MERANIE ADSORPCIE BENZÉNU NA VLÁKNINOVÝCH UHLÍKATÝCH SORBENTOCH

ALENA POPOVIČOVÁ, GABRIEL ČÍK a MILADA HUBINOVÁ

Katedra environmentálneho inžinierstva, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovenská republika
gabriel.cik@stuba.sk

Došlo 7.4.03, prepracované 3.3.04, prijaté 15.3.04.

Kľúčové slová: uhlíkatý filter, vnútorné prostredie, adsorpcia, desorpcia, benzén

1. Úvod

Človek vo vnútri obytných, účelových či administratívnych budov trávi 80–95 % svojho času. Zistilo sa, že pobyt v niektorých miestnostiach alebo budovách má za následok častý výskyt migrén, bolestí hlavy, podráždenie očí a nosnej sliznice, poruchy tráviaceho či dýchacieho traktu, nespavosť, viaceré alergické ochorenia, astmu apod.[1–9]. Predpokladá sa, že je to dôsledok vplyvu nežiadúcich látok nachádzajúcich sa vo vnútornom prostredí – celej škály prchavých organických látok – volatile organic compounds (VOC), rôznych plynov, prachu, húb a baktérií. Doteraz bolo stanovených viac ako 200 rôznych organických zlúčenín, o ktorých sa predpokladá, že vyvolávajú syndróm „chorej budovy" (sick building syndrome, SBS, cit.[10]).

Nežiadúce látky nachádzajúce sa vo vnútornej klíme môžu pochádzať jednak zo znečisteného vonkajšieho ovzdušia – bola dokázaná priama závislosť medzi znečisteným vonkajším ovzduším a zhoršujúcou sa kvalitou vzduchu vo vnútri budov[11], jednak sa ich zdroje nachádzajú priamo vo vnútornom prostredí. Zdroje emitujúce VOC do vnútorného prostredia VanOsdell a Spark[12] rozdeľujú do troch základných skupín:

- malé zdroje emitujúce veľké množstvo VOC síce krátku dobu, ale vo vysokých koncentráciách – fajčiari, pracujúca kopírka, práčka alebo umývačka riadu,
- stredne veľké zdroje emitujúce stredné množstvo VOC, ktorých koncentrácia s narastajúcim časom klesá – čerstvo vymaľované steny, práve vyleštený nábytok či vytepovaný koberec,
- zdroje emitujúce malé množstvo VOC v nízkych koncentráciách dlhodobo – stavebný alebo izolačný materiál použitý pri stavbe budovy, organické laky, farby, leštidlá, rozpúšťadlá a moridlá použité pri výrobe a na ochranu interiérového a technického vybavenia miestnosti.

Iné rozdelenie uvádzajú Shieldsová a Weschler[13,14]. Podľa nich možno VOC vo vnútornom prostredí rozdeliť na primárne a sekundárne. Sekundárne VOC vznikajú buď vzájomnými reakciami medzi jednotlivými skupinami primárnych VOC, alebo reakciou s ·OH radikálom, vznikajúcim z primárnych VOC a ozónu, ktorý je prítomný vo vnútornom prostredí.

Stav, keď obsah primárnych prchavých organických látok presiahne hodnotu 2 $mg.m^{-3}$, sa pokladá za nekomfortné vnútorné prostredie. Avšak experimentálnymi meraniami sa zistilo, že nežiadúce látky sa vyskytujú v kontaminovanom vnútornom prostredí v množstvách niekoľkonásobne vyšších ako je táto hodnota. Napríklad koncentrácia alkoholov môže dosahovať hodnotu až 15 $mg.m^{-3}$, aromátov 12 $mg.m^{-3}$, alifatických uhľovodíkov 11 $mg.m^{-3}$, aldehydov 3 $mg.m^{-3}$ atď. Okrem toho sa tiež predpokladá, že sekundárne VOC, aj napriek tomu, že sa vo vnútornom prostredí vyskytujú v nižších koncentráciách, sú dráždivejšie a korozívnejšie ako primárne znečisteniny[15].

Celkové množstvo a zloženie látok kontaminujúcich ovzdušie vnútorného prostredia závisí od viacerých faktorov. Najvýznamnejšími sú: stupeň znečistenia vonkajšieho ovzdušia a s tým súvisiaca rýchlosť a kvalita vetrania, vek a umiestnenie budovy v rámci urbanistického celku, veľkosť, funkcia a interiérové vybavenie miestnosti, no v neposlednom rade aj ročné obdobie či množstvo ľudí v miestnosti[16–18]. Napríklad hodnota celkovej koncentrácie prchavých organických látok – total volatile organic compounds (TVOC) v budovách starších ako 5 rokov sa pohybuje v rozpätí 0,18–4,15 $mg.m^{-3}$. V novostavbách je táto hodnota približne desaťnásobne vyššia: 39,3 $mg.m^{-3}$ (cit.[19]).

Najjednoduchším spôsobom ako sa ochrániť pred účinkami nežiaducich látok vo vnútornom prostredí, je dobre vyvetrať. V mnohých situáciách, v priemysle, vo vnútornom prostredí výškových budov či v ultračistých priestoroch, však toto účinné a lacné riešenie nepostačuje a vzduch je preto nevyhnutné čistiť. K tomuto účelu sa najčastejšie používajú kombinované čističky vzduchu, ktoré vzduch vo vnútornom prostredí čistia v troch alebo viacerých separačných stupňoch. Prvým stupňom obvykle býva predfilter slúžiaci na zachytávanie hrubých prachových častíc, druhým je vysoko účinný aerosólovy filter a tretí stupeň tvorí adsorpčný filter plynných škodlivín. Ako ďalší stupeň môže byť zaradený ionizátor, zvlhčovač alebo osviežovač vzduchu. Komerčne vyrábané adsorpčné filtre plynných škodlivín používané v čističkách vzduchu dostupných na našom trhu sú dnes zhotovované z vlákien, hrúbka ktorých sa pohybuje v rozpätí 1 až 3 μm (cit.[20]). Na ich povrchu je nanesená a rôznym spôsobom upevnená vrstvička práškového aktívneho uhlia. Porézna vrstva adsorpčných filtrov uspokojivo filtruje vzduch aj od jemných prachových častíc či baktérií a vrstvička práškového aktív-

neho uhlia adsorbuje plynné škodliviny.

