

## MĚŘENÍ PĚNIVOSTI PIVA

## MEASUREMENT OF BEER FOAMING POWER

JAN ŠAVEL, ADAM BROŽ

Budějovický Budvar, n. p., Karoliny Světlé 4, 370 21 České Budějovice, e-mail: savel@original-budweiser.cz

**Šavel, J. – Brož, A.: Měření pěnivosti piva.** Kvasny Prum. 52, 2006, č. 10, s. 314–318.

Článek uvádí souhrn jednotlivých principů i metod měření pěnivosti piva včetně kinetických rovnic popisujících rozpad pěny. Pěnivost je komplexní znak kvality zahrnující více aspektů, např. stabilitu pěny, její vzhled, strukturu, schopnost ulpívat na sklenici a odolávat negativně působícím vlivům. Vzhled a struktura pěny rovněž záleží na způsobu napěňování, např. lití piva z láhve, nebo čepování z pípy. Z těchto důvodů neexistuje univerzální metoda měření pěnivosti a je nutno vybrat vhodnou metodu, vystihující příslušnou vlastnost, která má pro daný okruh zákazníků největší význam. Pěnivost piva lze předpovědět na základě různých chemických a fyzikálních rozborů a protože souvisí s obsahem sacharidů a bílkovin, lze očekávat úspěšné využití infračervené spektrometrie pro předpověď různých vlastností pěny.

**Šavel, J.–Brož, A.: Measurement of beer foaming power.** Kvasny Prum. 52, 2006, No. 10, p. 314–318.

The article summarizes the principles and methods of measurement of beer foaming power including kinetic equations describing foam disintegration. Foaming power a complex quality parameter comprising of several aspects, such as foam stability, its appearance, structure, its capability of clinging to a glass and resistance against negative effects. The foam appearance and structure also depend on the way of foam formation, for example pouring of beer from a bottle or draft. For these reasons, there is no universal method for foaming power measurement and such method should be chosen for the measurement that would give a true picture of the property in question, being of the greatest significance for the given customer segment. The beer foaming power can be predicted on the basis of various chemical and physical analyses and, since it is connected with the content of saccharides and proteins, infrared spectrometry can be expected to be successfully used for the forecast of various foam properties.

**Šavel, J.–Brož, A.: Messen der Bierschaumkraft.** Kvasny Prum. 52, 2006, Nr. 10, S. 314–318.

## 1 ÚVOD

Pěnivost piva je prvním vjemem, kterým pivo působí po nalití na konzumenta. Kvalitu piva spotřebitel posuzuje svými smysly, a vnímá ji jako výsledný dojem, vytvořený psychickým zpracováním pozorovaných znaků [1].

Znaky nebo charakteristiky jakosti se dělí na skutečné a na náhradní. Skutečné znaky se obtížně specifikují, orientují se na smyslové vnímání, pocity, a často se vyjadřují porovnáváním (pivo jako křen, nabádá k dalšímu napití, má zlatavou barvu, pěnu jako smetanu, říz apod.).

Při pozorování pěny se kombinují různé její vlastnosti, protože spotřebitel vnímá výšku pěny, její tvar, strukturu, barvu, rychlost rozpadu, ulpívání na stěně sklenice a zejména vzhled a stabilitu poslední vrstvy pěny na hladině piva do vzniku tzv. lysinky.

Náhradní znaky nahrazují skutečné znaky jen částečně, ale jejich výhodou je měřitelnost, která je nezbytná při průmyslové výrobě. Mezi tyto znaky např. patří barva piva, měřená spektrofotometricky, obsah oxidu uhličitého, hustota pěny a její stabilita.

Při měření pěnivosti piva se uplatňují tyto principy:

- vizuální posouzení (popis pěny),
- měření rychlosti poklesu povrchu pěny,

- měření nárůstu objemu piva pod pěnou během jejího rozpadu,
- měření dalších fyzikálních vlastností pěny,
- měření pěnivě schopnosti matrice (PSM).

Z fyzikálního hlediska se uplatňují zejména optické nebo vodivostní metody. Všechny způsoby měření závisejí také na způsobu tvorby pěny. Je dobře známo, že pěna vytvořená po nalití piva do sklenice má jiný vzhled a vlastnosti, než při čepování stejného piva z pípy, značný vliv má kvalita skla a jeho čistota. Pěnivost piva závisí na chemickém slo-

Im diesen Artikel wird ein Überblick von einzelnen Bierschaumkraftmessmethoden und -prinzipien einschließlich den Schaumzerfall beschreibenden kinetischen Gleichnissen beschrieben. Die Schaumkraft stellt ein Komplexqualitätsmerkmal dar, daß mehrere Aspekte wie z.B. Schaumstabilität, -ansehen, -struktur, die Schaumfähigkeit an der Trinkglasswand anzuhaften oder die Schaumfähigkeit den negativ wirkenden Einflüssen zu widerstehen umfasst. Das Schaumansehen und -struktur hängt auch von der Biergießenart oder vom Bierzapfen ab. Aus diesen Gründen gib's keine universelle Bierschaumkraftmessmethode und es ist nötig eine geeignete Messmethode auszuwählen, die für Kunden die grösste Bedeutung hat. Es ist schon möglich die Bierschaumkraft gemäß der verschiedenen chemischen- und physikalischen Analysen vorherzusagen, weil die mit den Sacchariden- und Eiweißstoffgehalt zusammenhängt. Deswegen für eine Vorhersage von verschiedenen Schaumkraftseigenschaften kann eine erfolgreiche Verwendung der Infrarotspektrometrie erwartet werden.

**Шавел, Я.–Брож, А.: Измерение пенообразования пива.** Kvasny Prum. 52, 2006, No. 10, стр. 314–318.

Статья вводит сводку отдельных принципов и методов измерения пенообразования пива включая кинетические уравнения описывающие распад пены. Пенообразование является комплексным знаком качества включающим разные аспекты, например стабильность пены, её вид, конституцию, способность останавливаться на стенке докала и не поддаваться отрицательным воздействиям. Вид и конституция пены также зависят от метода вспенивания, напр. разлив из бутылки или боcheяный разлив. Поэтому не существует универсальный метод измерения пенообразования и необходимо избрать удобный метод для свойства которое имеет самое большое значение для данного круга клиентов. Пенообразование пива можно предсказать на основании разных химических и физических анализов. Из за связанности с содержанием углеводов и белковых веществ можно ожидать успешное использование инфракрасной спектроскопии для предсказания разных свойств пены.

