

Jerzy Choma  
Mieczysław Jaroniec  
Stefan Ziętek

## ADSORPCJA BENZENU NA WĘGLACH AKTYWNYCH

Adsorpcja na węglach aktywnych znajduje w świecie bardzo szerokie zastosowanie; badania teoretyczne i doświadczalne, poświęcone adsorpcji najróżniejszych substancji z fazy gazowej i ciekłej, stanowią podstawę do opracowywania i optymalizacji różnego rodzaju procesów oczyszczania. W wielu procesach do usuwania substancji toksycznych, zawartych np. w powietrzu lub wodzie, stosowane są z dużym powodzeniem węgle aktywne o istotnie rozwiniętej strukturze porowatej.

Znaczenie porów w procesie adsorpcji jest ściśle uwarunkowane ich wymiarami. W przypadku dużych porów (makro- i mezoporów) ich powierzchnia jest pokrywana adsorbentem zgodnie z mechanizmem adsorpcji wielowarstwowej, która to adsorpcja, w przypadku mezoporów, kończy się ich zapełnieniem według mechanizmu kondensacji kapilarnej. Największe pory odgrywają decydującą rolę w transporcie cząsteczek adsorbentu do wnętrza ziaren adsorbentu. Najdrobniejsze pory (mikropory) mają decydujący udział w wartości pojemności adsorpcyjnej adsorbentu, gdyż w ich przestrzeniach zatrzymywana jest podstawowa ilość adsorbentu.

Adsorpcja w mikroporach zachodzi zgodnie z mechanizmem ich objętościowego zapełniania. Zgodnie z klasyfikacją Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) [1] pory, z punktu widzenia ich liniowych wymiarów, dzielone są na trzy grupy:

- mikropory, których średnica nie przekracza 2 nm,
- mezopory, których średnica zawarta jest w przedziale od 2 do 50 nm,
- makropory, których średnica jest większa od 50 nm.

Podział ten należy traktować jako bardzo umowny, o rozmytych granicach, gdyż mechanizm procesu adsorpcyjnego nie zależy tylko od wymiarów porów, lecz również od budowy chemicznej i wymiarów cząsteczek adsorbentu.

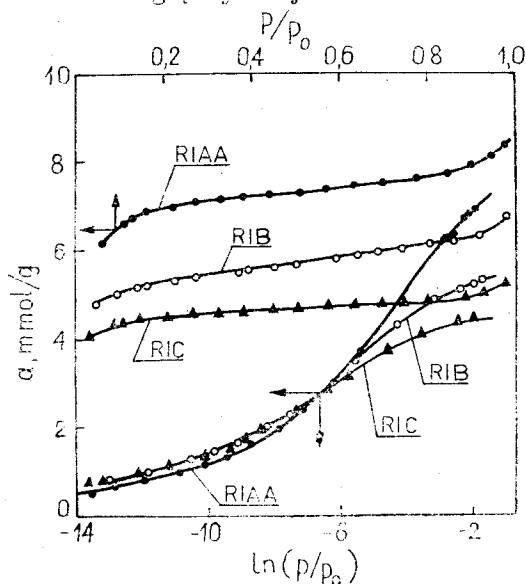
Właściwe stosowanie węgla aktywnego w procesach adsorpcyjnych wymaga szczegółowej znajomości parametrów charakteryzujących jego

strukturę porowatą, tj. wartości objętości i powierzchni właściwej mikroporów, objętości i powierzchni właściwej mezoporów, funkcji rozkładu poszczególnych rodzajów porów, itp. Szczegółową charakterystykę właściwości adsorpcyjnych węgla aktywnych, umożliwiającą ich porównanie, uzyskać można na podstawie adsorpcji benzenu, który obecnie uważany jest za standardowy adsorbat, stosowany bardzo często do charakterystyki struktury porowatej węgla aktywnych [2].

W niniejszej pracy omówiono jeden ze sposobów charakterystyki właściwości adsorpcyjnych trzech przemysłowych węgla aktywnych, na podstawie izoterm adsorpcji benzenu zmierzonych techniką grawimetryczną.