Predkladaný príspevok sa zameriava na testovanie adsorpčných vlastností dvoch komerčných uhlíkatých filtrov používaných v zariadeniach na čistenie vzduchu dostupných na našom trhu – filtračnej tkaniny Supersorb a uhlíkatého filtra používaného v čističkách vzduchu značky DeLonghi. Ako testovacia para bol zvolený benzén – jednak ako štandardná porovnávacia látka, jednak ako predstaviteľ nepolárnych nebezpečných látok, ktoré sú do vnútorného prostredia uvoľňované z rôznych ochranných lakov, vrátane nitrolakov, organických farieb a rozpúšťadiel používaných pri výrobe, na ochranu alebo pri čistení interiéru a interiérového vybavenia miestnosti.

2. Experimentálna časť

Charateristika použitých filtrov

Supersorb (Filter Corporation Manufacturing, England) – netkaná textília vyrobená z vlákien 100% PES spevnená postrekom vodnej akrylátovej disperzie práškového aktívneho uhlia. *DeLonghi* (De Longhi S.p.A., Italy) – porézna tkanina, na povrchu ktorej je nanesená tenká vrstvička práškového aktívneho uhlia.

Hodnoty experimentálne stanovených sorpčných parametrov testovaných uhlíkatých filtrov sú uvedené v tabuľke I a ich povrchová morfológia – snímky, ktoré sa získali na skanovacom elektrónovom mikroskope ATEN 2000 FX (JEOL), sú uvedené na obr. 1.

Fyzikálne parametre testovaných uhlíkatých filtrov sa vypočítali z izotermy dusíka pri teplote –197 °C, stanovenej na prístroji Sorptomatic 1900 (Fisons Co., Italy). Stanovená izoterma sa vyhodnotila podľa teórie B.E.T.

Metodika experimentu

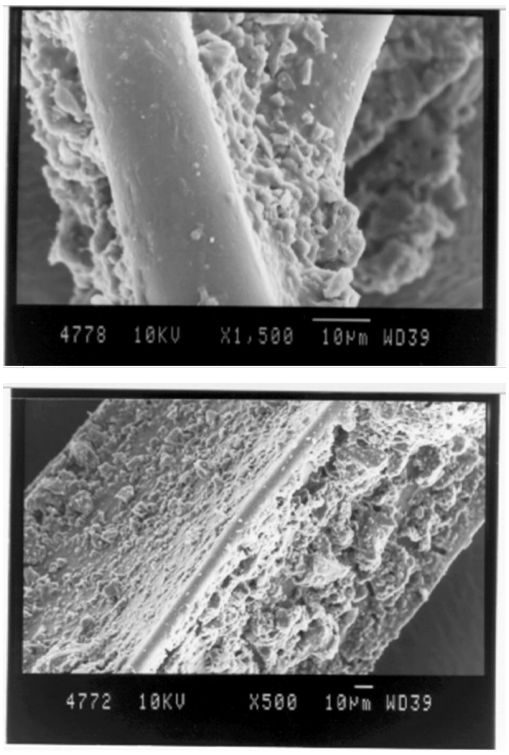
Merania kinetiky adsorpcie sa uskutočnili dynamickou metódou z prúdu nosného plynu – dusíka, na vzorke filtra (cca 15 × 15 mm) pri lineárnej mimovrstvovej rýchlosti dusíka $v = 40{,}0 \pm 0{,}5$ cm.s^{-1} a teplote $T = 20{,}0 \pm 0{,}5$ °C.

Tabuľka I
Hodnoty sorpčných parametrov testovaných uhlíkatých filtrov

Parameter	Jednotka	Názov filtračnej tkaniny	
		Supersorb	DeLonghi
Objem monomolekulovej vrstvy	cm^3.g^{-1}	23,86	45,79
Špecifický povrch filtra	m^2.g^{-1}	105	199
Špecifický objem pórov	cm^3.g^{-1}	0,095	0,130
Celkový adsorbovaný objem	cm^3.g^{-1}	107,6	117,7

