

Agnieszka Urbanowska, Małgorzata Kabsch-Korbutowicz

Usuwanie naturalnych związków organicznych z wody na makroporowatych polistyrenowych żywicach anionowymiennych

Skład wód naturalnych jest obecnie tak dalece zmieniony, że nie pozwala na ich bezpośrednie wykorzystywanie do celów bytowo-gospodarczych i przemysłowych. Ich jakość wynika ze sposobu zagospodarowania zlewni, stopnia degradacji środowiska oraz warunków atmosferycznych. Niezależnie od substancji o charakterze antropogenicznym, w wodach powierzchniowych obecne są składniki organiczne pochodzenia naturalnego. Związki organiczne naturalnie występujące w wodzie (NOM – natural organic matter) to przede wszystkim produkty i półprodukty reakcji biologicznej syntezy oraz rozkładu, zachodzących przy udziale mikroorganizmów obecnych w wodzie i glebie, zwierząt oraz roślin [1, 2]. Do tego typu substancji można zaliczyć białka, tłuszcze, węglowodany, barwniki roślinne, ligniny oraz substancje humusowe [3–5]. Obecność tego typu związków organicznych w wodzie poddawanej procesowi oczyszczania jest niepożądana z wielu powodów. Jednym z nich jest pogorszenie właściwości organoleptycznych wody – barwy, smaku i zapachu. Ponadto związki te zakłócają równowagę biologiczną i przebieg samooczyszczania wód. Jednak największe problemy wynikają z faktu, że mogą one być prekursorami ubocznych produktów dezynfekcji, tworzyć kompleksy z wieloma zanieczyszczeniami antropogenicznymi (nie tylko organicznymi), utrudniać przebieg niektórych procesów technologicznych oczyszczania wody, a także przyczyniać się do rozwoju mikroorganizmów w sieci dystrybucji wody [6–9]. Z tego względu naturalne związki organiczne powinny być usuwane z wody przeznaczonej do celów komunalnych i przemysłowych.

Jedną z metod usuwania substancji organicznych o charakterze jonowym jest wymiana jonowa z wykorzystaniem syntetycznych żywic jonowymiennych. Stosowane w oczyszczaniu wody jonity są nierozpuszczalnymi ciałami stałymi, o dużej masie cząsteczkowej, które odznaczają się zdolnością do wymiany ruchliwych jonów przyłączonych do centrów aktywnych jonitu na równoimienne jony znajdujące się w roztworze otaczającym jonit [11, 12]. Żywice syntetyczne zbudowane są z obojętnego wielkocząsteczkowego szkieletu o strukturze trójwymiarowej oraz grup funkcyjnych zdolnych do dysocjacji elektrolitycznej.

Jako polimer wyjściowy do wytwarzania jonitów syntetycznych, tak zwaną matrycę, stosuje się przede wszystkim polistyren oraz polimery akrylowe [13].

Ponieważ znaczna część naturalnych związków organicznych ma charakter makroanionów, dlatego mogą one być usuwane z wody z użyciem żywic anionowymiennych. Ze względu na stopień dysocjacji grup funkcyjnych anionity mogą być słabo zasadowe (mające słabo zdysocjowane grupy funkcyjne wymieniające aniony mocnych kwasów) oraz silnie zasadowe (mające silnie zdysocjowane grupy funkcyjne zdolne do wymiany anionów nawet bardzo słabych kwasów). Anionity silnie zasadowe mogą być stosowane bez względu na wartość pH roztworu, ponieważ występują w postaci zdysocjowanej w całym zakresie pH, podczas gdy anionity słabo zasadowe tracą swoją zdolność jonowymienną przy $\text{pH} > 7$. Ze względu na strukturę przestrzenną wyróżnia się jonity żelowe i makroporowate. Średnice porów żywic makroporowatych są dostatecznie duże, aby następowała szybka dyfuzja wewnątrzziarnowa do miejsc aktywnych, dzięki czemu możliwa jest wymiana jonów o dużych wymiarach, na przykład makroanionów organicznych [14]. W porównaniu do żywic żelowych, żywice makroporowate odznaczają się znacznie większą powierzchnią właściwą (około $1000 \text{ m}^2/\text{g}$). Ważną ich cechą jest retencja wilgotności, ponieważ żywica anionowymienna o wysokiej wilgotności ma mniej ścisłą strukturę, co sprzyja wymianie wolno przemieszczających się dużych cząsteczek, na przykład kwasów organicznych [15, 16].

