

I. Teorie, pracovní postup, reprodukovatelnost

Ing. JAN VOBORSKÝ, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

Klíčová slova: *filtrace, pomocný filtrační prostředek, křemelina, fyzikální vlastnosti, specifický filtrační odpor, filtrační průtočnost*

1. UVOD

Důležitou vlastností filtračních materiálů je jejich schopnost vytvářet dostatečně porézní vrstvu, v níž by se současně zachytily kalové částice filtrované kapaliny. Kritériem této vlastnosti je filtrační rychlost, s jakou protéká destilovaná voda vrstvou filtračního materiálu. Význam tohoto kritéria je potvrzen tím, že slouží ke klasifikaci křemelin a k praktickému posouzení provozní použitelnosti.

Je známa řada metod [1, s. 66], které uvedenou vlastnost kvantitativně vyjadřují, číselná hodnota je však závislá na podmínkách stanovení a vzájemné porovnání je spíše orientační. V ČSSR se hodnotí tzv. „filtrační průtočnost“ (P) křemelin [2] odpovídající průtoku destilované vody $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ teplé vrstvou zkoušeného vzorku o tloušťce, která se vytvoří naplavením 1000 g vzorku na m^2 filtrační plochy. Při měření se udržuje konstantní rozdíl tlaku 50 kPa (metoda Filtrax). Tyto hodnoty lze též stanovit na bombě Dicalite, porovnávali se průtočnosti měřeného vzorku se standardem, u něhož je filtrační průtočnost známa [1, s. 289].

Obdobné uznaní metody jsou uvedeny v MEBAKU [3]. U modifikované metody Dicalite se hodnoty vyjadřují v ml jako číslo propustnosti vody „WDK“ (Wasser-durchlässigkeitskennzahl) a značí rozdíl proteklých objemů vody ve dvou časových intervalech za podmínek metody (tlak 14 kPa, koncentrace křemeliny 1 g/l, objem filtrátu se měří mezi 6. až 9. minutou a 15. až 18. min). U metody Schenk znamená tzv. vodní hodnota „Ww“ (Wasserwert) množství vody v litrech, které proteče za hodinu plochou 1600 cm^2 vrstvou vzorku odpovídající náplavu $12,5 \text{ kg/m}^2$ při tlaku 2 m vodního sloupce.

Jak je zřejmé z uvedených příkladů, je číselné vyjádření filtrační průtočnosti závislé na více méně náhodně zvolených podmínkách. Průběh filtračního procesu lze však definovat matematickým vztahem, v němž vlastnosti materiálu vyjadřuje „specifický filtrační odpor“ (dále SFO). Matematická formulace umožňuje přesnou definici této veličiny. Ve výpočtu jsou zahrnuty podmínky stanovení, takže teoreticky není SFO na těchto podmínkách závislý. Je ovšem účelné podmínky optimalizovat, aby byla zajištěna na daném zařízení přijatelná reprodukovatelnost výsledků.

Na rozdíl od filtrační průtočnosti, kde hodnoty se porovnávají na stejnou hmotnost, je SFO vztažen na výšku filtrační vrstvy, čímž jsou vyjádřeny filtrační vlastnosti materiálu komplexněji. Aplikací této metody lze dále získat údaje týkající se i filtrované kapaliny, případně dosazením do filtrační rovnice další potřebné parametry filtračního procesu.

2. TEORETICKÉ PODKLADY

Průtokovou rychlost filtrátu lze vyjádřit Ruthovou filtrační rovnicí

$$\frac{dV}{d\tau S_f} = \frac{\Delta p}{\eta R} \quad (1)$$

kde $\frac{dV}{d\tau S_f}$ je okamžitá průtoková rychlost q vyjádřená objemem filtrátu dV , který proteče filtrační plochou S_f za dobu $d\tau$,
 Δp — tlakový rozdíl před a za filtrační přepážkou,
 R — celkový filtrační odpor,
 η — viskozita kapaliny.