### Część doświadczalna

Izotermy adsorpcji benzenu zmierzono dla trzech granulowanych (0,5 mm) węgla aktywnych RIAA, RIB i RIC w temp. 293 K, metodą grawimetryczną za pomocą wag sorpcyjnych McBaina-Bakra. Węgle te produkowane są w holenderskiej firmie Norit w Amersfoort i są stosowane między innymi do oczyszczania powietrza i wody. Na rysunku 1 przedstawiono doświadczalne izotermy adsorpcji benzenu dla badanych węgla aktywnych w całym przedziale ciśnień względnych tj. od  $10^{-6}$  do ok. 1,0.



Rys. 1. Doświadczalne wartości adsorpcji benzenu na węglach aktywnych w temp. 293 K, w funkcji logarytmu naturalnego z ciśnienia względnego w przedziale niskich i średnich ciśnień oraz w funkcji ciśnienia względnego w przedziale wysokich ciśnień

Doc. dr hab. inż. J. Choma: Instytut Chemii Wojskowej Akademii Technicznej, ul. S. Kaliskiego 217, 00-908 Warszawa.  
Prof. dr hab. M. Jaroniec: Instytut Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, pl. M. Curie-Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin.

Dr inż. S. Ziętek: Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii, 00-910 Warszawa-Rembertów.

Dla niskich i średnich ciśnień względnych wartości adsorpcji benzenu ( $a$  w mmol/g) przedstawione są w funkcji logarytmu naturalnego z ciśnienia względnego ( $\ln p/p_0$ ), natomiast dla dużych ciśnień adsorpcja przedstawiona jest w funkcji ciśnienia względnego ( $p/p_0$ ). Dla niskich równowagowych ciśnień względnych przebieg izoterm adsorpcji jest niemal identyczny dla wszystkich trzech węgli aktywnych. Zasadnicze różnice pojawiają się dla średnich i dużych ciśnień. Najlepszymi właściwościami adsorpcyjnymi w stosunku do benzenu charakteryzuje się węgiel aktywny RIAA, a najgorszymi węgiel RIC. Zgodnie z klasyfikacją IUPAC [1] wszystkie trzy węgle aktywne charakteryzują się izotermami adsorpcji IV typu. Takie izotermie dają zazwyczaj przemysłowe węgle aktywne, zawierające wszystkie trzy rodzaje porów (mikro-, mezo- i makropory).

### Analiza doświadczalnej izoterm adsorpcji

Doświadczalnie mierzona wartość adsorpcji ( $a$ ), odpowiadająca danemu ciśnieniu względnemu ( $p/p_0$ ), jest sumą wartości adsorpcji w mikroporach ( $a_{mi}$ ), wartości adsorpcji na powierzchni mezoporów ( $a_{me}$ ) i wartości adsorpcji na powierzchni makroporów ( $a_{ma}$ ):

$$a = a_{mi} + a_{me} + a_{ma} \quad (1)$$

Ze względu na bardzo małą powierzchnię właściwą makroporów (kilka  $m^2$  na gram węgla aktywnego), w porównaniu z powierzchnią właściwą mikro- i mezoporów, udział adsorpcji w makroporach można (bez popełnienia zbyt dużego błędu) przyjąć jako równy zeru:

$$a_{ma} = 0 \quad (2)$$

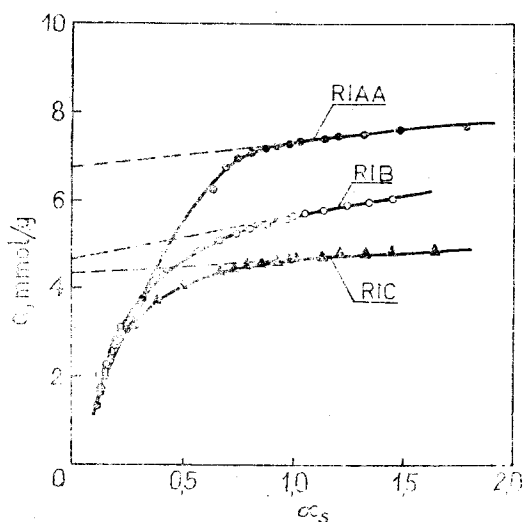
Wówczas adsorpcja całkowita opisana jest zależnością:

$$a = a_{mi} + a_{me} \quad (3)$$

Czyli, aby z doświadczalnych wartości adsorpcji ( $a$ ) móc wyznaczyć adsorpcję w mikroporach ( $a_{mi}$ ), trzeba znać wartość adsorpcji w mezoporach ( $a_{me}$ ).

