

Marek Molczan, Małgorzata Wolska

Skuteczność usuwania rozpuszczonych związków organicznych z wody o małej wartości absorbancji właściwej na żywicy anionowymiennej MIEX[®]Gold

Przez kilkanaście lat, które minęły od pierwszego zastosowania procesu magnetycznej wymiany anionowej w usuwaniu substancji organicznych z wody [1], w praktyce korzystano z jednego modelu żywicy magnetycznej, oznaczonego symbolem MIEX[®] (Magnetic Ion EXchange). W tym czasie w wielu laboratoriach powstały liczne inne adsorbenty proskowe zawierające składnik magnetyczny, o potencjalnie podobnych możliwościach stosowania w procesach oczyszczania wody. Poza żywicami o charakterze adsorbentów o wyłącznym działaniu jonowymyennym [2, 3], stworzono też materiały, których działanie wspomaga mechanizm adsorpcji fizycznej [4–6], magnetyczne polimerowe adsorbenty niejonowymienne o rozwiniętej powierzchni [7, 8], magnetyczne pyliste węgle aktywne [9, 10] czy nanocząstki [11, 12].

Rozwinęła się również rodzina żywic MIEX[®], którą tworzą obecnie dwa modele anionitów o nazwach MIEX[®]DOC (wcześniej MIEX[®]) oraz MIEX[®]Gold, a także jeden kationit o nazwie MIEX[®]Plus. Żywica typu Gold jest względnie nowym materiałem, którego cechy ilustrują jeden z możliwych kierunków rozwoju proskowych adsorbentów magnetycznych oraz związanego z nimi procesu usuwania substancji organicznych z wody.

Żywica MIEX[®]Gold

Zważywszy, że nowy materiał przeszedł już do fazy stosowania w skali technicznej, to zasób wiedzy na jego temat należy uznać za bardzo ograniczony, a jego działaniu poświęcono wyjątkowo nieliczne publikacje [13, 14]. Pod względem cech strukturalnych wskazuje się na jego znaczące podobieństwo do żywicy MIEX[®]DOC [14]. Za istotny wyróżnik uznawana jest powierzchnia jonitu, która ma być bardziej rozwinięta niż w przypadku starszego modelu żywicy [13, 14], co ilustrują zdjęcia powierzchni obu materiałów wykonane w technice elektronowej mikroskopii skaningowej prezentowane w opracowaniach [14, 15]. O ile dostępne są dane dotyczące powierzchni właściwej (S_{BET}) żywicy MIEX[®]DOC (według różnych źródeł od 4,34 m²/g do 21,47 m²/g [5, 16, 17]), to analogicznych danych dotyczących jej nowego modelu MIEX[®]Gold dotychczas nie publikowano.

Modyfikacji powierzchni adsorbentu towarzyszył zamysł znany już z innych propozycji jonowymyennych adsorbentów magnetycznych [4–6], zmierzający do zwiększenia możliwości usuwania organicznych substratów procesu adsorpcji. Jednak wydaje się, że w wypadku żywicy MIEX[®]Gold głównym celem nie było uruchomienie mechanizmu adsorpcji fizycznej, lecz stworzenie fizycznych podstaw w celu lepszego wykorzystania jej zdolności jonowymiennej, w wypadku wiązania przez jonit dużych cząsteczek, jakimi są substancje organiczne naturalnie występujące w wodach. W pracach [13, 14] zawarto sugestie, że przy zachowaniu zdolności jonowymiennej, dzięki zwiększeniu powierzchni jonitu, zwiększono odległość między jego centrami aktywnymi. W efekcie wytworzono większą przestrzeń możliwą do wykorzystania przez cząsteczki organiczne związane z tymi centrami oraz transportowane w ich kierunku. Pozwoliło to na ograniczenie zarówno fizycznych, jak i sterycznych oddziaływań między cząsteczkami podlegającymi adsorpcji, które ograniczają możliwości wykorzystania pojemności jonitu.

