



DYNAMICKÁ SORPČNÍ KAPACITA MALÝCH OCHRANNÝCH FILTRŮ – PRŮMYSL OVÉ ŠKODLIVINY

DYNAMIC SORPTION CAPACITY OF SMALL PROTECTIVE FILTERS – INDUSTRIAL TOXIC SUBSTANCES

VLASTIMIL SÝKORA, ČESTMÍR HYLÁK

ABSTRACT: *The aim of the study was to assess the effects of input parameters on the value of dynamic sorption capacity of small protective filters used in the civil protection of the Czech Republic. Relative humidity, the concentration of the test substance/air mixture, type of filter, year of manufacture, batch and type of sorbent, were used as the monitored parameters. The measurements were performed using a gas-air mixture based on cyclohexane, ammonia, sulphur dioxide, chlorine and sulfane. MOF, MOF-2, MOF-4, MOF-5 and MOF-6-M filters were used for the measurements. It has been detected that the tested filters in many cases meet the requirements of the relevant Standard for sorption capacity, namely in cases of cyclohexane, sulfane and sulphur dioxide. It has also been established that MOF-4 filters containing medium-grained sorbent SZS-1000 attained lower values of sorption capacity than filters with CHS-5 sorbent.*

KEYWORDS: *Filters. Industrial toxic substances. Sorption capacity. Ammonia. Chlorine. Hydrogen sulphide. Sulphur dioxide.*

ÚVOD

Malé ochranné filtry (MOF), vyvinuté pro potřeby civilní ochrany, jsou kombinované filtry skládající se jak z filtrační (u starších typů byla ještě použita buničitá vata), tak i sorpční vrstvy.

Filtry, kromě tlakové ztráty, mechanické odolnosti a dýchacího odporu jsou posuzovány především podle množství zachycené nebezpečné látky (vyjádřené hodnotou dynamické sorpční kapacity DSK) a minimální doby průniku této látky skrz filtr, tzv. rezistenční doby (RD). Tyto hodnoty nám poskytují informace, jak účinně a po jakou dobu za předepsaných podmínek dokáže filtr nebezpečnou látku zachytávat. Na základě těchto informací lze pak odhadnout, jak dlouho může člověk pobývat v prostředí, kde se nebezpečná látka vyskytuje, a to i při koncentracích, pro které filtr nebyl zkoušen.

Malé ochranné filtry byly původně určeny pro záchyt vysoce toxických vojenských látek (v současné době jsou označovány jako filtry NBC) a byly zkoušeny podle požadavků uvedených v jejich technických podmínkách.

Vzhledem k tomu, že filtry postupem doby ztrácely svou kapacitu a ve skladech se jich nacházelo ještě poměrně značné množství, byl hledán způsob, jak je potenciálně co nejlépe využít. Jejich hodnocení bylo proto zaměřeno na možnost záchytu některých významných průmyslových nebezpečných látek, jakými jsou např. amoniak, oxid siřičitý, chlór, sulfan a v neposlední řadě i cyklohexan, který zastupuje skupinu organických látek, především organofosfátů. Záchyt těchto průmyslových látek byl prováděn podle podmínek uvedených v normě (ČSN EN 14387).

1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE, METODY MĚŘENÍ

1.1 Přístrojové vybavení

Zkušební testovací látky se nacházely jak v plynné, tak i v kapalně formě, což vyžadovalo odlišnou měřicí aparaturu. Jednotlivé části měřících tratí jsou pro jednotlivé fyzikální stavy zkoušených látek uvedeny v následujícím textu.

a) Plynné látky

Měřicí trať se skládala z těchto komponentů:

- zdroj vzduchu (kompresor a generátor čistého vzduchu „PURE AIR LG CAD070“),
- zdroj zkušební plynné látky (tlaková lahev),
- vlhčící zařízení (slouží pro úpravu vzduchu na požadovanou vlhkost a teplotu), dynamické mísicí zařízení SYCOS KV/3M (pro nastavení požadovaného průtoku plynovzdušné směsi),
- svorka pro upnutí filtru,
- detekční zařízení (používané jak pro nastavení vstupní koncentrace, tak pro měření průnikové koncentrace; podle druhu použité látky byl použit buď IČ spektrofotometr GENESIS nebo multidetektory plynů MX 21 PLUS či QRae).

b) Kapalně látky

V případě kapalných látek, kdy bylo nezbytné provést nejen mísení dané látky se vzduchem pro nastavení požadované koncentrace, ale zároveň převést tuto látku z kapalného do plynného stavu, byla použita měřicí trať, která se od předchozí měřicí trati na plynné látky nepatrně lišila, a to následujícím způsobem:

- zdrojem zkušební kapalně látky byla injekční stříkačka o vhodném objemu doplněná ohřívacím blokem pro zplynění kapalně látky,
- pro nastavení požadovaného průtoku plynovzdušné směsi bylo použito dynamické mísicí zařízení SYCOS K-DPG,
- pro detekci byl použit IČ spektrofotometr GASMET DX 4000N. Ostatní části měřicí trati byly stejné jako v případě měření plynných látek.

