

Andrzej Jodłowski, Katarzyna Śmigielska

## Zastosowanie szybkiego testu mikrokolumnowego do oceny wpływu naturalnych substancji organicznych na skuteczność usuwania zanieczyszczeń z wody na węglu aktywnym

Podczas oczyszczania wód powierzchniowych do celów wodociągowych niezbędne jest usunięcie zarówno zanieczyszczeń antropogenicznych, jak i naturalnie obecnych substancji organicznych (NOM – natural organic matter), przedostających się do wód w wyniku procesów przebiegających w zlewni. Syntetyczne związki organiczne obejmują bardzo dużą grupę różnego rodzaju struktur chemicznych powstających w wyniku działalności gospodarczej. Skuteczność ich usuwania podczas oczyszczania wody z wykorzystaniem konwencjonalnych procesów technologicznych jest ograniczona [1]. Za najbardziej skuteczną metodę usuwania rozpuszczonych substancji organicznych z wody uznaje się sorpcję na węglu aktywnym, który w układach oczyszczania wody może być stosowany w postaci pylistej (PWA) lub granulowanej/formowanej (GWA). Sorpcja z użyciem węgla aktywnych umożliwia skuteczne usuwanie z wody m.in. takich mikrozanieczyszczeń, jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, pestycydy, substancje powierzchniowo czynne i chlorowane związki organiczne, czyli związków chemicznych pochodzenia przemysłowego [2,3], a także związków organicznych powstających w warunkach naturalnych, w tym substancji pogarszających smak i zapach wody [4]. Część naturalnych substancji organicznych, które nie zostały usunięte w procesach poprzedzających sorpcję, konkuruje o miejsca aktywne w strukturze węgla aktywnego, utrudniając usuwanie z wody syntetycznych związków organicznych, mających w wielu wypadkach szkodliwy wpływ na zdrowie konsumentów.

Ważnym zagadnieniem wymagającym analizy na etapie projektowania i eksploatacji filtrów z węglem aktywnym jest ocena wpływu naturalnych substancji organicznych na skuteczność usuwania domieszek i zanieczyszczeń pojawiających się w ujmowanej wodzie okresowo. Przydatnym narzędziem w rozwiązywaniu takich problemów może być szybki adsorpcyjny test mikrokolumnowy (RSSCT – rapid small-scale column test) [5,6]. W pracy omówiono podstawy projektowania tego testu, warunki jego prowadzenia oraz sposób interpretacji wyników badań. Przedstawiono także przykłady wyników badań nad usuwaniem naturalnych substancji organicznych oraz syntetycznych związków organicznych, prowadzonych z wykorzystaniem filtrów wypełnionych zarówno świeżym GWA, jak i węglem o częściowo wyczerpanej zdolności sorpcyjnej.

### Charakterystyka testu mikrokolumnowego

Stosowanymi obecnie metodami oceny działania filtrów sorpcyjnych są porcjowe badania laboratoryjne, pozwalające na określenie parametrów izoterm adsorpcji, długookresowe badania pilotowe oraz szybki test mikrokolumnowy. Test mikrokolumnowy symuluje działanie filtru węglowego w pełnej skali technicznej. Jego zasada opiera się na zachowaniu podobieństwa liczb kryterialnych charakteryzujących warunki transportu masy w złożu GWA w skali technicznej zawierającego ziarna węgla handlowego i w mikrokolumnie wypełnionej ziarnami tego samego węgla lecz o mniejszej wielkości. W teście stosuje się złożo węgla o wysokości od kilku do kilkunastu centymetrów.

Liczby kryterialne umożliwiające przeniesienie skali obejmują liczbę Pecleta, moduł dyfuzji powierzchniowej, liczbę Stanton'a i liczbę Reynoldsa. Na podstawie przyjętego współczynnika skalowania ( $W_s$ ) można określić zależność pomiędzy czasem kontaktu z pustym filtrem ( $\tau$ ) w mikrokolumnie (empty bed contact time) i dużej kolumnie, jak również ustalić obciążenie hydrauliczne mikrokolumny ( $O_h$ ) oraz czas jej pracy do przebiccia złoża ( $t_p$ ). Czas pracy mikrokolumny do momentu przebiccia złoża jest stosunkowo krótki, z uwagi na zastosowanie cząstek węgla o mniejszej wielkości, a ilość wody niezbędna do przeprowadzenia testu jest stosunkowo mała. Metoda ta nie jest jednak pozbawiona wad. Test mikrokolumnowy, pomimo że jest znacznie mniej kosztowny niż badania prowadzone w skali pilotowej, nie umożliwia uchwycenia sezonowych zmian jakości wody, nie pozwala też na uwzględnienie aktywności mikrobiologicznej złoża i ocenę wpływu płukania złoża na skuteczność działania GWA. Pomimo niewątpliwych mankamentów, szybki test mikrokolumnowy jest szeroko stosowany w badaniach nad sorpcyjnym usuwaniem zanieczyszczeń z wód powierzchniowych i podziemnych.

