

## APLIKACE UHLÍKOVÉ ADSORPČNÍ TEXTILIE NA ZÁCHYT NEBEZPEČNÝCH LÁTEK

## APPLICATION OF CARBON ADSORPTION TEXTILES FOR CAPTURE OF HAZARDOUS SUBSTANCES

Jiří Slabotinský<sup>a</sup>, Jaromír Sobotka<sup>a</sup>, Jakub Vaněk<sup>b</sup>, Josef Břínek<sup>b</sup>, Pavel Častulík<sup>c</sup>

<sup>a</sup> DEKONTA CBRN s.ro., Vídeňská 102, Brno 619 00

<sup>b</sup> SÚJCHBO, v.v.i., tř. Kpt. Jaroše 5, Brno 602 00

<sup>c</sup> DEKONTA a.s., Vídeňská 102, Brno 619 00

Korespondující autor: [jiri.slabotinsky@dekontacbrn.cz](mailto:jiri.slabotinsky@dekontacbrn.cz); tel: +420 734 320 547

### Abstrakt

K záchytu nebezpečných látek se v ochranných maskách i oděvech standardně využívá jako adsorbent aktivní uhlí. Ať už je to v granulované formě (ochranné filtry) nebo práškové či syntetické (ochranné oděvy). Množství a kvalita musí respektovat požadavky ochranné účinnosti. Ke snížení potřebného množství, a tím i snížení hmotnosti, při stejné účinnosti může přispívat adsorpční uhlíková textilie. Příspěvek popisuje zákonitosti adsorpce a vliv struktury adsorpční textilie na rychlost záchytu a tím i na rezistenční dobu filtru nebo textilu při předpokládaných podmínkách jejich použití.

**Klíčová slova:** *aktivní uhlí, adsorpční uhlíkové textilie, protichemická ochrana osob*

### Abstract

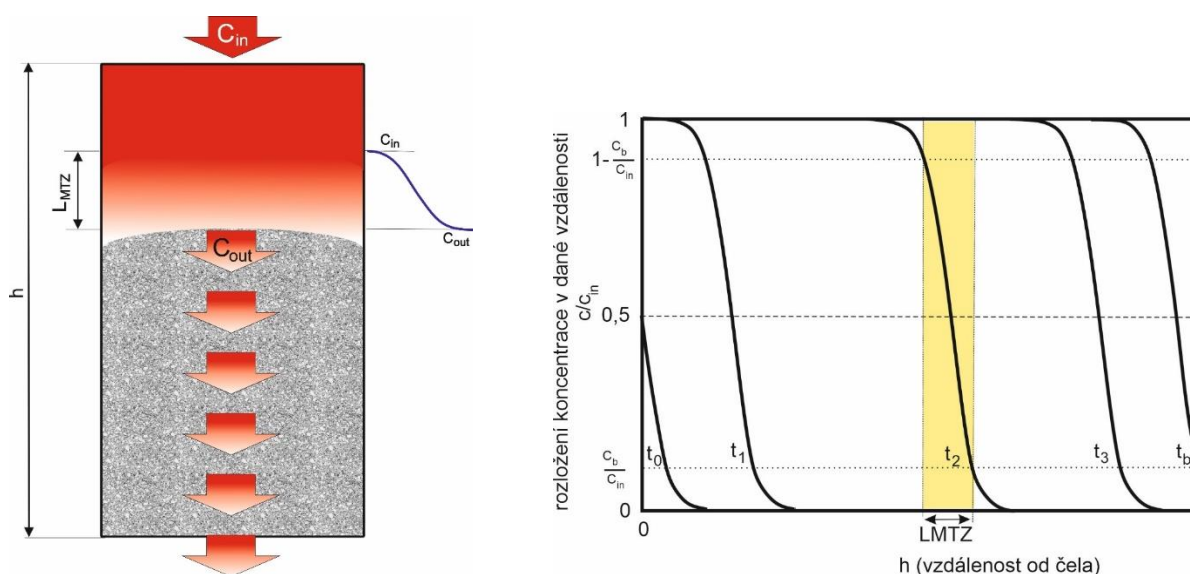
Activated carbon is usually used as an adsorbent in protective masks and clothing to capture dangerous substances. Whether it is in granular form (protective filters), powdered, or synthetic (protective clothing), quantity and quality must respect the requirements of protective effectiveness. Adsorptive carbon fabric can contribute to reducing the required carbon amount and thus to weight reduction with the same efficiency. The paper describes adsorption laws and the adsorption fabric structure influence on the capture rate, and thus also on the resistance time of filter or textile under the assumed conditions of their use.