Ostatnio dużą popularnością do wyznaczania m. in. adsorpcji w mezoporach cieszy się metoda  $\alpha_s$  zaproponowana przez Singa [3], a w literaturze polskiej przedstawiona w pracy [4]. Doświadczalne izotermie adsorpcji benzenu przedstawiono w funkcji standardowej izoterm adsorpcji benzenu w temp. 293 K na praktycznie nieporowatej, niejednorodnej sadzy wygrzanej w temp. 1223 K w atmosferze Ar [5]. Ta właśnie zależność (zwana wykresem  $\alpha_s$ ) przedstawiona jest na rysunku 2 dla trzech badanych węgli aktywnych.

Zmienna niezależna  $\alpha_s$  oznacza zredukowaną, standardową wartość adsorpcji, równą stosunkowi wartości adsorpcji na nieporowatym adsorbencie odniesienia ( $a_s$ ) (sadza) i wartości adsorpcji na tym samym adsorbencie dla ciś-



Rys. 2. Wartości adsorpcji benzenu na węglach aktywnych w temp. 293 K w funkcji zredukowanej, standardowej adsorpcji  $\alpha_s$  na wygrzanej, nieporowatej i niejednorodnej sadzy

nienia względnego  $p/p_0 = 0,4[a_s(0,4)]$ . Część prostoliniowa wykresu  $\alpha_s$  jest opisana zależnością [4]:

$$a = a_{mi}^{\circ} + a_{me}^{\circ} \Phi_s \alpha_s \quad (4)$$

w której:

$$\alpha_s = \frac{a_s}{a_s(0,4)}; \quad \Phi_s = \frac{a_s(0,4)}{a_s^{\circ}} \quad (5)$$

gdzie:

$a_{mi}^{\circ}$  oznacza pojemność adsorpcyjną mikroporów,  $a_{me}^{\circ}$  jest pojemnością monowarstwy mezoporów węgla aktywnego,  $a_s$  jest zredukowaną, standardową adsorpcją dla nieporowatego adsorbentu odniesienia (sadza),  $a_s^{\circ}$  jest pojemnością monowarstwy adsorbentu odniesienia.

Wykres  $\alpha_s$  pozwala wyznaczyć pojemność adsorpcyjną mikroporów ( $a_{mi}^{\circ}$ ) i pojemność monowarstwy mezoporów węgla aktywnego ( $a_{me}^{\circ}$ ), która z kolei umożliwia obliczenie powierzchni właściwej mezoporów ( $S_{me}$ ) według następującej zależności:

$$S_{me} = a_{me}^{\circ} \omega N_A \quad (6)$$

gdzie:

$\omega$  jest powierzchnią zajmowaną przez cząsteczkę adsorbentu na powierzchni adsorbentu (dla benzenu  $\omega = 0,41 \text{ nm}^2$ ), natomiast  $N_A$  jest liczbą Avogarda.

Parametry charakteryzujące strukturę porowatą węgli aktywnych, wyznaczone na podstawie metody  $\alpha_s$ , przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1  
PARAMETRY STRUKTURY POROWATEJ WĘGLI AKTYWNYCH  
WYZNACZONE METODĄ  $\alpha_s$  NA PODSTAWIE ADSORPCJI  
BENZENU W TEMP. 293 K

Węgiel aktywny	$a_{mi}^{\circ}$ mmol/g	$S_{me}$ $m^2/g$
RIAA	6,74	84
RIB	4,66	149
RIC	4,32	49

