

LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

TESTOVÁNÍ ADSORBENTŮ PRO ODSTRAŇOVÁNÍ ORGANICKÝCH LÁTEK Z ODPADNÍCH PLYNŮ

EVA JUROVÁ, KAREL CIAHOTNÝ
a KATEŘINA LEPKOVÁ

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
eva.jurova@vscht.cz

Došlo 29.10.04, přepracováno 27.11.04, přijato 5.1.05.

Klíčová slova: adsorpce, organické látky, čištění odpadních plynů

Obsah

1. Úvod
2. Adsorpční materiály pro čištění odpadních plynů
3. Cíle práce
4. Experimentální část
 - 4.1. Měření adsorpčních kapacit
 - 4.2. Rovnice adsorpčních izoterem
 - 4.3. Testování termické desorpce
5. Výsledky a diskuse
 - 5.1. Parametry adsorpčních izoterem
 - 5.2. Vyhodnocení termické desorpce
6. Závěr

1. Úvod

V mnoha technologických procesech unikají do ovzduší páry organických látek, které je třeba zachycovat a odstraňovat, protože vykazují škodlivé účinky na lidské zdraví. Velká část organických polutantů pochází především z procesů a technologických provozů používajících těkavá organická rozpouštědla, jako jsou např. lakovny, barvírny a tiskárny. Dále se velké množství organických látek uvolňuje při skladování pohonných hmot a v extrakčních procesech. Významným zdrojem znečištění ovzduší organickými látkami je také odpar z nádrží automobilů a spalování fosilních paliv. Podle údajů ČHMÚ se znečištění ovzduší těkavými organickými látkami snižuje¹. Za posledních 12 let kleslo znečištění ovzduší těkavými organickými látkami na území České republiky na polovinu z hodnoty 441 kiloton za rok naměřené v roce 1990 na

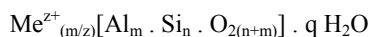
hodnotu 220 kt za rok 2002. Přesto je třeba množství těchto polutantů dále snižovat.

Jedním ze způsobů odstraňování par organických látek z ovzduší je jejich adsorpce na pevných adsorbentech. V současnosti jsou k tomuto účelu nejvíce používány uhlíkaté adsorbenty. Jejich vysoká cena a omezená použitelnost vede k hledání nových adsorpčních materiálů. Pozornost je věnována především zeolitům, které vykazují vysoké adsorpční schopnosti pro organické látky s malými molekulovými hmotnostmi. Byla objevena ložiska přírodních zeolitů, které jsou schopny selektivně adsorbovat molekuly plynů a par. Světové zásoby minerálních zeolitů jsou odhadovány na desítky miliard tun a jsou soustřeďovány zejména v USA, Mexiku, Japonsku, Koreji, Číně, Itálii a Bulharsku. Významná jsou i ložiska na východním Slovensku v lokalitě Nižný Hrabovec².

2. Adsorpční materiály pro čištění odpadních plynů

První skupinu adsorbentů tvoří uhlíkaté adsorpční materiály, mezi které řadíme aktivní koks, aktivní uhlí, uhlíkatá molekulová síta a uhlíková vlákna a tkaniny. Jedná se o nepolární adsorbenty vyráběné karbonizací. Surovinou pro výrobu uhlíkatých adsorbentů může být téměř jakýkoli materiál bohatý na uhlík, obvykle černé nebo hnědé uhlí. Dalšími používanými materiály jsou například rašelina, skořápky ořechů, lignit a dřevěné piliny³. Jednotlivé druhy uhlíkatých adsorbentů se liší způsobem přípravy a adsorpčními schopnostmi^{4,5}.

Další skupinou jsou zeolity, které dále dělíme na přírodní a syntetické. Jedná se o krystalické látky na bázi hydratovaných hlinitokřemičitanů, jejichž mimořádné vlastnosti jsou dány specifickou krystalickou stavbou. Základní stavební jednotkou je tetraedr $[\text{SiO}_4]$ spolu s tetraedrem $[\text{AlO}_4]$. Tetraedr $[\text{AlO}_4]$ nese záporný náboj, který je vyrovnáván kationty alkalických kovů a kovů alkalických zemin^{2,6}. Vnitřní struktura je tvořena kanálky a dutinami přesně definovaných rozměrů a tvarů, ve kterých jsou vázány molekuly vody a výměnných kationtů. Chemické složení zeolitů je možné popsat sumárním vzorcem:



V současné době se velmi rozvíjí příprava syntetických zeolitů, kterých již bylo připraveno více než 200 rozdílných strukturálních typů.