W jedynej (prawdopodobnie) dostępnej obecnie publikacji o charakterze badawczym, poświęconej żywicy anionowymiennej MIEX[®]Gold [13], badano wpływ zastosowanej modyfikacji na usuwanie naturalnych związków organicznych z trzech źródeł wody cechujących się dużą zawartością składników organicznych (8–22 gC/m³) oraz dużą wartością absorbancji właściwej w nadfiolecie (SUVA) (3,1–4,5 m³/gC-m). Zastosowanie żywicy typu Gold w takich warunkach umożliwiło zwiększenie skuteczności usuwania rozpuszczonych związków organicznych (RWO) o 10–15% w stosunku do wyników uzyskiwanych w przypadku żywicy typu DOC. Stwierdzono też, że dzięki temu możliwe byłoby zmniejszenie zużycia środka regenerującego (także ilości solanki odpadowej) o około 50%, przy utrzymaniu skuteczności usuwania RWO, charakterystycznej w przypadku jonitu starszej generacji. Ten drugi efekt decyduje o zmniejszeniu kosztów eksploatacji, przez co droższa żywica może konkurować w ogólnych kosztach procesu oczyszczania wody z jej tańszym odpowiednikiem.

Skuteczność usuwania substratów organicznych z wody w procesie magnetycznej wymiany anionowej zależy od wielu czynników, w tym od cech oczyszczanej wody, a zwłaszcza zawartych w niej związków organicznych. Jedyne opublikowane dotychczas badania porównawcze usuwania substancji organicznych odnosiły się do wody o bardzo dużej zawartości RWO, którą cechowała również duża wartość absorbancji właściwej w nadfiolecie [13]. Sugerowano też związki pomiędzy wartościami tych wskaźników (zwłaszcza SUVA) a obserwowanymi różnicami

Dr inż. M. Molczan, dr hab. inż. M. Wolska: Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Technologii Oczyszczania Wody i Ścieków, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław marek.molczan@pwr.edu.pl, malgorzata.wolska@pwr.edu.pl oraz: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA we Wrocławiu, Centrum Nowych Technologii, ul. Na Grobli 14/16, 50-421 Wrocław marek.molczan@mpwik.wroc.pl, malgorzata.wolska@mpwik.wroc.pl

w pracy obu testowanych żywic. Dlatego interesującym wydało się sprawdzenie warunków przeciwnych, czyli małej zawartości RWO przy małej wartości SUVA. Dzięki temu można weryfikować rolę tych wskaźników przy odmiennym zakresie ich wartości, ale także poszerzyć zakres doświadczalny nowej żywicy.

Materiały i metody

Badania prowadzono według typowych procedur naczyniowego testu kinetycznego oraz naczyniowego testu wielokrotnego. W pierwszym wypadku badano wpływ dawki żywicy i czasu kontaktu na usuwanie RWO z wody. Stosowano takie same dawki obu żywic (w ujęciu objętościowym) w zakresie $2\div 30\text{ dm}^3/\text{dm}^3$. Próbkę wody do badań pobierano bez przerw w mieszaniu zawartości reaktora, po czasie kontaktu w zakresie $2\div 60\text{ min}$. Test kinetyczny stanowił wstępny etap badań, ukierunkowany przede wszystkim na ustalenie warunków prowadzenia testu wielokrotnego, którego wyniki mają podstawowe znaczenie porównawcze skuteczności badanych materiałów. W teście wielokrotnym ustaloną dawkę żywicy zalewano kolejnymi porcjami wody, przy czym po każdym cyklu mieszania wodę dekantowano i poddawano analizie, natomiast żywicę zalewano kolejną porcją wody. W tym teście stosowano dawkę żywicy wynoszącą $10\text{ cm}^3/\text{dm}^3$ oraz czas kontaktu 20 min. Badania prowadzono z użyciem flokulatora, przy intensywności mieszania (150 obr./min) zapewniającej pełne rozproszenie każdej z żywic w naczyniu.

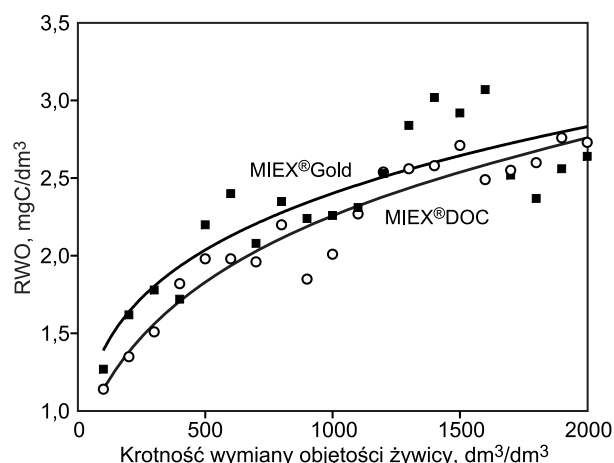
W badaniach korzystano z naturalnej wody powierzchniowej, której skład (tab. 1) nie był modyfikowany. Zakres analityczny obejmował oznaczenie zawartości RWO oraz wartości absorbancji w nadfiolecie ($\lambda=254\text{ nm}$), intensywności barwy, pH, przewodności właściwej oraz zasadowości ogólnej. W wybranych próbkach wody oznaczano też zawartość głównych anionów (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-}) oraz potencjał tworzenia trójhalometanów (THM). Próbkę wody przeznaczoną do oznaczania THM chlorowano stałą dawką $1,0\text{ gCl}_2/\text{m}^3$ w czasie 24 h, którego wartość nawiązuje do czasu przebywania wody w sieci wodociągowej. Substancje tworzące sumę THM (CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 , CHBr_3) oznaczano metodą chromatografii gazowej z detekcją wychwytu elektronów (GC-ECD).