Ze względu na zasadniczy udział mikroporów w procesie adsorpcji, ich charakterystyka odgrywa najistotniejszą rolę w opisie struktury porowatej węgla aktywnych. Jedną z metod charakterystyki właściwości adsorpcyjnych węgla aktywnych w obszarze ich mikroporowości jest metoda wykorzystująca równanie Jarońca-Chomy, traktujące strukturę mikroporową jako strukturę niejednorodną. Dla istotnie niejednorodnych, mikroporowatych adsorbentów Jaroniec i Choma wyprowadzili następujące równanie izoterm adsorpcji [6]:

$$a_{mi} = a_{mi}^0 \left( \frac{q}{q + A^2} \right)^{n+1} \quad (7)$$

gdzie:

$A = RT \ln(p_0/p)$  jest potencjałem adsorpcyjnym,  $q$  i  $n$  są parametrami funkcji rozkładu gamma mikroporów, która zostanie omówiona w dalszej części pracy,  $R$  jest uniwersalną stałą gazową,  $T$  jest temperaturą bezwzględną,  $p$  jest ciśnieniem równowagowym, a  $p_0$  jest ciśnieniem pary nasyconej.

Wartość adsorpcji w mikroporach ( $a_{mi}$ ) wyznaczana jest poprzez wydzielenie jej z doświadczalnej izoterm adsorpcji, zgodnie z następującą zależnością:

$$a_{mi} = a - \gamma_s S_{me} \quad (8)$$

gdzie:

$\gamma_s$  jest standardową izotermą adsorpcji na powierzchni niejednorodnej nieporowatej sadzy, wyrażoną w mmol na jednostkę powierzchni.

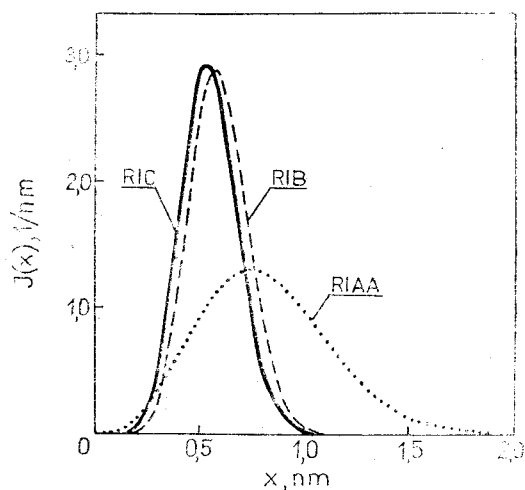
Parametry równania izoterm adsorpcji (7), będące równocześnie parametrami struktury mikroporowatej węgla aktywnego, wyznaczono z wykorzystaniem mikrokomputera IBM PC XT za pomocą programu numerycznego rozwiązywania układu równań nieliniowych [7]. Wartości parametrów  $a_{mi}^0$ ,  $q$  i  $n$  przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2

PARAMETRY RÓWNIANIA IZOTERMY ADSORPCJI (7)  
ORAZ INNE PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE MIKROPOROWATĄ  
STRUKTURĘ WĘGLI AKTYWNYCH

Parametry struktury mikroporowatej	Węgiel aktywny		
	RIAA	RIB	RIC
$a_{mi}^0$ , mmol/g	7,27	4,87	4,50
$q$ , (kJ/mol) <sup>2</sup>	355	1838	1852
$n$	0,86	3,66	3,22
$x_m$ , nm	0,74	0,57	0,53
$x$ , nm	0,81	0,59	0,55
$\delta_x$ , mm	0,31	0,14	0,14
$A_m$ , kJ/mol	5,71	13,3	14,1
$A$ , kJ/mol	15,7	19,2	20,6
$\delta_A$ , kJ/mol	12,9	11,5	12,6
$S_{mi}$ , m <sup>2</sup> /g	952	779	775
$S$ , m <sup>2</sup> /g	1036	928	824

$a_{mi}^0$ ,  $q$  i  $n$  obliczone na podstawie adsorpcji benzenu na węglach aktywnych.