Dále jsou používány adsorbenty na bázi silikagelu. Jsou to polární adsorbenty tvořené především oxidem křemičitým s příměsí jiných oxidů do 5 %. Obvykle se vyrábí z alkalického roztoku křemičitanu sodného (vodní sklo).

V poslední době je zájem vědců věnován vývoji kombinovaných adsorbentů na bázi silikagelu a aktivního uhlí. Připravují se vnášením jemně mletého aktivního uhlí do vodního skla. Takto připravené adsorbenty mají velice dobré adsorpční schopnosti, především pro organické látky².

3. Cíle práce

Na trhu adsorpčních materiálů je nabízena řada adsorbentů v různých cenových relacích. Systematickým porovnáním jejich adsorpčních schopností pro jednotlivé účely použití se však nikdo nezabývá. Výrobci adsorpčních materiálů často neuvádějí dostatečně podrobné specifikace adsorpčních schopností nabízených produktů. Projektanti navrhující čisticí zařízení pracující na principu adsorpce tak většinou stojí před problémem výběru správného adsorbentu k určitému konkrétnímu účelu použití. Optimální adsorbent by měl nejen vykazovat co největší adsorpční kapacitu pro látky, které mají být separovány, ale měl by umožňovat snadnou a účinnou desorpci zachycených látek, která je v případě těkavých látek většinou prováděna zvýšením teploty. S ohledem k těmto požadavkům byly stanoveny také následující cíle práce:

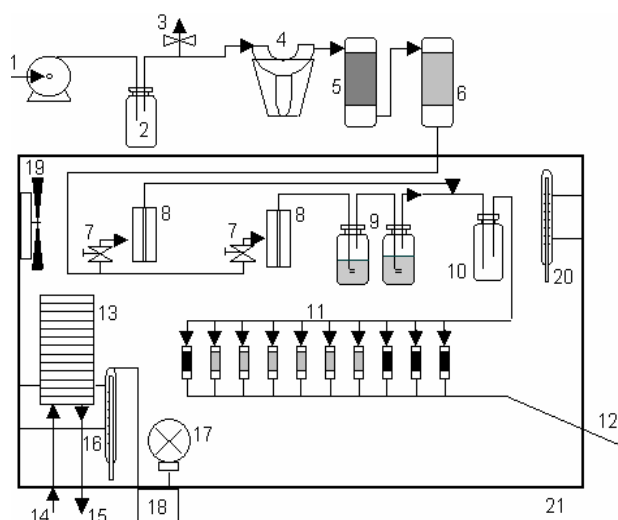
- otestovat představitele základních druhů adsorpčních materiálů pro adsorpci par polárních i nepolárních organických látek z plynné a parní fáze,
- vyhodnotit naměřené údaje s použitím rovnic Langmuirovy a Dubininovy adsorpční teorie,
- u vybraných adsorbentů s dostatečnou adsorpční kapacitou otestovat možnosti termické desorpce nasyceného adsorbentu.

4. Experimentální část

4.1. Měření adsorpčních kapacit

Pro měření adsorpčních kapacit bylo vybráno osm komerčně dostupných adsorpčních materiálů s různými

adsorpčními schopnostmi: tři vzorky aktivního uhlí (SC40 a C46 dodávané firmou Silcarbon, AP4-60 od firmy Chemviron Carbon), vzorek adsorbentu na bázi silikagelu (KC – Trockenperlen WS dodávaný firmou Engelhard Process Chemicals GmbH), vzorek kombinovaného adsorbentu složeného z aktivního uhlí a silikagelu (Envisorb B+ firmy Engelhard Process Chemicals GmbH), dva vzorky přírodního zeolitu (Enetex Kia těžený v Číně a Klinoptilolit těžený na Slovensku) a vzorek syntetického zeolitu (Baylith TE G273 dodávaný firmou Bayer Werk Leverkusen). Fyzikální vlastnosti použitých adsorbentů jsou uve-