**Keywords:** *activated carbon, adsorptive carbon textiles, anti-chemical personal protection*

## 1. ADSORPCE PLYNNÝCH LÁTEK VE FILTRECH NEBO TEXTILÍCH

Adsorpce je jedním ze způsobů účinného záchytu plyných látek ohrožujících člověka. Jedná se o fyzikálně-chemický proces, při němž dochází k selektivní vazbě plynné nebo kapalné látky na pevnou látku [1]. Ke změně koncentrace dochází na fázovém rozhraní (interface), kdy koncentrace v okolním prostředí klesá vlivem záchytu látky na pevném povrchu. Pevná látka se označuje jako adsorbent, zachycovaná látka pak adsorbát [2]. Rozlišují se dvě formy adsorpce,

a sice fyzikální a chemisorpce. V prvním případě zůstává chemická podstata adsorbátu nezměněná, protože je k pevnému povrchu vázán slabými van der Waalsovými silami. To je také princip záchytu uhlíkovými porézními materiály. Při chemisorpci dochází k vytvoření chemických vazeb, což se projevuje v mnohem vyšší hodnotě uvolněného tepla (entalpie), která v tomto případě dosahuje 40-400 kJ.mol<sup>-1</sup>, oproti 10-20 kJ.mol<sup>-1</sup> při fyzikální adsorpci [3]. Ta však umožňuje záchyt širokého spektra plyných nepolárních nebo slabě polárních chemických látek, mezi které náleží také většina BCHL perkutánního působení, proti kterým se využívají především fóliové polymerní nebo pryžové materiály. Rozložení koncentrace u adsorpční membrány na rozdíl od nich není dáno koncentračním spádem v celé membráně, ale je koncentrováno do koncentrační vlny (zóny), která se pohybuje membránou (adsorpčním ložem) a za sebou nechává totálně nasycený adsorbent adsorbátem (pronikající látkou). Délka této vlny a její pohyb vrstvou je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1 Schéma šíření adsorpční vlny filtrem a její délka.  $C_{in}$ ,  $C_{out}$  jsou vstupní a výstupní koncentrace adsorbátu, LMTZ je délka převodu adsorbátu na adsorbent – adsorpční vlna)

Pro odhad její délky platí vztahy (1) [4]:

$$LMTZ = 2h \frac{t_{1-x} - t_x}{t_{1-x} + t_x} \qquad LMTZ = 2 \frac{v}{k_v} \ln \frac{1-x}{x} \qquad (1)$$

kde  $t_x$  je průniková doba  $c$  (resp.  $c/c_{in}$ ) a  $t_{1-x}$  odpovídá průniku koncentrace  $C_{in}-C$  resp.  $(1-C/C_{in})$ . V druhém případě  $x$  je vzdálenost při dosažení relativní koncentrace  $C/C_{in}$  resp.  $1-x$  vzdálenost při dosažení  $1-C/C_{in}$ . Z druhého vztahu je vidět, že délka zóny se bude zvětšovat se zvýšením čelní rychlosti proudění vrstvou a se snížením koeficientu adsorpční rychlosti  $k_v$ , a naopak se s opačnou změnou těchto veličin bude zmenšovat. Pokud se za  $C = C_{out}$  zadá  $C_b$ , což je nevyšší přípustná hodnota průnikové koncentrace, pak  $t_x = t_b = RD$ .

$$t_b = \frac{W \cdot W_e}{Q \cdot C_{in}} - \frac{W_e \cdot \rho_b}{k_v \cdot c_{in}} \cdot \ln \left( \frac{C_{in} - C_b}{C_b} \right) \qquad (2)$$

kde

$t_b$	doba průniku definované limitní koncentrace v <i>min</i>
$k_v$	celkový koeficient adsorpční rychlosti v $min^{-1}$
$W$	hmotnost sorbentu ve filtru v <i>g</i>
$W_e$	statická adsorpční kapacita sorbentu pro páry v $g \cdot g^{-1}$ (sorbentu)
$C_{in}$	vstupní koncentrace par v $g \cdot cm^{-3}$
$C_{lim}$	limitní přípustná koncentrace par v $g \cdot cm^{-3}$
$Q$	objemový průtok v $cm^{-3} \cdot min^{-1}$
$\rho_b$	sypná hustota vrstvy adsorbentu $g \cdot cm^{-3}$

