

Lidia DĄBEK¹*, Krzysztof KUŚMIEREK^{2**}, Andrzej ŚWIĄTKOWSKI^{2***}

¹ Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

*e-mail: ldabek@tu.kielce.pl

² Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Chemii
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

e-mail: kkusmier@wat.edu.pl; *e-mail: a.swiatkowski@wp.pl

Adsorpcja 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym z roztworów wodno-metanolowych

W pracy zbadano adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym Norit R3-ex z wody, metanolu oraz roztworów woda/metanol o różnym składzie procentowym. Rozpatrywano zarówno kinetykę procesu, jak i adsorpcję w stanie równowagi. Badania kinetyczne pokazały, że 2,4,6-trichlorofenol adsorbował się szybciej z metanolu niż z wody, równowaga ustalała się odpowiednio po 3 i 5 godzinach. Kinetyka przebiegała zgodnie z modelem pseudo II rzędu, o czym świadczą wyższe wartości współczynników korelacji ($> 0,99$). Zbadano również adsorpcję w stanie równowagi z wody, metanolu oraz roztworów wodno-metanolowych, zawierających 25, 50 i 75% rozpuszczalnika organicznego. Izotermy adsorpcji były dobrze opisane równaniem Freundlicha. Wartości stałych Freundlicha K_F zmniejszały się wraz ze wzrostem zawartości metanolu w roztworze (od 1,533 dla wody do 0,288 dla czystego metanolu). Pokazuje to, że metanol wpływa negatywnie na adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym. Zwiększenie zawartości rozpuszczalnika organicznego w roztworze powoduje pogorszenie adsorpcji.

Słowa kluczowe: 2,4,6-trichlorofenol, adsorpcja, węgiel aktywny, rozpuszczalniki organiczne

Wstęp

Do grupy chlorofenoli zalicza się trzy mono-, sześć di-, sześć tri-, trzy tetra- i jeden pentachlorofenol, które różnią się wzajemnie podstawieniem atomów chloru w cząsteczce fenolu. Wszystkie, oprócz 2-chlorofenolu, są ciałami stałymi o intensywnym, nieprzyjemnym zapachu, dobrze rozpuszczalnymi w rozpuszczalnikach organicznych. W wodzie chlorofenole są trudnorozpuszczalne, przy czym ich rozpuszczalność zmniejsza się wraz ze wzrostem liczby atomów chloru w cząsteczce (najlepiej rozpuszczają się monochlorofenole, najgorzej pentachlorofenol) [1]. Pomimo słabej rozpuszczalności ich obecność w wodzie gruntowej, powierzchniowej, a nawet pitnej jest niestety zjawiskiem powszechnym [2, 3]. Głównym źródłem zanieczyszczenia wody jest przemysł farmaceutyczny, petrochemiczny oraz zakłady produkcji tworzyw sztucznych i środków ochrony roślin. Chlorofenole powstają również w oczyszczalniach ścieków i stacjach uzdatniania wody, w których stosowane są procesy chlorowania. Nawet ich niewielkie stężenie