Obr. 1. Schéma aparatury pro měření adsorpčních izoterm; 1 – vzduchové membránové čerpadlo, 2 – láhev pro vyrovnání pulsů, 3 – regulační ventil, 4 – kondenzační sušení, 5 – sušení na silikagelu, 6 – sušení na molekulovém sítu, 7 – jehlový ventil, 8 – kapilární průtokoměr, 9 – sycení parou organické látky v probublávacích lahvích s fritou, 10 – směšovací lahev, 11 – adsorbéry se vzorky, 12 – odvod nezachycených par do digestoře, 13 – chladič, 14 – vstup chladicí vody, 15 – výstup chladicí vody, 16 – teploměr, 17 – infralampa, 18 – relé, 19 – ventilátor, 20 – kontrolní teploměr, 21 – termostatovaná skříň

Tabulka I

Fyzikální vlastnosti použitých adsorbentů

Adsorpční materiál	BET povrch [m ² g ⁻¹]		Objem pórů [ml g ⁻¹]		Iodové číslo [mg g ⁻¹]	Specifikace adsorpčních schopností uvedená výrobcem
	výrobce	VŠCHT	výrobce	VŠCHT		
Silcarbon SC40	1100	1232	–	0,61	1050	CCl ₄ a C ₆ H ₆
Silcarbon C46	1300	1249	–	0,59	–	CCl ₄ a C ₆ H ₆
Chemviron Carbon AP4-60	1050	1071	–	0,51	1000	CCl ₄ , C ₄ H ₁₀ a C ₆ H ₆
KC-Trockenperlen WS	650	596	0,45	0,45	–	H ₂ O
Envisorb B+	800	725	0,7	0,8	–	H ₂ O
Baylith TE-G 273	–	8	–	0,03	–	H ₂ O a CO ₂
Klinoptilolit	–	24	–	0,07	–	–
Enetex Kia	–	68	–	0,06	–	–

deny v tabulce I. Tabulka uvádí hodnoty udávané výrobcem a hodnoty naměřené na VŠCHT Praha na přístroji Coulter SA 3100. Před experimentem byly adsorbenty rozemlety a přesítovány. Získané frakce 1 až 3 mm byly termicky aktivovány při teplotě 200 °C.

Jako adsorbáty byly použity čtyři organické látky s různými funkčními skupinami – aceton, toluen, cyklohexanon a dekan. Údaje o základních fyzikálních vlastnostech použitých adsorbátů potřebných k výpočtům byly převzaty z literatury⁹.

Adsorpční izotermy byly měřeny průtočnou gravimetrickou metodou, která spočívá v prosávání směsi inertního plynu (vysušený vzduch) a adsorbátu o konstantním parciálním tlaku přes vrstvu adsorbentu. Měření probíhalo v termostátované laboratorní aparatuře, jejíž schéma je uvedeno na obrázku 1. Modelové směsi organická látka – vzduch byly připravovány mísením vzduchu nasyceného parami organické látky s čistým vzduchem. Vzduch, čerpaný membránovým čerpadlem do aparatury, byl nejprve zbaven vzdušné vlhkosti kondenzací a dále byl adsorpčně dosušován na silikagelu a molekulovém sítu 5A. Vysušený vzduch byl poté rozdělen do dvou proudů. První proud byl veden do nádob s organickou látkou, v nichž byl nasycen jejími parami. Druhý proud vzduchu byl použit k ředění prvního proudu ve směšovací lahvi. Tím bylo dosaženo potřebného parciálního tlaku par organické látky ve vzduchu. Ze směšovací lahve byla směs vedena do deseti adsorbérů. Přírůstky hmotnosti adsorbátu byly zjišťovány v pravidelných intervalech vážením s přesností 0,1 mg. Po ustavení rovnováhy byl odečten celkový hmotnostní přírůstek adsorbátu a cyklus se opakoval při vyšším parciálním tlaku adsorbátu. Měření bylo provedeno při relativních tlacích adsorbátu 0,005; 0,01; 0,1 a 0,9. Tyto hodnoty byly zvoleny proto, že u některých průmyslově dodávaných adsorbentů je pro benzen udávána adsorpční kapacita právě při těchto parciálních tlacích. Adsorpční izotermy acetonu byly proměřovány za teploty 25 °C, toluenu, cyklohexanonu a dekanu za teploty 20 °C.

