jejich hydrofobicitou. Také je pravděpodobné, že přítomnost cizích plynů vázaných pevnými částicemi, podporuje únik CO_2 , protože jedním z opatření proti gushingu je krátké probublání piva oxidem uhličitým. Silným argumentem pro tuto teorii je skutečnost, že krátká elektrolýza pív, např. v tzv. gehaltemetru, generující bublinky kyslíku a vodíku na pevném povrchu, usnadňuje uvolnění CO_2 z piva. Tato pozorování se shodují i s posledními nálezy vlivu nanočástic, které podporují gushing v závislosti na jejich velikosti a elektrickém náboji (Christian a Ilberg, 2009).

Kromě přirozeného poklesu výtlačné rychlosti ztrátou oxidu uhličitého z piva je nutné uvažovat i ztrátu mikrobublinek jiných plynů na povrchu pevných částic. Jednotlivé plyny, přítomné v pivu, se přitom mohou chovat rozdílně vzhledem k jejich rozdílné rozpustnosti i elektrickému náboji. Literatura uvádí, že jednou vytřepané pivo, způsobující gushing, po opětovném nasycení oxidem uhličitým již nepřepěňuje, což by mohlo svědčit o vyčerpání vázaných plynů (Amaha a Kitabatake, 1981). Zvlhčení práškovitého materiálu také potlačuje únik plynu z nápoje, což odpovídá postupnému „vyčerpávání“ jeho aktivity.

3.4 Porovnání úniku plynného CO_2 a vytlačování piva z láhve

Do lahví piva se dávkovala vodná (nepovařená) suspenze AC (1 mg/l) a sledovala závislost úniku CO_2 a vytlačeného objemu kapaliny (obr. 6). Celkový vytlačený objem se získal jako součet jednotlivých vytlačených objemů vrácených do láhve po naplnění odměrných nádobek. Rychlost úniku CO_2 byla vyšší, než rychlost vytlačování piva z láhve.

Výsledky ukazují souvislost mezi uvolněným CO_2 z piva a růstem výtlačného objemu. Dobře je také patrný pokles rychlosti úniku CO_2 s časem, zmíněný v odstavci 3.3. V přítomnosti aktivního uhlí uniklo během 20 min z piva 250 ml plynného CO_2 nebo 200 ml piva. Naproti tomu byla ztráta oxidu uhličitého u srovnávacích vzorků bez přidavku AC zanedbatelná.

3.5 Vliv teploty syčené vody a piva na únik CO_2

Láhve se syčenou vodou (CW) se ochladily na 1 °C, opatrně otevřely a do lahví se přidalo suché mláto (SG, 20 mg/l) a ve vodě rozmíchané aktivní uhlí (AC, 1 mg/l). Po uzavření lahví korunkou se láhve ponechaly 1 den při teplotách 1, 10 a 20 °C, přenesly do 20 °C a po otevření ihned měřil vytlačený objem. Pro porovnání se měření opakovalo i s pivem, vykazujícím přirozený gushing bez přidavku práškovitého materiálu (BG) a ochlazeným na stejné teploty (obr. 7 a, b).

Uvolňování oxidu uhličitého ze syčené vody i piva po přidavku pevných materiálů silně klesá s teplotou. Protože hnací silou tohoto procesu je rozdíl mezi rovnovážným parciálním tlakem CO_2 v plynné a kapalně fázi, lze očekávat silnou závislost úniku CO_2 na teplotě piva. V úvahu dále přichází vliv teploty na uvolnění plynů z povrchu

due to their different solubility and electric charge. Literature states that gushing positive beer degassed by shaking and re-carbonated loses gushing potential, which could be caused by the loss of bound gases (Amaha and Kitabatake, 1981). Moistening of powdered materials reduces the liberation of gases from beverages, which corresponds to a gradual „depletion“ of its activity.

3.4 Comparison of liberation rate of CO_2 with displaced volume of beer

Non boiled suspension of activated charcoal (AC, 1 mg/l) was dosed to beer bottles and the rate of CO_2 liberation and displaced volume of liquid were measured (Fig. 6). Total displaced volume was obtained as the sum of the volumes displaced and returned to the bottle after the measuring container had been filled. Liberation rate of CO_2 was higher than the rate of beer displacement from the bottle.