žení plynné i kapalně fáze piva a okolních podmínkách jako jsou teplota, vlhkost a tlak [2, 3]. Přehled metod pro měření pěnivosti uvádějí starší i nové práce [4, 5].

## 2 ZPŮSOBY TVORBY PĚNY

Při tvorbě pěny se uplatňují různé principy uvolňování rozpuštěných plynů, nebo naopak jejich zavádění do piva (tab. 1). Ačkoliv laboratorní způsoby napěňování jsou staré asi 100 let, objevují se znovu v různých modifi-

Tab. 1 Způsoby tvorby pěny (upraveno podle Angera a Glarø 2002)

Zavádění plynu	Volný pád piva
Fürnrohr (1913) Blom a Prip (1936) Ross a Clark (1939) Kolbach a Schilfarth (1953) Piratzky (1955)	Baker a Hulton (1923) Helm (1929) Hartong (1941) De Clerk (1951) Ziliotto (1954) Ullmann a Pfenninger (1977)
Třepání	Náhlé uvolnění oxidu uhličitého
Heuss (1916) Windisch, Kolbach a Banholzer (1925)	Schuster a Mischke (1937), přídavek skleněného prachu Brenner (1950), pokles tlaku Klopper (1973), pokles tlaku Rasmussen (1981), pokles tlak

kacích. Kromě toho se při napěňování piva uplatňují tyto principy:

- ultrazvuk,
- elektrolyza,
- míchání nebo mixování,
- průchod piva tryskou pod tlakem.

### 3 PRINCIPY HODNOCENÍ PĚNIVOSTI A STABILITY PĚNY

Termínem pěnivost se někdy označuje pěnivá schopnost piva, jindy se pod toto označení zahrnuje i stabilita pěny. Nejvíce postupů využívá měření přírůstku objemu nebo hmotnosti piva, vzniklého rozpadem pěny za definovaných podmínek. Počátek rozpadu se obvykle charakterizuje množstvím piva právě přítomného v pěně.

Tato koncepce vedla k aplikaci kinetické rovnice prvního řádu a z ní odvozených parametrů rozpadu, např. hodnoty  $\Sigma$  (Sigma) a poločas rozpadu  $\tau_{0.5}$ . Tyto postupy, které se odvozují již od prací Bloma z roku 1936 a 1937 a Rosse a Clarka z roku 1939, později pokračovaly v různých modifikacích [6–9]. Literární údaje z té doby tak umožňují porovnávat pěnivost současných piv s pěnivostí piv, vyráběných před sedmdesáti lety.

Ve Velké Británii se často používá Rudinova hodnota pěnivosti *HRV* (Rudin Head Retention Value), pocházející z roku 1957 [10, 11]. Pivo se napěňuje proudem plynu ve válci s délkou 35 cm a obsahujícím značku ve vzdálenosti 5, 7,5, 10 a 32,5 cm ode dna. Pivo se naplní ke značce 10 cm, potom se napění a po dosažení výšky 32,5 cm se měří čas rozpadu, které odpovídají pohybu hladiny piva k jednotlivým značkám. Doba mezi 5 a 7,5 cm se označuje jako poločas rozpadu.

Pěna se také může vytvářet protlačováním piva tryskou. Hodnota *FFV* (Foam Flashing Value) udává objem pěny, zbývající po časovém rozpadu 200 ml pěny po jejím rozpadu během prvních 90 s. Tato hodnota se počítá podle vztahu

$$(1) \quad FFV = 200 \cdot \frac{(B_2 - B_1)}{B_2}$$

kde  $B_1$  je objem piva, vzniklého během rozpadu pěny během 90 s,  $B_2$  je celkový objem piva v 200 ml pěny [12].

Po napěnění piva proudem oxidu uhličitého procházejícího skleněnou fritou a po odečtení prvních podílů piva se předpokládá exponenciální rozpad pěny a měřila směrnice časové závislosti logaritmu objemu piva, zbývajícího v pěně [13].

Jiní autoři měřili množství piva zbývajícího v pěně po 10 min rozpadu v poměru k počátečnímu množství piva v pěně [14]. Výpočet podle kinetiky prvního řádu k měření stability pěny použili Blom a Prip v roce 1937 při vážení piva, odtékajícího z pěny v nálevce [6, 7].

Často se pohyb hladiny piva, vzniklého z pěny vizuálně odečítá a výsledky zaznamenávají graficky nebo v tabulce. Z doby průchodu hladiny piva dvěma značkami se opět vypočítává konstanta rozpadu nebo jiný parametr z ní odvozený, pro dosažení vyšší reprodukovatelnosti se nastaví průtok plynu podle průtokoměru [15].

Z těchto údajů je zřejmé, že existují nejméně dvě fáze rozpadu piva, přičemž v první fázi se tvoří hlavně mokrá pěna, z které rychle stéká pivo. Zbývající suchá pěna se pomalu rozpadá podle kinetiky prvního řádu. Po-

drobnější informaci o obou fázích rozpadu lze získat změřením směrnic pro jejich obě fáze [12].

Pěnivost se také může vyjadřovat hodnotou rychlosti poklesu povrchu pěny, měřenou např. posunem tubusu mikroskopu, zaostřeného na horní vrstvu pěny [16]. Jindy se pěnivost hodnotí dobou rozpadu pěny do vzniku tzv. lysinky. Dnes již neplatná původní norma ČSN pro hodnocení pěnivosti zaznamenávala výšku pěny po nalití a odečtení piva z pěny, i dobu do vytvoření lysinky.