1.2 Postup měření

Po uvedení do chodu jednotlivých částí měřicí trati byly nastaveny požadované podmínky měření - relativní vlhkost na $70 \pm 3 \%$, teplota na $20 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, průtok na $30 \pm 3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a koncentrace buď na $1000 \pm 100 \text{ ppm}$ (0,1 obj. %) nebo $5000 \pm 500 \text{ ppm}$ (0,5 obj. %). Následně byl filtr upnut do svorky a byla sledována doba, při které došlo k průniku zkušební látky skrz filtr. Jednotlivá měření byla prováděna dle interních metodik (Sýkora, 2003; Sýkora, 2006).

1.3 Výpočty

Z naměřených hodnot minimální doby průniku, resp. rezistenční doby byla vypočtena dynamická sorpční kapacita dle následující rovnice.

$$DSK_{TF} = \frac{MH_{TL} \cdot V_{PS} \cdot C_{TL} \cdot t_P}{24470} \quad (1)$$

kde:

DSK_{TF}	- dynamická sorpční kapacita testovaného filtru [mg],
MH_{TL}	- molekulová hmotnost testované látky [$\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$],
V_{PS}	- průtok plynovzdušné směsi [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$],
C_{TL}	- průměrná koncentrace plynovzdušné směsi [ppm],
t_P	- doba průniku testované plynné směsi za filtrem [min].

Směrodatná odchylka (s) v případě, že byly měřeny 2 filtry, byl vypočten dle následující rovnice (Budíková, 2019).

$$s = \frac{1}{N-1} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^2} \quad (2)$$

kde:

N	- počet měření,
x_i	- i-tá hodnota měření,
m	- průměrná hodnota měření.

2. VÝSLEDKY MĚŘENÍ, DISKUZE

Jak již bylo konstatováno dříve (Sýkora, 2019), různé podmínky měření poskytovaly poměrně odlišné výsledky. Proto bylo důsledně dbáno na to, zejména byl-li pro měření k dispozici pouze jeden filtr, aby předepsané podmínky měření byly dodrženy, tab. 1.

Tabulka 1 Předepsané zkušební podmínky pro filtry typu A, B, E a K dle ČSN EN 14387

Typ a třída filtru	Zkušební látka	Minimální doba průniku za zkušebních podmínek [RD]	Zkušební plynu v plynovzdušné směsi		DSK _{teor}	C _{průniková}
			[obj. %]	[mg.l ⁻¹]		
		[min]			[g]	[ml.m ⁻³]
A1	Cyklohexan	70	0,1	3,5	7,22	10,0
B1	Chlór	20	0,5	15,0	8,70	0,5
B1	Sulfan	40	0,5	7,1	8,36	10,0
E1	Oxid siřičitý	20	0,1	2,7	1,57	5,0
E2		20	0,5	13,3	7,85	5,0
K1	Amoniak	50	0,1	0,7	1,04	25,0
K2		40	0,5	3,5	4,18	25,0

V tabulce 1 jsou uvedeny základní podmínky pro testování filtrů dle normy ČSN EN 14387, a to pro cyklohexan, amoniak, oxid siřičitý, chlór a sulfan. Zároveň jsou zde uvedeny minimální doby průniku a průnikové koncentrace a vypočtené teoreticky dosažitelné hodnoty dynamické sorpční kapacity.

V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřené výsledky pro jednotlivé zkušební látky, včetně směrodatné odchylky (s): tabulka 2 - cyklohexan, tabulka 3 - amoniak, tabulka 4 - oxid siřičitý, tabulka 5 - chlór a tabulka 6 - sulfan.