Rovnici (2) lze vyjádřit jako rovnici přímky

$$t_b = A \cdot B \cdot x \tag{3}$$

$$A = \frac{W \cdot W_e}{Q \cdot C_{in}} \rightarrow B = \frac{W_e \cdot \rho_b}{k_v \cdot C_{in}} \rightarrow x = \ln \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{out}}$$

V ní první člen  $A$  vyjadřuje tzv. stechiometrický čas  $t_s$ , což je čas, kdy je na konci vrstvy adsorbentu koncentrace  $C_{out} = C_{in}/2$  a  $B$  rychlost šíření koncentrace podél stechiometrického času v závislosti na poměru rychlosti čelní proudění  $v$  a koeficientu rychlosti adsorpce  $k_v$  což nejlépe vynikne, pokud porovnáme průběžný čas  $t$  se stechiometrickým časem  $t_s$  ( $z$  je vzdálenost v adsorpčním loži) [4].

$$\frac{t}{t_s} = 1 - \frac{\rho_b \cdot Q}{k_v \cdot W} \cdot \ln x = 1 - \frac{v}{k_v \cdot z} \cdot \ln x \tag{4}$$

Koeficient adsorpční rychlosti se nemění se vzdáleností v adsorpčním loži, ale závisí na rychlosti přívodu adsorbátu  $v$  (čelní rychlosti), snadnosti adsorpce, tzv. afinitním koeficientu  $\beta$ , velikosti zrn adsorbentu  $d$  a na poměru adsorpční kapacity  $W_e$  a molekulové hmotnosti  $M$  [5].

$$k_v = 800 \cdot \beta^{0,33} \cdot v^{0,75} \cdot d^{1,5} \cdot \sqrt{\frac{W_e}{M}} \tag{5}$$

Délka vrstvy adsorbentu, respektive jeho objem vztažený k čelní ploše, je důležitá veličina, protože z Obr. 1 je zřejmé, že musí být delší, než je délka adsorpční vlny LMTZ. Délku LMTZ lze v podstatě označit jako tzv. mrtvou vrstvu  $h_m$ , při dochází k průniku nadlimitní koncentrace okamžitě. O tuto délku musí být vrstva delší, aby došlo k požadovanému záchytu adsorbátu. Mecklenburg [6] pro to odvodil vztah (6)

$$t_b = \frac{W_e \cdot S}{C_{in} \cdot Q} \cdot (h - h_m) \tag{6}$$

### 1.1 Granulované aktivní uhlí a uhlíková adsorpční textilie

Granulované aktivní uhlí obsahuje větší podíl mezopórů než adsorpční nanovlákná, z něhož jsou zhotoveny textilie, ať už pletenina nebo plst. Publikace [7] porovnává rozdíly granulovaného aktivního uhlí (GrAU) a adsorpční uhlíková vlákna (ACF) v podobě tkaniny (ACFC) nebo plsti (ACFF). Ze srovnání vyplynulo, že při stejné velikosti adsorpčního povrchu okolo  $1500 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  mají adsorpční textilie, ať už pletenina nebo plst o více jak 20 % více mikropórů než GrAU a tvoří téměř 90 % objemu všech pórů.

Tabulka 1: Porovnání charakteristických vlastností GrAU a ACF [7]

Parametry	Rozměr	GAC	ACFC 15	ACFF 15
BET povrch	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	1511,7	1472,5	1419,1
Povrch mikropórů	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	1148,8	1334,2	1288,4
Poměr povrchu BET a mikropórů	%	75,99	90,61	90,79
Objem pórů celkem	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	0,7025	0,6244	0,5935
Objem mikropórů	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	0,4604	0,5425	0,5184
Podíl mikropórů	%	65,54	87,16	87,34
Velikost pórů	nm	1,86	1,69	1,67
Hustota	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,411	0,272	0,070

Mikropóry jsou přitom rozhodující pro rychlost a adsorpci bez kondenzace, k níž dochází v mezopórech [8, 9]. Právě rychlejší mezičásticová kinetika a kratší cesty u ACF k mikropórům než u GrAU [9], jsou předpokladem k rychlejšímu záchytu molekul adsorbátu při nižších koncentracích (tlacích). Navíc, jak uvádí Balanay [7], krátká cesta k adsorpci, díky umístění mikropórů téměř na povrchu, ukazuje, že tzv. mrtvá vrstva adsorbentu je u pleteniny ACF 2,5krát kratší než u GrAU. Proto se využití ACF jeví jako vhodné pro „dočišťování“ průniků nízkých koncentrací za vrstvou GrAU.

