

POUŽITÍ JEDNOTEK PRŮTOČNOSTI A PERMEABILITY KŘEMELIN PŘI VÝPOČTU FILTROVATELNOSTI PIVA

Doc. Ing. JAN ŠAVEL, CSc., Budějovický Budvar, n.p., České Budějovice

Klíčová slova: pivo, filtrace, průtočnost, permeabilita

1 ÚVOD

V minulém sdělení jsme popsali měření odporu křemelinové vrstvy ve směsi s kalíciemi látkami při průtoku destilované vody [1]. Tato metoda odpovídá měření průtočnosti (prostupnosti) sypkých filtračních materiálů, a proto umožňuje porovnávat vliv kalíciích látek na filtrační rychlost. Tím bylo možné sjednotit stanovení průtočnosti křemelin a filtrovatelnosti piva a vyjadřovat je ve stejných jednotkách.

Stanovení filtrovatelnosti piva, zakládající se na měření postupného zanášení filtrační vrstvy, odpovídá jejímu nežádoucímu blokování při nedostatečném dávkování křemeliny v provozní filtraci. Z těchto důvodů mají např. Esserova metoda a metody založené na podobném principu jen nízkou vypovídací hodnotu.

Tento nedostatek částečně odstraňovala metoda podle Raibleho, podle které se dávkovala křemelinová směs s pivem

při měření změn objemu filtrátu v čase [2]. Filtrovatelnost se vyjadřovala tzv. hodnotou filtračního koláče a , což byla hodnota konstanty kvadratické filtrační rovnice s nulovým odporem filtrační přepážky. Hodnota a se udávala v $\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{ml}^{-2}$. Rovnici pro nenulový odpor přepážky a vztah průtočnosti k hodnotě parametru a jsme odvodili ve starší práci [3].

Raible et al. dále přepočítávali parametr a na hodnotu specifického filtračního objemu F_{spec} , vyjádřenou v provozu

používanými jednotkami ($\text{hl} \cdot \text{m}^{-2}$) podle vztahu (1).

$$(1) \quad F_{\text{spec}} = \frac{6}{\sqrt{a}}$$

Fyzikální smysl této hodnoty vyjadřoval objem filtrátu jedním m^2 plochy při tlaku 0,1 MPa (1 bar) po 1 h filtrace se stejným dávkováním jako v laboratorní filtraci [2].

Toto sdělení se zabývá přepočtem hodnot průtočnosti nebo prostupnosti sypkých filtračních materiálů a parametru a , získaného v Raibleho testu.

2 TEORETICKÉ ZÁKLADY MĚŘENÍ

Současná analytika podle EBC rozlišuje mezi permeabilitou (prostupností) β a filtrační rychlostí FR , v české literatuře také nazývanou průtočností. Rozdílnost obou způsobů vyplývá z rozdílných tvarů základních filtračních rovnic:

$$(2) \quad \frac{dV}{S d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu R}$$

$$(3) \quad \frac{dV}{S d\tau} = K_D \frac{\Delta p}{\mu l}$$

kde V je objem, S – plocha filtru, Δp – tlakový rozdíl, τ – čas, μ – viskozita, l – tloušťka vrstvy, R , K_D – koeficienty, charakterizující odpor vrstvy.

Vztah (2) udává odpor v obecném tvaru, zatímco vztah (3) požaduje ználost tloušťky filtrační vrstvy. Ze vztahu (2) se odvozuje hodnota standardní filtrační rychlosti při referenčním plošném zatížení, ze vztahu (3) se počítá hodnota koeficientu K_D , označovaného jako β pro předepsané jednotky Darcy.

Oba vztahy v sobě zahrnují teplotně závislou viskozitu μ . V prvním případě se ovšem získají rozdílné hodnoty standardní filtrační rychlosti při různých teplotách měření, zatímco koeficient K_D , nebo β u druhého vztahu je na teplotě nezávislý.

