

# Technologické možnosti ovlivnění pěnivosti piva

663.41 663.44

## I. část: Fyzikálně chemické faktory ovlivňující pěnivost a metody hodnocení pěnivosti

Ing. PETR ŤOPKA, Ing. PAVEL ČEJKA, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

**Klíčová slova:** pivo, pěna, pěnivost, trvanlivost, složení, technologie, fyzikálně chemický faktor, inhibitor

Pivo českého typu je charakterizováno bohatou, hustou, trvanlivou a na skle ulpívající pěnou, doprovázenou říznou a plnou chutí. Při úpravách technologie podřízečných stále se zvyšujícím požadavkům na čirost a koloidní trvanlivost piva není vždy lehké této charakteristice vyhovět a to mnohdy ani při dosycení piva oxidem uhličitým.

Cílem tohoto sdělení je v 1. části stručně objasnit vliv fyzikálně chemických faktorů na pěnivost a upozornit na problematiku jejího hodnocení, ve 2. části diskutovat některé možnosti ovlivnění pěnivosti z hlediska surovinové skladby a technologie.

### 1. FYZIKÁLNĚ CHEMICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PĚNIVOST A TRVANLIVOST PĚNY

Při nalévání piva do sklenice nebo při čepování piva se uvolňují bublinky oxidu uhličitého, stoupají k hladině, kde se hromadí za tvorby pěny. Postupným vytékáním kapaliny zadržené mezi bublinkami a shlukováním men-

ších bublinek do větších, které praskají, dochází k propadání pěny. Rozpadá-li se pěna pomalu, tvoří po celou dobu konzumace piva uzavřenou pokrývkou, která omezuje další únik oxidu uhličitého a zachovává tak pocit říznosti.

### Tvorba pěny

Z fyzikálně chemického hlediska je pěna disperzní soustavou bublinek plynu v kapalině. K jejímu vytvoření je nutná přítomnost pěnotvorných látek extraktu piva, které vytvářejí stabilizační film okolo jednotlivých bublinek.

Pěnotvorné látky difundují vzhledem k povrchové aktivitě rychle do mezifázového rozhraní, postupují do stěny bublinek a zajišťují její stabilitu. Mechanická pružnost vzniklého povrchového filmu může být pozitivně ovlivněna jejich interakcí s některými dalšími složkami extraktu. Kromě těchto tzv. *pěnotvorně pozitivních látek* obsahuje pivo látky, které strukturu pěny narušují



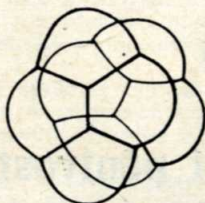
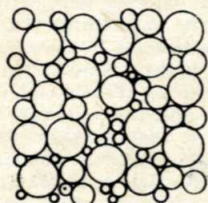
tím, že svou povrchovou aktivitou vytěsňují pěnотvorné látky z povrchového filmu. Tyto látky se nazývají *inhibitory pěny*.

Hustotu pěny lze definovat jako objem piva zadrženy v daném objemu pěny. Pěna je tím hustší, čím menší jsou bublinky z piva uvolňovaného oxidu uhličitého, tj. čím nižší je *povrchové napětí* piva. Nejvyšší hustotu má pěna bezprostředně po nalití.

### Rozpad pěny

Po nalití piva do sklenice vznikne tzv. *vlhká pěna* [1], která se tvoří postupným nakupením bublin plynu u hladiny kapaliny. Bubliny přitom zachovávají kulovitý tvar (obr. 1). V prostoru mezi bublinami se zachytí značné množství kapaliny, která vlivem gravitace rychle stéká, čímž se rozhraní kapalina-pěna posunuje směrem vzhůru. Tento jev se nazývá *odvodnění pěny*. Čím vyšší je *viskozita* a čím menší je průměr bublinek, tím pomalejší je odvodnění. V další fázi rozpadu pěny vzniká kvalitativně nový jev — stěny jednotlivých bublin se začnou vzájemně dotýkat, čímž se zpomalí odvodnění pěny. Bubliny se dostávají do stále těsnějšího kontaktu a vytvářejí mezi sebou společné stěny, které se stýkají v přepážkách (lamelách). K odvodnění dochází nyní současně ve všech stěnách i přepážkách, přičemž se nejdříve odvodní nejhořejší část pěny. Bubliny ztrácejí kulovitý tvar a postupně přecházejí na tvar mnohostěnu. Při konstantním povrchovém napětí je tlak uvnitř bublin nepřímo úměrný jejich průměru a plyn má tendenci difundovat na základě vyššího vnitřního tlaku styčnou plochou z malých do velkých bublin. Je-li tento plyn dobře rozpustný v kapalině, je difuze rychlejší. Proto je velmi důležitá povaha plynu uvnitř bublin. Bylo zjištěno, že pивní pěna napěněná čistým oxidem uhličitým se rozpadá asi 3–4krát rychleji než pěna napěněná kyslíkem nebo dusíkem.