a

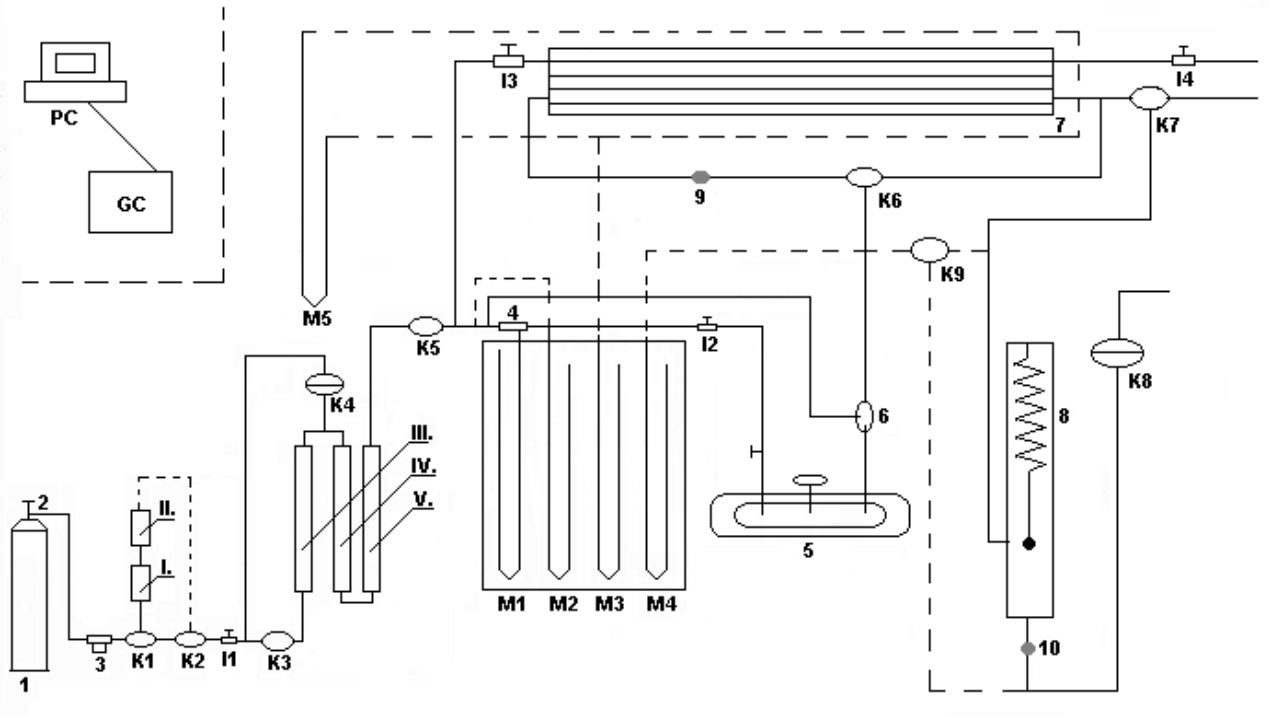
b



Obr. 1. **Povrchová morfológia testovaných filtrov** (500× zväčšenie); a) Supersorb, b) DeLonghi

Nosný plyn sa adsorptívom nasycoval v sýtiči. Po ustálení prevádzkových parametrov (prietok nosného plynu, teplota, koncentrácia adsorbátu v nosnom plyne) sa prúd dusíka usmernil na adsorpčnú kolónu s testovanou vzorkou filtra. Vo zvolených časových intervaloch sa katetometrom sledovalo predĺženie okalibrovanej kremennej pružiny. Citlivosť kremennej pružiny bola 0,783 mg.mm^{-1}. Z jej predĺženia sa vypočítali hmotnostné prírastky filtra. Presnosť odčítania predĺženia pružiny katetometrom bola ± 0,1 mm. Sorpcia benzénu na kremennej pružine sa považovala za zanedbateľnú. Pred každým meraním sa testovaná vzorka filtra aktivovala prúdom čistého dusíka pri teplote miestnosti. Merania prebiehali až do konštantnej hmotnosti vzorky filtra pre vstupné hodnoty koncentrácie benzénu 0,3 až 1,3 g.m^{-3}. Pre lepšie modelovanie systému sa koncentrácie benzénu volili približne desaťnásobne vyššie než aké boli stanovené v nekomfortnom vnútornom prostredí.

Meranie kinetiky desorpcie sa uskutočnili pri tých istých prevádzkových podmienkach, na rovnakej aparatúre ako adsorpčné merania. Plynovým chromatografom (Fisons HRGS 8000) sa sledovali zmeny koncentrácie desorptíva v dusíku, použitom na desorpciu filtrov. V určitých časových intervaloch sa odoberala vzorka desorptíva, v ktorej sa stanovovala okamžitá koncentrácie benzénu. Desorpcia testovaných vzoriek filtrov prebiehala až do ich konštantnej hmotnosti. Zjednodušená schéma použitej aparatúry je na obr. 2.



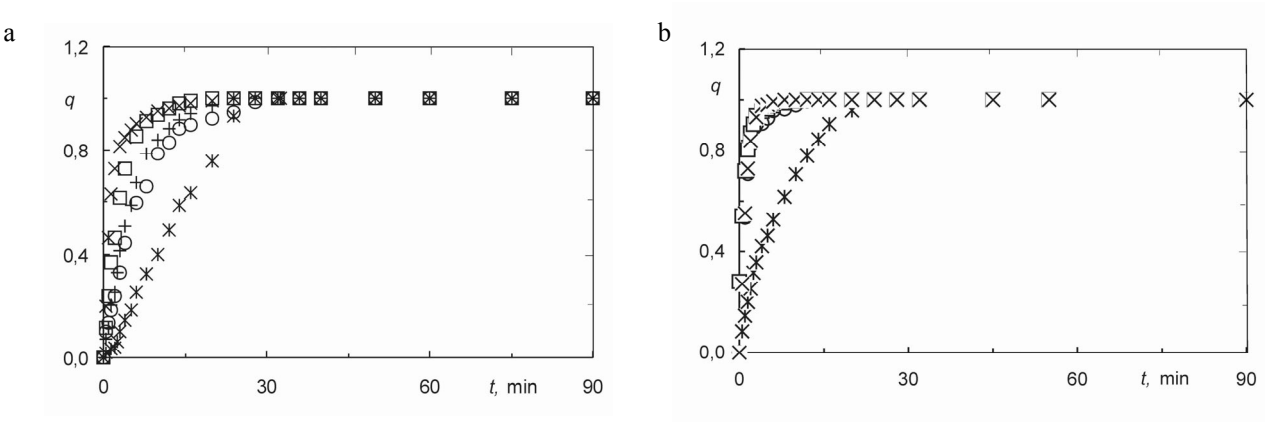
Obr. 2. **Zjednodušená schéma použitej aparatúry**; 1- tlaková nádoba (N_2), 2 - redukčný ventil, 3 - stabilizátor prietoku, 4 - reometer, 5 - dvojplášťový sýtič, 6 - zmiešavač, 7 - interferometer, 8 - adsorpčná kolóna s kremennou pružinou, 9, 10 - odberové miesta, I.–V. - čistiace kolóny, K1–K9 - dvoj, resp. trojcestné kohúty, I1–I4 - ihlové ventily, M1–M5 - manometre