Results show correlation between CO_2 released from beer and displaced volume. It is also well evident the decrease of CO_2 liberation rate with time, which was discussed in the paragraph 3.3. In the presence of activated charcoal was within 20 minutes released 250 ml of gaseous CO_2 or 200 ml of beer. In contrast, the loss of carbon dioxide from the reference samples without the addition of AC was negligible.

3.5 The effect of temperature of carbonated water and beer on the CO_2 liberation

Bottles with carbonated water (CW) were cooled to 1 °C, carefully opened and dried spent grains (SG, 20 mg/l) and water suspension of activated charcoal (AC, 1 mg/l) were added to the bottles and bottles were closed with crown closure. Bottles were left at temperatures 1, 10 and 20 °C for 1 day, then transferred to 20 °C and the displaced volume was measured immediately. The experiment was then repeated with beer that had natural gushing (BG), without addition of any powdery material (Fig. 7 a, b).

The rate of liberation of carbon dioxide from carbonated water and beer after the addition of solid materials strongly decreases with temperature. Because the driving force of this process is the difference between the equilibrium partial pressure of CO_2 in gaseous and liquid phases, the temperature dependence of CO_2 lost can be expected. Another explanation would be the influence of temperature on the liberation of gases from solid surfaces, which is connected to thermal movement of molecules. Hydrodynamic forces of solution that is being mixed can peel bubbles out of solid surfaces, of which the intensity is dependent on the fluid viscosity. Also the movement of bubbles through liquid depends on the viscosity and temperature. The overfoaming potential of beer decreases after removing adsorbed gases from the particles during pasteurisation. The rate of diffusion, viscosity, surface tension and solubility of gases in beer can therefore influence the gushing both positively and negatively.

In experiments with carbonated water and addition of powdered materials can be seen strong CO_2 liberation even in the absence of hydrofobins, so the basic mechanism must be the nucleation.

3.6 Effect of CO_2 content on its liberation

The content of 0.5 l bottles with carbonated water (6 g/l CO_2) and beer (5 g/l CO_2) chilled to 1 °C was partly replaced by iced tap water to obtain samples with 3–5 g/l of CO_2 . The displaced volume was measured after 1 day of storage at 20 °C (Fig. 8).

The rate of CO_2 liberation was according to expectations dependent on its original content. The addition of activated charcoal increased the rate of CO_2 liberation even from carbonated water, so the basic mechanism of this process doesn't need to include the presence of dissolved substances, such as hydrofobins. Conversely the liberation rate of gases from the carbonated water can be significantly increased by addition of inorganic materials, such as silicon dioxide, which is used as the sand during water filtration.

It seems likely that the foaming, gushing and decarbonization of beer have a common basis in the presence nucleation cent-

pevných částic, neboť tepelný pohyb v okolí částic klesá a naopak s rostoucí teplotou roste. Při míchání roztoku mohou bublinky plynu z pevné látky odtrhávat hydrodynamické síly, jejichž intenzita závisí na viskozitě kapaliny. Při pohybu bublinek kapalinou závisí jejich rychlost opět na viskozitě a tím i na teplotě. Po odstranění adsorbovaných plynů z částic při pasteuraci schopnost přepěňovat klesá. Rychlost difuze, viskozita, povrchové napětí a rozpustnost plynů v pivu mohou proto ovlivňovat gushing pozitivně i negativně.

Při pokusech s odplyněnou vodou s přidavkem práškových materiálů lze pozorovat silný únik CO_2 i v nepřítomnosti hydrofobinů, takže základní mechanismus musí spočívat v nukleaci.

3.6 Vliv obsahu CO_2 na jeho únik

Z 0,5 l lahví syčené vody (6 g/l CO_2), a piva (5 g/l CO_2), vychlazených na 1 °C se odebráním části obsahu a doplněním ledovou vodovodní vodou na původní objem připravily vzorky s obsahem 3 až 5 g/l CO_2 . Po 1 dni skladování při 20 °C se stanovil vytlačný objem kapalin (obr. 8).

Rychlost samovolného úniku CO_2 z piva závisela podle očekávání na koncentraci v nápoji. Přídavek aktivního uhlí zvyšoval rychlost úniku plynu i ze syčené vody, takže základní mechanismus tohoto procesu nemusí zahrnovat přítomnost rozpuštěných látek, např. hydrofobinů. Naopak rychlost úniku plynu ze syčené vody lze výrazně zvýšit přidavkem anorganických materiálů, např. oxidu křemičitého, který se v podobě písku používá při filtraci pevné vody.