Difuzí plynu se velikost bublin zvětšuje a naopak síla přepážek a stěn se zmenšuje. Jsou-li stěny bublinek příliš tenké, bublina splaskne a kapalina, která byla v přepážce vázána, tvoří poté vlastní kapku kapaliny. Povrch pěny klesá. Tento jev se nazývá *koalescence*.



Obr. 1. Schéma vlhké pěny Obr. 2. Schéma suché pěny

V posledních fázích své existence nabývá pěna hrubší struktury, je řídká a obsahuje díry. Stěny obklopující jednotlivé bubliny jsou velmi tenké a tvoří spojitou strukturu. Pěna zde nabývá charakteru tzv. *suché pěny* [1], (obr. 2). Tato pěna bývá dosti stálá a může setrvávat v nízké vrstvě na hladině piva po dlouhou dobu.

*Přilnavost pěny* je její způsobilost ulpívat po rozpadnutí nebo poklesu hladiny na stěně sklenice, což se projevuje sestupnými kroužky odpovídajícími každému napětí. Závisí jak na složení extraktivních látek piva, tak na vlastnostech povrchu skla.

Jak vyplývá z předcházejícího výkladu, je trvanlivost pěny závislá především na vyváženosti složek podporujících a inhibujících pěnívost. Mezi pěnотvorné pozitivní látky patří látky zpevňující povrchovou blanku bublinek, látky snižující povrchové napětí nebo zvyšující viskozitu piva.

#### 1.1. Pěnотvorné pozitivní látky

Nezastupitelnou úlohu při tvorbě a stabilizování pěny mají *dusíkaté látky* s molekulovou hmotností nad 12 tisíc. Spíše než o jednoduché bílkoviny se jedná o glykoproteiny. Jako sacharidická složka bývá zastoupena zejména

glukosa, arabinosa a xylosa [2, 3]. Účinek těchto látek doplňují i vyšší peptidy s molekulovou hmotností nad 5 tisíc. I zde byl zjištěn sacharidický podíl asi 35 % [4].

Uvedené látky jsou tenzioaktivní — tj. snižují povrchové napětí piva a svou polypeptidickou částí vytvářejí základní síť stěny bubliny. Polysacharidická část komplexu je hydrofilní a orientuje se proto do kapalně fáze, to znamená do prostoru mezi bublinami. Výsledkem je zvýšení viskozity a omezení vytékání kapaliny z pěny.

Pivo vyrobené bez cukerné surogace obsahuje obvykle dostatečné množství pěnотvorných dusíkatých látek. Při jeho postupném zředování 3% vodným roztokem ethanolu není trvanlivost pěny až do zředění 1:4 příliš ovlivněna. Teprve pak nastává prudký pokles. V přítomnosti většího množství inhibitorů pěny je tento přirozený přebytek dusíkatých látek výhodný [5].

Ke snížení povrchového napětí přispívají rovněž *hořké chmelové látky* a zejména iso- $\alpha$ -hořké kyseliny. O jejich hromadění v pění se lze přesvědčit i chutí, neboť v pění je asi 3krát více hořkých látek než v původním pivu. Rovněž tyto látky tvoří komplexy s bílkovinami a zpevňují tak pěnovou blanku. Výsledkem je zlepšení pěnívosti, stability a přilnavosti pěny. Jako dostačující se uvádí obsah 20 mg. l<sup>-1</sup> isohumulonů [6], přesto další přídavek iso- $\alpha$ -kyselin do piva zlepšuje trvanlivost i ulpívání pěny.