Tabela 1. Charakterystyka oczyszczonej wody powierzchniowej
Table 1. The treated surface water characteristics

Wskaźnik, jednostka	Wartość
Temperatura, °C	19,2
pH	8,18
Przewodność właściwa, $\mu\text{S}/\text{cm}$	413
Mętność, NTU	6,7
Zasadowość ogólna, val/m^3	2,44
Ogólny węgiel organiczny, gC/m^3	4,10
Rozpuszczony węgiel organiczny, gC/m^3	4,00
Barwa, gPt/m^3	14,5
Absorbancja w $\text{UV}_{254\text{ nm}}^{1\text{m}}$	9,18
Absorbancja właściwa w $\text{UV}_{254\text{ nm}}^{1\text{m}}$, $\text{m}^3/\text{gC}\cdot\text{m}$	2,3
Chlorki, gCl^-/m^3	20,35
Siarczany, $\text{gSO}_4^{2-}/\text{m}^3$	39,85
Azotany, $\text{gNO}_3^-/\text{m}^3$	1,94
Fosforany, $\text{gPO}_4^{3-}/\text{m}^3$	<0,02

Wyniki badań

Porównanie skuteczności obu żywic oparto przede wszystkim na wynikach testów wielokrotnych, które pokazały brak znaczących różnic w usuwaniu rozpuszczonych związków organicznych wody wraz z postępującym wysycaniem anionitów (rys. 1). Niemal w całym zakresie wartości krotności wymiany objętości żywicy, nieznacznie lepszą skuteczność wykazywała żywica MIEX[®]DOC. Biorąc pod uwagę przebiegi krzywych aproksymujących dane z testów wielokrotnych można szacować, że największe różnice w skuteczności usuwania RWO dotyczyły początkowej fazy wysycania żywicy, kiedy sięgały 6% na korzyść żywicy typu DOC. W dalszych fazach, które były bliższe warunkom prowadzenia procesu w skali technicznej, nawet te małe różnice ulegały stopniowemu zacieraniu.

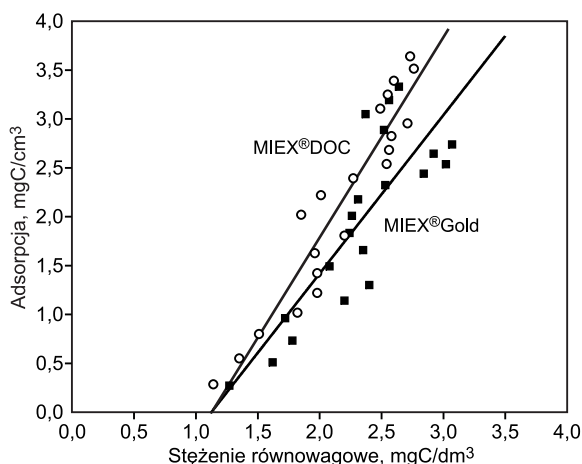


Rys. 1. Wyniki testu wielokrotnego z żywicami MIEX[®]Gold i MIEX[®]DOC

Fig. 1. Results of the multiple-loading jar test for MIEX[®]Gold and MIEX[®]DOC resins