Zdá se pravděpodobné, že pěnívost, gushing i dekarbonizace piva mají společný základ v přítomnosti nukleačních center a rozdíly mezi těmito procesy naopak silně závisí na přítomnosti dalších látek v nápoji. Ve shodě s tím vykazuje pivo s přidavkem hydrofobinů silnou pěnívost, přičemž jeho přepěňování může zahrnovat vlivy hustoty pěny i omezení úniku CO_2 bez gushingu.

Spekulativní je představa, že tyto látky mohou také podporovat odtrhávání bublinek plynu z pevných částí. Při přidavku práškových materiálů k syčené vodě s obsahem pěnотvorných látek lze snadno vyvolat přepěňování po otevření láhve.

Výsledkům měření vyhovuje představa zásoby plynu, nacházející se ve vazbě s pevnými částicemi, přičemž rychlost úniku plynu lze zvýšit, nebo potlačit přidavkem dalších rozpustných látek.

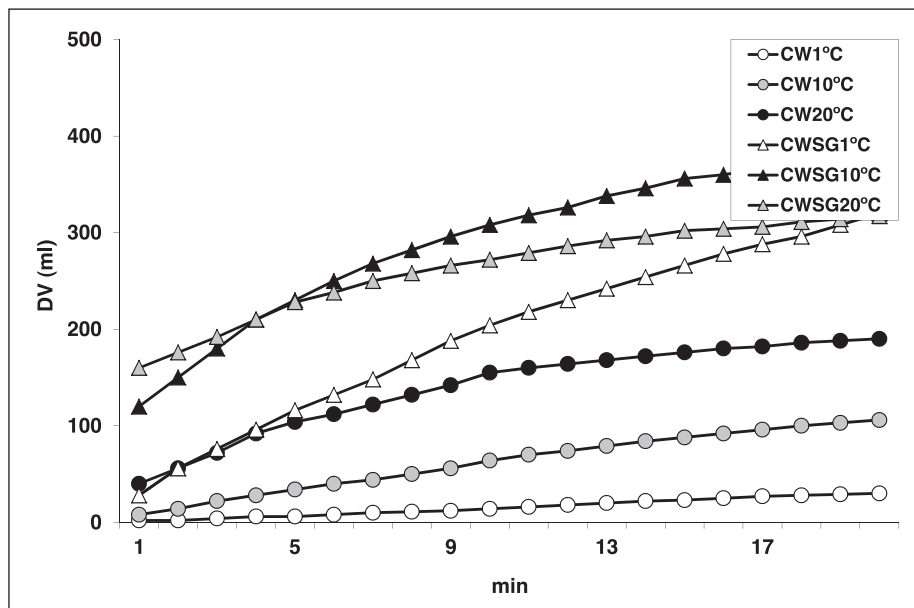
3.7 Modelování úniku CO_2 z piva

Rychlost úniku CO_2 z piva a vynášení kapaliny z láhve závisí primárně na jeho teplotě a obsahu CO_2 , sekundárně na charakteru nukleace a terciárně na přítomnosti dalších látek v roztoku (obr. 3–8). Z praxe je známo, že CO_2 z piva se uvolňuje až do dosažení jeho rovnovážného tlaku, což platí pro únik plynu do atmosféry i do hrdlového prostoru láhve po stočení.