4.2. Rovnice adsorpčních izoterem

Pro výpočet průběhu adsorpčních izoterem z naměřených adsorpčních kapacit byly v této práci použity Langmuirova a Dubinova adsorpční rovnice. Langmuirova teorie byla zvolena proto, že i přes svou jednoduchost obvykle dobře vystihuje průběh naměřených dat. Z literatury⁷ byla převzata ve tvaru:

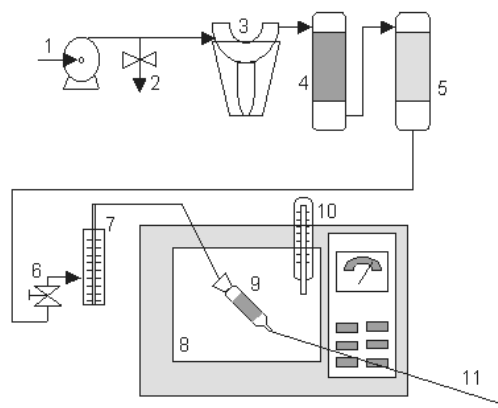
$$\frac{X}{X_0} = \frac{K_L \cdot \frac{p}{p_s}}{1 + K_L \cdot \frac{p}{p_s}} \quad (1)$$

Dubinova teorie byla zvolena, protože je založena na předpokladu kapilární kondenzace adsorbátu v pórech adsorbentu, což dobře vystihuje adsorpci těkavých adsorbátů⁸. Obvykle se uvádí ve tvaru:

$$a = \frac{W_0}{V_T} \exp \left[-B \left(\frac{T}{\beta} \right)^n \left(\log \frac{p_s}{p} \right)^n \right] \quad (2)$$

4.3. Testování termické desorpce

Testování termické desorpce probíhalo ve dvou krocích. Nejdříve byl testovaný adsorbent nasycen do rovnovážného stavu příslušným adsorbátem a poté následovala termická desorpce v laboratorní aparatuře znázorněné na obr. 2. Jako adsorbáty byly použity aceton a toluen. Z adsorbentů byly na základě dobrých výsledků z předchozí série měření vybrány Envisorb, Silcarbon C46 a Klinoptilolit. Adsorbenty byly termicky aktivovány a použity ve formě dodávané výrobcem. Adsorpčních izotermy byly měřeny v obdobné laboratorní aparatuře, jako v první sérii měření za laboratorní teploty, zásobní lahve s adsorbátem byly temperovány ve vodním termostatu na 25 °C. Celkem byly nastavovány čtyři hodnoty parciálního relativního tlaku adsorbátu: 0,1; 0,3; 0,5 a 0,8. Desorpce adsorbátu z adsorbentu nasyceného do rovnovážného stavu probíhala zvýšením jeho teploty za současného promývání sušeným laboratorním vzduchem. Průtok vzduchu byl udržován na hodnotě 200 dm³h⁻¹. Ve vzduchovém termostatu byly nastavovány teploty 80, 120 a 160 °C. Průtok vzduchu byl udržován na konstantní hodnotě 200 dm³h⁻¹.



Obr. 2. Schéma aparatury pro měření desorpce; 1 – vzduchové membránové čerpadlo, 2 – regulační ventil, 3 – kondenzační sušič, 4 – sušič na silikagelu, 5 – sušič na molekulovém sítu, 6 – jehlový ventil, 7 – kapilární průtokoměr, 8 – termostátovaná pec, 9 – adsorbér se vzorkem, 10 – kontrolní teploměr, 11 – odvod nezachycených par do digestoře

5. Výsledky a diskuse

5.1. Parametry adsorpčních izoterem

V laboratorní aparatuře byly naměřeny adsorpční kapacity osmi adsorbentů pro čtyři organické látky.