Ačkoliv přesnost takového měření je nízká, metoda je velmi užitečná, neboť podobným způsobem hodnotí pěnivost piva spotřebitel. Aby se standardizovalo nalévání, používají se různé nalévací přístroje založené na mechanickém překlopení láhve do šikmé polohy. Tak je možné nalévat i více vzorků najednou [17, 18].

Časový průběh objemu piva, vznikajícího rozpadem pěny získané mixováním, umožnilo nalézt fázi rozpadu, v níž byly rozdíly mezi pivy největší [19].

Doba rozpadu pěny se měří podle intenzity světla procházejícího pěnou, nebo se jednotlivé fáze rozpadu zachytí fotograficky na několika snímcích a z nich se určí parametry rozpadu pěny. Tyto postupy nabývají na významu s rozvojem digitální fotografie.

Pěnivost, zahrnující hodnocení struktury pěny, se zakládá na měření velikosti jejích bublinek a jejich odolnosti proti přidavku detergentu [20]. Vzhled bublinek zachycených na fotografii také slouží k stanovení doby rozpadu pěny *FCT* (Foam Collapse Time) [18].

Při přeměně pěny v pivo se současně mění její hustota *FD* (Foam Density), která se určí jako podíl objemu piva v pěně a objemu pěny, přičemž se tyto hodnoty zaznamenávají v čase. Pro výpočet hustoty pěny se používá vztah

$$(2) \quad FD = \frac{V_{BT} - V_B}{V_T - V_B}$$

kde  $V_{BT}$  je celkový objem piva v pěně na počátku rozpadu, zatímco  $V_T$  je celkový objem pěny a piva a  $V_B$  je objem piva pod pěnou, přičemž se tyto hodnoty zaznamenávají v čase. Např. po jedné minutě od jejího vzniku se hustota pěny pohybovala od 0,2 do 0,5 [12]. Objem pěny, vztažený na objem piva v ní se nazývá pěnivý objem. Hustota a kvalita pěny se také posuzuje měřením její vodivosti, neboť mokrá pěna obsahuje mnoho piva a má tudíž velkou vodivost.

Glenister a Segel v roce 1966 posuzovali originálním způsobem kvalitu pěny měřením její viskozity podle doby pádu malé skleněné perly pěnou [21]. Mnoho metod zkoumalo stabilitu a vlastnosti pěny podle ulpívání na sklenici (tzv. kroužkování). Stejní autoři rozlišovali primární a sekundární kroužky, podle toho, zda vznikly ulpíváním pěny po nalití, nebo po napití [20]. Další postupy se zakládaly na měření pěny, ulpívající na vložené skleněné destičce. Ulpívání pěny na stěně sklenice se obvykle měří zákaloměrem jako podíl rozptýleného světla, nebo se vzhled kroužků zachytí na fotografii. Digitální fotografie používá stejnou strategii, často spojenou s digitálním zpracováním obrazu.

Postup podle Jacksona a Bamfortha se zakládá na postupném odpouštění napěněného piva z nálevky, čímž se na její stěně vytvářejí kroužky. Ulpívající pěna se potom opláchně destilovanou vodou, absorbance získaného

roztoku se proměří při 230 nm a porovná s absorbancí příslušně zředěného piva. Výsledek se uvádí jako index ulpívání [17].

Při měření pěnivosti piva se používají výhradně čisté nádoby umyté v myčce nádobí, odmaštěné chromsírovou směsí nebo vypařené. Při skutečné konzumaci piva se používají běžně umyté sklenice, do nichž se pitím vnáší zbytky rušivých látek (tuků) z potravy. Odolnost proti inhibitorům pěny se měří přidáním inhibitorů do piva v závislosti na jejich koncentraci. Podobná strategie se používá i při hodnocení stabilizátorů pěny, kde se často jako inhibitor používá mléko nebo jiné potraviny, obsahující rušivé lipidy [20].

### 4 KINETICKÉ ROVNICE ROZPADU PĚNY

#### 4.1 Popis přírůstku objemu piva

Pro popis rozpadu pěny jsou důležité počáteční podmínky rozpadu. Za začátek rozpadu se obvykle považují konec napěňování, pokles povrchu pěny o stanovenou vzdálenost nebo jiný definovaný okamžik, např. průchod rozhraní mezi kapalinou a pěnou značkou s předepsanou polohou.

Rozpad pěny zahrnuje tři časové fáze, obvykle označované římskými číslicemi:

- I. stékání pěny z piva (mokrý pěna),
- II. exponenciální rozpad pěny (suchá pěna),
- III. rozpad posledních podílů pěny (výrazná změna struktury pěny).

Většina metod měří rozpad pěny v druhé fázi, po počátečním odečtení piva, kde se předpokládá platnost kinetické rovnice prvního řádu. Přírůstek objemu piva v čase klesá, což odpovídá exponenciálnímu rozpadu se zápornou hodnotou konstanty  $k$  uváděnou však výhradně v absolutní hodnotě. Rozpad pěny v této fázi se někdy nesprávně označuje jako logaritmický. Pokles změny objemu piva udává vztah

$$(3) \quad \frac{dV}{d\tau} = -kV$$

kde  $V$  je objem piva v pěně,  $\tau$  je čas a  $k$  kinetická konstanta rozpadu pěny. Po integraci se získá vztah

$$(4) \quad V = V_0 \cdot e^{-k\tau}$$

kde  $V_0$  je objem piva v pěně v počátku měření času ( $\tau = 0$ ), tj. po odečtení piva po jeho nalití. Je zřejmé, že pěna se úplně rozpadne až v nekonečném čase, což ovšem neodpovídá skutečnosti, a proto se volí konečný časový interval  $\tau_k$  pro konečný rozpad pěny. Je nutno si ale uvědomit, že rovnice vlastně popisuje přírůstek objemu piva, zatímco se mění struktura pěny, a proto rovnice nepopisuje dostatečně změny objemu pěny, ani pokles jejího povrchu. Po logaritmování se získá