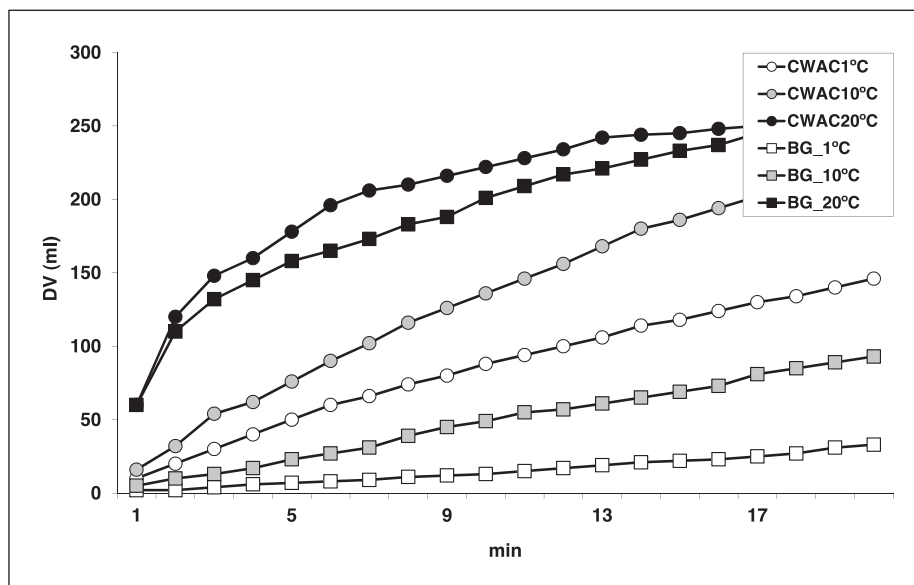
V tomto případě by intenzita úniku primárně závisela na rozdílu koncentrací CO_2 v kapalně fázi a sekundárně na kinetice přestupu plynů z kapalně do plyné fáze, které lze ovlivnit nukleací.

Kinetické konstanty tohoto procesu lze získat z měření rychlosti úniku CO_2 při atmosférickém tlaku i při přetlaku. Nárůst tlaku v hrdlovém prostoru láhve po vhození práškovitého materiálu, např. filtrační křemeliny, jsme měřili ve starší práci (Šavel, 2004). Tohoto principu lze využít pro stanovení gushingového potenciálu různých materiálů.

Modelování rychlosti úniku CO_2 se většinou opírá o popis podmínek stability bublinek při uvolňování tohoto plynu v mikroměřítku. Protože makroskopické modely využívají snadno měřitelné veličiny, je takový přístup užitečný.



Obr. 7a Závislost vytlačeného objemu (DV) na teplotě (1, 10 a 20 °C) syčené vody (CW) s přidavkem mláta (SG, 20 mg/l) / Fig. 7a Dependence of displaced volume (DV) on the temperature (1, 10 and 20 °C) for carbonated water (CW) with addition of spent grains (SG, 20 mg/l)



Obr. 7b Závislost vytlačeného objemu (DV) na teplotě (1, 10 a 20 °C) syčené vody (CW) s přidavkem aktivního uhlí (AC, 1 mg/l) a piva vykazujícího přirozený gushing (BG) / Fig. 7b Dependence of displaced volume (DV) on the temperature (1, 10 and 20 °C) for carbonated water (CW) with addition of activated charcoal (AC, 1 mg/l) and naturally gushing beer (BG)

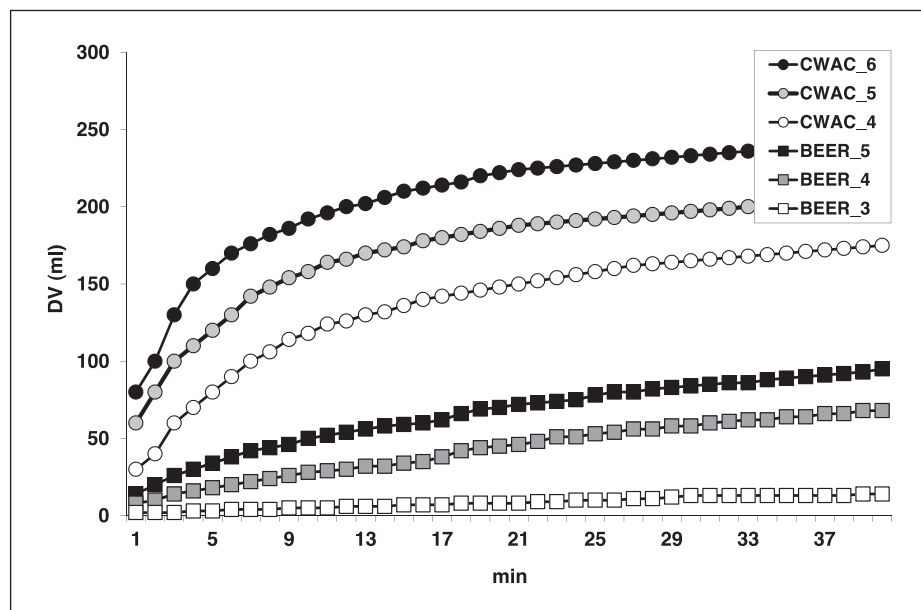
ers and the differences between these processes depends on the presence of other substances in beverage. Beer with added hydrofobins shows strong foaming, while its overfoaming potential depends also on foam density and restriction of CO_2 liberation without gushing.