w wodzie, na poziomie $0,01 \text{ mg/dm}^3$, pogarsza jej właściwości organoleptyczne, nadając jej drażniący, charakterystyczny zapach i smak [4]. Dodatkowym problemem jest ich wysoka toksyczność i teratogenność. Dlatego też już od szeregu lat usuwanie chlorofenoli ze środowiska wodnego jest przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych. Spośród wszystkich opracowanych i opisanych sposobów usuwania chlorofenoli z wody największym zainteresowaniem cieszą się metody oparte na zjawiskach adsorpcji. Chlorofenole są adsorbowane na różnych adsorbentach - na tzw. biosorbentach, np. torfie [5], materiałach krzemionkowych [6] oraz materiałach węglowych, np. nanorurkach [7-9], włóknach [10], sadzy [11]. Jednak zdecydowanie najpopularniejszym adsorbentem jest węgiel aktywny [11-19]. Na przebieg procesu adsorpcji chlorofenoli, jak również innych związków organicznych, na węglu aktywnym wpływają oczywiście właściwości poszczególnych adsorbatów, ale także właściwości adsorbentu (tekstura porowata, chemia powierzchni), właściwości roztworu (siła jonowa, pH) oraz temperatura [20]. Wpływ większości z tych parametrów na kinetykę oraz skuteczność adsorpcji różnych chlorofenoli został już w literaturze, w większym lub mniejszym stopniu, opisany. Według naszej wiedzy, brak jest jednak prac dotyczących wpływu rozpuszczalników organicznych na adsorpcję chlorofenoli. Udowodniono na przykład, że obecność rozpuszczalników organicznych w roztworze wpływa radykalnie na adsorpcję kofeiny [21], jednak adsorpcja chlorofenoli z roztworów zawierających rozpuszczalniki organiczne jest do tej pory tematem niezbadanym.

Celem prezentowanej pracy było zbadanie adsorpcji 2,4,6-trichlorofenolu (2,4,6-TCP) na węglu aktywnym z wody, metanolu oraz mieszanin woda/metanol o różnym składzie procentowym. Rozpatrywano zarówno kinetykę procesu, jak i adsorpcję w stanie równowagi.

1. Metodyka badań

Badania adsorpcyjne były prowadzone na węglu aktywnym Norit R3-ex (Holandia) o powierzchni właściwej $S_{\text{BET}} = 1390 \text{ m}^2/\text{g}$, objętości mikroporów $V_{\text{mi}} = 0,46 \text{ cm}^3/\text{g}$, objętości mezoporów $V_{\text{me}} = 0,081 \text{ cm}^3/\text{g}$, powierzchni właściwej mezoporów $S_{\text{me}} = 52 \text{ m}^2/\text{g}$ oraz stężeniu powierzchniowych tlenowych grup funkcyjnych wynoszącym 4,2% [11]. Eksperymenty przeprowadzono w kolbach Erlenmeyera, do których wprowadzano kolejno po $0,04 \text{ dm}^3$ roztworów 2,4,6-trichlorofenolu oraz $0,03 \text{ g}$ węgla aktywnego wysuszonego wcześniej w temperaturze 130°C do stałej masy i mieszano na wytrząsarce laboratoryjnej.

Wszystkie oznaczenia ilościowe adsorbentu w roztworach prowadzono metodą chromatografii cieczowej z detekcją w nadfiolecie. Wykorzystano chromatograf cieczowy LC-20 (Shimadzu, Japonia) oraz kolumnę Luna C_{18} $150 \times 2,0 \text{ mm}$, $5 \mu\text{m}$ (Phenomenex, Japonia). Faza ruchoma składała się z acetonitrylu oraz buforu $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_3\text{COOH}$ o pH 3,0 w proporcjach 50/50 (v/v). Prędkość przepływu fazy

ruchomej wynosiła $0,15 \text{ cm}^3/\text{min}$, chromatogramy były rejestrowane przy długości fali 294 nm, odpowiadającej maksimum absorpcji 2,4,6-trichlorofenolu.

Kinetykę adsorpcji z czystej wody i czystego metanolu zbadano dla stężenia początkowego 2,4,6-TCP $0,25 \text{ mmol/dm}^3$. W badaniach statycznych stężenia początkowe adsorbentu wynosiły kolejno: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 i $0,5 \text{ mmol/dm}^3$. Badania przeprowadzono dla wody oraz roztworów zawierających: 25, 50, 75 i 100% metanolu.