Rys. 3. Funkcja rozkładu mikroporów  $J(x)$  dla węgla aktywnych

Równanie izoterm adsorpcji Jarońca-Chomy (7) wyprowadzono na podstawie założenia, że funkcja rozkładu mikroporów jest funkcją gamma o następującej postaci:

$$J(x) = \frac{2(qc)^{n+1}}{\Gamma(n+1)} x^{2n+1} \exp(-qcx^2) \quad (9)$$

gdzie:

$x$  jest połową szerokości płaskiej szczeliny dla szczelinowego modelu mikroporów,  $c$  jest stałą, dla benzenu równą 0,00694 (mol/kJ nm)<sup>2</sup>,  $\Gamma$  jest funkcją specjalną gamma.

Funkcja rozkładu mikroporów jest znormalizowana do jedności. Na rysunku 3 przedstawiono funkcję rozkładu mikroporów dla węgla aktywnych RIAA, RIB i RIC. Funkcje te są prawie symetrycznymi krzywymi, tylko nieznacznie rozciągniętymi w kierunku rosnących wartości  $x$ . Dwa węgle aktywne (RIB i RIC) mają bardzo podobne, wąskie funkcje rozkładu mikroporów. Natomiast węgiel aktywny RIAA ma stosunkowo szeroką funkcję rozkładu ze znacznie przesuniętym maksimum w kierunku większych wartości  $x$ . Dlatego węgiel ten będzie wykazywał stosunkowo najlepsze właściwości adsorpcyjne względem dużych cząsteczek adsorbentu.

Funkcja rozkładu mikroporów  $J(x)$  (9) jest opisywana analitycznie następującymi zależnościami:

— wartością, dla której funkcja rozkładu wykazuje maksimum:

$$x_m = \left( \frac{n+0,5}{qc} \right)^{1/2} \quad (10)$$

— wartością średnią:

$$\bar{x} = \gamma_x \left( \frac{n+1}{qc} \right)^{1/2} \quad (11)$$

— dyspersją:

$$\delta_x = \left[ (1-\gamma_x^2) \frac{n+1}{qc} \right]^{1/2} \quad (12)$$

gdzie:

$$\gamma_x = \frac{\Gamma(n+3/2)}{(n+1)^{1/2} \Gamma(n+1)} \quad (13)$$

Wartości parametrów  $x_m$ ,  $\bar{x}$  i  $\delta_x$  dla analizowanych węgli aktywnych, obliczone za pomocą zależności (10)–(12) i odpowiednich wartości parametrów  $q$  i  $n$ , są przedstawione w tabeli 2. Pozwalają one ilościowo różnicować węgle aktywne i precyzyjnie opisywać ich strukturę mikroporowatą.

Funkcja rozkładu  $J(x)$  charakteryzuje strukturalną niejednorodność węgla aktywnych. Niejednorodność ta z kolei jest źródłem ich energetycznej niejednorodności. Rozkład potencjału adsorpcyjnego  $X(A)$  charakteryzuje energetyczną niejednorodność węgla aktywnego i w przypadku funkcji rozkładu gamma mikroporów może być opisany następującą zależnością:

$$X(A) = 2(n+1) q^{n+1} A / (q + A^2)^{n+2} \quad (14)$$

Funkcja ta ma maksimum w punkcie:

$$A_m = [q/(2n+3)]^{1/2} \quad (15)$$

Średni potencjał adsorpcyjny  $A$  i dyspersja  $\delta_A$ , towarzyszące rozkładowi  $X(A)$  opisane są następującymi zależnościami:

$$\bar{A} = \gamma_A / 2 (\pi q/n)^{1/2} \quad (16)$$

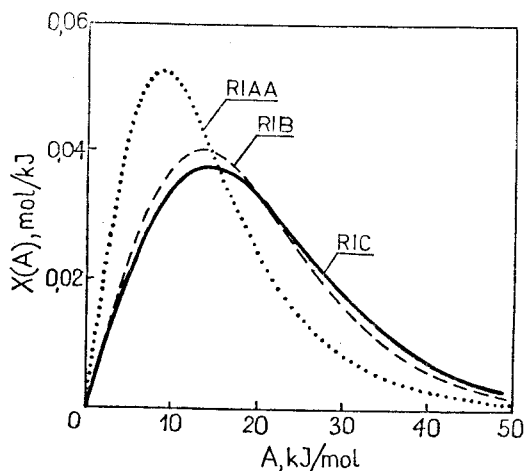
oraz

$$\delta_A = [(1 - \pi \gamma_A^2 / 4) q/n]^{1/2} \quad (17)$$

gdzie:

$$\gamma_A = \Gamma(n+0,5) / n^{1/2} \Gamma(n) \quad (18)$$

Funkcje rozkładu potencjału adsorpcyjnego  $X(A)$  obliczone na podstawie zależności (14) przedstawione są na rysunku 4. Ponieważ im mniejsze wymiary mają mikropory, tym większa jest w nich wartość potencjału adsorpcyjnego i dlatego funkcje rozkładu  $X(A)$  są bardziej rozciągnięte w kierunku dużych wartości potencjału adsorpcyjnego dla tego węgla, który charakteryzuje się najwyższą funkcją rozkładu mikroporów  $J(x)$  i dla której  $\bar{x}$  ma najmniejszą wartość.



Rys. 4. Funkcja rozkładu potencjału adsorpcyjnego  $X(A)$  dla węgli aktywnych

Taką funkcją rozkładu charakteryzuje się węgiel aktywny RIC. Natomiast węgiel aktywny RIAA, który ma stosunkowo szeroką funkcję rozkładu mikroporów  $J(x)$ , charakteryzuje się najwyższą funkcją rozkładu  $X(A)$  (rys. 4). Czyli stosunkowo szerokie mikropory są źródłem mniejszej energetycznej niejednorodności, w porównaniu z wąskimi mikroporami generującymi duże wartości potencjału adsorpcyjnego.

Generalnie funkcje rozkładu  $X(A)$  są asymetrycznymi pikami rozciągniętymi w kierunku dużych wartości potencjału adsorpcyjnego. Wartości parametrów  $A_m$ ,  $A$  i  $\delta_A$  dla analizowanych węgli aktywnych obliczone za pomocą zależności (16)–(18) i odpowiednich wartości parametrów  $q$  i  $n$ , przedstawione są w tabeli 2. Pozwalają one ilościowo różnicować węgle aktywne pod względem ich niejednorodności energetycznej.

Wielce przydatnym, a jednocześnie bardzo prostym parametrem charakteryzującym właściwości adsorpcyjne adsorbentu jest jego powierzchnia właściwa. Całkowita powierzchnia właściwa adsorbentu ( $S$ ) jest sumą powierzchni właściwej mikro- ( $S_{mi}$ ) i mezoporów ( $S_{me}$ ):

$$S = S_{mi} + S_{me} \quad (19)$$

Powierzchnia właściwa mikroporów może być opisana następującą zależnością [8]:

$$S_{mi} = a_{mi}^\circ V_m \int_0^\infty \frac{J(x)}{x} dx \quad (20)$$

gdzie:

$V_m$  jest objętością molową adsorbentu (dla benzenu w temp. 293 K  $V_m = 0,03886 \text{ cm}^3/\text{mmol}$ ).

Podstawiając funkcję rozkładu mikroporów  $J(x)$  (9) do równania (20) i całkując, otrzymujemy:

$$S_{mi} = a_{mi}^\circ V_m \gamma_A (q/n)^{1/2} \quad (21)$$

Wartości powierzchni właściwej mikroporów węgli aktywnych obliczone według równania (21) przedstawione są w tabeli 2. W tabeli tej przedstawiono również wartości całkowitej powierzchni właściwej węgli aktywnych obliczone zgodnie z zależnością (19), gdzie za  $S_{me}$  przyjęto wartości uzyskane za pomocą metody  $a_s$  (tab. 1). Stosunkowo największą powierzchnią właściwą charakteryzuje się węgiel aktywny RIAA — ponad  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ , o ponad  $100 \text{ m}^2/\text{g}$  mniejszą powierzchnię ma węgiel aktywny RIB, a najmniejszą węgiel RIC.

## Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono jeden z możliwych sposobów szczegółowej charakterystyki struktury porowatej węgli aktywnych na podstawie izoterm adsorpcji benzenu — jako standardowego adsorbentu. Posłużono się pros-

tym równaniem izotermy adsorpcji zaproponowanym przez Jarońca i Chomę. Równanie to dobrze opisuje doświadczalną izotermę adsorpcji w mikroporach, co potwierdzono we wcześniejszych badaniach dla wielu bardzo różnych układów adsorpcyjnych. Pokazano możliwość charakterystyki struktury mikroporowatej węgla aktywnego za pomocą funkcji rozkładu objętości mikroporów, w zależności od ich wymiarów liniowych (niejednorodność strukturalna) oraz funkcji rozkładu potencjału adsorpcyjnego (niejednorodność energetyczna). Podano równania charakteryzujące ilościowo funkcje rozkładu węgla aktywnych. Przedstawiono proste zależności pozwalające obliczyć wartość powierzchni właściwej mikro- i mezoporów węgla aktywnego.

Tak prosta, a jednocześnie kompleksowa metoda charakteryzacji struktury porowatej adsorbentu, może być przydatna w opisie właściwości adsorpcyjnych nie tylko węgla aktywnych i nie tylko w przypadku stosowania benzenu jako adsorbentu. Celem pracy było także zachęcenie innych badaczy do stosowania tej metody w opisie właściwości adsorpcyjnych różnych adsorbentów.

## LITERATURA

1. K.S.W. SING, D.H. EVERETT, R.A.W. HAUL, L. MOSCOU, R.A. PIEROTTI, J. ROUQUEROL, T. SIEMIENIEWSKA: Reporting physisorption systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure and Appl. Chem.*, 1985, Vol. 57, p. 603-619.
2. M. JARONIEC, J. CHOMA: Theory of gas adsorption on structurally heterogeneous solids and its application for characterizing activated carbons. *Chemistry and Physics of Carbon* (ed. P. Thrower). Marcel Dekker, New York, 1989, Vol. 22, p. 197-243.
3. K.S.W. SING: Surface area determination (ed. D.H. Everett.) Butterworths, London, 1970, p. 25.
4. J. CHOMA, M. JARONIEC: Adsorpcyjne metody opisu mikroporowatej struktury węgla aktywnych. *Przem. Chem.* 1983, t. 67, s. 499-503.
5. J. CHOMA, M. JARONIEC, S. ZIĘTEK: Standardowe dane adsorpcji benzenu na powierzchni adsorbentów węglowych. *Biuletyn WAT*, w druku.
6. M. JARONIEC, J. CHOMA: Characterization of heterogeneity of activated carbons by utilizing the benzene adsorption data. *Materials Chem. and Phys.*, 1986, Vol. 15, p. 521-536.
7. J. CHOMA, M. JARONIEC: Wyznaczanie parametrów charakteryzujących mikroporowate struktury węgla aktywnych. *Chemia Stosowana*, przesłano do druku.
8. J. CHOMA, M. JARONIEC: Powierzchnia właściwa mikroporowatych węgla aktywnych. *Biuletyn WAT*, 1988, t. XXXVII, s. 3-12.

*Praca ta w części została sfinansowana z funduszków Resortowego Programu Badań Podstawowych RP.I.08. Autorzy dziękują firmie Norit (Holandia) za przesłanie próbek węgla aktywnych RIAA, RIB oraz RIC.*

## BENZENE ADSORPTION ON ACTIVATED CARBON

*Investigated are three commercial activated carbons manufactured by Norit. A simple method for characterizing the porous structure of the activated carbons on the basis of benzene adsorption isotherms is presented. The isotherms were measured by gravimetry in the region of relative pressures from about  $10^{-6}$  to about unity at 293 K. Experimental adsorption isotherms were approximated in terms of the three-parameter Jaroniec-Choma (JC) equation. The parameters of the JC equation ( $a_{mi}^{\circ}$ ,  $q$  and  $n$ ) were used*

*for evaluating the micropore size distribution function and the adsorption potential distribution function that describe the structural inhomogeneity and the energetic heterogeneity of the micropores of the activated carbons, respectively. Simple equations are presented for calculating the specific surface areas of both mesopores and micropores. The porous structure of the three commercial activated Norit carbons is characterized in terms of the JC equation. The relationships and plots presented in this paper may be helpful when applying the above method for the characterization of other microporous adsorbents.*