### Projektowanie mikrokolumny

Punktem wyjścia w projektowaniu szybkiego testu mikrokolumnowego jest określenie wartości współczynnika skalowania ( $W_s$ ) w postaci stosunku średnic cząstek w dużej ( $d_{dk}$ ) i małej kolumnie ( $d_{mk}$ ) [6,7]:

$$W_s = \frac{d_{dk}}{d_{mk}} \quad (1)$$

Zależność współczynnika dyfuzji wewnątrzcząstkowej ( $D$ ) od wielkości cząstki GWA ( $d$ ) może być wyrażona równaniem [6,7]:

$$D_{mk} = \left( \frac{d_{mk}}{d_{dk}} \right)^x D_{dk} = W_s^{-x} D_{dk} \quad (2)$$

w którym  $x$  określa charakter zależności współczynnika dyfuzji od wielkości cząstki GWA, a indeksy  $mk$  i  $dk$  odnoszą się odpowiednio do mikrokolumny i kolumny pilotowej/technicznej.

Równania projektowe opracowane początkowo z założeniem zachowania stałego współczynnika dyfuzji ( $SD$ ), kiedy  $x=0$  [8]. Jednak wyniki wielu testów mikrokolumnowych i porcjowych testów kinetycznych dowiodły, że współczynnik dyfuzji zmniejsza się proporcjonalnie wraz ze zmniejszaniem wielkości cząstek GWA i w wielu przypadkach należy stosować proporcjonalny współczynnikiem dyfuzji ( $PD$ ), a wówczas  $x=1$  [9].

Określenie czasu kontaktu z pustym złożem ( $\tau_{mk}$ ) umożliwia następujące równanie [6,7]:

$$\tau_{mk} = \tau_{dk} \left( \frac{d_{mk}}{d_{dk}} \right)^{2-x} \quad (3)$$

w którym:

$\tau_{mk}$  i  $\tau_{dk}$  – czas kontaktu z pustym filtrem w małej i dużej kolumnie, min

Związek pomiędzy czasami pracy małej i dużej kolumny określa równanie:

$$\frac{\tau_{mk}}{\tau_{dk}} = \left( \frac{d_{mk}}{d_{dk}} \right)^{2-x} = W_s^{x-2} \quad (4)$$

Wysokość złoża w mikrokolumnie ( $l_{mk}$ ) można zaprojektować wykorzystując równanie:

$$l_{mk} = O_h^{mk} \cdot \tau_{mk} \quad (5)$$

w którym:

$O_h^{mk}$  – obciążenie hydrauliczne mikrokolumny, mm/min

Obciążenie hydrauliczne mikrokolumny ustala się zakładając dominację wewnętrznego transportu masy, przy wykorzystaniu stosunku minimalnej wartości liczby Reynoldsa w mikrokolumnie ( $Re_{mk}^{min}$  – przyjmowanej w zakresie 0,5+1,0) i liczby Reynoldsa w dużej kolumnie [7]:

$$O_h^{mk} = W_s O_h^{dk} \left( \frac{Re_{mk}^{min}}{Re_{dk}} \right) \quad (6)$$

Rodzaj dominującego mechanizmu transportu masy można ocenić na podstawie wartości liczby Biota. Porównanie wybranych parametrów projektowych mikrokolumny i kolumny pilotowej przedstawiono w tabeli 1 [8].

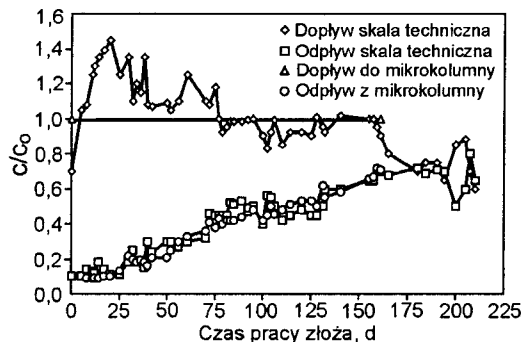
Zachowanie podobieństwa działania filtrów węglowych w małej i dużej skali wymaga ustalenia warunków testu mikrokolumnowego, obejmujących odpowiednią wielkość ziaren GWA, czas kontaktu i obciążenie hydrauliczne. Wielokrotnie stwierdzono, że system mikrokolumnowy zapewniał uzyskanie krzywej wyjścia analogicznej do krzywej wyjścia układu pilotowego lub w skali technicznej.