Při měření průtočnosti nebo prostupnosti křemelin při teplotách odlišných od 20 °C lze přepočítat získané hodnoty podle teplotní závislosti viskozity μ . Při měření filtrovatelnosti piva není tento postup možný, neboť změnami teploty dochází k dalším, často nevratným efektům, které ovlivňují naměřené hodnoty. Typický případ představuje další vyloučení kalů při snížení teploty.

Pro jednotné vyjádření filtrovatelnosti je proto vždy nutné uvést teplotu měření. Pro porovnání s prostupností křemelin je možné tyto hodnoty průtočnosti přepočítat na příslušnou teplotu.

3 MĚŘENÍ S KONSTANTNÍM ODPOREM VRSTVY

Analytika EBC uvádí konkrétní výpočtové vzorce pro měření odporu vrstvy podle vzorců (4) a (6):

$$(4) \quad FR = \frac{3,6 \cdot 10^5 \cdot V \cdot M}{S \cdot t \cdot S \cdot P}$$

kde V je objem v l, S – plocha v cm^2 , t – čas v s, P – tlak v barech a M je hmota filtračního prostředku v g. Při měření objemu v ml se hodnota číselné konstanty změní na 360. Výsledek udává filtrační rychlost v $\text{hl} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ při plošné hmotnosti suchého filtračního materiálu ($10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) a tlaku 0,1 MPa (1 bar) při požadované teplotě měření 20 °C.

Pro měření při jiné teplotě t se musí získaná hodnota FR násobit podílem μ_{20}/μ_t , aby se získala hodnota FR při 20 °C. Naopak při přepočtu FR změřené při teplotě 20 °C na jinou teplotu se násobí podílem μ_t/μ_{20} , čehož se využívá při porovnání hodnot průtočnosti sypkých materiálů a filtrovatelnosti piva.

V české literatuře uváděná průtočnost F v $\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ podle metody Filtrrox při hodnotě naplavení $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, tlakovém rozdílu 50 kPa a teplotě 20 °C se přepočte podle:

$$(5) \quad FR = 0,12 \cdot F$$

kde F je průtočnost podle metody Filtrrox. Pro výpočet permeability v jednotkách Darcy se používá vztah:

$$(6) \quad \beta = \frac{1,01325 \cdot V \cdot H \cdot \gamma}{S \cdot P \cdot t}$$

kde β je permeabilita v jednotkách Darcy, V – objem filtrátu v ml, H – výška filtračního koláče v cm, γ – viskozita vody v mPa.s při teplotě testu (20 °C), S – plocha filtru v cm^2 , P – filtrační tlak v barech a t – filtrační doba v s.

4 MĚŘENÍ S PROMĚNNÝM ODPOREM VRSTVY

V metodě podle Raibleho se předpokládá filtrace s nulovou hodnotou odporu v počátku filtrace. Odpor vrstvy roste lineárně s objemem podle:

$$(7) \quad R = \alpha \cdot m = \alpha \cdot \frac{c \cdot V}{S}$$

kde α – je měrný (hmotnostní) filtrační odpor, m – plošná hmotnost suchého filtračního materiálu, c – jeho koncentrace, V – objem a S je plocha filtru.

Sloučením vztahů (1), (7) a jejich integrací pro počáteční nulový objem se získá:

$$(8) \quad \tau = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot c \cdot V^2}{2 \cdot \Delta p \cdot S^2} = k \cdot V^2$$

kde Δp je tlakový rozdíl, použitý při Raibleho metodě. Mezi Raibleho konstantou filtračního koláče a a přímo měřitelnou hodnotou k platí:

$$(9) \quad a = k \cdot S^2$$

S použitím (2) (7) a (8) a vztahem pro filtrační rychlost s referenčním plošným zatížením m_r a konstantním odporem vrstvy se získá:

$$(10) \quad FR = \frac{\Delta p_r}{\Delta p} \cdot \frac{c}{2k \cdot S^2 \cdot m_r}$$

kde Δp_r je referenční tlakový rozdíl,

Δp tlakový rozdíl při měření podle Raibleho a m_r referenční zatížení filtru. Např. pro výpočet za podmínek platných pro hodnotu FR (tlakový rozdíl $\Delta p_r = 0,1 \text{ bar}$, $m_r = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) platí:

$$(11) \quad FR = \frac{0,36 \cdot c}{2k \cdot \Delta p \cdot S^2}$$

kde FR je filtrační rychlost ($\text{hl} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), c – koncentrace suché křemelin (g.l⁻¹), S – plocha (cm^2), k – filtrační konstanta ($\text{s} \cdot \text{ml}^{-2}$).