2. Dyskusja wyników

W badaniach kinetycznych próbki roztworów oznaczano ilościowo po czasie: 1, 2, 3, 4, 5 i 6 h. Uzyskane rezultaty, przedstawione w postaci wykresu zależności C_t/C_0 w funkcji czasu, pokazano na rysunku 1a. Widać na nim, że kinetyka adsorpcji 2,4,6-TCP na węglu aktywnym z wody i metanolu przebiega inaczej. W przypadku wody równowaga ustaliła się po około 5÷6 godzinach, natomiast w metanolu szybciej, bo już po około 3÷4 godzinach. Ilości adsorbentu, które zaadsorbowały się na węglu aktywnym z obydwu rozpuszczalników różnią się zdecydowanie. Z wody ubyło około 93%, a z metanolu zaledwie 41% 2,4,6-trichlorofenolu.

Do opisu kinetyki zastosowano dwa najpopularniejsze modele matematyczne Lagergrena [22] oraz Ho-McKaya [23] (pseudo I i pseudo II rzędu). Równanie pseudo I rzędu ma postać:

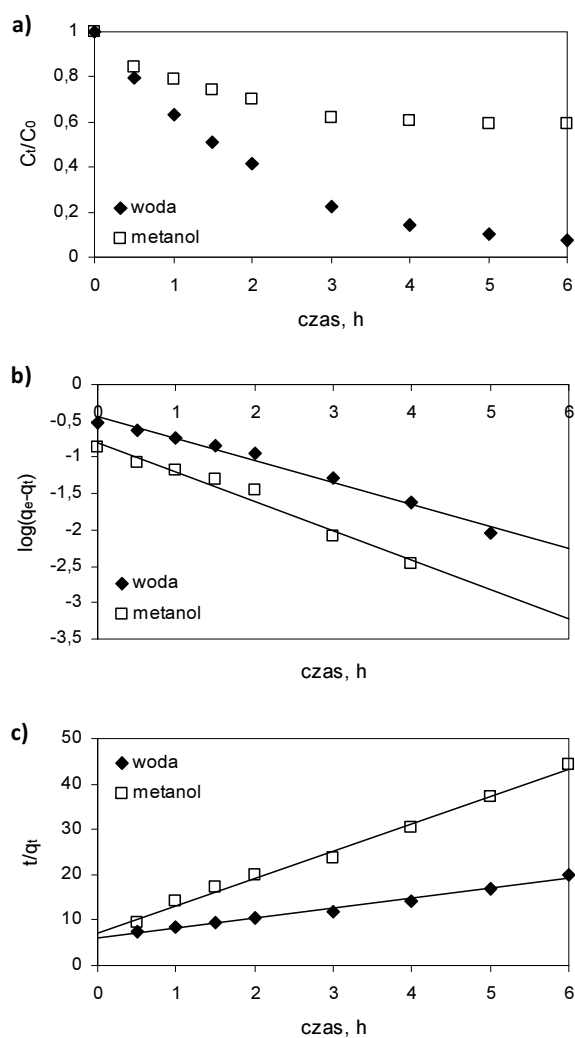
$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (1)$$

gdzie q_e i q_t oznaczają wielkość adsorpcji w stanie równowagi oraz po czasie t , mmol/g.

Krzywe kinetyczne wykonane w układzie zależności $\log(q_e - q_t) = f(t)$ zostały przedstawione na rysunku 1b. Na podstawie wyznaczonych metodą najmniejszych kwadratów równań prostych wyliczono wartości stałych szybkości k_1 , 1/h. Równanie pseudo II rzędu wyrażone jest wzorem:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

Wykresy sporządzano dla zależności t/q_t w funkcji czasu i przedstawiono na rysunku 1c. Stałe szybkości k_2 ($\text{g}/\text{mmol} \cdot \text{h}$) wyliczono na podstawie współczynników nachylenia i przesunięcia prostych. Wszystkie wyliczone parametry kinetyczne - stałe szybkości k_1 i k_2 oraz współczynniki korelacji R^2 zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 1. Przebieg adsorpcji 2,4,6-trichlorofenolu z wody i metanolu (a) oraz opis danych doświadczalnych równaniem kinetycznym pseudo I rzędu (b) i pseudo II rzędu (c)