Speculative is the idea that these substances might also support tearing of bubbles from solids. The addition of powders to carbonated water with foaming agents easily induced overfoaming after opening the bottle.

These results are consistent with the idea of gas reservoir, which is bonded to the solid particles and the rate of gas liberation can be increased or decreased by the addition of other soluble substances.

3.7 Modeling the CO_2 liberation from beer

The liberation rate of CO_2 and displacement of beer from bottle depends primarily on the temperature and the original CO_2 content, secondary on the character of nucleation and tertiary on the presence of other substances in solution (Fig. 3 to 8). It is known that CO_2 is released from beer until reaching the equilibrium pres-



Obr. 8 Závislost vytlačeného objemu (DV) na obsahu CO_2 (4, 5 a 6 g/l) v sycené vodě a pivu při 20 °C / Fig. 8 Dependence of displaced volume (DV) on the contents of CO_2 (4, 5 and 6 g/l) in beer and carbonated water at 20 °C.

Např. při modelování úniku plynů z nádoby s pevnými stěnami se v modelech s elektrickými částmi vychází z představy kapacity kondenzátoru (C) jako zásobníku plynu, s přídatným odporem (R), určujícím rychlost jeho vyprazdňování (tzv. RC model). Změnou dvou parametrů lze dobře napodobit únik plynu ze sycených nápojů, podobně jako výdech vzduchu z plic (Roubík, 2006).

Tomuto modelu dobře odpovídá v makroměřítku tzv. widget, nebo únik plynu po otevření láhve. Analogie může v rozšířené verzi zahrnovat i výměnu plynů přes neprostupnou nebo polopropustnou stěnu, která za vhodných podmínek umožňuje cyklický přechod CO_2 z kapalně do plynné fáze. Celulosevé vlákno naplněné dusíkem v pivu je příkladem soustavy, pracující cyklicky jako systém zajišťující uvolňování oxidu uhličitého z piva (Devereux a Lee, 2011).

sure, no matter whether releasing to the atmosphere or to the head space of bottle after filling.

In this case, the rate of liberation would depend primarily on the difference in CO_2 concentrations in liquid phase and secondarily on the kinetics of the transfer of from liquid to gas, which can be affected by nucleation.

Kinetic constants of this process can be obtained by measurement of the rate of CO_2 liberation at atmospheric pressure and at overpressure. The increase of head space pressure after addition of powdery material, e.g. filtration diatomaceous earth, was measured in the earlier paper (Šavel, 2004). This principle can be used to determine the gushing potential of various materials.

Modeling of CO_2 liberation rate is usually based on a description of the conditions of bubbles stability while releasing this gas in micro scale. Macroscopic models seem to be useful, because of the use of easily measurable quantities.

E.g. modeling of gas liberation from a container with rigid walls in models with electrical parts is based on the idea of capacity in a capacitor (C) as a gas reservoir, with additional resistor (R) that determines the rate of its emptying (the RC model). By changing two parameters it can be well imitated the escape of gas from carbonated beverages, similarly like the exhalation of air from lung (Roubík, 2006).

This model in macro scale fits well with so called widget, or the gas liberation after opening the bottle. Analogy may be enhanced by including the exchange of gases through the impermeable or semi-permeable wall, which under appropriate conditions allows cyclic transition of CO_2 between liquid and gas phase. Cellulose fiber filled with nitrogen in beer is an example system that cyclically ensures the release of carbon dioxide from beer (Devereux and Lee, 2011).