Podle vztahu (10) je možné stanovit i prostupnost křemelin ve vodě. V tomto případě se může měřit i při teplotách odlišných od 20 °C a výsledek hodnoty filtrační rychlosti FR přepočítat na 20 °C násobením poměrem μ_{20}/μ_t podobně, jako při stanovení FR při měření s konstantním odporem vrstvy v odstavci 3.

5 VYUŽITÍ VÝPOČETNÍCH VZTAHŮ

Pro měření průtočnosti sypkých filtračních materiálů i filtrovatelnosti piva je přirozené používat hodnot filtrační rychlosti za standardních podmínek. Tohoto způsobu výpočtu se může využít i při měření filtrovatelnosti, kde se také filtrační rychlost vztahuje na jednotku inertiálního, suchého filtračního materiálu.

Při stanovení průtočnosti křemelin se filtrační rychlost stanovuje při 20 °C, tuto hodnotu je však možné přepočítat i na jiné teploty. Z tohoto důvodu doporučujeme uvádět vždy teplotní index u FR , liší-li se teplota od 20 °C, např. FR_{25} , FR_{20} apod.

Hodnota FR_t se pak může přímo využít při vyjádření filtrovatelnosti piva a pro porovnání uvést průtočnost samotné filtrační směsi při stejné teplotě.

Vyjadřování permeability sypkých filtračních materiálů bylo zdánlivě výhodnější, neboť hodnota β nezávisela na teplotě. Tato výhoda však mizí při měření filtrovatelnosti, kde se při různých teplotách mohou uplatnit další efekty, narušující platnost filtrační rovnice.

Situaci dále zhoršuje nutnost používat přepočtu z původních tlakových jednotek (atm) na bary faktorem 1,01325, ačkoli se v současnosti často 1 Darcy definuje pro 100 kPa. Z praktického hlediska je také účelné vzhledem k přesnosti měření přepočítávací faktor zanedbat.

Využití Raibleho metody představuje moderní způsob měření průtočnosti sypkých filtračních materiálů i filtrovatelnosti piva. Testování kvadratické závislosti filtrační rovnice navíc umožňuje rozhodnout, zda se při určitém dávkování a složení směsi blokuje filtrační vrstva.

V tomto případě nelze použít uvedené vztahy. Přitom se současně nedosahuje optimálního režimu filtrace, neboť dávkování směsi je nedostatečné. V tomto případě se použijí vztahy pro blokování vrstvy, které uvedeme v dalším sdělení.

Také pro praktické účely je výhodné používat hodnot FR_t , neboť v provozu se křemelina vždy odvažuje v suchém stavu a pro získání optimální hodnoty dávkování se udává koncentrace křemeliny v pivu.

Přesto lze formálně převést hodnoty FR na hodnoty permeability s použitím experimentálně zjištěného vztahu mezi standardním plošným zatížením m_t a výškou vrstvy. Tento postup je snadný pouze při přepočtu průtočnosti vody sypkými materiály, neboť při filtraci piva je nutné znát jeho viskozitu. I v tomto případě se však musí k hodnotě β uvádět ještě teplota, vzhledem k rozdílné rozpustnosti kalových látek.

$$(12) \quad \beta = \frac{1,01325 \cdot l \cdot S \cdot \gamma}{360 \cdot M} \cdot FR$$

kde FR je filtrační rychlost ($hl.h^{-1}.m^{-2}$), S – plocha filtru (cm^2), M – množství křemeliny v g, γ – viskozita v mPa.s.