Fig. 1. Kinetics of adsorption of 2,4,6-trichlorophenol from water and methanol (a) according to pseudo first-order equation (b) according to pseudo second-order equation (c)

Tabela 1. Stałe szybkości równań pseudo I i II rzędu opisujących adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym Norit R3-ex

Table 1. Pseudo first- and pseudo second-order rate constants for adsorption of 2,4,6-trichlorophenol onto Norit R3-ex activated carbon

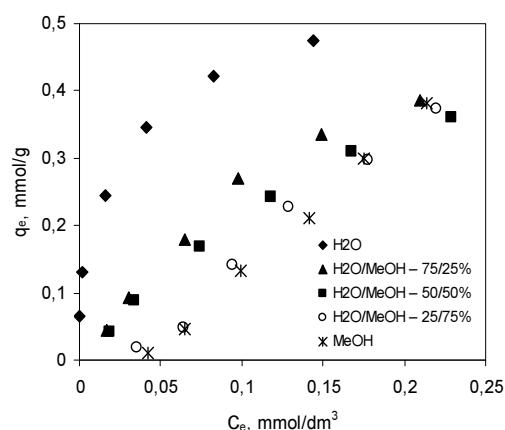
Rozpuszczalnik	Równanie pseudo I rzędu		Równanie pseudo II rzędu	
	k_1 , 1/h	R^2	k_2 , g/mmol·h	R^2
Woda	0,698	0,984	1,816	0,991
Metanol	1,856	0,974	7,530	0,992

Kinetyka adsorpcji 2,4,6-trichlorofenolu przebiegała zgodnie z modelem pseudo II rzędu, o czym świadczą wyższe wartości współczynników korelacji. Proces zachodził szybciej w metanolu niż w wodzie, wartości stałych szybkości k_2 wynosiły odpowiednio 7,530 i 1,816 g/mmol·h. Z metanolu zaadsorbowało się jednak ponad 2-krotnie mniej 2,4,6-TCP niż z wody.

Na podstawie wyliczonych wartości q_e oraz wyznaczonych eksperymentalnie wartości C_e sporządzono izotermę adsorpcji, które zostały przedstawione na rysunku 2. Do opisu uzyskanych izoterm zastosowano równanie Freundlicha [24], które w swojej liniowej postaci wyrażone jest wzorem:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

gdzie: K_F - stała równania Freundlicha, $(\text{mmol/g}) \cdot (\text{dm}^3/\text{mmol})^{1/n}$, n - wykładnik równania. Prostoliniowe izotermę Freundlicha wykreślono w układzie zależności $\ln q_e$ od $\ln C_e$ i na podstawie wyliczonych metodą najmniejszych kwadratów współczynników nachylenia i przesunięcia prostych wyznaczono wartości stałych K_F i n , które wraz z wartościami współczynników R^2 przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 2. Izotermę adsorpcji 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym z mieszanin woda/metanol o różnym składzie procentowym

Fig. 2. Adsorption isotherms of 2,4,6-trichlorophenol onto activated carbon from different water/methanol mixtures

W miarę wzrostu zawartości metanolu w roztworze zmienia się kształt izoterm. Punkty doświadczalne przesuwają się w prawo i układają się coraz to bardziej w linii prostej.

Wysoka wartość współczynnika korelacji zaobserwowana dla wody (0,999) świadczy o bardzo dobrym dopasowaniu modelu teoretycznego do izotermę doświadczalnej. Wraz ze wzrostem udziału alkoholu w roztworze wartości R^2 pogarszają się, jednak nawet w skrajnym przypadku (100% metanolu) model Freundlicha daje dobre rezultaty ($R^2 = 0,963$). Wartości $1/n$ zmniejszają się wraz ze