Tabela 1. Wybrane parametry projektowe mikrokolumny i kolumny pilotowej [8]

Parametr	Mikrokolumna	Kolumna pilotowa
Średnica ziarna GWA, mm	0,21	1,03
Średnica kolumny, mm	11	50
Wysokość kolumny, mm	17,1	83,3
Czas kontaktu w pustym filtrze, s	2,51	60
Prędkość przepływu wody, m/h	24,4	5,0
Objętość złoża GWA, $cm^3$	1,62	164
Natężenie przepływu, $dm^3/min$	0,0387	0,164

## Badania filtrów ze świeżym węglem aktywnym

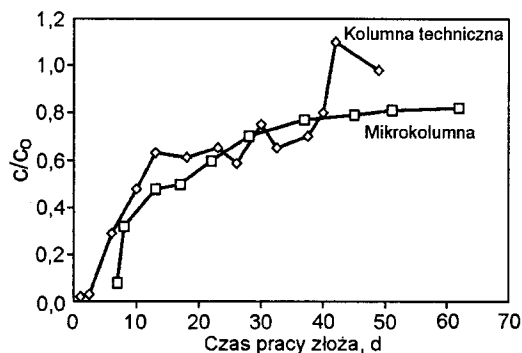
Uzyskanie wysokiego stopnia usuwania naturalnych substancji organicznych podczas oczyszczania wody jest niezbędne, ponieważ związki wchodzące w skład tej grupy domieszek wód naturalnych odgrywają istotną rolę w transporcie zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych. Są prekursorami ubocznych produktów dezynfekcji i mogą stanowić pożywkę dla bakterii zasiedlających sieć wodociągową. W skład naturalnych substancji organicznych wchodzi frakcja hydrofilowa (m.in. kwasy karboksylowe, węglowodany i białka) oraz hydrofobowa, którą tworzą głównie substancje humusowe. Obszerne badania dotyczące usuwania naturalnych substancji organicznych, w celu istotnego ograniczenia obecności prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji, w procesie sorpcji na GWA zaprezentowano w pracy [7]. Przykładowe wyniki badań nad adsorpcją naturalnych substancji organicznych ze wstępnie oczyszczonej wody powierzchniowej z rzeki Ohio przedstawiono na rysunku 1. Proces technologiczny zrealizowany w Cincinnati Water Works obejmował koagulację siarczanem glinu, sedimentację, filtrację i adsorpcję. W trakcie badań prześlędzono zmiany zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO) przez 210 dob pracy filtru sorpcyjnego w skali technicznej. Porównawczo przeprowadzono badania, w których zastosowano szybki test mikrokolumnowy. Zawartość OWO w dopływie do instalacji technicznej (rys. 1) zostało znormalizowane w stosunku do średniej zawartości z okresu badawczego, które wynosiło  $2,1 \text{ gC/m}^3$ . Wodę zastosowaną w badaniach testowych zawierającą OWO w ilości  $2,0 \text{ gC/m}^3$  pobrano po 120 dobach pracy filtru technicznego. Zawartość OWO w dopływie do mikrokolumny była normalizowana w stosunku do średniej z kilku badań wykonanych w czasie trwania testu. Czas działania mikrokolumny z zastosowaniem modelu PD przeliczono z użyciem równania (4) i wyrażono w skali czasu pracy filtru technicznego. Wyniki testu mikrokolumnowego w zadowalającym stopniu symulowały wyniki uzyskane w skali technicznej,



Rys. 1. Krzywe wyjścia substancji organicznych (OWO) z filtru sorpcyjnego w skali technicznej w porównaniu z wynikami testu mikrokolumnowego [7]

pomimo znacznych zmian zawartości OWO w dopływie do instalacji technicznej. Biodegradacja, która – jak przypuszczano – zachodziła w adsorberze w pełnej skali technicznej, nie wpływała w istotny sposób na porównanie przebiegu sorpcji w obu układach. Stwierdzono, że frakcja biodegradowalna RWO w dopływie do filtrów węglowych wynosiła 25%.