3. Výsledky a diskusia

Pre posúdenie sorpčných charakteristík, významných predovšetkým z praktického hľadiska testovaných filtrov, boli merané adsorpčné a desorpčné kinetické krivky sústav benzén – Supersorb a benzén – DeLonghi.

Nakoľko adsorpcia v uvedených sústavách prebiehala z prúdu nosného plynu pri relatívne nízkych hodnotách vstupných koncentrácií benzénu v nosnom plyne, teplo, ktoré sa uvoľňovalo v priebehu adsorpcie nebolo významným činiteľom ovplyvňujúcim jej vlastný (adsorption pretože bolo ihneď odvádzané prúdom nosného plynu. Z nameraných výsledkov (obr. 3) však jednoznačne vyplýva, že priebeh kinetiky adsorpcie ovplyvňujú hydrodynamické podmienky procesu. So zvyšujúcou sa hodnotou vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne C_0 sa mení strmosť kriviek, doba adsorpcie sa skracuje a zvyšuje sa hodnota rovnovážneho nasýtenia filtra.

Parametre charakterizujúce priebeh adsorpcie: hodnoty rovnovážneho nasýtenia a_0, čas potrebný na dosiahnutie rovnovážneho nasýtenia filtra t a hodnoty relatívneho zbytkového množstva benzénu zachyteného na filtri po prvej



Obr. 3. **Kinetické krivky prvých adsorpcií benzénu na uhlíkatých filtroch; a) Supersorb; b) DeLonghi**;
* C_0 = 0,3 g.m^{-3}, ° C_0 = 0,5 g.m^{-3}, + C_0 = 0,8 g.m^{-3}, □ C_0 = 1,0 g.m^{-3}, × C_0= 1,3 g.m^{-3}

Tabuľka II
Hodnoty rovnovážneho nasýtenia jednotlivých adsorpcií a_0, doby potrebnej na dosiahnutie rovnovážneho nasýtenia filtra t a relatívne zbytkové množstvo benzénu zachytené na filtri po príslušných desorpciách, vyjadrené bezrozmerným simplexom q_i (pomer príslušného predsýtenia filtra a_i a rovnovážneho nasýtenia a_0) následných (opakovaných) adsorpcií v závislosti od vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne pre dve hodnoty sledovaného koncentračného rozpätia

Poradie adsorpcie	Sledované parametre	Jednotka	C_0 [g.m^{-3}]			
			Supersorb		DeLonghi	
			0,5	1,0	0,5	1,0
1.	a_0	mg.g^{-1}	24,98	40,09	15,26	28,03
	t	min	31,85	7,90	7,94	12,33
	q	–	0,230	0,274	0,048	0,292
2.	a_0	mg.g^{-1}	16,42	22,31	14,41	18,91
	t	min	25,63	6,28	5,08	5,93
	q	–	0,248	0,306	0,048	0,292
3.	a_0	mg.g^{-1}	16,67	18,43	14,63	19,01
	t	min	14,19	5,13	4,51	4,04
	q	–	0,316	0,351	0,061	0,292
4.	a_0	mg.g^{-1}	15,85	17,52	14,41	18,60
	t	min	8,91	4,03	3,13	2,98
	q	–	0,314	0,385	0,061	0,307
5.	a_0	mg.g^{-1}	15,94	16,90	14,62	17,90
	t	min	6,98	3,71	3,07	2,05
	q	–	0,315	0,401	0,061	0,307

desorpcii, vyjadrené prostredníctvom bezrozmeného simplexu q (ktorý je daný pomerom hodnoty okamžitého nasýtenia a_i a rovnovážneho nasýtenia a_0), ako aj hodnoty sledovaných parametrov následných (opakovaných) adsorpcií (a_0, t_{90}) a relatívne zbytkové množstvá adsorptívu zachyteného na testovaných filtroch po jednotlivých desorpciách vyjadrené prostredníctvom bezrozmerného simplexu q_i (relatívne predsýtenie filtra) obidvoch sledovaných sústav, sú uvedené v tabuľke II.