Na celkovém filtračním odporu R filtrační přepážky se podílí jednak filtrační odpor r vrstvy filtračního materiálu, jednak filtrační odpor R_0 filtrační přepážky

$$R = R_0 + r \quad (2)$$

Filtrační odpor materiálu je výhodné vyjádřit pomocí specifického filtračního odporu α_i , odpovídající odporu jednotkové vrstvy materiálu

$$r = \alpha_i L \quad (3)$$

kde L je výška filtrační vrstvy.

Definici SFO lze odvodit z rovnice (1) dosadí-li se za celkový filtrační odpor R pouze odpor filtrační vrstvy $r = \alpha_i L$

$$\frac{dV}{d\tau S_f} = q = \frac{\Delta p}{\eta \alpha_i L} \quad (4)$$

a z toho pak

$$\alpha_i = \frac{\Delta p}{q \eta L} \quad [\text{m}^{-2}] \quad (5)$$

Dosadíme-li za $q = 1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $\eta = 1 \text{ Pas}$ a $L = 1 \text{ m}$, je

$$\alpha_i = \Delta p$$

a SFO můžeme definovat:

Specifický filtrační odpor se číselně rovná ztrátě tlaku při průtokové rychlosti kapaliny $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a viskozitě 1 Pas filtrační vrstvou o tloušťce 1 m .

Pro praktické měření SFO je účelné nahradit v rovnici (4) výšku filtrační vrstvy vhodnějším parametrem. Zavede se objem vrstvy V křemeliny vztažený na objem V proteklého filtrátu

$$v = \frac{S_f L}{V} \Rightarrow L = \frac{v V}{S_f} \quad (6)$$

Objem vrstvy v se vytvoří po protečení objemu kapaliny V , v níž je suspendována křemelina o koncentraci C [kg m^{-3}]. Je-li znám objem, který vytvoří jednotková hmotnost zkoušené křemeliny v mokřím stavu V_M [$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, $1. \text{kg}^{-1}$], lze objem vrstvy v vyjádřit též rovnicí

$$v = V_M C \quad (7)$$

Koncentrace C je známa a objem za mokra V_M lze snadno stanovit. Výraz (3) lze pak upravit pomocí známých nebo snadno měřitelných parametrů:

$$r = \alpha_f \frac{V_M C V}{S_f} \quad (8)$$

Dosazením výrazu (2) a (8) do rovnice (1) přechází filtrační rovnice na tvar

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{V_M C V}{\eta \left(R_c + \alpha_f \frac{V_M C V}{S_f} \right)} \quad (9)$$

V reciproké formě vyjadřuje rovnice (9) rovnici přímky

$$\frac{d\tau}{dV} = \frac{\eta \alpha_f V_M C}{\Delta p S_f^2} V + \frac{\eta R_o}{\Delta p S_f} \quad (10)$$

ve zjednodušené formě

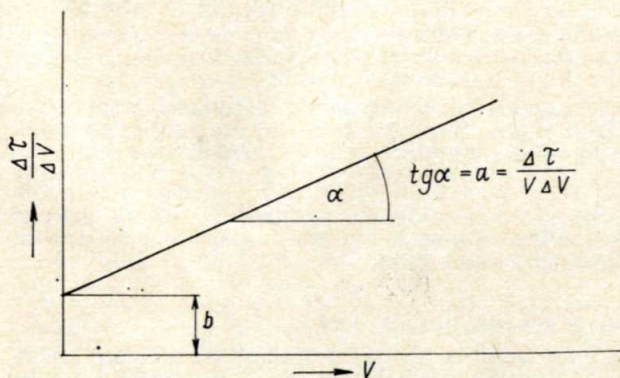
$$\frac{d\tau}{dV} = aV + b \quad (11)$$

kde

$$a = \frac{\eta \alpha_f V_M C}{\Delta p S_f^2} \quad (12)$$

$$b = \frac{\eta R_o}{\Delta p S_f} \quad (13)$$

Graficky je znázorněna rovnice (11) na obr. 1.