Obr. 1 znázorňuje měření průtočnosti křemeliny při 20 °C a filtrovatelnosti piva ve směsi s křemelinovou směsí při 10 °C. V prvním případě se dávkovala suspenze hrubé (Hyflo Super Cel, HSC) nebo jemné křemeliny (Superaid, SA) ve vodě ($c = 0,5 g.l^{-1}$), při měření filtrovatelnosti se dávkovala směs hrubé (70 %) a jemné (30 %) křemeliny v nefiltrovaném pivu ($c = 0,5 g.l^{-1}$).

Filtrační přetlak byl v obou případech 0,05 MPa (0,5 bar), filtrační plocha 2,548 cm^2 , detailní popis filtračního přístroje

uvádí [1]. Po linearizaci kvadratické závislosti (obr. 2) se vypočetly hodnoty konstant $k_{HSC} = 0,00032$, $k_{SA} = 0,00268$ a $k_{směs} = 0,00404 s.ml^{-2}$ a z nich podle vztahu (11) hodnoty $FR = 86,6 hl.m^{-2}.h^{-2}$ pro hrubou křemelinu, $FR = 10,3 hl.m^{-2}.h^{-2}$ pro jemnou křemelinu a $FR_{10} = 6,9 hl.m^{-2}.h^{-1}$ pro směs křemelin v pivu.

Tento výsledek dobře dokumentuje vliv složení piva a vyloučených kalů na průtočnost křemelinových směsí.

Vliv rozpuštěných látek piva na filtraci se může testovat měřením hodnoty FR touto metodou, při filtraci suspenze křemeliny ve vodě nebo v pivu.

Literatura

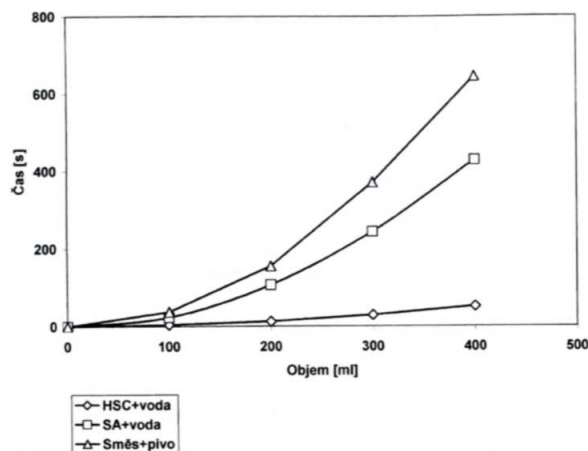
- [1] ŠAVEL, J.: Kvasny Prum. 46, 2000, s. 39
- [2] RAIBLE, K., HEINRICH, T., NIEMSCH, K.: Mschr. Brauwiss. 43, 1990, s. 60
- [3] ŠAVEL, J.: Kvasny Prum. 37, 1991, s. 4

Lektoroval

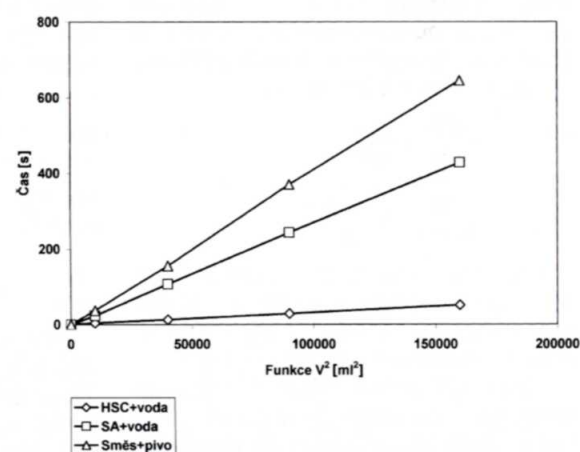
Ing. Vladimír Kellner, CSC.

Do redakce došlo

19. 4. 2000



Obr. 1 Filtrační křivky křemeliny ve vodě a pivu ($c = 0,5 g.l^{-1}$)



Obr. 2 Linearizace filtračních křivek

Šavel, J.: Použití jednotek průtočnosti a permeability křemeliny při výpočtu filtrovatelnosti piva. Kvasny Prum. 46, 2000, č. 11, s. 318–320.