Cyklohexan

V následující tabulce 2 jsou uvedeny výsledky měření filtrů na cyklohexan. Pro měření byly vždy použity 2 filtry, které byly rozděleny podle typu, přičemž byly od sebe odlišeny filtry MOF-4 se středně zrněným sorbentem SZS 710-1000 (SZS) a filtry MOF-4 se sorbentem CHS-5. Jak vyplynulo z normy ČSN EN 14387 (tabulka 1), za daných podmínek, tj. při dosažení minimální doby průniku 70 minut, by měla teoretická hodnota dynamické sorpční kapacity dosahovat 7,22 g.

Tato podmínka však nebyla splněna u celé řady filtrů, zejména u filtrů starších ročníků, jakými jsou filtry MOF-2 a MOF-4. Filtry MOF-2 přesto v několika případech splnily požadavky příslušné normy, a to zejména v případě nejstarších ročníků 1975 a 1976 (i když rozptyl „s“ byl poměrně vysoký) a u ročníku 1980. V ostatních případech bylo dosaženo přibližně 87,5 % (ročník 1978) – 90 % (ročník 1977) teoretické hodnoty rezistenční doby, resp. dynamické sorpční kapacity. Filtry MOF-4 se SZS požadavky normy nejen nesplnily, ale bylo u nich dosaženo pouze cca 49,6 % (ročník 1982) - 63,6 % (ročník 1981) teoreticky požadované hodnoty rezistenční doby.

Výrazný rozdíl mezi filtry MOF-4 pak byl nalezen u filtrů obsahujících sorbent CHS-5. Ve všech případech, tj. u všech hodnocených ročníků bylo v případě filtrů MOF-4 se sorbentem CHS-5 dosaženo výrazně vyšších hodnot, než je stanoveno normou. Přestože u ročníků 1986 a 1987 byl vypočtený rozptyl poměrně vysoký, ani zde naměřené hodnoty neklesly pod požadovanou mez. V případě filtru MOF-5 se dosažené hodnoty pohybovaly na úrovni teoretických hodnot. Ukázalo se tak, že některé ročníky filtrů, přestože jsou 30 a více let staré, splňují požadavky příslušné normy a lze je využít jako únikových prostředků pro záchyt organických látek.

Tabulka 2 Rezistenční doba a dynamická sorpční kapacita filtrů testovaných na cyklohexan

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]	DSK [g]
	c [obj. %]	0,1	0,1
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
MOF-2	12.1975/D-50/018	81,00 ± 11,31	7,98 ± 0,88
	3.1976/D-17/045	75,50 ± 9,19	7,78 ± 0,93
	3.1977/D-24/155	63,00 ± 2,83	6,66 ± 0,71
	2.1978/D-19/240	61,25 ± 2,47	6,30 ± 0,21
	7.1979/D-8/387	61,50 ± 3,54	6,33 ± 0,35
	4.1980/D-15/459	90,25 ± 3,18	9,33 ± 0,25
MOF-4 + SZS 710-1000	9.1980/D-17/024	40,50 ± 0,71	4,25 ± 0,01
	10.1981/D-10/141	44,50 ± 3,54	4,69 ± 0,43
	3.1982/D-24/179	34,75 ± 3,18	3,62 ± 0,24
	10.1983/D-35/348	39,50 ± 0,71	4,06 ± 0,15
	6.1984/D-14/414	35,25 ± 2,47	3,69 ± 0,13
	3.1985/D-40/478	39,50 ± 2,12	4,05 ± 0,25
MOF-4 + CHS-5	4.1986/D-43/582	85,00 ± 11,31	9,06 ± 0,99
	7.1987/D-48/690	75,00 ± 10,00	7,75 ± 0,97
	8.1988/D-23/775	81,75 ± 2,47	8,63 ± 0,30
	4.1989/D-02/835	88,25 ± 5,30	9,03 ± 0,45
	5.1990/D-5/914	81,00 ± 8,49	8,41 ± 0,89
MOF-5	9.1991/D-05/005	72,25 ± 3,89	7,47 ± 0,40

Amoniak

V tabulce 3 jsou uvedeny výsledky měření filtrů na amoniak, a to pro 0,1 obj. % a 0,5 obj. %. Jak vyplynulo z normy ČSN EN 14387 (tabulka 1), za daných podmínek, tj. při dosažení minimální doby průniku 50 minut při koncentraci 0,1 obj. % by teoretická hodnota dynamické sorpční kapacity měla dosahovat 1,04 g a při průniku 40 minut při koncentraci 0,5 obj. % 4,18 g.