Obraz punktów izoterm adsorpcji (rys. 2) pokazuje z kolei, że nawet małe różnice w usuwaniu RWO kumulują się w postaci zauważalnych różnic w stanach równowag adsorpcyjnych. W badanym zakresie obciążenia obu materiałów w reaktorach występował istotny nadmiar zawartości żywic. Stąd odnotowano względnie małe wartości adsorpcji właściwej, a same punkty izoterm znajdowały się jeszcze w obszarze liniowości. Dlatego nie było podstaw do wyznaczenia standardowych przebiegów izoterm Langmuira czy Freundlicha, a przedstawione zależności liniowe mają wyłącznie charakter poglądowy i interpretacyjnie odnoszą się tylko do badanego zakresu wartości adsorpcji oraz stężeń równowagowych RWO. Porównanie parametrów statyki adsorpcji wskazuje na nieco większe wartości adsorpcji charakteryzujące żywicę MIEX[®]DOC. W analizowanym zakresie stężeń równowagowych różnice te były tym większe, im większa była wartość stężenia równowagowego RWO.

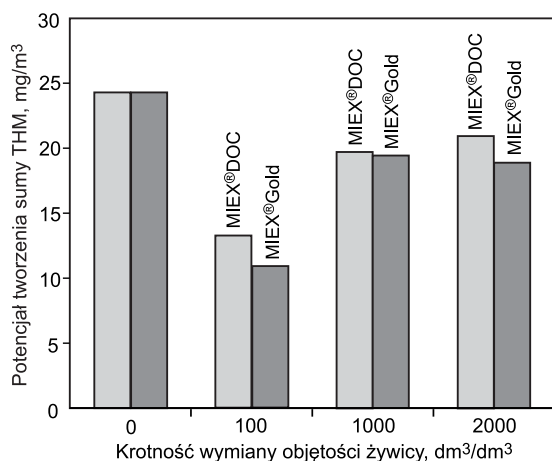
Prekursory THM w największym stopniu usuwane były przez obie żywice o małym stopniu wysycenia (rys. 3). Przy krotności wymiany wynoszącej $100\text{ dm}^3/\text{dm}^3$ potencjał tworzenia THM zmniejszył się w kontakcie z żywicami typu DOC oraz typu Gold odpowiednio o 45% oraz 55%, wobec potencjału tworzenia charakteryzującego wodę przed kontaktem z żywicą. Skuteczniejsze usuwanie prekursorów THM przez żywicę MIEX[®]Gold potwierdzono w każdej z badanych próbek wody. Zmniejszenie wartości potencjału tworzenia THM w przypadku żywic typu



Rys. 2. Izotermie adsorpcji na żywicach MIEX®Gold i MIEX®DOC uzyskane w testach wielokrotnych

Fig. 2. Adsorption isotherms for MIEX®Gold and MIEX®DOC resins obtained in the multiple-loading jar tests

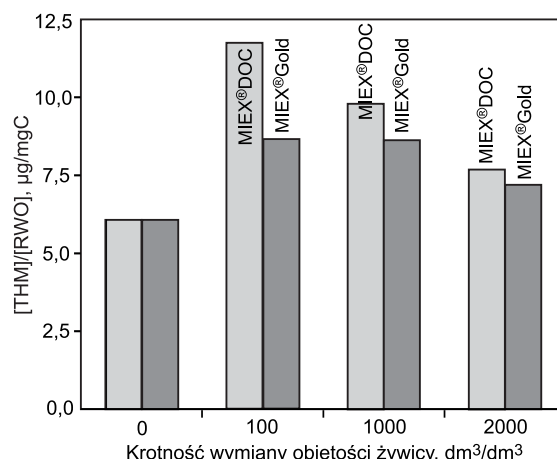
DOC oraz typu Gold wyniosło odpowiednio 19% i 20%, przy krotności wymiany 1000 dm³/dm³, oraz 14% i 22%, przy krotności wymiany 2000 dm³/dm³. Wyniki te wskazują na możliwość stabilizacji przebiegu usuwania prekursorów THM (dotyczy to zwłaszcza MIEX®Gold) w zakresie, w którym zmiany wartości obciążenia żywicy nie wpływają istotnie na usuwanie RWO (rys. 1) oraz zmniejszenie wartości absorbancji w nadfiolecie.