Tabulka II
 Naměřené adsorpční kapacity

Adsorbent	Adsorpční kapacita [hm. %] pro p/p _s			
	0,005	0,01	0,1	0,9
	<i>Aceton, 25 °C</i>			
$\rho[g\ m^{-3}]$	1,2	2,3	25,7	208,5
Envisorb	12	13	19	53
Enetex Kia	4	4	5	6
Klinoptilolit	3	3	4	7
Baylith	6	6	8	9
Trockenperlen	11	12	17	32
Silcarbon SC40	13	17	29	37
Silcarbon C46	19	24	36	49
Chemviron Carbon	14	17	27	33
	<i>Toluen, 20 °C</i>			
$\rho[g\ m^{-3}]$	0,5	1,1	12,0	97,5
Envisorb	6	8	18	59
Enetex Kia	1	1	1	27
Klinoptilolit	1	1	1	4
Baylith	1	2	2	4
Trockenperlen	5	7	17	32
Silcarbon SC40	26	29	38	42
Silcarbon C46	34	36	44	51
Chemviron Carbon	24	28	34	37
	<i>Cyklohexanon, 20 °C</i>			
$\rho[g\ m^{-3}]$	0,3	0,56	6,0	48,7
Envisorb	17	10	28	–
Klinoptilolit	1	1	1	–
Baylith	1	2	2	–
Silcarbon SC40	31	39	46	–
Silcarbon C46	20	26	29	–
Chemviron Carbon	30	34	38	–
	<i>Dekan, 20 °C</i>			
$\rho[g\ m^{-3}]$	0,3	0,6	7,0	56,6
Envisorb	7	8	18	45
Enetex Kia	2	2	2	4
Klinoptilolit	3	3	3	5
Baylith	5	5	5	6
Trockenperlen	5	7	18	27
Silcarbon SC40	29	31	35	36
Silcarbon C46	35	37	41	44
Chemviron Carbon	27	28	30	31

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce II. V případě cyklohexanonu byly z technických důvodů naměřeny jen 3 body adsorpční izotermy a dva vzorky nebyly vyhodnoceny (vzorek Enetex Kia nevykazoval žádnou adsorpční kapacitu a u vzorku KC-Trockenperlen WS docházelo k chemické reakci mezi adsorbentem a adsorbátem).

Z naměřených dat je zřejmé, že nejvhodnějšími adsorbenty pro odstraňování nízkých koncentrací organických

látek z plynných směsí za daných podmínek jsou aktivní uhlí dodávaná firmou Silcarbon, zejména vzorek s komerčním označením Silcarbon C46. Při vysokých koncentracích adsorbátů se ale vhodnější jeví použití směsného adsorbentu Envisorb B+. Vzorky zeolitů vykazovaly oproti ostatním adsorbentům malé adsorpční kapacity. Syntetický zeolit Baylith TE G273 měl při nízkých koncentracích adsorbátu vyšší adsorpční schopnosti než zeolity přírodní,

Tabulka III
Odhady konstant Dubininovy rovnice

Adsorbent	B [K ⁻ⁿ]	W_0/V_T [mmol g ⁻¹]	n
Envisorb	163,6	0,64	0,2
Enetex Kia	6,2	0,02	0,5
Klinoptilolit	9,0	0,14	0,3
Baylith	–	–	–
Trockenperlen	38,3	0,05	0,5
Silcarbon SC40	36,8	0,00	1,7
Silcarbon C46	48,9	0,00	1,3
Chemviron Carbon	32,6	0,00	1,9
<i>Toluen</i>			
Envisorb	67,4	0,02	0,7
Enetex Kia	11,9	0,84	0,2
Klinoptilolit	12,5	0,54	0,3
Baylith	–	–	–
Trockenperlen	31,9	0,00	1,3
Silcarbon SC40	42,3	0,00	1,1
Silcarbon C46	38,6	0,00	1,8
Chemviron Carbon	–	–	–
<i>dekan</i>			
Envisorb	49,5	0,01	0,8
Enetex Kia	107,3	2,71	0,1
Klinoptilolit	144,2	3,00	0,1
Baylith	–	–	–
Trockenperlen	27,6	0,00	1,5
Silcarbon SC40	–	–	–
Silcarbon C46	–	–	–
Chemviron Carbon	–	–	–
<i>Cyklohexanon</i>			
Envisorb	70,7	0,05	0,5

ale při vysokých koncentracích adsorbátu byla jejich adsorpční kapacita srovnatelná, obzvláště v případě adsorpce toluenu. Přestože mají přírodní zeolity nižší adsorpční schopnosti pro organické látky než ostatní adsorbenty, je jejich použití možné, zvláště díky jejich velice nízkým cenám.