$$(5) \quad \ln \frac{V_0}{V} = k\tau_k$$

z něhož se obvykle počítá hodnota kinetické konstanty  $k$ . Klasická metoda podle Rosse a Clarka používá měřených hodnot  $c$  jako objemu piva zbývajícího v nerozpadlé pěně a  $b$  pro objem piva, již uvolněného rozpadem. Nejčastěji se přitom používá obvyklého vztahu s dekadickým logaritmem a hodnotou  $\Sigma$ , která je převrácenou hodnotou rozpadové konstanty  $k$

$$(6) \quad \Sigma = \frac{\tau}{2,303 \cdot \log \frac{(b+c)}{c}}$$

pro poločas rozpadu  $\tau_{0,5}$ , potom platí, že  $\Sigma = 1,44 \tau_{0,5}$ , neboť platí vztah

$$(7) \quad \Sigma = \frac{\tau_{0,5}}{\ln 2}$$

Jednotliví autoři si dobře uvědomovali, že první fáze stékání piva je odlišná od rozpadu pěny v druhé fázi. Proto se výsledná křivka nahrazovala dvěma kinetickými konstantami  $k_1$  a  $k_2$  získanými proložením logaritmické závislosti dvěma přímkami s rozdílnou směrnici [12]. Přechod mezi oběma fázemi je však plynulý a vyhovuje mu složená kinetická rovnice, kterou jsme odvodili v roce 1986 [22, 23]

$$(8) \quad c = c_{\infty} - a_0 \frac{k_2}{k_2 - k_1} \cdot e^{-k_1 \tau} + \left( a_0 \frac{k_2}{k_2 - k_1} - b_0 \right) \cdot e^{-k_1 \tau}$$

kde  $c$  je objem (výška) piva pod pěnou,  $c_{\infty}$  je objem piva po úplném rozpadu pěny,  $a$ ,  $b$  jsou objemy piva vázaného nebo volně přítomného v pění a  $\tau$  je čas. Konstanty  $k_1$ ,  $k_2$  udávají rozpad pěny v I. a II. fázi, index 0 indikuje počátek rozpadu. Platnost rovnice prokázal v poslední době Sladký [24].

#### 4.2 Popis poklesu povrchu hladiny pěny

Ačkoliv se pokles povrchu pěny v čase obvykle udává trojicí časových údajů pro pokles o 10, 20 a 30 mm, jen málo autorů zkoumalo matematické vyjádření této závislosti. Pokles celkové výšky pěny lze vyjádřit kvadratickou závislostí

$$(9) \quad H = a\tau^2 + b\tau + c$$

kde  $H$  je celková výška pěny s pivem,  $c$  má význam počáteční výšky a  $b$  počáteční rychlosti rozpadu pěny. Rovnice platí pro fázi I. a II. rozpadové křivky, ale selhává ke konci rozpadu, podobně jako vztahy

$$(10) \quad H = H_0 \cdot e^{-k\tau}$$

$$(11) \quad H - c_{\infty} = (H_0 - c_{\infty}) \cdot e^{-k\tau}$$

kde  $H_0$  je počáteční výška pěny s pivem,  $c_{\infty}$  je výška piva po úplném rozpadu pěny a  $k$  obecná kinetická konstanta rozpadu [25, 26].

#### 4.3 Popis poklesu skutečné výšky pěny

Po odečtení prvních podílů piva z pěny se také absolutní výška, počítaná jako rozdíl výšek piva s pěnou a hladiny piva pod pěnou, řídí kinetikou prvního řádu

$$(12) \quad \ln(F_{\tau}) = a + b\tau$$

kde  $F_{\tau}$  je absolutní výška pěny,  $\tau$  je čas v minutách. Po uplynutí první minuty platí, že odpovídající výška pěny je  $\exp(a+b)$  a doba rozpadu pěny  $-a/b$ . Jako další parametry se používají poločas rozpadu  $\tau_{0,5}$  a hustota pěny  $FD$

$$(13) \quad \tau_{0,5} = \frac{\ln(0,5)}{b}$$

$$(14) \quad FD = \frac{L_f - L_1}{\exp(a + b)}$$

kde  $L_f$  je konečná výška piva a  $L_1$  výška piva v první minutě. Kvalita pěny se počítá jako desetinasobek součinu výšky pěny a její hustoty a spektrum charakteristik pěny doplňují ještě dva tzv. normalizované poločasy rozpadu [27].

#### 4.4 Popis rozpadu poslední vrstvy pěny

Během rozpadu zbývající pěny se výrazně mění její struktura, čemuž odpovídají rozdílné kinetické rovnice pro rozpad pěny v II. a III. fázi [28]. Pro exponenciální fázi platí známý vztah

$$(15) \quad V_1 = V_{01} \cdot e^{-k\tau}$$

zatímco pro poslední fázi vztahy

$$(16) \quad \ln V = a - b\tau - c\tau^{2,5}$$

$$(17) \quad V_2 = V_{02} \cdot e^{-b\tau - c\tau^{2,5}}$$

kde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  jsou empirické konstanty a  $\tau$  je čas. Nevýhodou tohoto popisu je opět skutečnost, že obě rovnice platí odděleně vždy jen pro příslušnou část rozpadové křivky.

### 5 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ STABILITY PĚNY

#### 5.1 Vodivostní měřiče

##### 5.1.1 Měření poklesu povrchu pěny

Na měření vodivosti se zakládají přístroje sestavené na základě dvou různých principů. V prvním z nich vodivostní čidlo sleduje pokles povrchu pěny v čase a výsledky se zaznamenávají jako závislost výšky pěny v čase.

##### Měřič stability pěny NIBEM

Přístroj původně vyvinula holandská firma TNO pro zkoumání pohybu hladiny Rýna v jeho holandské deltě [29–32]. Později se ověřilo jeho použití pro měření pěnívosti. Různé verze přístroje (NIBEM, NIBEM-T, NIBEM-TPH) měří časy potřebné pro pokles povrchu pěny o 10, 20 a 30 mm. Po naplnění piva průchodem tryskou se měření zahájí po počátečním poklesu pěny 10 mm pod okraj nádoby. Poslední verze (NIBEM-TPH) používá stejnou strategii, doplněnou o korekci změřených hodnot na barometrický tlak, teplotu a vlhkost vzduchu. Při měření stability pěny Analytickou komisí EBC se pěnívost pív pohybovala mezi 160–310 s pro pokles hladiny pěny o 30 mm.