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1 Použité textilie, adsorbenty, adsorbáty a přístroje

#### Textilie

- Nanomembrane a zhotovený oděv z ní
- Balvněná textilie

#### Adsorbenty

- Granulované aktivní uhlí PLMC 12×20 plněné do filtrů ochranných masek Sigma Lutín
- Pletenina z adsorpčních uhlíkových vláken Flexzorb FM 30K

- Oboustranně laminovaná textilie z adsorpčních uhlíkových vláken Flexzorb FM 30K D151 (PES-Flexzorb-PES) a oděv z ní

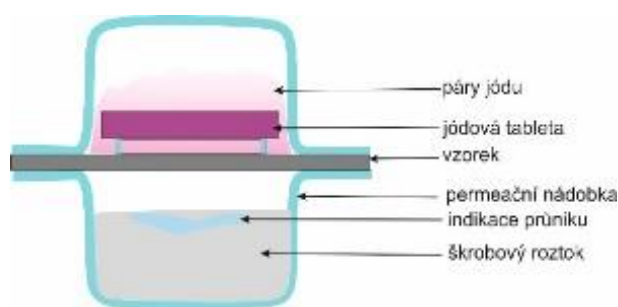
### Adsorbáty

- Cyklohexan, p.a.; tablety jódu; dimethylmethylfosfonát (DMMP); chlór; polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

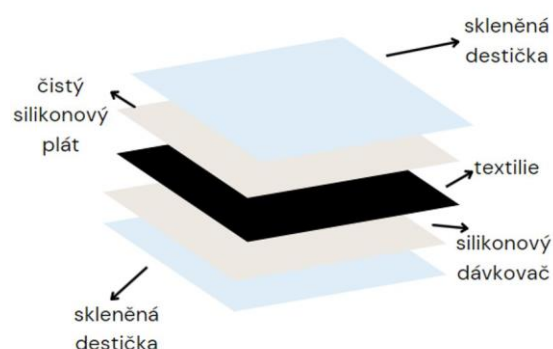
### Přístroje

- Difúzní cela pro měření průniku jódu z tablety položená nad testovaný vzorek, indikace průniku na jodoškrob (Obr. 2)
- Permeační aparatura Carousel 2000 s chromatografickou detekcí [10]
- Permeační systém (silikon–materiál–silikon) (Obr. 3)

Obr. 2 Difúzní aparatura měření permeace jódu



Obr. 3 Permeační systém pro PAH (silikon–materiál–silikon)



## 2.2 Aplikované postupy

Všechny experimenty byly vykonány při teplotě  $25 \pm 1$  °C.

Testy s jódovou tabletou na bázi difúze par ze zdroje přiloženým vzorkem textilie. Indikace u jodoškrobu byla vizuální zbarvením indikátoru (Obr. 2).

U permeačního systému pro PAH docházelo k přestupu látek ze silikonového dávkovače (silikonový plát obohacený PAH) skrze bariéru textilního materiálu do čistého akceptorového silikonového plátu (Obr. 3). Sledoval se nárůst množství PAH v akceptorové části v daných časových intervalech. Donorová část byla analyzována pouze na počátku a na konci experimentu. Všechny vzorky byly přímo analyzovány pomocí termodesorpční jednotky plynového chromatografu s hmotnostní detekcí.

Permeace par cyklohexanu na aparatuře Carousel spočívala v prosávání par definované koncentrace o daném objemovém průtoku uspořádaným systémem testovaného vzorku.

Pronikání par chlóru o koncentraci 5-7 ppm bylo stanovováno v souladu s metodikou SÚJCHBO, v.v.i. [14] na funkčních oděvech v toxikologické komoře SÚJCHBO, v.v.i. a následným

kvantitativním vyhodnocením zbarveného průniku podloženého indikačního prádla. Chlór je využit proto, že ho lze snadno reaguje s KBR i při velmi nízkých koncentracích, přičemž lze využít i jeho mírného zachytu nepolárními adsorbenty.