Tabulka 3 Rezistenční doba a dynamická sorpční kapacita filtrů testovaných na amoniak

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]		DSK [g]	
	c [obj. %]	0,1	0,5	0,1	0,5
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
MOF	6.1965/gts/65		11,72 ± 1,38		1,22 ± 0,14
MOF-2	12.1975/D-50/018	24,56 ± 0,00	12,50 ± 0,00	0,51 ± 0,00	1,30 ± 0,00
	3.1976/D-17/045	36,65 ± 0,00	8,75 ± 0,71	0,76 ± 0,00	0,91 ± 0,07
	3.1977/D-24/155	25,00 ± 0,00	9,35 ± 0,35	0,52 ± 0,00	0,97 ± 0,04
	4.1978/D-30/265	21,55 ± 0,00	7,66 ± 0,23	0,45 ± 0,00	0,80 ± 0,03
	2.1979/D-29/240	22,90 ± 0,00	7,25 ± 0,35	0,48 ± 0,00	0,75 ± 0,04
	4.1980/D-15/459	19,50 ± 0,00	7,18 ± 0,62	0,41 ± 0,00	0,74 ± 0,06
MOF-4 + SZS 710-1000	9.1980/D-17/024	19,07 ± 0,00	6,26 ± 0,79	0,40 ± 0,00	0,63 ± 0,08
	10.1981/D-10/141	19,70 ± 0,00	6,62 ± 1,36	0,41 ± 0,00	0,69 ± 0,14
	3.1982/D-24/179	31,53 ± 0,00	8,55 ± 2,37	0,66 ± 0,00	0,90 ± 0,25

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]		DSK [g]	
		0,1	0,5	0,1	0,5
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
	10.1983/D-35/348	23,75 ± 0,00	7,93 ± 1,87	0,49 ± 0,00	0,84 ± 0,20
	6.1984/D-14/414	23,50 ± 0,00	8,71 ± 2,32	0,49 ± 0,00	0,92 ± 0,24
	3.1985/D-40/478	19,40 ± 0,00	9,42 ± 1,43	0,40 ± 0,00	0,99 ± 0,15
MOF-4 + CHS-5	4.1986/D-43/582	29,20 ± 0,00	11,35 ± 1,34	0,61 ± 0,00	1,18 ± 0,14
	7.1987/D-48/690	30,80 ± 0,00	9,44 ± 0,27	0,64 ± 0,00	0,98 ± 0,03
	8.1988/D-23/775	38,75 ± 0,00	10,44 ± 2,57	0,81 ± 0,00	1,09 ± 0,27
	4.1989/D-02/835	23,30 ± 0,00	9,19 ± 1,26	0,49 ± 0,00	0,95 ± 0,13
	5.1990/D-5/914	31,60 ± 0,00	12,36 ± 0,94	0,66 ± 0,00	1,29 ± 0,10
MOF-5	9.1991/D-05/005	39,00 ± 0,00	11,30 ± 1,52	0,81 ± 0,00	1,18 ± 0,16

Pozn.: při koncentraci 0,1 obj. % byl změřen pouze 1 filtr

Z naměřených výsledků jednoznačně vyplynulo, že pro záchyt amoniaku jsou uvedené filtry zcela nevhodné. Nebyl nalezen ani jeden testovaný ročník, který by vyhověl podmínkám normy ČSN EN 14387, a to jak při 0,1 obj. %, tak i při 0,5 obj. %, přičemž nízké hodnoty rozptylu neměly v tomto případě na průměrné hodnoty prakticky žádný vliv. Filtry dosahovaly 38,1 % (MOF-4, ročník 1980 se SZS) – 78,0 % (MOF-5, ročník 1991) teoreticky vypočtené hodnoty rezistenční doby při koncentraci 0,1 obj. % a 15,7 % (MOF-4, ročník 1980 se SZS) – 31,2 % (MOF-2, ročník 1975) teoreticky vypočtené hodnoty rezistenční doby při koncentraci 0,5 obj. % (viz tabulka 1). I zde byl u filtrů MOF-4 jednoznačně prokázán vliv použitého sorbentu. Filtry obsahující SZS při koncentraci 0,1 obj. % dosáhly v průměru v průměru o 15,8 % nižších hodnot rezistenční doby než filtry se sorbentem CHS-5. Při koncentraci 0,5 obj. % byl rozdíl rezistenční doby přibližně 6,6 %. Dále bylo prokázáno, že některé starší ročníky zachytávají amoniak lépe, a to při obou měřených koncentracích. Porovnáním průměrných hodnot rezistenční doby jednotlivých typů filtrů bylo zjištěno, že při koncentraci 0,1 obj. % bylo dosaženo u filtrů MOF-2 50,1 % teoretické hodnoty rezistenční doby (tabulka 1), u filtrů MOF-4 se SZS 45,7 %, u filtrů MOF-4 s CHS-5 61,5 % a u filtru MOF- 5 78,0 %. Při koncentraci 0,5 obj. % byly tyto rozdíly ještě významnější – filtr MOF dosáhl 29,3 % teoretické hodnoty rezistenční doby, filtry MOF-2 22,0 %, filtry MOF-4 se SZS 19,8 %, filtry MOF-4 s CHS-5 26,4 % a filtr MOF- 5 28,3 %.