Obr. 1. Grafické znázornění rovnice (11)

Vynesou-li se do pravoúhlých souřadnic naměřené hodnoty proteklého objemu ΔV za časový úsek $\Delta \tau$ ve tvaru $\Delta \tau / \Delta V$ proti celkovému proteklému objemu V , získá se přímka, z jejíž směrnice a lze vypočítat SFO podle rovnice (12)

$$\alpha_f = \frac{a \Delta p S_f^2}{\eta V_M C} \quad (14)$$

Stanoví-li se SFO za přesně definovaných podmínek, tj. $C = \text{konst.}$ (koncentrace křemeliny ve vodní suspenzi), teplota vody $t = \text{konst.}$, a tedy i $\eta = \text{konst.}$ a $\Delta p = \text{konst.}$, lze rovnici (14) přepsat do tvaru

$$\alpha_f = K \frac{a}{V_M} \quad (15)$$

kde

$K = \frac{\Delta p S_f^2}{\eta C}$ je konstanta zahrnující podmínky metody (15a)

3. POPIS METODY

3.1 Přístroje, pomůcky

- přístroj na stanovení průtočnosti (bomba Dicalite) [1, s. 290] vyrábí Vývojová dílna Jihočeských pivovarů v Českých Budějovicích
- váhy s přesností 0,1 g,
- zdroj vzduchu (tlaková láhev, kompresor),
- odměrný válec 500 ml,
- stopky.

3.2 Pracovní postup

- naváží se $10 \pm 0,1$ g křemeliny a rozmíchá se 150 až 200 ml dest. vody;
- do tlakové nádoby se odměří 1000 ml vody, kvantitativně se přeleje vzorek křemeliny za mírného probublávání vzduchu spodem nádoby a doplní na objem 2000 ml; teplota vody $20 \pm 0,5^\circ \text{C}$;
- nádoba se uzavře víkem, podstaví se odměrný válec a během 5 s vzduchem se zvýší tlak na 150 kPa a udržuje se během celého měření; vzduch se odpouští regulačním ventilem tak, aby mírně probublával a zajistil homogenizaci suspenze;
- po protečení 150 ml vody se měří doba průtoku mezi 150–250 ml ($\Delta \tau_1$), 250–350 ml ($\Delta \tau_2$) a 350 až 450 ml ($\Delta \tau_3$);
- stanoví se objem za mokra V_M měřeného vzorku [1, s. 287].

3.3 Vyhodnocení

Výpočet vychází z předpokladu, že přímka na obr. 1 prochází počátkem. Úsek b na ose y představuje odpor filtrační podložky [R_o z rovnice (13)] a lze jej zanedbat, neboť je řádově nižší oproti SFO zkoušeného materiálu. Nulový bod se využije jako čtvrtý bod k výpočtu směrnice a přímky procházející počátkem (počet měření $n = 4$). Směrnice se vypočte z naměřených bodů metodou nejmenších čtverců

$$a = \frac{\sum \left(V \frac{\Delta \tau}{\Delta V} \right)}{\sum V^2} \quad (16)$$

Vzorec (16) lze dále zjednodušit, dosadí-li se hodnoty vyplývající z podmínek metody. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uspořádány v tabulce 1, z níž je patrná i následující úprava:

$$a = \frac{\sum \left(V \frac{\Delta \tau}{\Delta V} \right)}{0,29} \quad [\text{s l}^{-6}] \quad (17)$$

Tabulka 1. Uspořádání měřených a vypočtených hodnot

Číslo měření	V_a až V_b	ΔV	$V = \frac{V_a + V_b}{2}$	V^2	$\Delta \tau$	$V \frac{\Delta \tau}{\Delta V}$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,150–0,250	0,1	0,200	0,04	$\Delta \tau_1$	$2 \Delta \tau_1$
2	0,250–0,350	0,1	0,300	0,09	$\Delta \tau_2$	$3 \Delta \tau_2$
3	0,350–0,450	0,1	0,400	0,16	$\Delta \tau_3$	$4 \Delta \tau_3$
				0,29	$\sum V^2$	$\sum \left(V \frac{\Delta \tau}{\Delta V} \right)$

Ve výrazu (17) se dosahuje objem V v litrech a doba τ v sekundách. Hodnota konstanty K z výrazu (15) se vypočítá podle vztahu (15a), dosadí-li se parametry odpovídající podmínkám metody:

$\Delta p = 150 \text{ kPa} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $S_f = 4,52 \text{ cm}^2$, $S_f^2 = 20,43 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$; $\eta = 1,005 \text{ mPas} = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$; $C = 5 \text{ g l}^{-1} = 5 \text{ kg m}^{-3}$; potom $K = 6,098 \text{ m}^7 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Směrnice a se dosazuje do vzorce (15) v rozměru [s l^{-2}] a V_M v rozměru [l kg^{-1}]. Proto je nutno upra-

vit vzorec koeficientem 10^9 . Konečný výsledný tvar se násobí koeficientem 10^{11} tak, aby hodnoty SFO vycházely číselně mezi 1 až 1000.

$$\alpha_i = 0,06098 \frac{a}{V_M} \cdot 10^{11} \text{ [m}^{-2}\text{]} \quad (18)$$

3.4 Příklad výpočtu

Záznam naměřených a vypočtených hodnot je výhodné upravit podle schématu v tabulce 2. Hodnoty se dosadí do vzorců (17) a (18):

$$a = \frac{149,2}{0,29} = 514,5 \text{ sl}^{-2}$$

$$\alpha_i = 0,06098 \frac{514,5}{2,14} = 14,7 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-2}$$

Tabulka 2. Záznam měřených a vypočtených hodnot
Křemelina Calofrig F 55; $V_M = 2,14 \cdot 1 \text{ kg}^{-1}$

Číslo měření	$\Delta \tau$ [s]	$\frac{\Delta \tau}{V \frac{\Delta V}{\Delta V}}$ [s]
1	10,2	. 2 = 20,4
2	14,4	. 3 = 43,2
3	21,4	. 4 = 85,6
149,2		

3.5 Zjednodušený výpočet

Vychází se pouze ze dvou naměřených hodnot:
 $\Delta \tau_1$ (měřeno v intervalu 0,150—0,250 l; $V_1 = 0,200 \text{ l}$)
 $\Delta \tau_3$ (měřeno v intervalu 0,350—0,450 l; $V_3 = 0,400 \text{ l}$),
ze kterých se vypočte směrnice a :

$$a = \frac{\frac{\Delta \tau_3}{V_3} - \frac{\Delta \tau_1}{V_1}}{V_3 - V_1} = \frac{10 (\Delta \tau_3 - \Delta \tau_1)}{0,4 - 0,2} = (\Delta \tau_3 - \Delta \tau_1)$$

Příklad výpočtu:

Vzorek: Křemelina Calofrig F 55; $V_M = 2,14 \cdot 1 \text{ kg}^{-1}$
 $\Delta \tau_1 = 10,2 \text{ s}; \Delta \tau_3 = 21,4 \text{ s}$
 $a = 50 (21,4 - 10,2) = 560 \text{ sl}^{-2}$
 $\alpha_i = 0,06098 \frac{560}{2,14} \cdot 10^{11} = 16,0 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-2}$

4. REPRODUKOVATELNOST VÝSLEDKŮ

V analytické praxi je obvyklé analyzovat zkoumaný vzorek dvakrát a pokud se výsledky příliš neliší vypočítat jako nejpravděpodobnější hodnotu průměr obou stanovení. Objektivním měřítkem, jsou-li obě stanovení dostatečně blízko, je dovolený rozdíl dvou stanovení Δ . Ten lze vypočítat aplikací zákonů matematické statistiky, je-li k dispozici dostatečný počet dvojic stanovení [4]:

$$\Delta = 2,456 \bar{R} \quad (19)$$

kde \bar{R} je průměrné variační rozpětí (rozdíl dvou stanovení).

Hodnoty SFO se pohybují u křemelín ve značně širokých mezích (řádově 5 až 500). Je proto nutno počítat s tzv. relativním variačním rozpětím R_{rel} , vyjádřeným v procentech průměrné hodnoty

$$R_{rel} = \frac{\bar{R} \cdot 100}{\bar{X}} \quad \%$$

kde \bar{X} je průměrná hodnota obou stanovení.