Naměřená data byla dále popsána rovnicemi Langmuirovy a Dubininovy adsorpční teorie. K výpočtům byl používán počítačový program pro nelineární regresní analýzu¹⁰. Langmuirovu rovnici nebylo možné k popisu naměřených křivek využít, protože při parciálním tlaku adsorbátu 0,9 docházelo k velkým odchylkám od naměřeného průběhu dat v důsledku kapilární kondenzace adsorbátu uvnitř pórů adsorbentů. Odhadnuté konstanty Dubininovy rovnice jsou uvedeny v tabulce III. Vzhledem k tomu, že byly měřeny pouze 4 body a odhadovány 3 parametry, byly konfidenční intervaly regresních parametrů natolik široké, že nebylo možné dobře odhadnout všechny hodnoty konstant. V takových případech nejsou hodnoty v tabulce uvedeny. Pro konstantu β Dubininovy rovnice byla zvolena hodnota 1,0.

Údaje o adsorpčních kapacitách jednotlivých adsorbentů a z nich vypočtené konstanty Dubininovy rovnice lze výhodně využít při navrhování konkrétních adsorpčních zařízení určených k odstraňování acetonu, toluenu, cyklohexanonu, *n*-dekanu a dalších organických látek ze směsi se vzduchem. Postup při aplikaci Dubininovy adsorpční teorie k výpočtu adsorpčních izotermů dalších organických látek je podrobně popsán v literatuře¹¹.

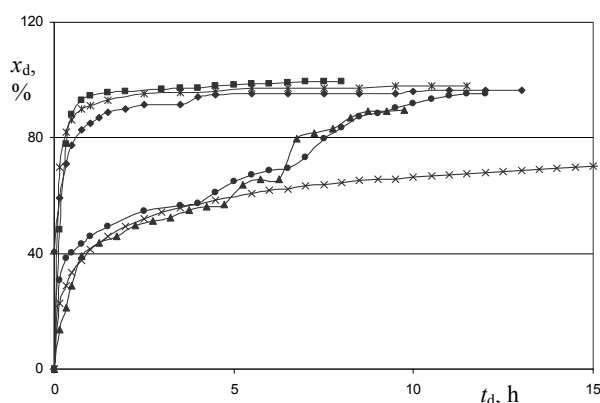
5.2. Vyhodnocení termická desorpce

Termická desorpce byla testována v laboratorní aparatuře při teplotách 80, 120 a 160 °C. Pro experiment byly vybrány 3 adsorbenty a aceton a toluen jako adsorbáty. Byly posuzovány dva parametry – celkové desorbované množství při jednotlivých teplotách (tab. IV) a doba desorpce. Průběh patnáctihodinové desorpce u jednotlivých adsorbentů a organických látek je patrný z obr. 3.

Nejlepší možnosti termické desorpce vykazoval směsný materiál Envisorb B+, u kterého bylo v případě toluenu dosaženo nejvyšší účinnosti desorpce 99,5 %. Při teplotě 80 °C činí úbytek obou adsorbátů 97 % již po dvou hodinách desorpce. Vzorek Silcarbon C46 vykazoval v případě

Tabulka IV
Desorbované množství

Adsorbent	Desorbovaný podíl z celkového adsorbovaného množství [%]					
	aceton, teplota °C			toluen, teplota °C		
	80	120	160	80	120	160
Envisorb	97,3	97,3	98,0	97,0	98,6	99,5
Klinoptilolit	56,8	68,7	89,2	56,5	69,5	95,2
Silcarbon C46	91,5	95,4	96,6	70,7	86,6	91,8



Obr. 3. Průběh termické desorpce; ♦ aceton – Silicarbon C46, * aceton – Envisorb, ▲ aceton – Klinoptilolit, × toluen – Silicarbon C46, ■ toluen - Envisorb, ● toluen - Klinoptilolit

acetonu vysokou účinnost desorpce (96,6 %) v poměrně krátkém časovém intervalu, zatímco v případě toluenu trvala desorpce 34 h a maximální účinnost desorpce byla 91,8 %.

Nejnižší účinnost desorpce vykazoval vzorek Klinoptilolitu při teplotách 80 a 120 °C. Při teplotě 80 °C bylo u obou adsorbátů desorbováno pouze 56 % adsorbátu. Při teplotě 160 °C desorbované množství rostlo a dosahovalo 89,2 % pro aceton a 91,8 % pro toluen, což je množství srovnatelné s ostatními vzorky adsorbentů.