Naměřené výsledky jednoznačně poukázaly na skutečnost, že tyto filtry nelze v žádném případě použít s ohledem na nesplněné podmínky normy ani jako filtrů sloužících pro únik z nebezpečné oblasti.

Oxid siřičitý

Tabulka 4 demonstruje výsledky měření filtrů s oxidem siřičitým, opět při koncentraci 0,1 obj. % a 0,5 obj. %. Dle normy ČSN EN 14387 by při těchto koncentracích a rezistenční době 20 minut měla teoretická hodnota dynamické sorpční kapacity dosahovat 1,57 g a při koncentraci 0,5 obj. % 7,85 g (tabulka 1).

Tabulka 4 Rezistenční doba a dynamická sorpční kapacita filtrů testovaných na oxid siřičitý

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]		DSK [g]	
		0,1	0,5	0,1	0,5
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
MOF	6.1965/gts/65	63,00 ^(a) ± 0,00		4,95 ^(a) ± 0,00	
	8.1965/gts/83		14,30 ^(a) ± 0,00		5,62 ^(a) ± 0,00

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]		DSK [g]	
	c [obj. %]	0,1	0,5	0,1	0,5
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
MOF-2	12.1975/D-50/018	56,00 ± 0,71		4,40 ± 0,06	
	12.1975/D-07/018		11,27 ± 0,09		4,42 ± 0,03
	3.1976/D-17/045	63,00 ± 3,54	13,80 ± 0,57	4,95 ± 0,28	5,42 ± 0,23
	3.1977/D-24/155	62,00 ± 1,41	10,63 ± 0,18	4,87 ± 0,11	4,17 ± 0,07
	2.1978/D-19/240	51,25 ± 0,35	12,10 ± 0,57	4,02 ± 0,03	4,75 ± 0,23
	5.1979/D-19/365	50,00 ± 2,12		3,93 ± 0,16	
	9.1979/D-8/432		12,00 ^(a) ± 0,00		4,71 ^(a) ± 0,00
	4.1980/D-15/459	46,25 ± 3,18	11,50 ^(a) ± 0,00	3,64 ± 0,25	4,52 ^(a) ± 0,00
MOF-4 + SZS 710-1000	9.1980/D-17/024	56,25 ± 1,06	12,43 ± 0,18	4,42 ± 0,08	4,89 ± 0,06
	10.1981/D-10/141	59,50 ± 2,12	13,35 ^(a) ± 0,00	4,67 ± 0,16	5,24 ^(a) ± 0,00
	3.1982/D-24/179	44,50 ± 6,36	12,80 ± 0,79	3,45 ± 0,50	5,03 ± 0,28
	10.1983/D-35/348	56,75 ± 0,35	12,15 ± 0,92	4,46 ± 0,03	4,78 ± 0,36
	6.1984/D-14/414	55,25 ± 1,77	12,45 ± 0,49	4,34 ± 0,14	4,89 ± 0,20
	3.1985/D-40/478	46,50 ± 2,12	12,50 ^(a) ± 0,00	3,65 ± 0,17	4,91 ^(a) ± 0,00
MOF-4 + CHS-5	4.1986/D-43/582	63,50 ± 2,12	12,20 ± 1,48	4,99 ± 0,16	4,79 ± 0,58
	7.1987/D-48/690	61,00 ± 4,24	13,03 ± 1,10	4,80 ± 0,33	5,12 ± 0,43
	8.1988/D-23/775	62,00 ± 2,83	14,50 ^(a) ± 0,00	4,87 ± 0,23	5,69 ^(a) ± 0,00
	4.1989/D-02/835	74,75 ± 3,18	13,65 ^(a) ± 0,00	5,87 ± 0,25	5,36 ^(a) ± 0,00
	5.1990/D-5/914	60,75 ± 5,30	12,00 ^(a) ± 0,00	4,78 ± 0,42	4,71 ^(a) ± 0,00
MOF-5	9.1991/D-05/005	72,00 ± 1,41	16,35 ^(a) ± 0,00	5,66 ± 0,11	6,42 ^(a) ± 0,00