##### Poloautomatický měřič poklesu pěny

Pivo se napěňuje průchodem tryskou, pádem z nálevky nebo ultrazvukem. Přístroj se světelnou a zvukovou indikací kontaktu vodivostního čidla s povrchem pěny vyžaduje manuální posun a odečet polohy elektrod na připojené stupnici. Nerovnost povrchu pěny se vyrovnává otáčením nádoby s pěnou [26].

##### Automatický měřič pěny SITA

Pěna se z různých pěnívých kapalin vytváří vlněním vzduchu a mícháním kapaliny spe-

ciálním rotorem. Senzor, tvořený soustavou měřicích jehel, umožňuje mapovat tvar povrchu pěny, přístroj má také vlastní termostat a sanitační režim [33].

#### Víceúčelový měřič pěny 1-CUBE

Pivo se napěňuje pod nízkým (10–20 kPa) nebo vysokým (200–300 kPa) tlakem. Nízkotlaké napěňování napodobuje lití piva z lahve, při vysokotlakém napěňování se pivo protlačuje tryskou a měření odpovídá měřicímu režimu NIBEM. Jako zdroj tlaku se používá tlaková lahev nebo vzduchové čerpadlo. Posun elektrod je automatický se záznamem parametrů pěnívosti. Na rozdíl od měřiče NIBEM se sleduje rozpad pěny až do výšky 0,5 mm nad hladinou piva. Přístroj dále umožňuje vytvořit pěnu u kapalin nesyčených oxidem uhličitým a měření rychlosti jejího poklesu pevnými elektrodami (měření pěnívosti schopnosti matrice PSM) [34].

#### 5.1.2 Měření vodivosti pěny

Druhý způsob využití vodivostního měření se zakládá na měření vodivosti pěny v konduktometrické komůrce, ponořené do pěny.

#### Měření vodivosti pěny

V konduktometrické nádobce se měří změny vodivosti pěny během rozpadu. Výsledná křivka odpovídá dvěma fázím rozpadu pěny s konstantami  $k_1$  a  $k_2$ . Činnost přístroje se ověřovala se syntetickým pivem, složeným z roztoku bílkovin a hořkých látek [35].

#### 5.2 Optické měřiče

##### 5.2.1 Průchod světla pěnou

Většina optických měřičů měří průchod světla pěnou ve svislém směru. Po dosažení dostatečné intenzity procházejícího světla se zastaví stopky a odečte doba rozpadu pěny.

##### Fotoelektrický přístroj se spodním zdrojem světla

Fotoelektrické měření trvanlivosti pěny publikoval Schermbach po sedmiletých zkušenostech s přístrojem vyvinutým v pivovaru Lindener Gilde Brau v roce 1972. Zdroj světla je umístěn ve dně nádoby, fotočlánek ve víku měřiče a měří se doba, za jakou světlo pronikne pěnou. Doby rozpadu piva napěněného tryskou se pohybovaly mezi 5 až 10 min [36].

##### Fotoelektrický přístroj s horním zdrojem světla

Pivo se napění pádem z nálevky a měří se doba, za kterou světlo ze 60 W žárovky pronikne vrstvou rozpadající se pěny v nádobce s velkoplošným fotočlánkem, umístěným pod nádobkou. Výsledky odpovídají měření doby do vzniku lysinky v rozmezí 100–500 s [37].

##### Fotoelektrický přístroj se světlovodným čidlem

Do napěněného piva se zasune světlovodné čidlo, které měří intenzitu procházejícího světla a stabiliza pěny se opět vyjadřuje dobou jejího rozpadu [38].

#### Měření doby rozpadu pěny

Pěna se vytvoří přirozeným naléváním do pívni sklenice za standardních podmínek vymezujících pohyb a sklon lahve. Tím se získá 3,2 cm vysoká pěna a jako doba rozpadu



pěny FCT (Foam Collapse Time) se definuje doba od nalití do tvorby poslední vrstvy bublinek pěny na hladině piva. Rozpad pěny znamená digitální kamera a ze záznamu se vizuálně určí okamžik, kdy se objeví tmavé zbarvení hladiny piva, prosvítající pod poslední vrstvou bublinek. Tato doba se pohybovala mezi 100–160 s [18].

### 5.2.2 Měření pohybu rozhraní mezi pivem a pěnou

Druhá skupina přístrojů měří naopak průchod světla ve vodorovném směru kolmo k nádobce s pěnou. Přístroje obsahují dva a více optických detektorů, zaznamenávají pohyb rozhraní mezi pivem a pěnou v předem vymezených vzdálenostech.

### Galesův analyzátor pěnivosti

V skleněném válci se vytvoří pěna a měří se pohyb rozhraní polem 15 světelných diod [39]. Pivo se nalévá ručně, měřicí válec se vyplachuje vodou. Je zajímavé, že nalévání piva poskytovalo reprodukovatelnější výsledky ve srovnání s napěněním ultrazvukem.

### Automatický analyzátor pěny Carlsberg

Původní analyzátor pivovaru Carlsberg z roku 1981 existuje nyní v plně automatizované i manuální verzi [40, 41]. Pivo se napěňuje tryskou, pohyb rozhraní mezi pivem a pivem sleduje pohyblivá digitální kamera s přesností záznamu 0,1 mm. Ze změřených bodů se počítají hodnoty poločasů i HRV podle Rudina.

### Měřič Lg Automatic

Přístroj se skládá ze skleněného válce, v němž se po průchodu piva tryskou vytvoří hustá pěna, infračervená čidla měří pohyb hladiny piva mezi dvěma ryskami a ze získaných hodnot vypočte poločas rozpadu [42, 43]. Přívod vodovodní vody usnadňuje vyplachování válce, doba napěňování se řídí elektronicky ovládaným ventilem.