Rys. 3. Potencjał tworzenia ΣTHM przed i po kontakcie wody z żywicami MIEX®Gold i MIEX®DOC

Fig. 3. Total THMFPP before and after the contact of water with MIEX®Gold and MIEX®DOC resins

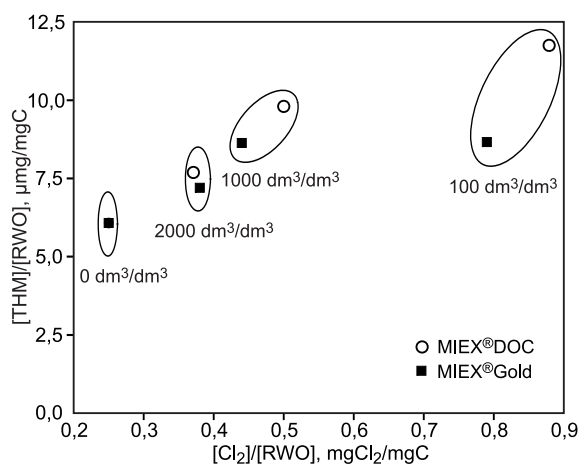
Efekt większego usuwania prekursorów THM przez żywicę typu Gold jest tym bardziej wart podkreślenia, że został uzyskany przy mniejszym stopniu usuwania RWO. Oznacza to, że żywica MIEX®Gold może mieć zdolność bardziej preferencyjnego usuwania prekursorów THM (rys. 4). Pozostaje to w zgodzie z obserwowaną tendencją do preferencyjnego usuwania składników organicznych cechujących się dużą wartością SUVA [13, 18, 19], które prawdopodobnie w większym stopniu odpowiadają za powstawanie THM, niż inne frakcje RWO [20–22]. Jednocześnie należy mieć na uwadze, że wraz ze wzrostem wartości absorbancji właściwej wzrasta również podatność naturalnych związków organicznych na ich usuwanie metodą koagulacji [23], co może wpłynąć na ogólnie mniejszą przydatność żywic anionowymiennych w procesie oczyszczania tych wód.



Rys. 4. Jednostkowy potencjał tworzenia ΣTHM przed i po kontakcie wody z żywicami MIEX®Gold i MIEX®DOC

Fig. 4. The unit ΣTHM formation potential before and after the contact of water with MIEX®Gold and MIEX®DOC resins

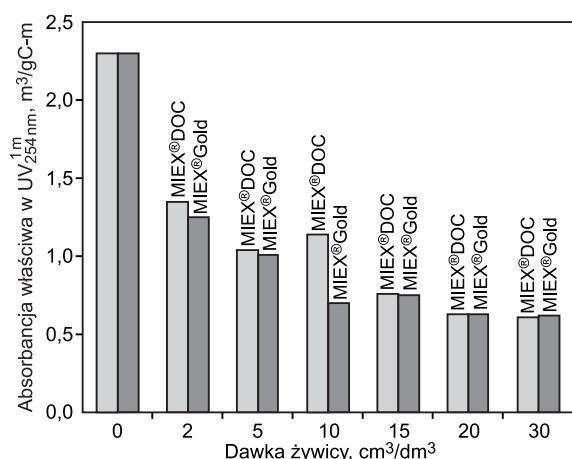
Tworzenie THM jest nie tylko funkcją zawartości ich organicznych prekursorów, ale również dawki chloru. Przy pewnym zróżnicowaniu usuwania RWO, w zależności od rodzaju zastosowanej żywicy oraz krotności wymiany, stałej dawce chloru odpowiadał zakres dawek jednostkowych (odniesionych do 1 g RWO) wynoszący od 0,25 gCl₂/gC (woda przed kontaktem z żywicą) do 0,79 gCl₂/gC (po kontakcie z żywicą MIEX®Gold) i 0,88 gCl₂/gC (po kontakcie z żywicą MIEX®DOC), przy krotności wymiany 100 dm³/dm³. Zwiększenie jednostkowej dawki chloru skutkowało większym potencjałem tworzenia THM odniesionym do jednego grama RWO (rys. 5). Stwierdzono istotny wpływ dawki chloru na wydajność tworzenia THM, przy czym w odniesieniu do wody oczyszczanej z udziałem żywicy MIEX®DOC była ona zawsze większa, a największa różnica dotyczyła największych jednostkowych dawek chloru oraz najmniejszej wartości krotności wymiany (100 dm³/dm³).