## 2.3 Výsledky a diskuse

### 2.3.1 Vliv Flexzorbů na permeaci par jódu a DMMP textiliemi

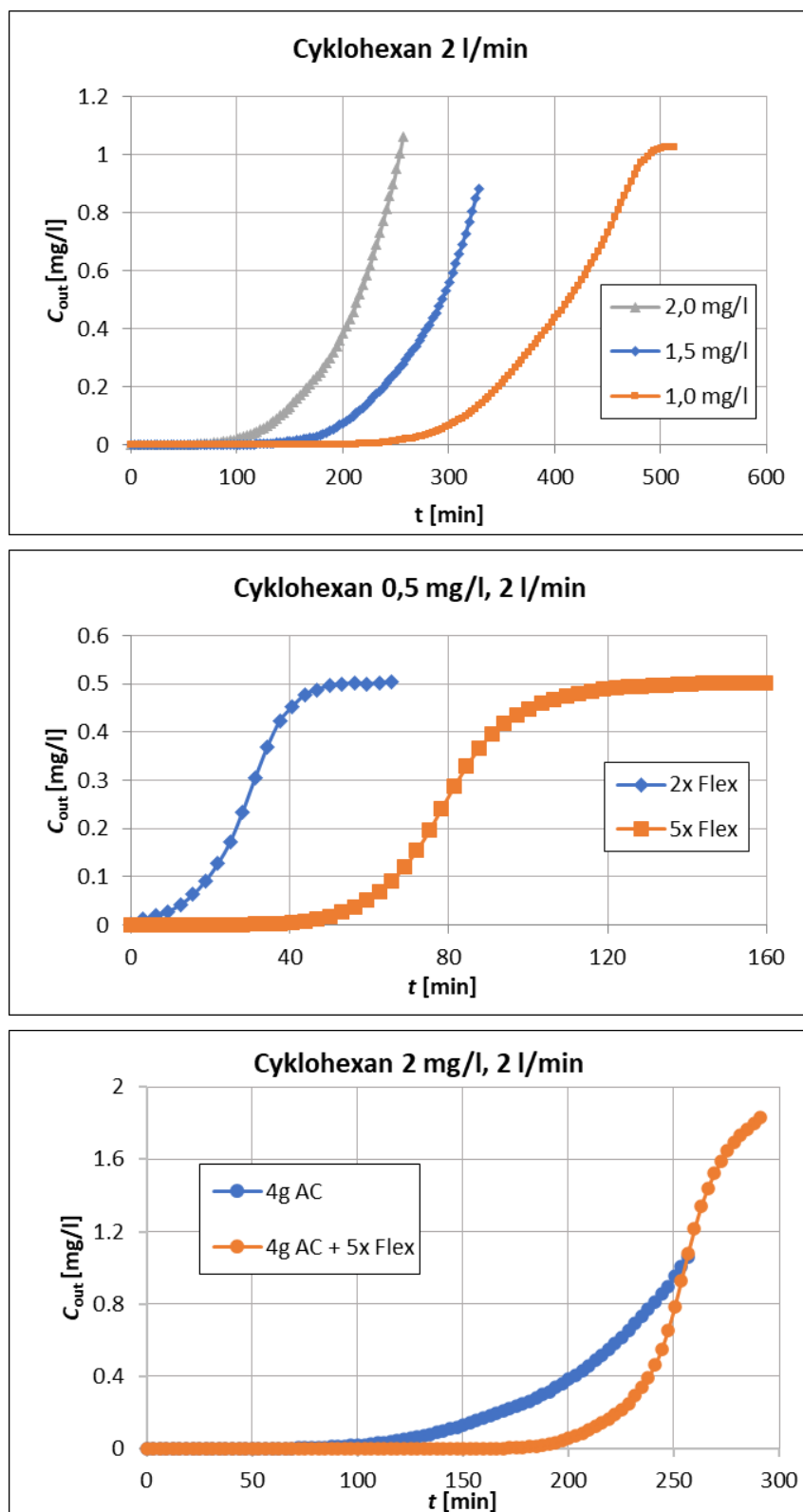
Adsorpce jódu na aktivním uhlí se používá ke stanovení jódového čísla, které se číselně téměř shoduje s velikostí adsorpční plochy pomocí BET metody. Van der Waalsův poloměr je 0,198 nm, což umožňuje jeho pronikání až do mikropórů, jejich velikost je okolo 0,2 nm [7]. DMMP je netoxická náhrada toxických organofosforových látek, zejména somanu. Jako nepolární těkavější látka se velice dobře adsorbuje. V obou případech stanovení se však ukazuje nedostatečnost ochrany laminovaného systému Nanomembrane, ve kterém mikrodírky o velikosti cca 200 nm zabrání promokání, ale spolu s propustností vodních par umožňují také snadné difúzní pronikání testovacích látek o mnohem menším průměru. Flexzorb tak zachovává propustnost pro vodní páry, které se velmi málo adsorbují a zachycuje s velkou účinností obě testovací látky.