Nastavení vzdálenosti senzorů umožňuje použít příslušnou hodnotu času přímo jako poločas rozpadu ( $V_0/V = 2$ ) nebo hodnotu  $\Sigma$ , která je současně poločasem ( $V_0/V = e$ ). Starší verze měřiče měla senzory nastavené pro objemy 82 ml (první odečet) a 128,4 ml (konec odečtu) při celkovém objemu napěněného piva 164 ml. Tomuto nastavení odpovídá poměr  $V_0/V = 2,303$  (místo  $e$ ), a proto se změřené hodnoty  $\Sigma$  lišily od hodnot podle Rosse a Clarka. Místo přepočtu se však vzdálenost čidel pokusně nastavila tak, aby se obě hodnoty číselně shodovaly [42]. Zdokonalený měřič pěny Lg Automatic nyní vyrábí firma Steinfurth jako Foam Stability Tester.

### Měřič poklesu pěny

Pěna se získá napěněním kapaliny definovaným objemem plynu a její rozpad se sleduje diodovým polem. Měří se pohyb obou rozhraní pěny se vzduchem a pivem. Přístroj může hodnotit mokrou i suchou pěnu, které poskytly dvě rozdílné fáze rozpadu pěny [44].

### 5.2.3 Měřiče s digitální kamerou

Poslední skupina optických měřičů většího počtu přístrojů měří pohyb povrchu pěny i rozhraní mezi pěnou a pivem digitální videokamerou a digitalizovaný záznam zpracovává speciální software.

### Měření pěnivosti digitální kamerou

Odplyněné pivo se napění třepáním v atmosféře oxidu uhličitého a digitální videokamera zaznamenává pohyb rozhraní mezi pivem a pivem podle 12 snímků napěněného piva. Měří se výška pěny i pohyb jejího rozhraní s pivem. Z naměřených hodnot se počítají hodnoty poločasů rozpadu pěny, stékání piva a potenciál pěnivosti [45].

### Laserový měřič pěny

Přístroj měří pokles povrchu pěny podle odrazu laserového paprsku a pohyb rozhraní mezi kapalinou a pěnou podle průchodu bílého světla křemenné lampy. Digitální zpracování obrazu umožňuje zobrazit pokles pěny, pohyb rozhraní mezi pivem a pivem i skutečnou výšku pěny jako rozdíl obou hodnot [46].

### Videozáznam rozpadu pěny

Videokamera pořizuje úplný záznam poklesu povrchu pěny a pohybu rozhraní mezi pivem a pivem, převádí digitalizované údaje do tabulky a graficky je znázorňuje [47].

### Měření vzniku mikrobublinek

Po napěnění tryskou přístroj zaznamenává digitální kamerou tvorbu mikrobublinek, rychlost vzniku a změny jejich velikosti v čase. Výsledky se vyhodnocují analýzou obrazu [48].

### Měření parametrů pěny

Pivo se manuálně lije do válce a vzhled pěny zaznamenává digitální kamera vždy po 30 s rozpadu. Zaznamenávají se množství pěny, rychlost jejího poklesu, rozměry bublinek, tvorba kroužků, rozdělení bublin a celková doba rozpadu. Tyto parametry se stanoví podle série snímků [49].

### 5.3 Jiné principy měření pěnivosti

Měření magnetickou rezonancí umožnilo sledovat nejen pohyb hladiny piva i povrchu pěny, ale také zaznamenávat její strukturu [50].

## 6 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ULPÍVÁNÍ PĚNY

### Analýzátor TNO NIBEM

Napěněnému pivu se nechá poklesnout pěna, která ulpívá během rozpadu na stěně nádoby a měří se odražené světlo při poklesu snímače uvnitř nádoby a tím velikost plochy pokryté pěnou [29]. Přístroj se nyní vyrábí pod názvem NIBEM cling meter.

### Optický měřič ulpívání pěny

Pivo se napění ultrazvukem a po přilítí dalšího piva se postupným odsáváním nápoje vytvářejí kroužky. Zdroj IČ záření se nachází vně měrné nádoby, čidlo umístěné uvnitř klesá současně s otáčením sklenice a pořídí digitalizovaný záznam kroužků, umožňující vytvořit dvojrozměrný (2D) nebo třírozměrný (3D) obraz [51].

## 7 VÝPOČET PĚNIVOSTI Z CHEMICKÉHO SLOŽENÍ PIVA A MEZIPRODUKTŮ

Měření pěnivosti piva v závislosti na jeho složení umožnilo stanovit základní parametry ovlivňující jeho pěnivost. Z běžných a jedno-



**KEG TECHNIK KOUTEK**

*PLNICÍ LINKY KEG*

e-mail: [info@keg.cz](mailto:info@keg.cz)  
[www.keg.cz](http://www.keg.cz)

duchých rozborů se může použít stanovení bílkovin, tříslovin, hořkých látek a viskozity, náročnější techniku vyžaduje stanovení polysacharidů, lipidů, speciálních pěnivých a hydrofobních proteinů aj. [3, 52, 53]. V podrobné studii se sledoval vliv jednotlivých faktorů na hodnoty výšky pěny, její životnost a na tzv. normalizovaný poločas rozpadu. Pěnivost, podobně jako většina tzv. komplexních znaků pivovarské kontroly, patří ke skutečným znakům jakosti, jejichž měření nelze nahradit jednoduchými chemickými analýzami, ale pravděpodobně testy, napodobujícími technologicky nebo uživatelsky významné vlastnosti (dosažitelné prokvašení, filtrovatelnost, pěnivá schopnost).