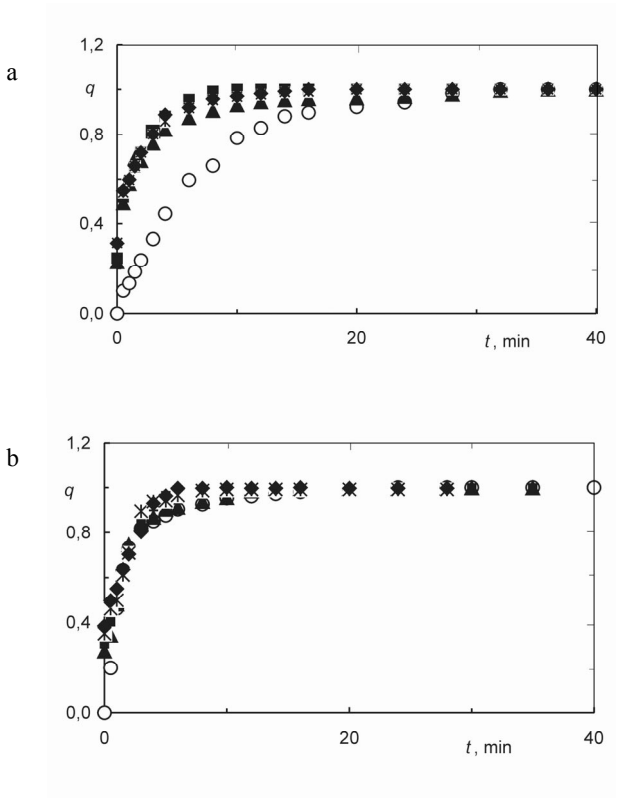
Z nameraných údajov (tabuľka II) vyplýva, že rovnovážne nasýtenie i doba potrebná na dosiahnutie rovnovážneho nasýtenia prvej adsorpcie sa mení v závislosti od typu testovaného filtra a pracovných podmienok (teplota a tlak, pri ktorom adsorpcia prebieha, mimovrstvová rýchlosť nosného plynu). V obidvoch prípadoch hodnota rovnovážneho nasýtenia (rovnovážna kapacita filtra), ako i zvyškové množstvo benzénu zachytené na filtri po prvej desorpcii s rastúcou vstupnou koncentráciu vzrastá. Naopak, doba potrebná na dosiahnutie rovnovážneho nasýtenia testovaného filtra prvej adsorpcie so vzrastajúcou vstupnou koncentráciu adsorptíva klesá – rýchlosť sorpcie sa zväčšuje. V dôsledku neúplnej desorpcie tak každá následná adsorpcia prebiehala na predsýtenom filtri.

Z porovnania výsledkov ďalej vyplýva, že rovnovážne kapacity prvých adsorpcií filtračnej textílie Supersorb sú približne dvojnásobne vyššie ako hodnoty rovnovážneho nasýtenia filtra používaného v čističkách vzduchu značky DeLonghi (pri nižšej koncentrácii benzénu). Vyššie sú však aj doba adsorpcie aj zbytkové množstvo benzénu zachytené na Supersorbe po prvej desorpcii.

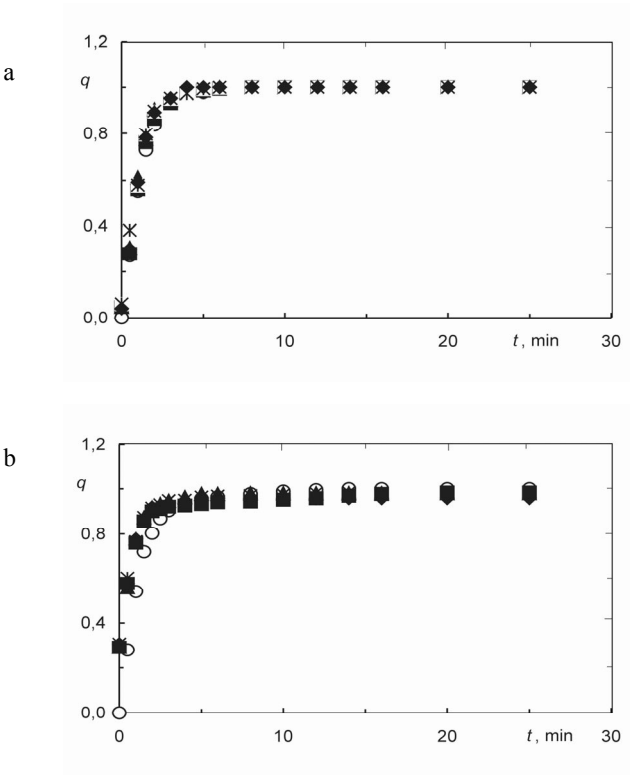
Hodnoty rovnovážneho nasýtenia opakovaných sorpcií u obidvoch filtrov, v porovnaní s hodnotami prvej adsorpcie, sú nižšie a doba sorpcie kratšia. Pravdepodobne je to zapríčinené neúplnou desorpciu filtra, keď po desorpcii na nich zostávalo určité zbytkové množstvo nedesorbovaného benzénu. V dôsledku toho opakované adsorpcie prebiehali prakticky na predsýtených filtroch. Predsýtenie filtrov záviselo od počtu opakovaní a hodnoty vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne. S rastúcim počtom opakovaní sa doba adsorpcie skracovala a zvyškové množstvo benzénu narastalo. V sústave benzén – DeLonghi sa výrazné zníženie hodnoty sorpčnej kapacity filtra, v závislosti od počtu pracovných cyklov, prejavilo len pri vyššej hodnote vstupnej koncentrácii benzénu v nosnom plyne (C_0 = 1,0 g.m^{-3}). Doba adsorpcie tejto sústavy sa s počtom pracovných cyklov menila len nevýznamne. Zbytkové množstvo benzénu na desorbovanom filtri (predsýtenie filtra), bolo taktiež signifikantné len pri vyššej vstupnej koncentrácii benzénu. Jeho hodnota sa však s počtom opakovaní výrazne nemenila. Naproti tomu v sústave benzén – Supersorb narastalo s počtom opakovaných sorpcií aj zbytkové množstvo benzénu po desorpcii a sorpčná kapacita filtra výrazne klesala.

Adsorpčné kinetické krivky následných sorpcií sledovaných sústav pre hodnoty vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne C_0 = 0,5 a 1,0 g.m^{-3} sú uvedené na obr. 4 (sústava: benzén – Supersorb) a na obr. 5 (sústava: benzén – DeLonghi) v súradnicovom systéme $q = f(t)$. Hodnoty následných sorpcií sú prepočítané na hodnoty kinetických kriviek prvých adsorpcií.