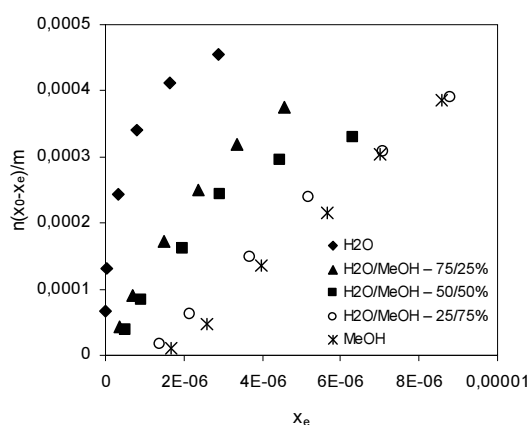
wzrostem zawartości rozpuszczalnika organicznego. Natomiast wartości K_F wyrażające maksymalną adsorpcję na powierzchni adsorbentu zmniejszają się (ponad 5-krotnie). Wszystko to wskazuje, że rozpuszczalnik organiczny wpływa negatywnie na adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym. Zwiększenie stężenia metanolu w roztworze powoduje pogorszenie adsorpcji.

Tabela 2. Parametry równania Freundlicha oraz współczynniki korelacji R^2 opisujące adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym z różnych roztworów

Table 2. Freundlich isotherm equation parameters and correlation coefficients R^2 for adsorption of 2,4,6-trichlorophenol onto activated carbon from different solutions

Roztwór	K_F	$1/n$	R^2
H ₂ O	1,533	0,302	0,999
H ₂ O/MeOH - 75/25%	0,659	0,851	0,987
H ₂ O/MeOH - 50/50%	0,501	0,884	0,977
H ₂ O/MeOH - 25/75%	0,358	1,698	0,972
MeOH	0,288	2,225	0,963

Porównanie wyliczonych parametrów równania Freundlicha do określenia wielkości adsorpcji, chociaż najczęściej stosowane w literaturze, nie uwzględnia jednak zmieniającej się rozpuszczalności adsorbentu w roztworze. Rozpuszczalność 2,4,6-trichlorofenolu w roztworze wzrasta wraz z zawartością procentową metanolu, od 0,708 g/dm³ w wodzie [1] do 1096 g/dm³ w metanolu [25]. Rozpuszczalność w mieszaninach woda/metanol o różnym składzie nie jest jednak znana. Dlatego też w celu ujednoczenia uzyskanych wyników zostały wprowadzone ułamki molowe. Taki sposób prezentacji danych został opisany przez Kiplinga i Wrighta [26], którzy zaproponowali zamiast stężenia równowagowego C_e stosowanie ułamka molowego w stanie równowagi x_e oraz zamiast q_e wyrażenia $n(x_0 - x_e)/m$. W takiej sytuacji zamiast klasycznych izoterm adsorpcji, jak te przedstawione na rysunku 2, konstruuje się izotermę w układzie zależności $n(x_0 - x_e)/m = f(x_e)$, (rys. 3).



Rys. 3. Izotermę adsorpcji 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym: $n(x_0 - x_e)/m = f(x_e)$

Fig. 3. Adsorption isotherms of 2,4,6-trichlorophenol onto activated carbon: $n(x_0 - x_e)/m = f(x_e)$

Takie przedstawienie wyników w pewien sposób je standaryzuje, uwzględnia bowiem taką samą liczbę cząsteczek rozpuszczalnika w stosunku do jednej cząsteczki adsorbentu. Oczywiście metoda ta nie uwzględnia właściwości fizykochemicznych poszczególnych związków oraz ich wzajemnych oddziaływań, może jednak stanowić interesujące rozwiązanie w przypadku zmieniającej się rozpuszczalności.