Většina těchto vlastností závisí na obsahu a složení sacharidů a dusíkatých složek. Někteří autoři popisují aplikace infračervené spektrometrie při stanovení důležitých parametrů sladu jako jsou bílkoviny, relativní extrakt při 45 °C, rozpustný dusík, volný aminodusík a viskozita sladiny [54, 55]. Korelaci infračervených spekter sladu s některými klasickými ukazateli jeho kvality potvrdila i studie s komerčními vzorky sladu zpracovávanými průmyslovými pivovary [56]. Infračervená spektrometrie v blízké oblasti spektra byla použita pro předpověď dosažitelného prokvašení mladiny [57]. Velmi dobrou korelaci se stupněm dosažitelného prokvašení poskytovala nejen transmisní infračervená spektra kapalných vzorků laboratorních a provozních sladin a mladin, ale i reflexní spektra tuhých vzorků zpracovávaného sladu měřená bez jakékoli úpravy vzorku. To přináší při rychlé kontrole vstupních surovin značnou úsporu práce a času [58]. Lze očekávat, že korelace infračervených spekter sladu bude nalezena i s vlastnostmi souvisejícími s pěnivostí piva a bude možno je předpovídat již ze zpracovávané suroviny.

## 8 ZÁVĚR

Ačkoliv literatura uvádí mnoho přístrojů pro měření stability pěny, v současnosti se využívají dva hlavní typy přístrojů, založené na vodivostním měření poklesu povrchu pěny, nebo naopak pohybu rozhraní mezi pivem a pěnou. Mezi oběma přístroji se však nedosáhlo uspokojivé shody [59, 60]. Třetí skupina přístrojů zaznamenává obě hodnoty současně, tyto přístroje jsou však drahé a nevydrží se sériově. Prakticky žádný z přístrojů neumožňuje postihnout všechny aspekty pěnivosti, a proto žádný ze způsobů není univerzální. Relativně málo metod hodnotí velmi důležitý znak, tj. ulpívání pěny na povrchu sklenice během konzumace, a vlivy působící na tento proces. Ještě obtížnější je předpověď pěnivosti z chemického složení, neboť pěnivost ovlivňuje mnoho organických i anorganických složek piva.