Z priebehu nameraných adsorpčných kinetických kriviek pôvodnej i následných (opakovaných) adsorpcií možno súdiť, že v obidvoch prípadoch sa rýchlosť adsorpcie úmerne zvyšuje so vzrastajúcim počtom opakovaných adsorpčných cyklov (v sústave benzén – Supersorb výraznejšie). V dôsledku predsýtenia filtra dochádza však k zníženiu celkového prírastku k rovnovážnemu nasýteniu testovaných filtrov. Priebehy kinetických kriviek následných adsorpcií sústavy benzén – Supersorb sledujú pôvodnú krivku, prebiehajú však trochu nad ňou. Priebehy kinetických kriviek opakovaných sorpcií sústavy benzén – DeLonghi pre vstupnú koncentráciu benzénu v nosnom plyne C_0 = 0,5 g.m^{-3} sú takmer totožné; v prípade



Obr. 4. **Adsorpčné kinetické krivky piatich opakovaných adsorpcií sústavy benzén - Supersorb pre dve hodnoty vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne**; a) C_0 = 0,5 g.m^{-3}; b) C_0 = 1,0 g.m^{-3}; ° 1. adsorpcia, ▲ 2. adsorpcia, ■ 3. adsorpcia, * 4. adsorpcia, ♦ 5. adsorpcia



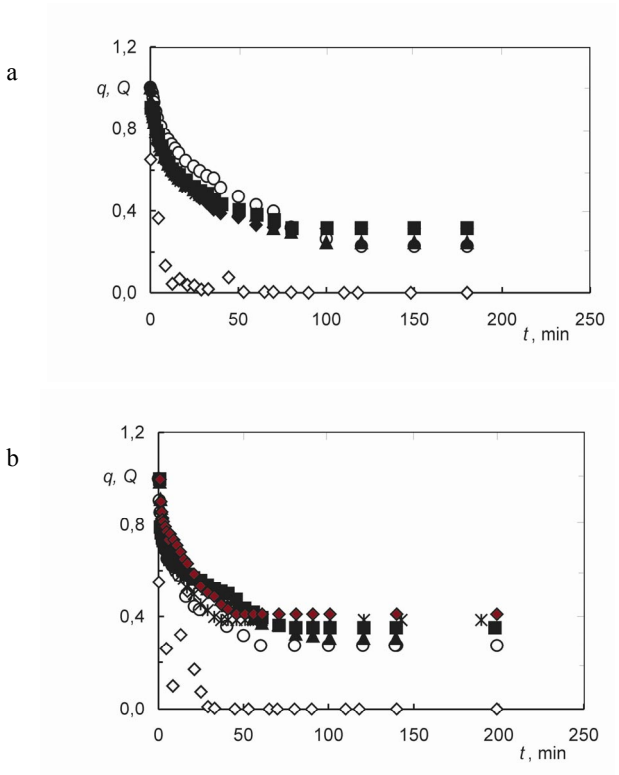
Obr. 5. **Adsorpčné kinetické krivky piatich opakovaných adsorpcií sústavy benzén - DeLonghi pre dve hodnoty vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne**; a) C_0 = 0,5 g.m^{-3}; b) C_0 = 1,0 g.m^{-3}; ° 1. adsorpcia, ▲ 2. adsorpcia, ■ 3. adsorpcia, * 4. adsorpcia, ♦ 5. adsorpcia

C_0 = 1,0 g.m^{-3} po dosiahnutí približne 90% nasýtenia filtra prebiehajú dokonca trochu pod pôvodnou krivkou.

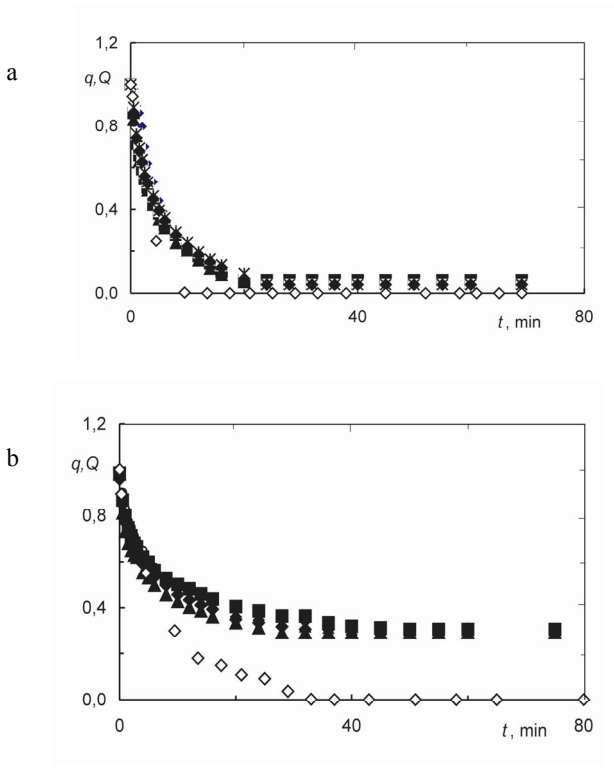
Z tabuľky II i z obr. 4 a 5 ďalej vyplýva, že po určitom čase sa hodnota sýtenia testovaných filtrov ustaľuje. Hodnota, na ktorej sa sorpčná kapacita testovaných filtrov ustáli, závisí od typu filtra, pracovných podmienok (teplota a tlak adsorpcie, mimovrstvová rýchlosť nosného plynu, hodnota vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne) i počtu opakovaných sorpcií. V sústave benzén – Supersorb sa pri nižšej hodnote vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne (C_0 = 0,5 g.m^{-3}) ustálila po treťom pracovnom cykle; pri vyššej hodnote vstupnej koncentrácie benzénu (C_0 = 1,0 g.m^{-3}) po piatom pracovnom cykle. V sústave benzén – DeLonghi sa rovnovážna kapacita filtra, v rámci celého sledovaného koncentračného rozsahu, ustálila už po druhom pracovnom cykle. Tento poznatok je dôležitý predovšetkým z praktického hľadiska – počtom pracovných cyklov je sorpčná kapacita filtra DeLonghi ovplyvnená menej významne, avšak jeho účinnosť, vzhľadom na adsorpciu organických látok, je podstatne nižšia ako účinnosť filtra Supersorb, ktorého sorpčná kapacita síce závisí od počtu pracovných cyklov, ale hodnota rovnovážneho nasýtenia je aj napriek vyššej hodnote zbytkového benzénu na filtri po jeho desorpcii vyššia.