Pozn. (a) ...změřen pouze 1 filtr

Poněkud odlišná situace byla zjištěna v případě zachytu oxidu siřičitého. Při koncentraci 0,1 obj. % všechny testované ročníky filtrů nejenže splnily požadavky normy na minimální rezistenční dobu, tj. 20 minut, ale tuto dobu výrazně překročily. U jednotlivých typů se toto zvýšení pohybovalo o 215 % u filtru MOF, u filtrů MOF-2 od 131 % (ročník 1980) do 215 % (ročník 1976), u filtrů MOF-4 se SZS od 123 % (ročník 1982) do 198 % (ročník 1981), u filtrů MOF-4 se sorbentem CHS-5 od 204 % (ročník 1990) do 274 % (ročník 1989) a u filtru MOF-5 o 260 %. Také i zde některé starší ročníky filtrů vykázaly vyšší rezistenční dobu (např. MOF nebo MOF-2 – ročníky 1976 a 1977) než některé mladší, později vyrobené a i zde se projevil rozdíl v zachytu oxidu siřičitého u typu MOF-4. Sorbent CHS-5 vykázal vyšší průměrnou rezistenční dobu, a to přibližně o 21,2 %. Naopak při vyšší koncentraci, tj. 0,5 obj. %, žádný z testovaných ročníků filtrů nevyhověl požadavkům normy.

V jednotlivých případech průměrná rezistenční doba dosáhla pouze 71,5 % (filtr MOF), 59,4 % (filtry MOF-2), 63,1 % (filtry MOF-4 se SZS), 65,4 % (filtry MOF-4 se sorbentem CHS-5) a 81,8 % (filtr MOF-5) teoretické hodnoty 20 minut. Kromě vyšší sorpce u filtru MOF, významnější rozdíl mezi staršími filtry MOF-2 a mladšími filtry MOF-4 nebyl nalezen. Přestože rezistenční doba při měřených koncentracích byla velmi rozdílná, dynamická sorpční kapacita byla u jednotlivých ročníků a typů velmi podobná. Ve všech případech byla průměrná hodnota sorpční kapacity u jednotlivých typů filtrů při koncentraci 0,1 obj. % vždy nižší, než při koncentraci 0,5 obj. % (filtr MOF 5,0 g, resp. 5,6 g; filtry MOF-2 4,3 g, resp. 4,7 g; filtry MOF-4 se SZS 4,2 g, resp. 5,0 g; filtry MOF-4 se sorbentem CHS-5 5,0 g, resp. 5,1 g a filtr MOF-5 5,7 g, resp. 6,4 g).

Z těchto výsledků vyplynulo, že uvedené filtry při nízkých koncentracích okolo 0,1 obj. % lze použít jako únikový prostředek.

Chlór

Výsledky pro zkušební plyn chlór jsou pro koncentraci 0,5 obj. % uvedeny v tabulce 5. Dle normy ČSN EN 14387 by při této koncentraci a minimální době průniku 20 minut dynamická sorpční kapacita měla být 8,70 g – viz tabulka 1. Opět pro měření byly použity stejné typy a ročníky filtrů, a to v počtu 2 kusů.

Tabulka 5 Rezistenční doba a dynamická sorpční kapacita filtrů testovaných na chlór