LITERATURA / REFERENCES

- Amaha, M., Kitabatake, K., 1981: Gushing in beer. In: *Brewing Science*. Ed. J.R.A. Pollock, Academic Press London: 457–489. ISBN 978-0125610025.
- Běláková, S., Benešová, K., Mikulíková, R., Svoboda, Z., 2012: Faktory ovlivňující gushing. *Kvasny Prum.* 58(3): 62–65.
- Brož, A., Košin, P., Šavel, J., 2012: Practical tools for brewer's fight against gushing. EBC BSG meeting 6th – 7th september, Carlsberg research center, Copenhagen 2012.
- Campenhout, Van L., Iserentant, D., Verachttert, H., 1998: On-line measurement of the microbial impacts on the germination of barley during malting. *J. Inst. Brew.* 104(3): 197–202.
- Casey, G.P., 1996: Primary versus secondary gushing and assay procedures used to assess malt/beer gushing potential. *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 33(4): 229–235.
- Deckers, S.M., Gebruers, K., Baggerman, G., Lorgouiloux, Y., Delcours, J.A., Michiels, C., Derdelinckx, G., Martens, J., Neven, H., 2010: CO_2 -hydrophobin structures acting as nanobombs in beer. Part 1: A critical review of hypotheses and mechanisms. *Brewing Science* 63(3/4): 54–61.
- Devereux, M.G., Lee, W.T., 2011: Mathematical modelling of bubble nucleation in stout beers and experimental verification. *Proc. World Congr. Engin. WCE 2011*, Vol. I. ISBN 978-988-18210-6-5.
- Gardner, R.J., 1973: The mechanism of gushing – A review. *J. Inst. Brew.* 79: 275–286.
- Gastl, M., Zamkow, M., Back, W., 2009: Gushing – a multicausal problem. *Brauwelt Int.* 27(1): 16–20.
- Hanke, S., Kern, M., Hermann, M., Back, W., Becker, T., Krottenthaler, M., 2009: Suppression of gushing by hop constituents. *Brewing Science* 62(11/12): 181–186.
- Christian, M., Ilberg, V., Titze, J., Friess, A., Jacob, F., Parlar, H., 2009: Gushing laboratory tests as successful methods for obtaining new cognitions on gushing. *Brewing Science* 62(5/6): 83–89.

- Christian, M., Titze, J., Ilberg, V., Jacob, F., 2011: Novel perspectives in gushing analysis: A review. *J. Inst. Brew.* 117(3): 295–313.
- Jones, S.F., Evans, G.M., Galvin, K.P., 1999: Bubble nucleation from gas cavities – a review. *Advances Coll. Interface Sci.* 80: 27–50.
- Kunert, M., Sacher, B., Back, W., 2001: Ergebnisse einer Umfrage in deutschen Brauereien zum Thema „Gushing“. *Brauwelt* 141(9–10): 350–362.
- Mitani, Y., Joh, M., Segawa, S., Shinotsuka, K., Ohgaki, K., 2002: Dynamic behavior of carbon dioxide gas related to formation and diminution of beer foam. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 60(1): 1–9.
- Pellaud, J., 2002: Gushing: state of the art. *Cerevisia* 27: 189–205.
- Rath, F., 2009: Gushing in 2008 – trialing the „Modified Carlsberg test“. *Brauwelt Int.* 27(1): 26–29.
- Roubík, K., 2006: Modelování biologických systémů metodou elektrických analogií a její aplikace na respirační soustavu. *Lékař a technika* 36(1): 18–23.
- Shokribousjei, Z., Deckers, S.M., Gebruers, K., Lorgouiloux, A., Baggerman, G., Verachttert, H., Delcours, J.A., Etienne, P., Rock, J., Michiels, G., Derdelinckx, G., 2011: Hydrophobins, beer foaming and gushing. *Cerevisia* 35: 85–101.
- Šavel, J., 2004: Měření vzdušného kyslíku a nadměrného pění piva v obalech. *Kvasny Prum.* 50(3): 66–69.
- Winkelmann, L., Hinzmann, E., 2009: The gushing puzzle – parts are still missing. *Brauwelt Int.* 27(1): 13–15.
- Zepf, M., Geiger, E., 2000: Gushing problems caused by calcium oxalate, Part 1, *Brauwelt Int.* 18(6): 473–475.
- Zepf, M., Geiger, E., 2001: Gushing problems caused by calcium oxalate (2), *Brauwelt Int.* 19(5): 420–425.

Recenzovaný článek / Reviewed paper

Do redakce došlo / Manuscript received: 21. 9. 2012

Přijato k publikování / Accepted for publication: 14. 12. 2012