Obdobné pozitivní účinky mají dále *kovové ionty*, jako je Fe, Ni, Co. Podmínkou však je přítomnost hořkých chmelových látek [7]. Je třeba mít na paměti silnou toxicitu některých kovů (Ni) i katalytický účinek v oxidačních reakcích vedoucí ke zhoršení koloidní i chuťové stability (Fe). Pokud jde o Cu, není v literatuře shoda o jejím vlivu na pěnívost piva [13, 26].

Pěnívost podporují i další složky extraktu piva jako *melanoidiny*,  $\alpha$ -glukany,  $\beta$ -glukany, *pentózy* a *gumovité látky* tím, že zvyšují viskozitu, obdobně jako uvedené glykoproteiny.

Viskozita mladiny po přepočtu na 10 % hm. by měla být 1,6–1,75 m. Pa. s. Při hodnotách pod 1,5 m. Pa. s. podstatně klesá pěnívost, při hodnotách nad uvedenou horní hranici se naopak zhoršuje filtrovatelnost a vzrůstá nebezpečí tvorby zákalů [8]. Na zvýšení viskozity je založeno i použití *stabilizátorů pěny*, jako je propylenglykolalginát. I zde nastává interakce s bílkovinami a kompenzace vlivu lipidů, jejichž kontakt s bílkovinami je omezen.

Rovněž *ethanol* v koncentraci 1–3 % hm. příznivě ovlivňuje stabilitu a přilnavost pěny. Ethanol zvyšuje viskozitu piva a snižuje jeho povrchové napětí. Často uváděný negativní účinek (srážení pěny) se neuplatní při koncentracích ethanolu pod 10 % hm.

Závěrem zbývá ještě připomenout úlohu *oxidu uhličitého*, jehož uvolňování podmiňuje tvorbu pěny. V rozmezí od 4 do 5 g. l<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> úměrně roste i objem pěny a při dostatečném množství pěnотvorných látek může být výhodný i jeho větší obsah [9]. Vysoký obsah oxidu uhličitého je nutný zejména při studeném čepování a vzhledem k podmínkám výčepu u lahvového piva.

#### 1.2. Inhibitory pěny

Na prvním místě je nutno jmenovat *lipidy*, které vytěsňují dusíkaté látky z povrchového filmu bublinek a snižují tak pružnost pěnové blanky. Negativní účinek lipidů se uplatňuje tím více, čím méně pěnотvorných bílkovin pivo obsahuje.

Ve sladině bývá podle použitého sčezovacího systému 30–100 mg. l<sup>-1</sup> celkových lipidů, v mladině na vtoku do kvasné kádě 6–15 mg. l<sup>-1</sup>, a ve stočeném pivě pod 2 mg. l<sup>-1</sup>, pokud se neberou v úvahu nižší mastné kyseliny vzniklé při hlavním kvašení a dokvašování piva [10, 11].

Přibližně 80 % z celkového obsahu lipidů v mladině tvoří lipidy ze sladu, zbývající část lipidy z chmele. Nejvíce jsou zastoupeny volné kyseliny C<sub>16</sub>–C<sub>18</sub> (asi 30 %), následují fosfolipidy a glykolipidy (29 %) a triglyceridy (23 %). Diglyceridy se podílejí pouze asi 6 %, monoglyceridy 4 % [10, 11].

Vzhledem k hydrofobnímu charakteru lipidů je pivovarský proces velmi efektivní v jejich postupné eliminaci. Váží se na chmelové mláto, hrubý a jemný kal, povrch kvasničných buněk a zachycovány mohou být



i při filtraci. Část lipidů se dále využívá pro stavbu kvasničné buňky.

Je-li v mladině větší obsah lipidů, hrozí nebezpečí jejich zvýšené koncentrace v hotovém pivě a negativní ovlivnění pěnivosti. Naopak při nedostatku lipidů klesá pomnožení kvasinek, kvašení se zpomaluje a vzrůstá nebezpečí autolýzy (zejména u nedostatečně provzdušněných mladin). Deficitní na obsah lipidů mohou být filtrované mladiny, nebo mladiny s větší surogací cukrem.