V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty SFO podle přesného výpočtu a podle výpočtu zjednodušeného; pro porovnání jsou zaznamenány též hodnoty filtrační průtočnosti P . Všechny hodnoty α_i a P jsou vyjádřeny jako průměr dvou stanovení a z rozdílu obou hodnot je vypočteno relativní variační rozpětí R_{rel} . Krajiní hodnoty obou stanovení nejsou pro úspornost uvedeny, lze je však vypočítat ze vztahu

$$X_{1,2} = \bar{X} \pm \frac{1}{2} \frac{R_{rel} \cdot \bar{X}}{100}$$

Údaje průměrného variačního rozpětí \bar{R}_{rel} spolu s dovoleným rozdílem dvou stanovení (v % průměrné hod-

Tabulka 3. Relativní variační rozpětí R_{rel} dvou stanovení pro specifický filtrační odpor α_i a průtočnost P hrubých, středních a jemných křemelín

Číslo vzorku	HRUBÁ KŘEMELINA						STŘEDNÍ KŘEMELINA						JEMNÁ KŘEMELINA					
	α_i				P		α_i				P		α_i				P	
	Přesný výpočet		Zjednodušený výpočet		$l \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$	$R_{rel} \%$	Přesný výpočet		Zjednodušený výpočet		$l \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$	$R_{rel} \%$	Přesný výpočet		Zjednodušený výpočet		$l \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$	$R_{rel} \%$
	10^{11} m^{-2}	$R_{rel} \%$	10^{11} m^{-2}	$R_{rel} \%$			10^{11} m^{-2}	$R_{rel} \%$	10^{11} m^{-2}	$R_{rel} \%$			10^{11} m^{-2}	$R_{rel} \%$	10^{11} m^{-2}	$R_{rel} \%$		
1	13,10	1,52	13,25	17,35	657,0	0	39,95	3,25	47,80	6,69	210,5	1,42	157,2	2,54	168,5	2,97	31,40	2,55
2	13,50	0	14,10	2,84	604,0	0	34,30	0,58	39,75	1,29	219,0	0,91	324,6	0,68	380,0	1,05	23,70	0,84
3	13,90	1,48	14,05	7,83	553,5	1,26	37,25	1,88	43,75	4,34	196,5	0,51	331,8	3,74	380,2	4,60	23,10	4,33
4	10,45	4,78	9,60	16,66	704,0	4,83	31,85	2,83	36,55	4,65	234,0	2,56	142,8	0,63	141,7	3,88	24,75	2,02
5	12,55	3,98	12,45	10,44	590,5	3,90	48,55	0,82	58,30	6,52	165,0	1,21	324,6	0,62	351,0	0,28	21,00	0,95
6	13,55	2,20	13,90	5,75	571,5	5,07	57,00	0	65,0	0	144,0	0	317,9	1,79	370,8	2,02	24,50	1,63
7	10,80	0	10,20	1,96	646,5	2,94	34,75	2,01	40,40	2,48	213,5	0,47	182,0	3,46	203,5	0,98	26,80	4,48
8	13,15	3,80	14,05	0,71	560,5	1,25	49,15	1,02	55,00	0,36	152,0	0	183,1	3,05	241,5	4,14	48,05	2,29
9	16,85	0,59	18,60	6,45	511,0	0	42,95	0,70	46,85	1,92	159,0	0	161,3	6,57	170,3	4,99	29,15	11,32
10	18,55	3,77	20,55	8,27	503,0	1,19	41,10	0	46,90	0	153,0	1,31	271,4	2,87	280,2	10,53	21,60	0,96
11	20,30	3,94	22,05	0,45	433,0	0,92	45,85	1,09	56,50	1,77	123,0	1,63	133,8	0,67	127,3	1,96	35,40	2,26
12	12,60	6,35	13,20	10,60	651,5	1,38	38,50	0,52	43,80	0,91	166,0	1,20	491,9	3,82	624,0	1,76	15,35	7,16
13	16,95	0,59	17,80	1,12	568,5	2,64	77,30	1,55	88,55	2,37	102,0	0	243,1	5,22	270,3	11,29	22,35	4,03
14	13,30	0	13,85	2,16	632,5	1,42	26,00	1,53	31,20	2,56	290,0	2,07	171,2	1,46	173,3	1,44	28,90	1,38
15	11,05	0,90	10,70	0	758,0	0	38,20	1,05	41,65	2,64	163,0	0	281,7	4,51	317,0	6,62	22,50	3,56
16	12,60	1,59	14,20	0	628,5	2,70	48,25	1,04	57,50	1,74	160,0	0	158,7	0,88	156,0	3,84	27,10	0,74
17	14,15	2,12	15,95	4,39	515,0	1,17	35,30	0,57	49,15	1,02	189,5	1,58	430,9	6,66	496,2	10,38	16,60	3,61
18	18,50	0	21,30	0	352,0	0	42,70	3,28	50,05	3,00	182,0	2,20	226,0	0,49	242,7	6,80	30,45	2,96
19	13,10	1,53	14,15	4,95	550,0	0	59,10	2,37	69,25	2,17	164,0	1,22	425,4	2,52	467,8	0,96	21,30	2,82
20	14,85	0,67	15,15	11,22	607,0	1,32	38,70	0	41,70	0	178,0	2,25	195,8	1,79	217,0	1,84	22,90	1,74
21	16,95	0,59	17,45	7,45	486,0	3,29	39,85	0,75	44,45	2,47	157,0	0	198,1	0,61	218,2	2,06	20,95	0,48
22	12,35	2,43	12,05	4,15	571,0	2,45	33,35	0,90	38,80	1,03	189,0	2,12	159,3	0,19	183,0	1,09	33,65	5,05
23	11,30	0	8,40	0	582,0	1,37	55,40	0,36	64,25	5,45	133,0	0	182,3	3,62	202,2	0,35	36,40	4,40
24	12,90	1,55	14,30	2,80	589,0	1,36	72,90	2,19	77,50	1,29	84,4	2,88	315,7	6,02	385,8	12,83	21,80	1,83
25	12,20	1,64	13,95	2,15	698,0	1,72	42,30	1,42	50,90	1,96	149,5	2,00	207,1	4,30	229,0	5,24	23,20	5,57
Ø		1,84		5,18		1,69		1,27		2,34		1,10		2,75		4,16		3,16