Desorpčné kinetické krivky sústavy benzén – Supersorb sú znázornené na obr. 6 a sústavy benzén – DeLonghi na obr. 7. Grafy sú zobrazené v súradnicovom systéme $q = f(t)$. Okrem kinetickej krivky desorpcie, je na obrázkoch znázornená aj krivka koncentračných zmien prvej desorpcie v súradnicovom systéme $Q = f(t)$, kde Q je bezrozmerný simplex daný vzťahom: $Q = C_i/C_0$; C_i je okamžitá koncentrácia benzénu v plyne použitom na desorpciu testovaných uhlíkatých filtrov stanovená plynovým chromatografom.

Z priebehu nameraných desorpčných kinetických kriviek $q = f(t)$ vyplýva, že ako doba desorpcie, tak i zbytkové množstvo benzénu zachyteného na Supersorbe po jeho desorpcii je väčšie ako doba a množstvo zbytkového benzénu zachyteného po desorpcii filtra z čističky vzduchu DeLonghi. Priebehy desorpčných kinetických kriviek následných desorpcií sústavy benzén – Supersorb sú strmšie, avšak celková doba desorpcie sa nemení. Kinetické krivky následných desorpcií sústavy benzén – DeLonghi, tak ako adsorpčné kinetické krivky sledujú pôvodnú krivku, doba desorpcie sa mení len nevýrazne a je približne o polovicu nižšia ako doba desorpcie filtračnej tkaniny Supersorb. Hodnota zbytkového množstva benzénu zachyteného na filtri po jeho desorpcii je významná len v prípade jeho vyššej vstupnej koncentrácie v nosnom plyne a je počtom



Obr. 6. **Desorpčné kinetické krivky opakovaných desorpcií, $q = f(t)$, a krivka koncentračných zmien, $Q = f(t)$, sústavy benzén – Supersorb**; a) C_0 = 0,5 g.m^{-3}, b) C_0 = 1,0 g.m^{-3}; ° 1. desorpcia – $q = f(t)$, ◊ Relatívna koncentrácia benzénu v desorbáte –Q = (t), ▲ 2. desorpcia, ■ 3. desorpcia, * 4. desorpcia, ♦ 5. desorpcia



Obr. 7. **Desorpčné kinetické krivky opakovaných desorpcií, $q = f(t)$, a krivka koncentračných zmien, $Q = f(t)$, sústavy benzén – DeLonghi**; a) C_0 = 0,5 g.m^{-3}, b) C_0 = 1,0 g.m^{-3}; ° 1. desorpcia – $q = f(t)$, ◊ Relatívna koncentrácia benzénu v desorbáte –$Q = f(t)$, ▲ 2. desorpcia, ■ 3. desorpcia, * 4. desorpcia, ♦ 5. desorpcia

opakovaných adsorpčno-desorpčných cyklov ovplyvnená (v porovnaní s výsledkami nameranými na fitračnej tkanine Supersorb) len nepatrne. V súlade s predchádzajúcimi závermi, ako v prípade kinetických desorpčných kriviek, tak i v prípade kriviek koncentračných zmien $Q = f(t)$ obidvoch sledovaných sústav možno súdiť, že pri vyššej hodnote vstupnej koncentrácie benzénu pri adsorpcii, resp. pri vyššej hodnote rovnovážneho nasýtenia filtra pred desorpciou, dochádza k rýchlejšiemu uvoľnovaniu nasorbovaného benzénu z nasýteného filtra.

4. Závery

Cieľom práce bolo študovať adsorpcie a desorpcie benzénu na/z dvoch typov komerčne vyrábaných uhlíkatých filtračných tkanín, používaných vo filtračných zariadeniach na čistenie vzduchu, dostupných na našom trhu (netkanej textílie vyrobenej z vlákien 100% PES spevnených postrekom vodnej akrylátovej disperzie práškového aktívneho uhlia – filtračnej vložky Supersorb a poréznej tkaniny, na povrchu ktorej je nanesená tenká vrstvička práškového aktívneho uhlia – uhlíkatého filtra z čističky vzduchu DeLonghi). Okrem priebehu adsorpcie a desorpcie sa sledoval aj vplyv opakovaných adsorpčných cyklov na sorpčnú kapacitu oboch testovaných filtrov. Za týmto účelom sa namerali adsorpčné a desorpčné kinetické krivky benzénu na vzorkách uvedených filtrov, pre hodnoty vstupnej koncentrácie benzénu v nosnom plyne v rozsahu C_0 = 0,3–1,3 g.m^{-3} a porovnali sa parametre významné z hľadiska praktického využitia filtrov (hodnoty rovnovážneho nasýtenia filtrov, doby potrebnej na dosiahnutie rovnovážneho nasýtenia, relatívnej hodnoty zbytkových množstiev benzénu zachyteného na vzorkách filtrov po ich desorpcii), ako aj vplyv opakovaných pracovných cyklov na priebeh a uvedené parametre následných sorpcií. V prípade desorpčných meraní sa sledovali aj zmeny koncentrácie benzénu v plyne, použitom na desorpciu testovaných filtrov.