## Literatura

1. Bamforth, C. W.: Bringing matters to a head: The status of research on beer foam. European Brewery Convention Monograph 27. E.B.C. Symposium beer foam quality. Amsterdam, The Netherlands. October 1998. 1. vyd., Fachverlag Hans Carl 1999, 1–10.
2. Akkeren van, F. J. J.: Factors which influence the reproducibility of the foam stability. European Brewery Convention Monograph 27. E.B.C. Symposium beer foam quality. Amsterdam, The Netherlands. October 1998. 1. vyd., Fachverlag Hans Carl 1999, 48–61.
3. Evans, D. E., Sheehan, M. C.: Don't be fobbed off: the substance of beer foam – a review. J. Am. Soc. Brew. Chem. **60**, 2002, 47–57.
4. Kremkow, C.: Methoden zur Messung des Bierschaums – eine Literaturübersicht. Monatschr. Brauwiss. **22**, 1969, 53–56.
5. Bamforth, C. W.: The foaming properties of beer. J. Inst. Brew. **91**, 1985, 370–383.
6. Blom, J., Prip, P.: Untersuchungen über Schaum. Wochenschr. Brau. **53**, 1936 (2), 11–13.
7. Blom, J.: Investigation on foam. J. Inst. Brew. **43**, 1937, 251–262.
8. Ross, S., Clark, G. L.: On the measurement of foam stability with special reference to beer. Wall. Lab. Comm. **46**, 1939 (6), 46–54.
9. Kolbach P., Schilfarth, H.: Zur Methodik der Schaummessung. Brauwissenschaft **6**, 1953 (6), 61–66.
10. Rudin, A.: Measurement of the foam stability of beers. J. Inst. Brew. **63**, 1957, 506–509.
11. Bishop, L. R., Whitear, A. L., Inman, W. R.: The quantitative measurement of foam stability. J. Inst. Brew. **81**, 1975, 131–135.
12. Segel, E., Glenister, P. R., Koepl, K. G.: Beer foam. Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **4**, 1967, 104–113.
13. Pierce, J. S., Purssell, A. J. R.: The isolation of some beer constituents contributing to head retention. Proc. Eur. Brew. Congr. 7th., Rome, 246–265.
14. Helm, E., Richardt, O. C.: On the measurement of foam. J. Inst. Brew. **42**, 1936, 191–205.
15. Ault, R. G., Hudson, E. J., Linehan, D. J., Woodward, J. D.: A practical approach to the assesment of head retention of bottled beers. J. Inst. Brew. **73**, 1967, 558–566.
16. De Clerk, J., De Dycker, G.: Methode zur Bestimmung der Schaumhaltigkeit im Glas. Brauwelt **97**, 1957, 700–703.
17. Jackson, G., Bamforth, W.: The measurement of foam-lacing. J. Inst. Brew. **88**, 1982, 378–381.
18. Yasui, K., Yokoi, S., Shigyo, T., Tamaki, T., Shinotsuka, K.: A customer-oriented approach to the development of a visual and statistical foam analysis. J. Am. Soc. Brew. Chem. **56**, 1998, 152–158.
19. Šrogl, J., Klasová, V.: Příspěvek k problematice stanovení „pěnové schopnosti“ piva a mladiny. Kvasny Prum. **22**, 1976, 28–31.
20. Glenister, P. R., Segel, E.: Foam evaluation. I. Primary cling, secondary cling, foam strength. Proc. Am. Soc. Brew. Chem. **22**, 1964, 55–62.
21. Glenister, P. R., Segel, E., Koepl, K. G.: Foam evaluation II. J. Am. Soc. Brew. Chem. **24**, 1966, 150.
22. Šavel, J.: Měření pěnovosti piva. Kvasny Prum. **32**, 1986, 156–158.
23. Šavel, J.: Dva modely rozpadu pívni pěny. Kvasny. Prum. **32**, 1986, 76–78.
24. Sladký, P.: 2004 (osobní sdělení).
25. Savel, J., Basarova, G.: Die Zeitabhängigkeit des Bierschaumzerfalls. Monatschr. Brauwiss. **44**, 1991, 107–111.
26. Savel, J., Basarova, G.: Eine neue Methode zur Bestimmung der Schaumhaltbarkeit von Bier. Monatschr. Brauwiss. **44**, 1991, 372–376.
27. Constant, M.: A practical method for characterizing poured beer foam quality. J. Am. Soc. Brew. Chem. **50**, 1992, 37–47.
28. Plath, P., Sauerbrei, S.: Apolonische Unordnung des schaums. Wie zerfällt Bierschum wirklich? Brauindustrie **7**, 2004, 20–23.
29. Klopfer, W. J.: Foam stability and foam kling. Proc. Congr. Eur. Brew. Conv., 14th, Salzburg, 1973, 363–371.
30. Klopfer, W. J., Vermeire, H. A.: Zur Bestimmung der Schaumhaltbarkeit des Bieres. Neue Methoden und Erkenntnisse. Brauwissenschaft **30**, 1977, 276–278.
31. Wackerbauer, K., Greif, H.: Schaummessungen mit dem Nibem-Foam-Stability-Tester. Brauwissenschaft **33**, 1980, 123–126.
32. Piendl A., Legat, H.: Zur Funktionsprüfung des Schaummessgerätes nach Klopfer. Brauwissenschaft **33**, 1980, 32–37.
33. [http://www.online-tensiometer.com/products/frame\\_products\\_foamtest\\_er.html](http://www.online-tensiometer.com/products/frame_products_foamtest_er.html)
34. <http://www.1-cube.com>
35. Dale, C., West, C., Eade, J., Rito-Palmares, M., Lyddiatt, A.: Studies on the physical and compositional changes in collapsing beer foam. Chem. Eng. J. **72**, 1999, 83–89.
36. Schermbach, R.: Bestimmung der Schaumhaltbarkeit mit der Lichtschranke. Brauwissenschaft **33**, 1980, 193–195.
37. Wilson, P. J., Mundy, A. P.: An improved method for measuring beer foam collapse. J. Inst. Brew. **90**, 1984, 385–388.
38. Šavel, J., Trochta, R., Šafrata, Z., Krátký, J.: Fotoelektrický přístroj k měření trvanlivosti pívni pěny. Kvasny Prum. **32**, 1986, 101–103.
39. Gales, P. W.: Gales foam analyzer – a novel approach to beer foam measurement. J. Am. Soc. Brew. Chem. **35**, 1977, 197–200.
40. Rosendal, I., Rasmussen, J. N.: Experiences with the foam stability analyzer, system Carlsberg. Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **19**, 1982, 153–160.
41. Hallgren, L., Rosendal, I., Rasmussen, J. A.: Experiences with a new foam stability analyzer, system Carlsberg., J. Am. Soc. Brew. Chem. **49**, 1991, 78–86.
42. Anger, H. M., Glar, L., Scholz, M.: A new process for foam stability measurement. Foam-tester from Lg-automatic (Denmark). Brauwelt. Int. **20**, 2002, 146–150.
43. Hung, J. K. S., Wallin, C. E., Bamforth, C. W.: Evaluation of an automated procedure for measuring beer foam stability. Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **42**, 2005, 178–183.
44. Lunkenheimer, K., Malysa, K.: A simple automated method of quantative characterization of foam behaviour. Polym. Int. **52**, 2003, 536–541.
45. Haugsted, C., Pedersen, M. B., Ersal, K.: An opto-electrical foam assay system. Monatschrift Brauwiss. **43**, 1990, 336–339.
46. Mulroney, A. R., Wenn, R. V., Oortwyn, J., Williamson, R. R.: The measurement of beer foam using a new laser-based video device. Proc. Eur. Brew. Congr., 26th, Mastricht, 1997, příspěvek 73, 615–622.
47. [http://www.mediacy.com/index.aspx?page=AS\\_138](http://www.mediacy.com/index.aspx?page=AS_138)
48. Hepworth, N. J., Boyd, J. W. R., Hammond, J. R. M., Varley, J.: Modelling the effect of liquid motion on bubble nucleation during beer dispense. Chem. Ing. Sci. **58**, 2003, 4071–4084.
49. Jorge, K., Nothaft, A., Trugo, L. C.: Concept of a foam analysis system using machine vision technologies. Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **40**, 2003, 108–110.
50. Heil, J. R., Mc Carthy, K. L., German, J. B., McCarthy, M. J.: Use of magnetic resonance imaging for evaluation of beer foam characteristics. J. Am. Soc. Brew. Chem. **48**, 1990, 119–122.
51. Strien van, J., Wassenaar, F. R.: Measurement of the cling of beer. Monatschr. Brauwiss. **43**, 1990, 106–111.
52. Lewis, M. J., Lewis, A. S.: Correlation of beer foam with other beer properties. Q. Master Brew. Assoc. Am. **40**, 2003, 114–124.
53. Lusk, L. T., Goldstein, H., Ryder, D.: Independent role of beer proteind, melanoidins and polysaccharides in foam formation. J. Am. Soc. Brew. Chem. **53**, 1995, 93–103.
54. Stempfl, W., Briem, F., Nast, D., Birk, W., Tavera, M.: Gersten- und Malzanalyse mit der Nahinfrarot-Transmissionspektroskopie. Brauwelt **136**, 1996, 807–810.
55. Stephan, A., Weber, T., Sieren, B., Methner, F. J.: NIR-Spektrometrie. Brauwelt **141**, 2001, 1863–1867.
56. Brož, A., Šavel, J.: Kvasny Prum.: Využití NIR spektrometrie v laboratorní kontrole pívovarské výroby. Kvasny Prum. **51**, 2005, 297–298.
57. Šavel, J., Brož, A., Tenkl, L.: Využití infračervené spektroskopie pro měření komplexních znaků jakosti. Kvasny Prum. **45**, 1999, 340–341.
58. Brož, A.: Diplomová práce ÚKCHB VŠCHT Praha, 1999.
59. Weyh, H.: Aussagekraft von Schaumanalysen. Monatschr. Brauwiss. **41**, 1988, 124–128.
60. Weyh, H.: Zur Reproduzierbarkeit von Schaummessungen. Teil 2: NIBEM-Methode. Monatschr. Brauwiss. **41**, 1988, 441–445.

Do redakce došlo 21. 3. 2006