Podle některých prací se lze domnívat, že i značné rozdíly v počáteční koncentraci lipidů v mladině se v průběhu další výroby prakticky vyrovnají a vzhledem k jejich velmi nízké konečné koncentraci není pěnivost piva ovlivněna [10, 11]. Vyšší obsah lipidů v mladině může být pro pěnivost piva dokonce výhodný, neboť omezuje pěníení při hlavním kvašení a snižuje tak ztráty pěnivostních bílkovin. Podmínkou je následně účinné odstranění lipidů (viz druhá část tohoto sdělení).

Významnější úloha se proto obvykle přisuzuje *nižším mastným kyselinám*, zejména s 6–10 uhlíky (kyselina hexanová, oktanová, dekanová), které vznikají při hlavním kvašení, popř. dokvašování a jejichž obsah může snadno překročit dále uvedené prahové hodnoty pro ovlivnění pěnivosti [12].

Negativní vliv mastných kyselin obecně stoupá s délkou řetězce, přičemž nenasycené mastné kyseliny mají větší účinek než nasycené. Z vyšších mastných kyselin se uplatňují zejména kyseliny s 16–18 uhlíky v molekule jako např. kyselina linolová a linolenová. Obdobný účinek jako volné mastné kyseliny mají glyceridy, fosfolipidy a další látky lipoidní povahy [5, 7, 8, 13].

S využitím literárních údajů [5, 8, 14] lze uvést tyto prahové koncentrace pro ovlivnění pěnivosti:

složka	prahová koncentrace (mg · l <sup>-1</sup> )
nižší mastné kyseliny C <sub>6</sub> –C <sub>10</sub>	20 – 4
triglyceridy	2
fosfolipidy	1,5
monoglyceridy	0,5
vyšší nenasycené mastné kyseliny C <sub>16</sub> –C <sub>18</sub>	0,1 – 0,5
diglyceridy	0,2

Ke zhoršení pívni pěny může vést i zvýšený obsah volných *hydrofobních aminokyselin* [8].

## 2. METODY STANOVENÍ PĚNIVOSTI

Nejjednodušší a spotřebitelskému hodnocení pěny nejbližší je prosté nalití piva do sklenice a kvalitativní posouzení množství vzniklé pěny, její struktury, trvanlivosti a přilnavosti na skle.

Pro objektivní stanovení pěnivosti piva byla vypracována řada metod, lišících se mezi sebou různými způsoby napěnění piva a hodnocení rozpadu pěny. Je značně obtížné nalézt vhodná kritéria, podle nichž lze tyto metody rozdělit na základě společných znaků. Například jen způsobů napěnění piva existuje značné množství: nalitím z láhve, z nálevky, z nálevacího přístroje, dále třepáním, napěněním oxidem uhličitým z tlakové bomby přes fritu nebo trysku, injekční stříkačkou, mixérem, ultrazvukem, vyspáním práškového karborunda atd. Zřejmě nejpříjemnější způsob rozdělení metod pěnivosti je podle hodnocení způsobu rozpadu pěny:

### 2.1 Metody stanovující rychlost odvodnění pěny (vzniku kapaliny z pěny)

Měří se objem kapaliny vzniklé z pěny, event. posun rozhraní kapalina-pěna v předem daném časovém intervalu. Tyto metody využívají většinou poznatku, že rozpad pěny probíhá (v určitém časově ohraničeném úseku) podle kinetické rovnice prvního řádu. Rozpad pěny je charakterizován buď tzv. poloviční dobou životnosti pěny, nebo hodnotou  $\Sigma$ , která vyjadřuje průměrnou životnost bublin.

Přitom platí, že

$$\Sigma = \frac{\text{poloviční doba životnosti pěny}}{\ln 2}$$

Do této skupiny patří např. metody podle Bloma [15], Helma [16], Rudina [17], Ross-Clarka [2], Ross-Clarka v modifikaci ASBC [18] a MEBAK [19], Průchy a Šroglá [20], Šavla [21] atd.