Z nameraných výsledkov vyplývajú nasledovné závery:

– Účinnosť adsorpcie a desorpcie benzénu závisí od vlastností použitého komerčného filtra. Vzhľadom na rozdielnu morfológiu testovaných filtrov, je sorpčná kapacita uhlíkatého filtra – Supersorb približne dvakrát väčšia, ako je sorpčná kapacita filtra z čističky

vzduchu DeLonghi. Vyššia je aj doba adsorpcie i desorpcie.

- Zbytkové množstvo benzénu zachytené po desorpcii na filtri Supersorb je vyššie než zbytkové množstvo benzénu zachytené na filtri z čističky vzduchu značky DeLonghi. Na filtri Supersorb sa taktiež výraznejšie prejavila i priama závislosť tejto hodnoty od počtu pracovných cyklov.
- Opakovaním pracovných adsorpčno-desorpčných cyklov dochádza k znižovaniu sorpčnej kapacity oboch filtrov, pričom jej hodnota sa po určitom počte opakovaní ustaľuje.
- U obidvoch testovaných filtroch sa potvrdilo, že pri vyšších hodnotách vstupných koncentrácií benzénu v nosnom plyne dochádza k rýchlejšiemu uvolňovaniu naadsorbovaného benzénu z nasýteného filtra.
- Vzhľadom na relatívne nízke hodnoty vstupných koncentrácií benzénu v nosnom plyne, je kinetika adsorpcie výrazne ovplyvnená hlavne hydrodynamickými podmienkami procesu. Teplo, ktoré sa uvoľňuje pri takýchto koncentráciách v priebehu adsorpcie nie je významným činiteľom ovplyvňujúcim jej vlastný priebeh.
- Použitá komplexná metóda sledovania kinetiky adsorpcie a desorpcie prchavých organických látok je vhodná na kvantitifikáciu základných parametrov charakterizujúcich sorpčné vlastnosti uhlíkatých tkaninových filtrov, používaných v čističkách vzduchu vnútorného prostredia.

LITERATÚRA

1. Gustafsson D., Andersson K., Fagerlund I., Kjellman N.: Allergy *51*, 789 (1996).
2. Dietert R. T., Hedge A.: Crit. Rev. Toxicol. *26*, 633 (1996).
3. Eriksson N., Hoog J., Stenberg B., Sundell J.: Indoor Air *6*, 101 (1996).
4. Gili G., Scursatone E., Bono R.: Environ. Res. *72*, 1 (1997).
5. Stott W. T., Beekman M. J., Johnson K. A., Spencer P. J.: Food Chem. Toxicol. *35*, 251 (1997).
6. Standler J. C., Kennedy G. L.: Food Chem. Toxicol. *34*, 1125 (1996).
7. Antonov K., Isacson D.: Headache *37*, 228 (1997).
8. Hempeljorgensen A., Kjaergaard S. K., Molhave L.: Int. Arch. Occup. Environ. Health *69*, 289 (1997).
9. Wieslander G., Norback D., Bjornsson E., Janson C. Boman G.: Int. Arch. Occup. Environ. Health *69*, 115 (1997).
10. Redlich C. A., Sparer J., Cullen M. R.: Lancet *349*, 1013 (1997).
11. Ekberg L. E.: *Doktorská práca*. Chalmers University of Technology, Göteborg 1994.
12. VanOsdell D. W., Sparks L. E.: Ashraej *37*, 34 (1995).
13. Shieldsová H. C.: Indoor Air *6*, 2 (1996).
14. Weschler Ch. J., Shieldsová H. C.: Environ. Sci. Technol. *30*, 3250 (1996).
15. Urbanovská-Popovičová A.: Chem. Listy *92*, 799 (1998).
16. Rothweiler H., Wäger P. A., Schlatter C.: Atmos. Environ. *26A*, 2219 (1990).
17. Lewis Ch. W.: Atmos. Environ. *28A*, 2176 (1993).
18. Shieldsová H. C., Fleischer D. M., Weschler C. J.: Indoor Air *6*, 2 (1996).
19. Brown S. K., Simm M. R., Abramson M. J., Cray C. N.: Indoor Air *4*, 123 (1994).
20. Spurný K. R.: Vytápění, větrání, instalace *3*, 17 (1993).

A. Popovičová, G. Čík, and M. Hubinová *(Department of Environmental Engineering, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak Technical University, Bratislava, Slovak Republic)*: **Measurement of Benzene Adsorption on Carbon Fibre Sorbents**

The article deals with measurement of kinetics of adsorption and desorption of benzene on activated carbon filters made from (1) a non-woven polyester fabric hardened with water-acrylate dispersion containing activated carbon powder or (2) a fabric with a thin layer of activated carbon powder on its surface. Both filters are generally used in air-cleaning devices. Kinetic curves were measured under dynamic conditions on a filter (15 × 15 mm) in nitrogen. The experimental data showed that the studied parameters (adsorption rate, equilibrium amount, residual amount of benzene on the filter after desorption) depend on hydrodynamic conditions, operation conditions (temperature, pressure, gas flow-rate) and on the filter type. Sorption capacity as well as adsorption and desorption time depend also on the surface morphology and filter type. A significant influence of repeated desorption and adsorption on the studied parameters was shown only for the filter made from polyester fibres.