Tabulka 2: Rezistenční doba krycí textilie, Flexzorbů a jejich kombinace.

Vzorek	Rezistenční doba [min]	
	jód	DMMP
Nanomembrane	5 ±2	5 ±1
Flexzorb FM 30K	318 ±20	1320 ±200
Nanomembrane + FM 30 K	410 ±50	1320 ±200
Laminát Flexzorb FM 30k D151	340 ±50	-

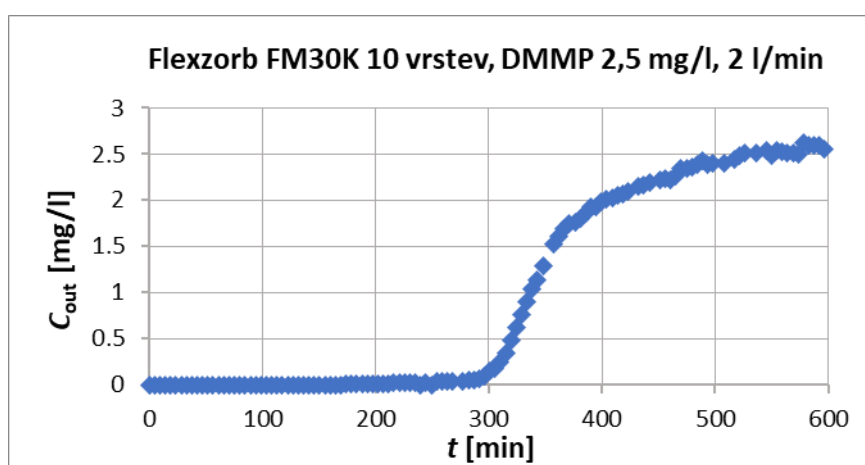
### 2.3.2 Vliv Flexzorbů na permeaci cyklohexanu vrstveným systémem

Vrstvený systém v daném případě představuje vrstvu GrAU následovanou vrstvami Flexzorbů FM30k. Na obrázku 4 jsou znázorněny křivky průniku cyklohexanu třemi systémy adsorbentů.



Obr. 4 Adsorpce cyklohexanu GrAU . Nahoře: 4 g GrAU,  $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Uprostřed: Flexzorb 2 a 5 vrstev. Dole: vrstvený systém 4 g Grau + 5 vrstev Flexzorbu  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a  $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ .  $S = 4,91 \text{ cm}^2$ ,  $\tau = 0,23 \text{ s}^{-1}$  (GrAU);  $\tau = 0,04 \text{ s}^{-1}$  (5 x Flexzorb)

Je zřejmé, že zvýšení koncentrace vede ke zkrácení doby průniku a ke snížení rozmývání adsorpční vlny. (strmější průběh křivky). Vyšší strmost (při srovnání časové osy) a hladký průběh plata rovnovážné koncentrace ukazuje na velmi nízké rozmývání u Flexzorbu. O tom svědčí také koeficient adsorpční rychlosti  $k_v = 256 \text{ s}^{-1}$ , zatímco u GraU má rozpětí  $k_v = 30\text{-}35 \text{ s}^{-1}$ . Při téměř shodné adsorpční kapacitě obou  $W_e = 0,2\text{-}0,25 \text{ g.g}^{-1}$  to znamená, že Flexzorb rychleji zachytává nízkou koncentraci cyklohexanu za vrstveným systémem, takže v případě prvního průniku u GraU na hodnotě 100 minut se převrstvením 5 pleteninami Flexzorbu o zanedbatelné hmotnosti proti GraU prodlouží první průnik cyklohexanu na dvojnásobek (200 minut). Po této době však na rozdíl od GraU následuje strmější nárůst průniku. Flexzorb však dokáže na dostatečně dlouhou dobu ochránit i proti dobře se sorbujícím parám, jako tomu bylo u DMMP při difúzi nasycených par (tabulka 2). Deset vrstev Flexzorbu FM 30k (Obr. 5) dokáže zabránit průniku DMMP o koncentraci  $2,5 \text{ mg.l}^{-1}$  a průtoku  $2 \text{ l.min}^{-1}$  (čelní plocha  $S = 4,91 \text{ cm}^2$ ;  $\tau = 0,073 \text{ s}^{-1}$ ) po dobu 280 minut.