Podsumowanie

W pracy zbadano wpływ metanolu na adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym zarówno w warunkach dynamicznych, jak i równowagowych. Wyniki pokazały, że rozpuszczalnik organiczny znacząco wpływa na adsorpcję. 2,4,6-trichlorofenol adsorbował się szybciej z metanolu niż z wody, jednak całkowita ilość adsorbentu, jaka została usunięta z roztworu, była o ponad połowę mniejsza. Również w warunkach równowagowych można zauważyć negatywny wpływ rozpuszczalnika organicznego na adsorpcję 2,4,6-trichlorofenolu na węglu aktywnym. Wzrost zawartości metanolu w roztworze powoduje zmianę kształtu izoterm oraz pogorszenie adsorpcji.

Literatura

- [1] Ma K.C., Shiu W.Y., Mackay D., Aqueous solubilities of chlorinated phenols at 25°C, *Journal of Chemical & Engineering Data* 1993, 38, 364-366.
- [2] Dmitruk U., Zbieć E., Dojlido J., Występowanie i oznaczanie chlorofenoli w środowisku wodnym, *Ochrona Środowiska* 2006, 28(3), 25-28.
- [3] Michałowicz J., The occurrence of chlorophenols, chlorocatechols and chlorinated methoxyphenols in drinking water of the largest cities in Poland, *Polish Journal of Environmental Studies* 2005, 14, 327-333.
- [4] Veschuere H.K., *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*, VNR, New York 1983.
- [5] Kuśmirek K., Dąbek L., Kamiński W., Świątkowski A., Ocena przydatności torfu do usuwania chlorofenoli z roztworów wodnych, *Ochrona Środowiska* 2013, 35(2), 51-55.
- [6] Qin Q., Liu K., Fu D., Gao H., Effect of chlorine content of chlorophenols on their adsorption by mesoporous SBA-15, *Journal of Environmental Sciences* 2012, 24(8), 1411-1417.
- [7] Abdel Salam M., Mokhtar M., Basahel S.N., Al-Thabaiti S.A., Obaid A.Y., Removal of chlorophenol from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes: Kinetic and thermodynamic studies, *Journal of Alloys and Compounds* 2010, 500, 87-92.
- [8] Toth V.A., Torocsik A., Tombacz E., Laszlo K., Competitive adsorption of phenol and 3-chlorophenol on purified MWCNTs, *Journal of Colloid and Interface Science* 2012, 387, 244-249.
- [9] Kuśmirek K., Sankowska M., Świątkowski A., Adsorpcja dichlorofenoli z roztworów wodnych na wielościennych nanorurkach węglowych, *Przemysł Chemiczny* 2013, 92(7), 1257-1260.
- [10] Liu Q.S., Zheng T., Wang P., Jiang J.P., Li N., Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers, *Chemical Engineering Journal* 2010, 157, 348-356.