Możliwość symulowania działania adsorberów w skali technicznej z użyciem szybkiego testu mikrokolumnowego potwierdzają wyniki badań przedstawione w pracy [6]. Badano skuteczność usuwania prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji, przy czym założono, że zawartość naturalnych substancji organicznych w odpływie z filtrów adsorpcyjnych będzie odzwierciedlona przez stężenie ogólnych związków halogenoorganicznych (TOX) i trihalometanów (THM) w wodzie poddanej chlorowaniu. W badaniach zastosowano test SDS (simulated distribution system test), symulujący powstawanie THM i TOX w systemie dystrybucji wody. Badania przeprowadzono na mikrokolumnie o średnicy wewnętrznej 8 mm wypełnionej węglem aktywnym o średnicy ziaren 0,20 mm, zaprojektowanej zgodnie z modelem PD. Woda przepływała przez złożo o wysokości 0,22 m z prędkością 6,8 m/h przy czasie kontaktu wynoszącym 2,0 min. Uzyskane wyniki dowiodły, że działanie mikrokolumny dobrze symulowało przebieg sorpcji w skali technicznej zarówno w przypadku TOX, jak i THM (rys. 2). Wartości stężeń wyjściowych kontrolowanych wskaźników jakości wody zostały znormalizowane w stosunku do stężeń wejściowych ( $c/c_0$ ), a czas działania mikrokolumny przeskalowano zgodnie z równaniem (4).

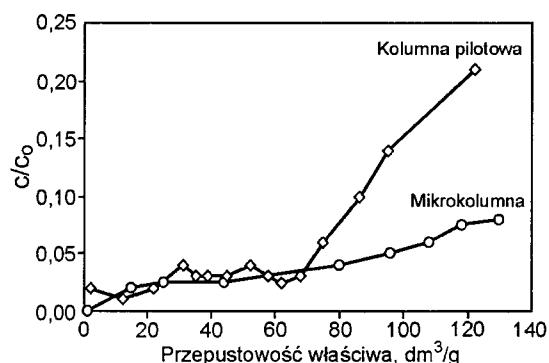


Rys. 2. Porównanie krzywych wyjścia znormalizowanych stężeń ogólnych trihalometanów (TTHM) uzyskanych w teście SDS [6]

Wyniki badań nad skutecznością sorpcji z użyciem GWA w usuwaniu naturalnych substancji organicznych i trihalometanów w układzie technologicznym stacji oczyszczania wody w Ankarze (Turcja) opisano w pracy [10]. Mikrokolumny adsorpcyjne zastosowane w badaniach pracowały przy czasie kontaktu w zakresie od 0,40 min do 2,67 min. Stwierdzono, że zmniejszenie czasu kontaktu ( $\tau$ ) umożliwiło zwiększenie czasu skutecznego działania złoża GWA, przy jednoczesnym zmniejszeniu stopnia wykorzystania węgla aktywnego. Szybki test mikrokolumnowy zastosowano również do oceny skuteczności usuwania związków pogarszających właściwości organoleptyczne wody ujmowanej z jeziora Winnebago, stanowiącego źródło zaopatrzenia miasta Appleton (Wisconsin, USA) [11]. Test wykorzystano do wyboru GWA, który w sposób najbardziej skuteczny mógłby ograniczyć problemy związane ze smakiem i zapachem wody oraz w celu wyboru odpowiedniego czasu kontaktu. Na podstawie wyników testu mikrokolumnowego dowiedziano, że spośród grupy trzech badanych GWA, największą skutecznością charakteryzował

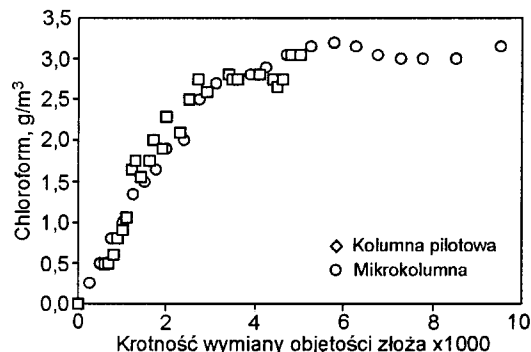
się węgiel, do którego produkcji wykorzystano drewno jako materiał wyjściowy, a utrzymanie czasu kontaktu około 15 min gwarantowało zadowalającą skuteczność jego działania.