Obr. 5 Pronikání DMMP 10 vrstvami Flexzorbu FM 30k oddělenými distanční sítovinou

### 2.3.3 Účinek Flexzorbu na záchyt par chlóru

V toxikologické komoře byly v nízké atmosféře chlóru testovány dva typy oděvů – svrchní mikroporézní textilní kombinéza DekontaProtex a adsorpční kombinéza z laminovaného adsorpčního materiálu Flexzorb 30k D151 DekontaSorbtext. Průměrná koncentrace chlóru 6 ppm ( $17,4 \text{ mg.m}^{-3}$ ) působila na oděvy po dobu 30 minut za neustálého pohybu, což vyvolalo proudění oděvem cca  $0,5 \text{ cm.s}^{-1}$  a celkovou dávkou 313 mg na celý oděv. Kvalitu těsnosti charakterizuje tzv. průnik  $F$ , z kterého vyplývá, že oděv tím lépe chrání, čím je hodnota  $F$  vyšší než 1. Pro CBRN ochranu se předpokládá  $F \geq 1000$ . Tuto podmínku, jak je vidět z obr. 6 i z tab. 3 vysoce převyšuje oděv DekontaSorbtext. Naopak u sice nepromokavého a neprodyšného oděvu DekontaPratex došlo k průnikům chlóru v místech, která nebyla kryta dalším příslušenstvím (např. dýchací aparatura nebo zesílení textilie). Mimo tato místa je průnik poměrně rovnoměrný, což svědčí o tom, že k němu dochází póry v textilu, které mají velikost cca 400–600 nm, což kromě difúzního odvodu par umožňuje naopak průnik molekul chlóru a dalších chemických látek.





Obr. 6a



Obr. 6b



Obr. 6c



Obr. 6d

Obr. 6a-d Testované oděvy: DekontaSorbtext, uprostřed DekontaProtex; 6b zbarvení indikační textilie po testu pod oděvy DekontaSorbtext; 6c a 6d zbarvení indikační textilie pod po průniku chlóru pod oděvem DekontaProtex.

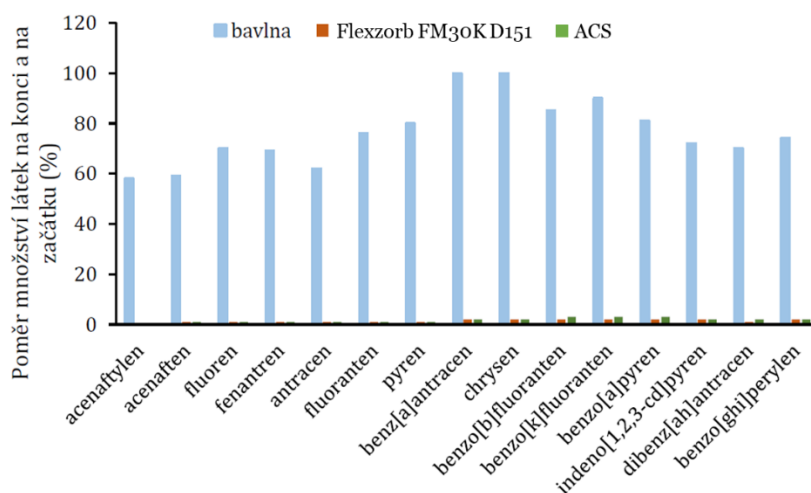
Tabulka 3: Průnik chlóru oděvy vyhodnocený indikační textilíí.

Oděv	Atak chlóru na oděv		Indikovaný průnik chlóru		F D/ΣD <sub>i</sub> *
	Celková plocha [cm <sup>2</sup> ]	D <sub>c</sub> [mg]	Plocha průniku [cm <sup>2</sup> ]	ΣD <sub>i</sub> [mg]	
DekontaProtex	20000	313	11000	11	
DekontaSorbtext	20000	313	0	0	∞

\*ΣD<sub>i</sub> je součet jednotlivých dávek na indikačním prádle podle intenzity zbarvení.

### 2.3.3 Efektivita záchytu PAH

Výsledky záchytu PAH adsorpční textilíí (Obr. 7) jsou důkazem velkého významu adsorpčního podvleku pod běžnou textilíí, v daném případě bavlny, protože PAH zachycují z 60 až 100 %, v závislosti na typu PAH. To má samozřejmě velký význam pro zasahující hasiče [13].