### 2.2 Metody stanovující rychlost poklesu pěny

Měří se čas, za který hladina pěny poklesne o určitou, většinou předem zvolenou hodnotu. Patří sem např. metoda podle De Clercka a Dijckera [22], metoda NIBEM podle Kloppea [23] aj.

### 2.3 Metody stanovující objem pěny v čase

Měří se celkový objem pěny ihned po napěnění a poté po určitém čase. Prakticky jediným reprezentantem této skupiny je metoda podle Aulta [24], částečně sem patří i subjektivní metody „na skleničku“, např. podle ČSN [25].

Uvedené metody se mezi sebou značně liší svým principem a proto jejich výsledky bývají těžko porovnatelné. Například některé pěny se rychle odvodňují, aniž dochází k rychlému poklesu pěny. Z tohoto důvodu by se měly brát metody stanovující rychlost odvodnění pěny s určitou rezervou, neboť spotřebitele hlavně zajímá objem a stálost pěny a ne rychlost, s jakou se odvodňuje. Kritizovány bývají rovněž metody, při kterých se napěňuje veškerý objem piva, což je naprosto odlišné od objemu piva napěněného při běžném nalití.

Rovněž reprodukovatelnost jednotlivých metod stanovení pěnivosti je problematická. Většinou platí, že čím je metoda reprodukovatelnější, tím více se vzdaluje spotřebitelskému hodnocení pěnivosti. Za hlavní příčiny špatné reprodukovatelnosti je možno uvést:

- nestandardní způsob napěnění, zvláště při ručním nalévání,
- různý poměr obsahu oxidu uhličitého a vzduchu uvnitř bublin (při napěnění oxidem uhličitým z tlakové bomby je důležitá jeho čistota),
- při napěnění přes fritu závisí často získané výsledky na použité fritě, což je způsobeno rozdílnou velikostí vznikajících bublinek,
- povrch pěny při propadání bývá nerovný,
- způsob mytí laboratorního skla nebo zařízení ke stanovení pěnivosti (užití detergentů).

V závěru je ještě nutno zmínit se o metodách, umožňujících stanovit *pěnivost schopnosti meziproduktů*, které při nalití samy nepění (např. mladiny), aby bylo možno vytvořit si určitou představu o obsahu pěnivostních látek v médiu dávajících předpoklad dobré pěnivosti piva. K tomuto účelu lze např. použít metody Ross-Clarka v modifikaci MEBAK [19] nebo metody podle Šroglá a Průchy [20]. Je však třeba upozornit na skutečnost, že získané výsledky lze posuzovat pouze relativně v návaznosti na určité technologické operace a že nemusí vypovídat o pěnivosti vyrobeného piva.

## Literatura

- [1] POUCHLY, J. - VAVRUCH, I.: Fyzikální chemie koloidních soustav, SNTL, 1980
- [2] ROSS, S. - CLARK, G. L.: Wallerstein Laboratory Communications, 6, 1939, s. 46
- [3] ROBERTS, R. T.: Proc. Eur. Brewery Conv. Congr. Nice, 1975, s. 453
- [4] ANDRESON, F. B.: J. Inst. Brew., 72, 1986, s. 384
- [5] ROBERTS, R. T. - KEENEY, P. J. - WAINWRIGHT, T.: J. Inst. Brew., 84, 1978, s. 9
- [6] BAMFORTH, C. W. - JACKSON, G.: Eur. Brew. Conv. Congr., London, 1983, s. 331
- [7] BAMFORTH, C. W.: J. Inst. Brew., 91, 1985, s. 370
- [8] KAHLER, M.: Dílčí zpráva k MÚ 9, 1979
- [9] KRAUSS, G. - ZÜRCHER, CH. - HOLSTEIN, G.: Mschr. f. Brauereie, 25, 1972, s. 113
- [10] DUFOUR, J. E. - ALVAREZ, P. - DEVREUX, A. - GERARDI, W.: Mschr. f. Brauereie 1986, 3, s. 115
- [11] ANNESS, B. J. - REED, R. J. R.: J. Inst. Brew., 91, 1985, s. 82
- [12] ZÜRCHER, CH.: Disserationonty Berlin, Dipl. práce, VŠCHT, M. Záveský, květen 1980, s. 89, odkaz 32
- [13] LYONS, T. P.: Brew. Digest, 59, 1984, s. 22
- [14] BRODERICK, H. M.: El cervecero en la práctica, Madison, Wisconsin, 1977
- [15] BLOM, J.: J. Inst. Brew., 43, 1937, s. 251
- [16] HELM, E. - REICHARDT, O. C.: J. Inst. Brew., 42, 1936, s. 191