Jednym z zastosowań GWA w technologii oczyszczania wody do celów wodociagowych jest usuwanie pestycydów. W pracy [5] zaprezentowano wyniki badań nad zastosowaniem szybkiego testu mikrokolumnowego do oceny skuteczności usuwania atrazyny podczas adsorpcyjnego oczyszczania wody. Stwierdzono, że przyjęcie modelu SD w projektowaniu mikrokolumny pozwoliło na lepszą symulację usuwania pestycydu niż zastosowanie modelu PD. Na podstawie uzyskanych krzywych wyjścia stwierdzono, że badania testowe umożliwiły symulację działania kolumny pilotowej pracującej przez około 3,5 miesiąca. Test mikrokolumnowy ujawnił jednak wyższą skuteczność usuwania atrazyny niż kolumna pilotowa po dłuższym czasie prowadzenia doświadczenia (rys. 3). Jako jedną z przyczyn tego zjawiska podano wpływ zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie na zjawiska zachodzące w złożu węgla aktywnego, powołując się m.in. na prace [12,13].



Rys. 3. Porównanie skuteczności sorpcji atrazyny w badaniach testowych i w kolumnie pilotowej (GWA PICA B) [5]

Celem badań opisanych w pracy [8], prowadzonych z wykorzystaniem szybkiego testu mikrokolumnowego i – porównawczo – kolumny pilotowej, była ocena przebiegu adsorpcji chloroformu, chlorodibromometanu, 1,2-dibromometanu, bromoformu, TCE i PCE z roztworów wodnych na węglem aktywnym. Objętość wody niezbędnej do uzyskania wydajności instalacji około 16 tys. objętości złoża wynosiła w przypadku mikrokolumny tylko 25,9  $dm^3$ , natomiast przeprowadzenie badań pilotowych wymagało doprowadzenia wody w ilości 2618  $dm^3$ . Test trwał około 10 godz., podczas gdy instalacja pilotowa pracowała przez 11,1 d. Badania dowiodły, że było możliwe symulowanie pracy filtru sorpcyjnego z użyciem testu mikrokolumnowego (rys. 4).



Rys. 4. Porównanie krzywych wyjścia chloroformu o stężeniu ok. 3  $g/m^3$  z mikrokolumny i kolumny pilotowej [8]

## Badania filtrów z częściowo wyczerpanym węglem aktywnym

Naturalne substancje organiczne występujące w wodach powierzchniowych (i podziemnych) – głównie substancje humusowe – wpływają na skuteczność sorpcji syntetycznych związków organicznych. Istotną rolę odgrywa nie tylko wielkość i właściwości cząsteczek usuwanego związku, ale także wielkość i właściwości cząsteczek naturalnych substancji organicznych. Właściwości materiału tworzącego tło organiczne wody zależą m.in. od skuteczności procesów technologicznych poprzedzających adsorpcję. Koagulacja umożliwia usuwanie głównie frakcji o większych masach cząsteczkowych, a do filtrów sorpcyjnych dopływa frakcja niskocząsteczkowa. Wyniki badań nad wpływem naturalnych substancji organicznych, które nie zostały usunięte podczas koagulacji, na skuteczność usuwania wybranych adsorbatów w strukturze GWA przedstawiono w pracy [14]. Badano wpływ naturalnych substancji organicznych zawartych w wodzie z Renu na skuteczność adsorpcji trichloroetyleny (TCE) i 1,2,4-trichlorobenzenu (TCB). Wyniki doświadczeń przeprowadzonych z wykorzystaniem testów mikrokolumnowych i kolumn pilotowych dowiodły, że ilość TCE zaadsorbowanego w kolumnie pilotowej była znacznie mniejsza niż przewidywano na podstawie badań porcjowych prowadzonych w celu określenia izoterm adsorpcji na świeżym GWA. Przebieg izoterm adsorpcji na węglu wstępnie obciążonym zanieczyszczeniami ujawnił mniejszą wydajność adsorpcyjną, w porównaniu z wydajnością świeżego węgla. Zaobserwowano także, że przebieg złoża GWA nastąpiło znacznie wcześniej w przypadku testów mikrokolumnowych niż filtrów sorpcyjnych w pełnej skali. Stwierdzono, że zjawisko to ujawniło się zarówno w przypadku zastosowania modelu SD, jak i modelu PD. Wobec tego zmniejszenie wydajności adsorpcyjnej nie zostało poprawnie uwzględnione zarówno w odniesieniu do izoterm opartych na wynikach testu statycznego, jak i na wynikach testów mikrokolumnowych. Aby uniknąć różnic w przewidywaniu wydajności adsorpcyjnej zaproponowano alternatywny sposób z wykorzystaniem izoterm na wstępnie obciążonym GWA, w połączeniu z modelem homogenicznej dyfuzji powierzchniowej lub wstępne obciążanie ziaren GWA w mikrokolumnie, a następnie przeprowadzenie testu.