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]	DSK [g]
	c [obj. %]	0,5	0,5
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
MOF	2.1974/D-10/2134	14,40 ± 1,84	6,26 ± 0,79
MOF-2	12.1975/D-50/018	12,85 ± 4,31	5,59 ± 1,87
	3.1976/D-17/045	14,90 ± 0,28	6,48 ± 0,12
	3.1977/D-24/155	11,65 ± 0,92	5,07 ± 0,40
	2.1978/D-29/240	14,35 ± 1,91	6,24 ± 0,83
	7.1979/D-20/390	15,55 ± 0,78	6,76 ± 0,34
	4.1980/D-15/459	12,65 ± 3,75	5,50 ± 1,63
MOF-4 + SZS 710-1000	9.1980/D-17/024	11,75 ± 1,06	5,11 ± 0,46
	10.1981/D-10/141	12,73 ± 0,67	5,53 ± 0,30
	3.1982/D-24/179	10,75 ± 1,63	4,67 ± 0,71
	10.1983/D-35/348	13,70 ± 0,57	5,96 ± 0,25
	6.1984/D-4/414	14,55 ± 0,21	6,33 ± 0,09
	3.1985/D-40/478	16,10 ± 0,57	7,00 ± 0,25
MOF-4 + CHS-5	4.1986/D-43/582	12,60 ± 0,57	5,48 ± 0,25
	7.1987/D-48/690	14,10 ± 0,28	6,13 ± 0,12
	8.1988/D-23/775	15,45 ± 0,64	6,71 ± 0,27
	4.1989/D-02/835	18,30 ± 2,12	7,96 ± 0,93
	5.1990/D-5/914	16,50 ± 3,54	7,17 ± 1,54
MOF-5	9.1991/D-05/005	16,10 ^(a) ± 0,00	7,00 ^(a) ± 0,00

Pozn. (a) ...změřen pouze 1 filtr

I v tomto případě testované filtry nesplnily při koncentraci 0,5 obj. % požadavky normy ČSN EN 14387. To znamená, že ani v jednom případě nebylo dosaženo rezistenční doby 20 minut. Také zde byly nalezeny rozdíly jak mezi jednotlivými typy a ročníky zkoušených filtrů, tak i mezi použitými sorbenty. Průměrná rezistenční doba dosáhla u filtru MOF 72,0 %, u filtrů MOF-2 68,3 %, u filtrů MOF-4 se SZS 66,3 %, u filtrů MOF-4 se sorbentem CHS-5 77,0 % a u filtru MOF-5 80,5 % teoreticky dosažitelné rezistenční doby 20 minut. Nejvyšších hodnot rezistenční doby pak bylo dosaženo u nejmladších ročníků, a to jak u filtru MOF-5, tak i u filtrů MOF-4 se sorbentem CHS-5. Rozdíly mezi sorbenty u filtrů MOF-4 se pohybovaly okolo 10 % v neprospěch filtrů obsahujících sorbent SZS. Ani v tomto případě nelze tyto filtry použít jako únikové v případě nebezpečí.

Sulfan

Stejně jako v případě chlóru byly pro měření se sulfanem použity 2 kusy filtrů a měření bylo prováděno se stejnými typy a ročníky filtrů, tak jako v předchozích případech.

Výsledky pro tento plyn jsou uvedeny v tabulce 6, a to opět pouze pro koncentraci 0,5 obj. %. Dle normy ČSN EN 14387 by při této koncentraci a rezistenční době 40 minut dynamická sorpční kapacita měla dosahovat hodnoty 8,36 g (tabulka 1).

Tabulka 6 Rezistenční doba a dynamická sorpční kapacita filtrů testovaných na sulfan

Typ filtru	Rok výroby, šarže, označení	RD [min]	DSK [g]
	c [obj. %]	0,5	0,5
		<i>průměr ± s</i>	<i>průměr ± s</i>
MOF	8.1965/gts/80	44,25 ± 5,30	9,22 ± 1,10
MOF-2	12.1975/D-07/018	55,25 ± 5,30	11,53 ± 1,10
	3.1976/D-17/045	70,35 ± 3,32	14,66 ± 0,69
	5.1977/D-25/166	53,75 ± 4,60	11,21 ± 0,95
	4.1978/D-30/256	66,75 ± 3,89	13,92 ± 0,81
	7.1979/D-20/390	43,25 ± 5,30	9,02 ± 1,11
	4.1980/D-15/459	55,75 ± 7,42	11,62 ± 1,54
MOF-4 + SZS 710-1000	9.1980/D-17/024	48,25 ± 1,77	10,06 ± 0,37
	10.1981/D-10/141	51,50 ± 1,41	10,74 ± 0,29
	1.1982/D-24/165	63,00 ± 0,00	13,13 ± 0,00
	10.1983/D-35/351	42,75 ± 1,06	8,91 ± 0,23
	6.1984/D-4/414	49,50 ± 1,41	10,32 ± 0,30
	5.1985/D-40/496	46,75 ± 1,06	9,75 ± 0,22
MOF-4 + CHS-5	4.1986/D-43/582	49,50 ± 2,12	10,32 ± 0,45
	7.1987/D-48/690	51,00 ± 1,41	10,63 ± 0,30
	8.1988/D-23/775	80,00 ± 11,31	16,68 ± 2,35
	4.1989/D-02/835	70,25 ± 9,55	14,64 ± 1,99
	5.1990/D-5/914	49,00 ± 2,83	10,22 ± 0,59
MOF-5	9.1991/D-05/005	62,50 ± 3,54	13,03 ± 0,74