noty) jsou shrnuty v tab. 4 pro tři skupiny křemelin s rozdílným rozsahem hodnot a souhrnně pro celý soubor 75 vzorků. Z tabulky je vidět, že nejpřesněji lze stanovit α_f a P u tzv. středních křemelin (dovolený rozdíl dvou stanovení kolem 3 %), zatímco u jemných křemelin vychází Δ více než dvojnásobně. Zvolí-li se jako kritérium dovolený rozdíl dvou stanovení pro celý rozsah hodnot α_f a P ($\Delta = 5\%$), vyskytnou se u jemných křemelin častěji případy, kdy Δ bude větší než 5 %, a kdy bude nutné stanovit třetí hodnotu.

Tabulka 4. Průměrné relativní variační rozpětí R_{rel} a dovolený rozdíl dvou stanovení pro metodu SFO (α_f) a filtrační průtočnosti (P)

Rozsah hodnot α_f [10 ¹¹ m ⁻²]		α_f		P
		Přesný výpočet	Zjednodušený výpočet	
10—20 hrubá křemelina	R_{rel} % Δ %	1,84 4,50	5,18 12,70	1,69 4,20
25—80 střední křemelina	R_{rel} % Δ %	1,27 3,10	2,34 5,70	1,10 2,70
150—500 jemná křemelina	R_{rel} % Δ %	2,75 6,80	4,16 10,20	3,16 7,80
10—500 celkový rozsah	R_{rel} % Δ %	1,95 4,80	3,89 9,50	1,98 4,90

Výsledky v tab. 4 dále ukazují, že u zjednodušeného výpočtu vychází dovolený rozdíl dvou stanovení prakticky dvojnásobný, takže pouhým výpočtem lze metodu významně zpřesnit. Příznivě vychází Δ také u filtrační průtočnosti (rovněž přibližně 5 %). Nutno však vzít v úvahu, že závislost na podmínkách stanovení je významnější, takže, jak ukazují zkušenosti, jsou rozdíly mezi dvěma pracovišti zpravidla více než dvojnásobné.