Przedmiotem badań przedstawionych w pracy [12] było zbadanie kinetyki sorpcji z wykorzystaniem testu mikrokolumnowego i porównanie go z przebiegiem sorpcji w kolumnach pilotowych. W doświadczeniach zastosowano GWA wstępnie obciążony domieszkami zawartymi w wodzie naturalnej pochodzącej z Great Miami Aquifer w Ohio (USA). Adsorbentem był GWA Calgon F400, a usuwanym związkiem cis-1,2-dichloroeten (DCE). Okazało się, że przebiegi krzywej wyjścia zarówno z mikrokolumny, jak i z kolumny pilotowej po wstępnym obciążeniu różniły się statystycznie od krzywych wyjścia z kolumn wypełnionych świeżym GWA, co oznaczało, że zmniejszenie ich skuteczności działania było wynikiem blokowania miejsc aktywnych przez naturalne substancje organiczne.

W pracy [5] przedstawiono wpływ wstępnego blokowania złoża GWA przez naturalne substancje organiczne na skuteczność usuwania atrazyny. Wstępne obciążenie złoża adsorpcyjnego prowadzono przez 5 miesięcy oraz przez 20 miesięcy. Wykazano, że skuteczność sorpcji tego pestycydu w strukturze GWA obciążonego wstępnie substancjami organicznymi przez 5 miesięcy była porównywalna do skuteczności procesu prowadzonego z użyciem świeżego GWA.

Znaczące zmniejszenie zdolności usuwania atrazyny zaobserwowano w przypadku węgla wstępnie obciążonego przez 20 miesięcy. Zostało to spowodowane blokowaniem miejsc aktywnych GWA przez inne zanieczyszczenia. Podczas oceny zdolności sorpcyjnych wcześniej obciążonego GWA zastosowano zarówno model SD, jak i PD. Wykazano, że wyniki uzyskane w teście z mikrokolumną wypełnioną świeżym węglem po zastosowaniu modelu SD zadowalająco opisywały usuwanie pestycydu w trakcie procesu trwającego w pełnej skali od 3,5 miesiąca do 7 miesięcy. Doświadczenia z użyciem testu mikrokolumnowego z powodzeniem symulowały przebieg adsorpcji atrazyny, jaki obserwowano podczas badań pilotowych z GWA wstępnie obciążonym substancjami organicznymi przez 5 miesięcy. Nie można było natomiast przewidzieć zmniejszenia zdolności usuwania atrazyny w badaniach pilotowych, jak również podczas badań z wykorzystaniem testu mikrokolumnowego po wstępnym obciążeniu złoża GWA przez 20 miesięcy i stosując model SD. Przypuszczano, że rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi w badaniach mikrokolumnowych i pilotowych mogły zostać spowodowane powolnymi reakcjami polimeryzacji zaadsorbowanych naturalnych substancji organicznych w obecności tlenu.

W pracy [15] przedstawiono zagadnienie blokowania miejsc aktywnych GWA przez naturalne substancje organiczne w procesie adsorpcji atrazyny i bentazonu. Sprawdzono przydatność testu mikrokolumnowego w przewidywaniu warunków sorpcji badanych związków w pełnej skali. Zwrócono uwagę, że testy mikrokolumnowe powinny być poprzedzone eliminacją wpływu naturalnych substancji organicznych np. poprzez zastosowanie filtracji membranowej, włókien węgla aktywnego lub ozonu, co zwiększyłyby ich przydatność w przewidywaniu przebiegu krzywych wyjścia uzyskanych w pełnej skali technicznej.