Rys. 5. Jednostkowy potencjał tworzenia ΣTHM w funkcji jednostkowej dawki chloru

Fig. 5. Unit ΣTHM formation potential as a function of a unit chlorine dose

Różnice w wartościach absorbancji właściwej w nadfiolecie uzyskane w testach wielokrotnych były małe i nie wskazywały na istotne prawidłowości. Łatwiej można było je zauważyć w wynikach testów kinetycznych (rys. 6), podczas których – dzięki szerokiemu zakresowi dawek i względnie małemu wysyceniu żywic – związki organiczne



Rys. 6. Absorbancja właściwa w nadfiolecie (SUVA) w funkcji dawki żywicy (czas kontaktu 60 min)

Fig. 6. Specific UV absorbance (SUVA) as a function of a resin dose (contact time 60 min)

dysonowały zróżnicowanym, lecz względnie łatwym dostępem do centrów aktywnych żywic. Absorbancja właściwa w nadfiolecie w przypadku wody po teście kinetycznym miała wartość mniejszą niż w przypadku wody przed kontaktem z żywicą, co jest zjawiskiem typowym. W zakresie dawek żywicy 2÷15 cm³/dm³ wartości SUVA malały wraz ze wzrostem dawki (jedyne odstępstwo stanowiła dawka żywicy MIEX®DOC równa 10 cm³/dm³), przy czym w przypadku żywicy typu Gold były zawsze mniejsze niż żywicy typu DOC. Tendencja malejąca utrzymywała się do dawki 20 cm³/dm³, natomiast w zakresie dawek 20÷30 cm³/dm³ nie odnotowano różnic w wartościach SUVA odnoszących się do obu materiałów.

Obie żywice pęczniały w identycznym stopniu i ich objętość w stanie wysyconym, odpowiadającym krotności wymiany równej 2000 dm³/dm³, była o 24% większa niż w wypadku żywicy zregenerowanej (przechowywanej w wodzie zdeminiaralizowanej). Była to wartość znacząco większa niż stwierdzona w pracy [24] przy krotności wymiany powyżej 400 dm³/dm³ (15%). Identyczne pęcznienie żywic w kontakcie z tym samym roztworem może stanowić jedną z oznak potwierdzających znaczące podobieństwo budowy obu materiałów. Stopień pęcznienia żywic ma istotne znaczenie w eksploatacji procesu magnetycznej wymiany anionowej, a z różnic otrzymanywanych w kolejnych badaniach można wnosić, że powinien być on weryfikowany w przypadku każdego źródła oczyszczanej wody.

Podsumowanie

Testy z nową żywicą anionowymienną MIEX®Gold, stosowaną w celu usuwania substancji organicznych z wody, prowadzono dotychczas w ograniczonym zakresie, zdecydowanie niepozwalającym na wyciąganie wniosków o ogólnym charakterze. Odnosiły się one wyłącznie do wód o znaczącej zawartości związków organicznych, charakteryzujących się dużymi wartościami absorbancji właściwej w nadfiolecie. W takich warunkach zwiększona skuteczność nowej żywicy była na tyle istotna, że mogła ona być uznana za alternatywę dla żywicy MIEX®DOC, nawet pomimo jej niższej ceny. Przy odmiennej jakości oczyszczanej wody, która charakteryzowała się małą wartością absorbancji właściwej oraz dużo mniejszą zawartością RWO, różnice w skuteczności obu anionitów były istotnie małe,

przy czym żywica MIEX®DOC wykazywała nieznacznie większą zdolność usuwania związków organicznych. Nie wielka przewaga żywicy MIEX®Gold polegała jedynie na skuteczniejszym usuwaniu prekursorów trójhalemtanów. Zbliżona skuteczność obu materiałów nie wskazuje na zasadność stosowania nowego modelu żywicy w oczyszczaniu wód o małej wartości absorbancji właściwej. Różnice w preferencjach separacyjnych obu modeli żywic nadal nie są dobrze rozpoznane, dlatego rozważanie ich stosowania wymaga każdorazowo weryfikacji doświadczalnej.

Praca powstała w ramach realizacji grantu NCBiR (PBS3/B9/44/2015) „Badania skuteczności nowych technologii oczyszczania wody jako krok ku zmianie myślenia o rozwoju branży wodociągowej” (WODTECH) oraz dzięki zaangażowaniu członków konsorcjum (MPWiK SA we Wrocławiu i Politechnika Wroclawska).

Autorzy dziękują Paniom Annie Solipiwo-Pieścik, Jolancie Sikorskiej oraz Małgorzacie Żółtowskiej z MPWiK SA we Wrocławiu za pomoc w przeprowadzeniu badań.