Sulfan se ukázal jako jedna z nejlépe zachytávatelných nebezpečných látek, neboť při této koncentraci 0,5 % obj. všechny testované filtry splnily podmínky normy ČSN EN 14387, tj. jeho zachyt po dobu nejméně 40 minut. Testované ročníky 1965 (filtr MOF) a 1979 (filtr MOF-2) sice též splnily podmínky normy, ale vzhledem k vyšší směrodatné odchylce se výsledky rezistenční doby, resp. dynamické sorpční kapacity, pohybují na hranici mezi splněním a nesplněním.

Jednotlivé typy filtrů překročily požadovanou průměrnou hodnotu rezistenční doby o 10,6 % (filtr MOF), 43,8 % (filtry MOF-2), 25,7 % (filtry MOF-4 se SZS), 49,9 % (filtry MOF-4 se sorbentem CHS-5) a filtr MOF-5 o 56,3 %. I zde filtry MOF-4 se SZS dosáhly nižší průměrné hodnoty rezistenční doby než filtry MOF-4 se sorbentem CHS-5 a zároveň i nižší průměrné hodnoty rezistenční doby než starší filtry MOF-2.

ZÁVĚR

Malé ochranné filtry, nacházející se ve skladech Civilní ochrany lze, jak je na předložených výsledcích demonstrováno, v některých případech, byť v omezené míře, použít jako únikových prostředků. Jejich využití je možné předpokládat zejména pro zachyt organických látek, demonstrovaných sorpcí cyklohexanu, kde zejména filtry MOF-4 obsahující sorbent CHS-5, filtr MOF-5 a ročníky 1975 a 1976 filtru MOF-2 splnily požadavky na sorpční kapacitu danou normou ČSN En 14387, dále pro zachyt oxidu siřičitého při nízkých koncentracích okolo 1000 ppm a zejména pro zachyt sulfanu, a to i při velmi vysokých koncentracích. V ostatních případech se použití těchto filtrů nedoporučuje a zejména v případě amoniaku je jejich použití zcela nevhodné.

Ukázalo se také, že použitý sorbent má výrazný vliv na rezistenční dobu, resp. dynamickou sorpční kapacitu filtrů. Ve všech případech u filtrů MOF-4 obsahující středně zrněný sorbent SZS 710-1000

v porovnání s filtry se sorbentem CHS-5 bylo dosaženo delší rezistenční doby, resp. vyšší dynamické sorpční kapacity, než u filtrů se sorbentem CHS-5. Také starší ročníky testovaných filtrů (MOF a MOF-2) vykázaly v některých případech vyšší hodnoty než mladší ročníky. Ukazuje se tak, že správně skladované filtry s vhodným sorbentem mohou být použitelné i po uvažované době životnosti a že je lze použít nejen jako únikových filtrů, ale i pro potřeby výuky.

LITERATURA

ČSN EN 14387 Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Protiplynové a kombinované filtry – Požadavky, zkoušení a značení.

Sýkora, V., Hylák, Č. (2003). Metodika testování MOF na plynné látky. Interní přepis.

Sýkora, V., Hylák, Č. (2006). Metodika měření dynamické sorpční kapacity malých ochranných filtrů pomocí směšovacího zařízení SYCOS K-DPG při průtoku do 30 l/min. Interní předpis.

Sýkora, V., Hylák, Č. (2019). Dynamická sorpční kapacita malých ochranných filtrů – vliv vstupních podmínek. *Krízový management*, 2, 35-42

Budíková, M., Králová, M., Maroš, B. (2010). Průvodce základními statistickými metodami. Praha: Grada Publishing.

Vlastimil Sýkora, pplk. Ing. CSc.

MV GŘ HZS ČR Institut ochrany obyvatelstva, Na Lužci 204, 533 41 Lázně Bohdaneč, Česká republika, tel.: +420 950 580 351, e-mail vlastimil.sykora@joobl.izscr.cz

Čestmír Hylák, Ing.

MV GŘ HZS ČR Institut ochrany obyvatelstva, Na Lužci 204, 533 41 Lázně Bohdaneč, Česká republika, tel.: +420 950 580 350, e-mail cestmir.hylak@joobl.izscr.cz