W pracy [16] opisano możliwości symulowania działania dużych filtrów sorpcyjnych na podstawie testów mikrokolumnowych, przy zróżnicowanej zawartości tlenu w oczyszczanej wodzie. Roztwory badanych adsorbatów składały się z trzech lotnych związków organicznych (1,2-dibromo-3-chloropropan, chloroform, chlorobenzen) w obecności związków tła organicznego. Jako źródło naturalnych substancji organicznych użyto odcieku ze składowiska odpadów stałych. Szybki test mikrokolumnowy zaprojektowano zgodnie z założeniami modelu SD. Zastosowanie testu mikrokolumnowego umożliwiło dokładnie przewidywanie działania filtru sorpcyjnego w warunkach anoksycznych. Zawiodły jednak przewidywania działania filtru w warunkach tlenowych przy stężeniach  $8 \text{ gO}_2/\text{m}^3$  i  $30 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ . Z kolei test mikrokolumnowy, zaprojektowany zgodnie z założeniami modelu PD, dokładnie przewidział działanie kolumny sorpcyjnej w warunkach tlenowych i w warunkach otoczenia, ale zawiodł w przewidywaniu działania w warunkach anoksycznych. Obecność tlenu cząsteczkowego w środowisku testowym spowodowała zwiększenie sorpcji naturalnych substancji organicznych w strukturze węgla, co ograniczyło wydajność adsorpcji usuwanych związków.

## Podsumowanie

Usuwanie substancji organicznych podczas oczyszczania wody jest ważnym zagadnieniem, przede wszystkim z uwagi na zmniejszenie intensywności barwy wody, usuwanie prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji i ograniczanie potencjału wtórnego zanieczyszczenia sieci wodociągowej. Dotychczasowe badania dowiodły, że skuteczność sorpcji

rozpuszczonych substancji organicznych na węglu aktywnym zależy od wielu czynników fizyczno-chemicznych, w tym m.in. od stężenia adsorbentu, rodzaju i wielkości jego cząstek, pH, siły jonowej, stężenia jonów wapnia i magnezu, stężenia tlenu itp., co stanowi istotne utrudnienie w prawidłowej ocenie możliwości sorpcyjnych węgla aktywnego.

Szybki sorpcyjny test mikrokolumnowy jest interesującą alternatywą innych badań technologicznych, mających na celu określenie skuteczności usuwania rozpuszczonych zanieczyszczeń z wód powierzchniowych (i podziemnych) metodą sorpcji z wykorzystaniem GWA. Możliwość przewidywania czasu pracy złóż GWA w warunkach technicznych na podstawie testu prowadzonego w warunkach laboratoryjnych, w krótkim czasie i przy niewielkim zużyciu badanej wody, stanowi interesującą metodę badawczą, pomimo kilku mankamentów i niedoskonałości. Podstawy teoretyczne testu mikrokolumnowego opierają się na zachowaniu równości liczb bezwymiarowych, charakteryzujących warunki transportu masy panujące w mikrokolumnie i w filtrze sorpcyjnym w skali technicznej. Z kolei na podstawie analizy wymiarowej można określić wiele parametrów konstrukcyjnych mikrokolumny i warunków jej pracy, m.in. wielkość ziaren GWA, wysokość mikroziarna, jego obciążenie hydrauliczne i czas kontaktu. Wyniki uzyskane podczas badań z użyciem szybkiego testu mikrokolumnowego mogą być przenoszone na działanie systemu w pełnej skali technicznej. Dotychczasowe badania z wykorzystaniem szybkiego testu mikrokolumnowego dotyczyły sprawdzenia zachowania podobieństwa pomiędzy krzywymi wyjścia z badanych kolumn laboratoryjnych i pilotowych lub technicznych, ustalenia charakteru współczynnika dyfuzji, oceny skuteczności określonego GWA w odniesieniu do badanych adsorbatów oraz zależności skuteczności procesu od czasu kontaktu wody ze złożem węgla aktywnego. Podczas badań z wykorzystaniem testu mikrokolumnowego są stosowane dwa modele oparte na relacji pomiędzy współczynnikiem dyfuzji powierzchniowej i wielkością ziaren GWA. Ogólnie można uznać, że model wykorzystujący stały współczynnik dyfuzji (SD) może być stosowany w przypadku adsorpcji syntetycznych związków organicznych, ponieważ mechanizm transportu masy jest limitowany przez dyfuzję zewnętrzną, natomiast w przypadku związków o większych masach cząsteczkowych bardziej odpowiedni jest model wykorzystujący proporcjonalny współczynnik dyfuzji (PD), z uwagi na ograniczenie prędkości transportu masy przez dyfuzję powierzchniową.