LITERATURA

1. M. SLUNJSKI, H. NGUYEN, M. BALLARD, R. ELDRIDGE, J. MORRAN, M. DRIKAS, B. O'LEARY, P. SMITH: „MIEX® – good research commercialised. *Water: Journal of Australian Water Association* 2002, Vol. 29, No. 2, pp. 42–47.
2. Y. LEE, J. RHO, B. JUNG: Preparation of magnetic ion-exchange resins by the suspension polymerization of styrene with magnetite. *Journal of Applied Polymer Science* 2003, Vol. 89, No. 8, pp. 2058–2067.
3. A. LI, C. SHUANG, L. CHAO, L. FUQIANG, J. WANG, Q. ZHOU, Y. XUE, Y. ZHOU, M. ZHANG, W. YANG, Z. ZHU: Magnetic, acrylic strongly basic anion exchange microsphere resin and the manufacturing method thereof. Patent US 9,183,972 B2, 2015.
4. M. Q. WANG, Q. ZHOU, M. C. ZHANG, C. D. SHUANG, Y. ZHOU, A. M. LI: Preparation of a novel magnetic resin for effective removal of both natural organic matter and organic micropollutants. *Chinese Chemical Letters* 2013, Vol. 24, No. 7, pp. 601–604.
5. W. CHEN, Y. LIU I C. LIU: Preparation and use of magnetic poly(glycidyl methacrylate) resin in drinking water treatment. *Journal of Applied Polymer Science* 2013, Vol. 130, No. 1, pp. 106–112.
6. Z. FU, H. LI, L. YANG, H. YUAN, Z. JIAO, L. CHEN, J. HUANG I Y. N. LIU: Magnetic polar post-cross-linked resin and its adsorption towards salicylic acid from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal* 2015, Vol. 273, pp. 240–246.
7. Q. ZHOU, Z. LI, C. SHUANG, A. LI, M. ZHANG, M. WANG: Efficient removal of tetracycline by reusable magnetic microspheres with a high surface area. *Chemical Engineering Journal* 2012, Vol. 210, pp. 350–356.
8. Q. ZHOU, M. C. ZHANG, C. D. SHUANG, Z. Q. LI, A. M. LI: Preparation of a novel magnetic powder resin for the rapid removal of tetracycline in the aquatic environment. *Chinese Chemical Letters* 2012, Vol. 23, No. 6, pp. 745–748.
9. T. D. NGUYEN, N. H. PHAN, M. H. DO, K. T. NGO: Magnetic Fe₂MO₄ (M: Fe, Mn) activated carbons: Fabrication, characterization, and heterogeneous Fenton oxidation of methyl orange. *Journal of Hazardous Materials* 2011, Vol. 185, No. 2–3, pp. 653–661.
10. M. H. DO, N. H. PHAN, T. D. NGUYEN, T. T. S. PHAM, V. K. NGUYEN, T. T. T. VU, T. K. P. NGUYEN: Activated carbon/Fe₃O₄ nanoparticle composite: Fabrication, methyl orange removal and regeneration by hydrogen peroxide. *Chemosphere* 2011, Vol. 85, No. 8, pp. 1269–1276.