- [17] RUDIN, A D: J. Inst. Brew., **63**, 1957, s. 508
- [18] Methods of Analysis of the ASBC, ASBC, St. Paul, USA
- [19] Brautechnische Analysenmethoden, Methodensammlung der MEBAK, Band II, Freising, Weiherstephan, BRD
- [20] PRŮCHA, P. - ŠROGL, J.: Kvas. prům. **25**, 1979, s. 73
- [21] ŠAVEL, J.: Kvas. prům. **32**, 1986, s. 101
- [22] De CLERCK, J. - de DIJCKER, G.: Brauwelt, **97**, 1957, s. 750
- [23] KLOPPER, W. J.: Brewers Digest, 1977, s. 51
- [24] AULT, R. G. - HUDSON, E. - LINEHAN, D. J. - WOODWARD, J. D.: J. Inst. Brew., **73**, 1967, s. 558
- [25] ČSN 56 0186, Metody zkoušení piva, část 3
- [26] NIESIND, H. J. - SPÄTH, G.: EBC Proc. Congr., 1973, s. 297

*Lektoroval Ing. Jan Voborský*

**Topka, P. — Čejka, P.: Technologické možnosti ovlivnění pěnivosti piva. I. část: Fyzikálně chemické faktory ovlivňující pěnivost a metody hodnocení pěnivosti.** Kvas. prům. **33**, 1987, č. 1, s. 3—6.

První část sdělení obsahuje stručný výklad fyzikálně chemických faktorů ovlivňujících pěnivost a trvanlivost pěny. Dále jsou uvedeny hlavní skupiny pěnotvorně pozitivních látek a inhibitory pěny. Následuje diskuse analytických metod používaných ke stanovení pěnivosti.

**Топка, П. — Чейка, П.: Технологические возможности действия на пенообразование пива. 1-ая часть. Физико-химические факторы, влияющие на пенообразование и методы оценки пенообразования.** Kvas. prům. **33**, 1987, No. 1, pp 3—6

Первая часть сообщения содержит краткое изложение

физико-химических факторов, оказывающих влияние на пенообразование и устойчивость пены. Далее приводятся главные группы пенообразно-положительных веществ и ингибиторы пены. Следует дискуссия по аналитическим методам, применяемым для определения пенистости.

**Topka, J. — Čejka, P.: Technological Possibilities Affecting Beer Foaming. Part I. Physico-Chemical Factors Affecting Foaming and Methods for Foaming Evaluation.** Kvas. prům. **33**, 1987, No. 1, pp. 3—6.

A brief elucidation of the physico-chemical factors affecting foaming and foam stability is given in this first part. Also the main groups of foam supporting compounds and foam inhibitors are mentioned. Analytical methods used for foaming evaluation are discussed.

**Topka, P. — Čejka, P.: Technologische Möglichkeiten der Beeinflussung der Schaumhaltigkeit des Bieres. I. Teil. Physikalisch-chemische Faktoren, die die Schaumhaltigkeit beeinflussen und die Methoden der Schaumhaltigkeitsbewertung.** Kvas. prům. **33**, 1987, Nr. 1, S. 3—6.

In dem ersten Teil der Mitteilung ist eine zusammenfassende Erörterung der physikalisch-chemischen Faktoren enthalten, die die Schaumhaltigkeit und Schaumstabilität beeinflussen. Weiter werden die Hauptgruppen der positiv schaumbildenden Substanzen und die Inhibitoren des Schaumes angeführt. Nachfolgend werden die analytischen Methoden zur Messung der Schaumhaltigkeit diskutiert.