Analytika EBC používá pro charakterizaci sypkých filtračních materiálů hodnoty permeability a filtrační rychlosti. Filtrační rychlost při teplotě měření se může rovněž využít k popisu filtrovatelnosti piva, pro výpočet permeability je nutné ještě znát viskozitu piva. Tyto filtrační charakteristiky se mohou získat měřením s konstantním nebo proměnným odporem vrstvy při dávkování křemeliny. Na postupném naplňování filtrační vrstvy se zakládá tzv. Raibleho metoda. Článek uvádí výpočty filtrační rychlosti i permeability pro obě měřicí metody a diskutuje použití těchto postupů pro měření průtočnosti sypkých filtračních materiálů i filtrovatelnosti piva. Uvedené výpočetní postupy umožňují vyjadřovat filtrovatelnost piva v jednotkách, používaných pro hodnocení průtočnosti křemeliny.

Šavel, J.: Application of Flow Rate Units and Kieselguhr Permeability for the Calculation of Beer Filterability. Kvasny Prum. 46, 2000, Nr. 11, p. 318–320.

The EBC analytics uses the permeability and filtration rate values to characterize powdered filter aids. The filtration rate at measurement temperature can also be used to describe beer filterability, for the calculation of permeability the beer viscosity is important to know.

These filtration parameters can be obtained by measuring of constant or variable filter cake resistance during kieselguhr dosage.

A gradual deposition of filter bed is used for so-called „Raible's method“.

The article reports filtration rates as well as permeability calculations for both measuring methods and concerns the use of these methods for the flow rate measurements of powdered filter aids and beer filterability, too. The calculation methods mentioned in the article enable to express the beer filterability in the units used for the evaluation of kieselguhr flow rate.

Šavel, J.: Anwendung der Einheiten des Durchflusses und der Permeabilität von Kieselguren bei der Berechnung der Filtrierbarkeit des Bieres. Kvasny Prum. 46, 2000, Nr. 11, S. 318–320.

Die Analytik der EBC benützt zur Charakteristik schüttbarer Filtrationsmaterialie die Werte der Permeabilität und Filtrationsgeschwindigkeit. Die Filtrationsgeschwindigkeit bei Messungstemperatur kann ebenfalls zur Beschreibung der Filtrierbarkeit des Bieres ausgenutzt werden; zur Berechnung der Permeabilität ist auch die Kenntnis der Viskosität des Bieres erforderlich. Diese Filtrationscharakteristik können durch Messung mit konstanten oder veränderlichem Widerstand der Schicht bei der Dosierung von Kieselgur gewonnen werden. Auf der fortschreitenden Anschwemmung der Filtrationsschicht basiert die sog. Raible-Methode. In dem Artikel werden die Berechnungen der Filtrationsgeschwindigkeit und Permeabilität für beide Messungsmethoden angeführt und die Anwendung dieser Verfahren zur Messung der

Durchflussfähigkeit der schüttbaren Filtrationsmaterialie und der Filtrierbarkeit des Bieres diskutiert. Die erörterten Berechnungsverfahren ermöglichen es, die Filtrierbarkeit des Bieres in Einheiten, die zur Bewertung der Durchflussfähigkeit von Kieselguren benutzt werden, auszudrücken.

Шавел, Я.: Использование единиц пропускания и пермеабильности диатомита при расчете фильтруемости пива. Кvasny Prum. 46, 2000, № 11, стр. 318–320.

Аналитика ЕВС применяет для характеристики сыпучих веществ фильтрующих материалов величины пермеабильности и фильтрующей скорости, фильтрующую скорость при температуре измерения можно также использовать для описания фильтруемости пива, для расчета пермеабильности необходимо знание вязкости пива. Эти фильтрующие характеристики можно получить измерением с постоянным или переменным сопротивлением слоя при дозировании диатомита. На постепенном намывании фильтрующего слоя основан так наз. метод Раible. В статье приводятся расчеты фильтрующей скорости и пермеабильности для обеих измерительных методов пропускания сыпучих фильтрующих материалов в фильтруемости пива. Приведенный расчет позволяет выразить фильтруемость пива в единицах, применяемых для оценки пропускания диатомитов.