11. Y. TANG, S. LIANG, S. YU, N. GAO, J. ZHANG, G. HAI-CHENG, Y. WANG: Enhanced adsorption of humic acid on amine functionalized magnetic mesoporous composite microspheres. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2012, Vol. 406, pp. 61–67.
12. Z. LIU, X. WANG, Z. LUO, M. HUO, J. WU, H. HUO, W. YANG: Removing of disinfection by-product precursors from surface water by using magnetic graphene oxide. *PLoS ONE*, doi:10.1371/journal 2015, Vol. 10, No. 12.
13. M. MERGEN, O. ZHAO, M. RAYMOND, A. GIBSON: Enhanced DOC removal with novel MIEX(R) resin in high SUVA waters. Proc. of IWA Natural Organic Matter Research Conference, Perth (WA) 2013.
14. A. GIBSON, S. GOLUBOVIC: MIEX Gold resin: Demonstration at Aireys Inlet. *Water: Journal of Australian Water Association* 2015, Vol. 42, No. 2, pp. 50–52.
15. MIEX®Gold: A new generation resin for the drinking water industry. Orica Watercare (<http://miexresin.com/index.asp?page=159>), 22-03-2016.
16. A. K. JHA, A. BOSE, J. P. DOWNEY: Removal of As(V) and Cr(VI) ions from aqueous solution using a continuous, hybrid field-gradient magnetic separation device. *Separation Science and Technology* 2006, Vol. 41, No. 15, pp. 3297–3312.
17. C. SHUANG, M. WANG, Q. ZHOU, M. ZHANG, Y. ZHOU: Quaternized magnetic microspheres for the efficient removal of reactive dyes. *Water Research* 2012, Vol. 46, pp. 4417–4426.
18. M. DRIKAS, J. Y. MORRAN, D. COOK, D. B. BURSILL: Operating the MIEX® process with microfiltration or coagulation. Proc. of AWWA Water Quality Technology Conference, Philadelphia (PA) 2003.
19. K. SHORROCK, B. DRAGE: A pilot plant evaluation of the Magnetic Ion Exchange® process for the removal of dissolved organic carbon at Draycote water treatment works. *Water and Environmental Journal*, 2006, Vol. 20, No. 2, pp. 65–70.
20. M. KITIS, T. KARANFIL, J. E. KILDUFF, A. WIGTON: The reactivity of natural organic matter to disinfection by-products formation and its relation to specific ultraviolet absorbance. *Water Science and Technology* 2001, Vol. 43, No. 2, pp. 9–16.
21. M. KITIS, T. KARANFIL, A. WIGTON, J. E. KILDUFF: Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection by-product formation using XAD-8 resin adsorption and ultrafiltration fractionation. *Water Research* 2002, Vol. 36, No. 15, pp. 3834–3848.
22. J. L. WEISHAAR, G. R. AIKEN, B. A. BERGAMASCHI, M. S. FRAM, R. FUJII, K. MOPPER: Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environmental Science and Technology* 2003, Vol. 37, No. 20, pp. 4702–4808.
23. D. A. FEARING, J. BANKS, S. GUYETAND, C. M. EROLES, B. JEFFERSON, D. WILSON, P. HILLIS, A. T. CABELL, S. A. PARSONS: Combination of ferric and MIEX® for the treatment of a humic rich water. *Water Research* 2004, Vol. 38, No. 10, pp. 2551–2558.
24. M. MOŁCZAN: Wpływ zjawiska pęcznienia na pomiar dawki żywicy jonowymiennej MIEX® (Influence of swelling phenomenon on MIEX® ion exchange resin dose accuracy). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 2, ss. 9–13.

Molczan, M., Wolska, M. Removal Efficacy of Dissolved Organic Compounds with Low Specific Absorbance Value from Water by an Anion-Exchange Resin MIEX®Gold. *Ochrona Środowiska* 2016, Vol. 38, No. 2, pp. 23–27.

Abstract: Laboratory tests with a new anion-exchange resin MIEX®Gold were carried out for treatment of water with low specific UV absorbance (SUVA) ($2.3\text{ m}^3/\text{gC}\cdot\text{m}$) and low DOC content ($4.0\text{ gC}/\text{m}^3$). Concurrently, the same tests for the known MIEX®DOC resin were performed. Small differences in efficacy of both resins were demonstrated, with the new one showing slightly lower (up to 6%) ability of organic compound removal from water. A minor advantage of MIEX®Gold was higher trihalomethane (THM) precursor removal efficacy. At a chlorine dose of $1.0\text{ gCl}_2/\text{m}^3$ and bed volume of $100\text{ dm}^3/\text{dm}^3$ both resins allowed for reduction in THM formation potential (THMFP), namely by 45% for MIEX®DOC and 55% for

MIEX®Gold. However, at a bed volume of $2000\text{ dm}^3/\text{dm}^3$ those values were lower, i.e. 14% and 22%, respectively. For both resins, amount of THM formed in relation to 1 gram of DOC correlated with a unit chlorine dose ($[\text{Cl}_2]/[\text{DOC}]$) and a tendency was growing. Slightly lower values of $[\text{THM}]/[\text{DOC}]$ were demonstrated for MIEX®Gold resin. However, at a low bed volume ($100\text{ m}^3/\text{m}^3$) the difference was significant (MIEX®DOC:MIEX®Gold: $[\text{Cl}_2]/[\text{DOC}]=0.88:0.79\text{ gCl}_2/\text{gC}$, $[\text{THM}]/[\text{DOC}]=11.75:8.66\text{ gTHM}/\text{gC}$). Relatively similar operating efficacies of both resins do not support new resin type application for treatment of water with low specific absorbance. Differences in separation preferences of the both resin types remain not understood very well. Thus their application would require experimental validation on case by case basis.

Keywords: Water treatment, organic compounds, ion exchange, multiple-loading jar test, MIEX® resin, SUVA, THMFP.