Obr. 7 Látková bilance systému bavlny a dvou uhlíkatých textilií dána jejich poměrem množství na konci systému a na začátku systému v % [13].

### 3. ZÁVĚR

Prezentované výsledky ukazují na velmi pozitivní vliv prodyšné adsorpční textilie na záchyt nebezpečných chemických látek fyzikální adsorpcí, Přispívá k tomu především velmi malé úzké mikropóry o šíři 0,5 nm, které jsou navíc umístěny v blízkosti povrchu textilních vláken [12]. To umožňuje velice rychlý záchyt i na povrchu i při velmi nízké koncentraci, Adsorpční textilie má na rozdíl od GrAC nižší specifickou hmotnost, takže je také lehčí, a je velmi prodyšná. To umožňuje její použití jako podvleku, pokud je zpevněna vhodnou laminací, jako je tomu u Flexzorbu FM 30k D151. Textilie laminací přitom neztratila svoje adsorpční schopnosti, což se prokázalo při záchytu chlóru na oděvech, které z ní byly zhotoveny.

#### Poděkování

Výzkum byl podpořen z výzkumného a vývojového projektu Programu bezpečnostního výzkum MV ČR i.k. VI20192022157 „Technické řešení osobních ochranných oděvů s využitím nanokompozitních bariérových materiálů proti průmyslovým a CBRN látkám“ (NANOTEX). Část týkající se adsorpce a aplikace uhlíkových adsorpčních textilií byla podpořena programem TAČR - projekt TM01000017 (APVECU) – „Vývoj filtrační a ventilační ochlazovací jednotky pro ochranné oděvy“.

#### Použitá literatura

- [1] Barrer, R. M., Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves, Academic Press, New York, NY, 1978
- [2] Smíšek, M., Černý, S.: Active carbon. Elsevier publishing company 1970
- [3] Bansal, Ch. R., Goyal, M.: Activated Carbon Adsorption. CRC Press 2005

- [4] Grévillet, G., Marsteau, S., Vallières, C.: A Comparison of the Wheeler-Jonas Model and the Linear Force at Constant-Pattern Model for the Prediction of the Service Time of Activated Carbon Cartridges. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8: 279–288
- [5] Lodewyckx, P., Wood, G.O., Ryu, S.K.: The Wheeler-Jonas equation: a versatile tool for prediction of carbon bed breakthrough times. *Carbon* 42(2004) 1351 – 1355.
- [6] Mecklenburg, W.: „Über Schichtenfiltration, Ein Beitrag zur Theorie der Gasmasken“, Z. Equations Used To Correlate and Predict Organic Vapor Cartridge Capacities. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 52, 235-242 (1991)
- [7] Balanay, A.G., Crawford, S.A., Lungu, C.T.: Comparison of Toluene Adsorption Among Granular Activated Carbon and Different Types of Activated Carbon Fibres (ACFs). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8:573-579
- [8] Janvier, F., Tuduri, L., Cossement, D., Drolet, D., Lara, J.: Micropore characterization of activated carbons of respirator cartridges with argon, carbon dioxide, and organic vapors of different vapor pressures. *Carbon* 94 (2015) 781-791
- [9] Suzuki, M.: Activated Carbon Fiber: Fundamentals and Applications. *Carbon*. Vol. 32, No. 4. DD. 577-586.1994
- [10] Identifikace a kvantitativní stanovení nebezpečných chemických látek vícemístnou automatizovanou aparaturou Carousel 2012 při pronikání a desorpci z ochranných membrán. Certifikovaná metodika SÚJCHBO v.v.i. CM 3013.
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Iodine>
- [12] Kowalczyk, P., Gauden, P.A., Terczyk, A.P., Neimark, V.A.: Screening of carbonaceous nanoporous materials for capture of nerve agents. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2013, 15, 291–298
- [13] Kalousková, P. Použití pasivních vzorkovačů pro sledování přestupu organických polutantů textiliemi. Brno, 2022. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.
- [14] Akreditovaná metodika SÚJCHBO MAZL 37-09/LUCIE „Stanovení těsnosti protichemických oděvů kolorimetricky“.
- [15] Slabotinský, J., Častulík, P., Sobotka, J., Vaněk, J.: Možnosti ochrany hasičů před karcinogenní kontaminací. *SPEKTRUM* 1, 2022.