## LITERATURA

1. M. ŚWIDERSKA-BRÓZ: Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
2. I.N. NAJM, V.L. SNOEYINK, Y. RICHARD: Effect of initial concentration of SOC in natural water on its adsorption by activated carbon. *Jour. AWWA*, 1991, 83 (8), pp. 57–63.
3. P.A. QUINLIVAN, L. LI, D.R.U. KNAPPE: Effects of activated carbon characteristics on the simultaneous adsorption of aqueous organic micropollutants and natural organic matter. *Wat. Res.*, 2005, 39, pp. 1663–1673.
4. D. COOK, G. NEWCOMBE, P. SZTAJNBOK: The application of powdered activated carbon for MIB and geosmin removal: predicting PAC doses in four raw waters. *Water. Res.* 2001, 35, 5, pp. 1325–1333.
5. D.R.U. KNAPPE, V.L. SNOEYINK, P. ROCHE, M.J. PRADOS, M.-M. BOURBIGOT: The effect of preloading on rapid small-scale column test predictions of atrazine removal by GAC adsorbents. *Wat. Res.*, 1997, Vol. 31, No. 11, pp. 2899–2909.
6. L. CUMMINGS, R.S. SUMMERS: Using RSSCTs to predict field-scale GAC control of DBP formation. *Jour. AWWA*, 1994, 86 (6), 88–97.
7. R.S. SUMMERS, S.M. HOOPER, G. SOLARIK, D.M. OWEN, S. HONG: Bench-scale evaluation of GAC for NOM control. *Jour. AWWA*, 1995, 87 (8), pp. 69–80.
8. J.C. CRITTENDEN, J.K. BERRIGAN, D.W. HAND: Design of rapid small-scale column tests for a constant diffusivity. *Jour. WPCF*, 1986, 58 (4), pp. 312–319.
9. J.C. CRITTENDEN, J.K. BERRIGAN, D.W. HAND, B. LYKINS: Design of rapid fixed-bed adsorption tests for non-constant diffusivities. *Jour. Env. Eng.*, 1987, 113 (2), pp. 243–259.
10. G. CAPAR, U. YETIS: Removal of THM precursors by GAC: Ankara case study. *Wat. Res.*, 2002, 36, pp. 1379–1384.
11. G. CROZES, J. HAGSTROM, I.H. SUFFET C. YOUNG: Bench-scale evaluation of adsorptive processes for taste and odors control using rapid small-scale column tests and flavour profile analysis. *Wat. Sci. Tech.*, 1999, 40 (6), pp. 39–44.
12. T.F. SPETH, R.J. MILTNER: Effect of preloading on the scale-up of GAC microcolumns. *Jour. AWWA*, 1989, 81 (4), pp. 141–148.
13. P.J. CERMINARA, G.A. SORIAL, S.P. PAPADIMAS, M.T. SUIDAN, M.A. MOTELES, T.F. SPETH: Effect of influent oxygen concentration on the GAC adsorption of VOCs in the presence of BOM. *Wat. Res.*, 1995, 29 (2), pp. 409–419.
14. R.S. SUMMERS, B. HAIST, J. KOEHLER, J. RITZ, G. ZIMMER, H. SONTHEIMER: The influence of background organic matter on GAC adsorption. *Jour. AWWA*, 1989, 81 (5), pp. 66–74.
15. S.G.J. HEIJMAN, R. HOPMAN: Activated carbon filtration in drinking water production: Model prediction and new concepts. *Colloids and Surfaces A*, 1999, 151, pp. 303–310.
16. J.C. CRITTENDEN, P.S. REDDY, H. ARORA, J. TRYNOSKI, D.W. HAND, D.L. PERRAM, R.S. SUMMERS: Predicting GAC performance with rapid small-scale column tests. *Jour. AWWA* 1991, 83(1), pp. 77–87.

Jodłowski, A., Śmigielska, K. Rapid Small-scale Column Test Used for Assessing the Effect of Natural Organic Matter on the Efficiency of Pollutant Removal from Water on Active Carbon. *Ochrona Środowiska* 2007, Vol. 29, No. 4, pp. 23–27.

**Abstract:** It has been demonstrated that the rapid small-scale column test (RSSCT) enables the sorptive properties of granular activated carbon (GAC) to be determined within a short time by measurements involving fine-grained beds and a high hydraulic load. The results of the RSSCT can be scaled up to predict the performance of GAC-filters under full-scale conditions. Examples

are shown of the removal of organic matter (both natural and anthropogenic) during water treatment for the purpose of municipal supply, with sorption on a GAC bed as a unit process. The paper also specifies the design principles for the microcolumns, the testing conditions and the method of interpreting the test results obtained using columns packed with fresh or partly exhausted GAC.

**Keywords:** Activated carbon, GAC, rapid small-scale column test (RSSCT), natural organic matter, synthetic organic compounds, water treatment.