- [11] Biniak S., Świątkowski A., Pakuła M., Sankowska M., Kuśmierek K., Trykowski G., Cyclic voltammetric and FTIR studies of powdered carbon electrodes in the electrosorption of 4-chlorophenol from aqueous electrolytes, *Carbon* 2013, 51, 301-312.
- [12] Jung M.W., Ahn K.H., Lee Y., Kim K.P., Rhee J.S., Park J.T., Paeng K.J., Adsorption characteristics of phenol and chlorophenols on granular activated carbons (GAC), *Microchemical Journal* 2001, 70, 123-131.
- [13] Carrott P.J.M., Mourao P.A.M., Ribeiro Carrott M.M.L., Goncalves E.M., Separating surface and solvent effects and the notion of critical adsorption energy in the adsorption of phenolic compounds by activated carbons, *Langmuir* 2005, 21, 11863-11869.
- [14] Hamdaoui O., Naffrechoux E., Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon, Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters, *Journal of Hazardous Materials* 2007, 147, 381-394.
- [15] Hameed B.H., Chin L.H., Rengaraj S., Adsorption of 4-chlorophenol onto activated carbon prepared from rattan sawdust, *Desalination* 2008, 225, 185-198.
- [16] Tseng R.L., Wu K.T., Wu F.C., Juang R.S., Kinetics studies on the adsorption of phenol, 4-chlorophenol, and 2,4-dichlorophenol from water using activated carbons, *Journal of Environmental Management* 2010, 91, 2208-2214.
- [17] Hossain G.S.M., McLaughlan R.G., Sorption of chlorophenols from aqueous solution by granular activated carbon, filter coal, pine and hardwood, *Environmental Technology* 2012, 33, 1839-1846.
- [18] Kuśmierek K., Sankowska M., Świątkowski A., Kinetic and equilibrium studies of simultaneous adsorption of monochlorophenols and chlorophenoxy herbicides on activated carbon, *Desalination and Water Treatment* 2013, in press, DOI: 10.1080/19443994.2013.780984
- [19] Dąbek L., Ozimina E., Picheta-Oleś A., Wykorzystanie węgla aktywnego i nadtlenu wodoru w oczyszczaniu ścieków przemysłowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14(2), 181-189.
- [20] Bansal R.C., Goyal M., Adsorpcja na węglu aktywnym, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
- [21] Mestre A.S., Marques S.C.R., Carvalho A.P., Effect of the alcohol cosolvent in the removal of caffeine by activated carbons, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2012, 51, 9850-9857.
- [22] Lagergren S., Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe, *Vetenskapsakad Handling* 1898, 24, 1-39.
- [23] Ho Y.S., McKay G., Pseudo-second-order model for sorption processes, *Process Biochemistry* 1999, 34, 451-465.
- [24] Freundlich H.M.F., Über die Adsorption in Lösungen, *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 1906, 57, 385-470.
- [25] O'Neil M.J. (ed.), *The Merck Index: an Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*, Merck, New Jersey 2006.
- [26] Kipling J.J., Wright E.H.M., Adsorption from binary systems of limited concentration range: application of some fundamental concepts, *Journal of the Chemical Society (Resumed)* 1962, 160, 855-860.

Adsorption of 2,4,6-Trichlorophenol onto Activated Carbon from Water-methanol Solutions

Adsorption of chlorophenols on activated carbon is one of the most popular methods for their removal from water. The adsorption process is affected by the adsorbate and adsorbent properties, temperature, and solution properties (e.g. ionic strength, pH). The influence of

these parameters on the adsorption of chlorophenols on activated carbon is well documented, but to our knowledge there is no information on the effect of organic solvents. The purpose of this study was to examine the adsorption of the 2,4,6-trichlorophenol on activated carbon Norit R3-ex from water, methanol, and from water/methanol mixtures of different composition (25/75, 50/50 and 75/25%). Both, the kinetics and adsorption equilibria were investigated. The adsorbate concentrations in the solutions were measured by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection. The kinetic studies were conducted for initial concentration of chlorophenol 0.25 mmol/dm^3 from water and methanol. It was observed that 2,4,6-trichlorophenol was adsorbed more rapidly from the methanol than from the water, but nevertheless effective adsorption was much worse (41 vs. 93%). Adsorption equilibrium was achieved after 5 hours for water and after about 3 hours for methanol, respectively. In order to investigate the kinetics of adsorption the constant of adsorption were determined in terms of the pseudo-first-order and pseudo-second-order equations. The results showed that the pseudo-first-order model gives poor fitting with low R^2 values, whereas the pseudo-second order model fits the experimental data quite well with correlation coefficients better than 0.99. Adsorption equilibrium data were also analyzed and were fitted well using Freundlich isotherm in the studied concentration range (from 0.05 to 0.5 mmol/dm^3). The values of K_F determined from the Freundlich plots decreased with increasing amount of methanol in a solution (from 1.533 for water to 0.288 for pure methanol). This suggests that methanol has a negative effect on the adsorption on activated carbon. Increasing of the methanol concentration in the solution results in deterioration of the 2,4,6-trichlorophenol adsorption.

Keywords: 2,4,6-trichlorophenol, adsorption, activated carbon, organic solvents