6. Závěr

Nejvyšší adsorpční kapacity pro testované organické látky aceton, toluen, cyklohexanon, dekan vykazovaly vzorky aktivního uhlí C46 a SC40 dodávané firmou Silcarbon a směsný materiál tvořený aktivním uhlím a silikagem Envisorb B+. Vzorky přírodních zeolitů vykazovaly nižší adsorpční kapacity, ale vzhledem k jejich nízké ceně jsou také vhodným adsorpčním materiálem pro zachycování organických látek.

Průběh desorpce organických látek na uhlíkatých adsorbentech a silikagelu je ve většině případů možné dobře popsat rovnicí Dubininovy adsorpční teorie.

Použití vzorky adsorbentů bylo možné regenerovat termickou desorpce. Směsný adsorpční materiál Envisorb B+ bylo možné dobře desorbovat již při 80 °C, u aktivního uhlí Silcarbon C46 bylo možné aceton účinně desorbovat již při teplotě 120 °C. Účinná desorpce toluenu však vyžadovala zahřátí až na teplotu 160 °C.

Řešení této problematiky bylo realizováno za finanční podpory vyčleněné z prostředků výzkumného záměru MSM 223200003 řešeného na Fakultě technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha.

S e z n a m s y m b o l ů

a adsorbované množství adsorbátu, kmol kg⁻¹

B konstanta specifická pro adsorbent, K⁻ⁿ

p parciální tlak adsorbátu v plynné fázi, Pa
p_s tlak sytých par adsorbátu, Pa
K_L konstanta, bezrozměrná
n konstanta, bezrozměrná
T teplota, K
V_T molární objem adsorbované látky, m³ kmol⁻¹
W₀ limitní objem adsorpčního prostoru, m³ kg⁻¹
X skutečně adsorbované množství adsorbátu, mmol g⁻¹
X₀ množství adsorbátu, odpovídající monomolekulárnímu pokrytí celého povrchu, mmol g⁻¹
β afinitní koeficient, bezrozměrný

LITERATURA

- Macháček, P. (ČHMU): písemné sdělení.
- Barthen D., Breitbach M.: *Adsorptionstechnik*. Springer, Berlin 2001.
- Chiang Y.-Ch., Chiang P.-Ch., Huang Ch.-P.: *Carbon* 39, 523 (2001).
- Ciahotný K.: *Vlastnosti, výroba a použití uhlíkatých adsorbentů*. Skriptum VŠCHT, Praha 1997.
- Ponec V., Knor Z., Černý S.: *Adsorpce na tuhých látkách*. SNTL, Praha 1968.
- Ghobarkar O., Schäf O., Guth U.: *Prog. Solid St. Chem.* 27, 29 (1999).
- Moore W. J.: *Fyzikální chemie*. SNTL, Praha 1981.
- Smišek M., Černý S.: *Aktivní uhlí*. SNTL, Praha 1964.
- Steinleitner H. D., Novotný V., Benda E.: *Požárně a bezpečnostně technické charakteristické hodnoty nebezpečných látek*. Staatsdruckerei, Berlin 1990.
- Zámotný P., Bělohav Z.: *Comput. Chem* 23, 479 (1999).
- Ciahotný K.: *Chem. Prům.* 71, 20 (1996).

E. Jurová, K. Ciahotný, and K. Lepková
(Department of Gas, Coke and Air Protection, Institute of Chemical Technology, Prague): Testing of Adsorbents for Removal of Volatile Organic Compounds from Exhaust Gases

Removal of volatile organic compounds (VOC) using adsorption was investigated. Four organic compounds (acetone, toluene, decane and cyclohexanone) and eight commercial adsorbents were used for determination of adsorption isotherms. A flow laboratory apparatus working on gravimetric principle was used for the measurement of adsorption isotherms at 20 °C or 25 °C. Subsequently, thermal desorption for three adsorbents and two organic compounds was tested. Desorption processes were carried out by heating a saturated adsorbent in an electric oven. For evaluation of experimental data, the Langmuir and Dubinin adsorption theories were used. The highest adsorption capacities were obtained for activated carbon adsorbents produced by Silcarbon Co. Natural zeolites show very low adsorption capacities. The best desorption efficiency was observed for Envisorb B+.