Literatura

- [1] KAHLER, M., VOBORSKÝ, J.: Filtrace piva, SNTL, Praha 1981
- [2] Stanovení filtrační průtočnosti křemelinových a perlitových filtračních hmot. Podniková norma PNK 72 7024, Calofrig Borovany 1981
- [3] Brautechnische Analysenmethoden, Band III - MEBAK, Freising-Weihenstephan 1982, s. 656—659
- [4] ECKSCHLAGER, K., HORSÁK, I., KODEJŠ, Z.: Vyhodnocování analytických výsledků a metod. SNTL, Praha 1980

Voborský, J.: Stanovení specifického filtračního odporu křemelin. I Teorie, pracovní postup, reprodukovatelnost. Kvas. prům., 32, 1985, č. 11, s. 3—6.

Specifický filtrační odpor (SFO) filtračních křemelin je definován na základě matematické formulace filtračního procesu. Z této formulace je také odvozen princip stanovení SFO. Podrobně je popsán pracovní postup a uveden příklad přesného a zjednodušeného výpočtu.

Reprodukovatelnost metody byla stanovena vyhodnocením 75 analýz různých křemelin a je vyjádřena dovoleným rozdílem dvou stanovení $\Delta = 5\%$, vztaženo k průměrné hodnotě. Oproti obdobným metodám (filtrační průtočnost, hodnoty W_w , nebo WDK) nejsou hodnoty SFO závislé na podmínkách metody.

Voborský, J.: Определение удельного сопротивления фильтрации инфузорных земель. 1. Теория, способ работы, воспроизводимость. Квас. прум. 32, 1986, № 1, стр. 3—6.

Удельное сопротивление фильтрации фильтровальных инфузорных земель определено на основе математической формулировки процесса фильтрования. Из этой формулировки также выведен принцип определения УСФ. Подробно описывается способ работы и приводится пример точного и упрощенного вычисления. Воспроизводимость метода была установлена оценкой 75 анализов разных инфузорных земель и она выражена допущенной разницей двух определений $\Delta = 5\%$, отнесено к средней величине. По сравнению с аналогичными методами — пропускная способность фильтра, величины W_w (величина воды) или WDK (коэффициент водопроницаемости) величины УСФ не зависят от условий метода.

Voborský, J.: Determination of Specific Filtration Resistance of Kieselguhr. I. Theory, Working Procedure, Reproducibility. Kvas. prům. 32, 1986, No. 1, pp. 3—6.

The specific filtration resistance (SFR) of kieselguhr is defined on a base of the mathematical theory of the filtration process. A determination of the SFR is derived from this theory. A working procedure together with the correct and the simplified calculation is described. A reproducibility of the method was estimated by an evaluation of 75 analyses of various kieselguhrs. The reproducibility is expressed by the difference of two estimations $\Delta = 5\%$, with regard to the mean value. Comparing with similar methods (filtrate rate, etc.) the SFR values are not dependent on the conditions of the method.

Voborský, J.: Bestimmung des spezifischen Filtrationswiderstandes der Kieselguren. I. Theorie, Arbeitsverfahren, Reproduzierbarkeit. Kvas. prům. 32, 1986, Nr. 1, S. 3—6.

Der spezifische Filtrationswiderstand der Filtrationskieselguren wird aufgrund der mathematischen Formulierung des Filtrationsprozesses definiert. Aus dieser Formulierung wird auch das Prinzip der Bestimmung des spezifischen Filtrationswiderstandes abgeleitet. Ausführlich wird das Arbeitsverfahren beschrieben und je ein Beispiel der genauen und vereinfachten Berechnung angeführt. Die Reproduzierbarkeit der Methode wurde aufgrund der Auswertung von 75 Analysen verschiedener Guren ermittelt und ist durch den zulässigen Unterschied zwischen zwei Bestimmungen $\Delta = 5\%$, bezogen zum Durchschnittswert, ausgedrückt. Gegenüber den ähnlichen Methoden [Filtrationsdurchfluß, Wasserwert oder Wasserdurchlässigkeitskennzahl] sind die Werte des spezifischen Filtrationswiderstandes nicht von den Bedingungen der Methode abhängig.