Analiza właściwości naturalnych związków organicznych wskazuje na możliwość występowania dwóch mechanizmów ich usuwania za pomocą żywic anionowymiennych – wymiany jonowej zachodzącej dzięki oddziaływaniom elektrostatycznym pomiędzy grupami jonowymi żywicy i grupami funkcyjnymi makrocząsteczek organicznych lub adsorpcji fizycznej wynikającej z występowania sił van der Waalsa pomiędzy hydrofobowymi centrami makrocząsteczek organicznych a matrycą polimeru [17]. Skuteczność usuwania tych związków z wody z użyciem żywic jonowymiennych mieści się w zakresie $30\div 90\%$ i zależy między innymi od cech fizyczno-chemicznych oczyszczanej wody, właściwości stosowanej żywicy oraz od sposobu realizacji samego procesu [18].

Mając na uwadze te uwarunkowania, w niniejszej pracy oceniono wpływ wybranych parametrów procesu wymiany jonowej na skuteczność usuwania naturalnych związków organicznych z roztworów wodnych z użyciem makroporowatych polistyrenowych żywic jonowymiennych.

Dr inż. A. Urbanowska, prof. dr hab. inż. M. Kabsch-Korbutowicz: Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Technologii Oczyszczania Wody i Ścieków, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
agnieszka.urbanowska@pwr.edu.pl
malgorzata.kabsch-korbutowicz@pwr.edu.pl

Materiały i metody badawcze

W badaniach wykorzystano dwa roztwory o zbliżonej zawartości naturalnych związków organicznych. Roztwór A stanowiła woda pobrana ze strumienia wypływającego z Wielkiego Torfowiska Batorowskiego, położonego w Górach Stołowych (50°27'29,97" N, 16°23'16,87" E). Roztwór B uzyskano dodając do wody wodociągowej po dechloracji kwasy humusowe (Aldrich) w ilości 0,02 g/dm³. Zawartość związków organicznych w roztworach badawczych określono przez pomiar intensywności barwy (przy długości fali 350 nm), absorbancji w nadfiolecie (UV_{254nm}^{1m}) oraz zawartości rozpuszczonego węgla organicznego (RWO). Pomiar RWO jest najbardziej wiarygodną metodą wyznaczania całkowitej ilości związków organicznych, natomiast absorbancja w nadfiolecie monitoruje ilość frakcji tych związków zawierających struktury aromatyczne, podczas gdy barwa wody wskazuje na obecność frakcji organicznej zawierającej grupy chromoforowe (typowe w przypadku związków organicznych o dużej masie cząsteczkowej). Właściwości roztworów badawczych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości roztworów badawczych
Table 1. Properties of tested solutions

Wskaźnik, jednostka	Roztwór	
	A	B
Barwa, gPt/m ³	99	104
Absorbancja w UV _{254nm} ^{1m}	69,3	52,6
RWO, gC/m ³	11,98	11,86
Przewodność właściwa, µS/cm	337	679
pH	4,84	7,25

RWO – rozpuszczony węgiel organiczny

Proces wymiany jonowej prowadzono z użyciem dwóch makroporowatych polistyrenowych żywic jonowymiennych – A100 (Purolite) i BD400FD (Suzhou Bojie Resin Technology), których charakterystykę przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka żywic jonowymiennych [19, 20]
Table 2. Ion-exchange resin characteristics [19, 20]

Parametr, jednostka	Żywica	
	A100	BD400FD
Rodzaj	słabo zasadowa	silnie zasadowa
Struktura polimeru	makroporowata polistyrenowa, sieciowana dwuwinylobenzenem	
Grupa funkcyjna	R–N(CH ₃) ₂	R–N ⁺ (CH ₃) ₃
Wielkość cząstek, mm	0,60÷0,85 (średnio)	0,40÷0,90 (≥95%) 0,59÷0,69 (średnio)
Pojemność jonowymienna, val/dm ³	1,13	≥1,1
Ciężar właściwy, kg/dm ³	1,04	1,05÷1,09

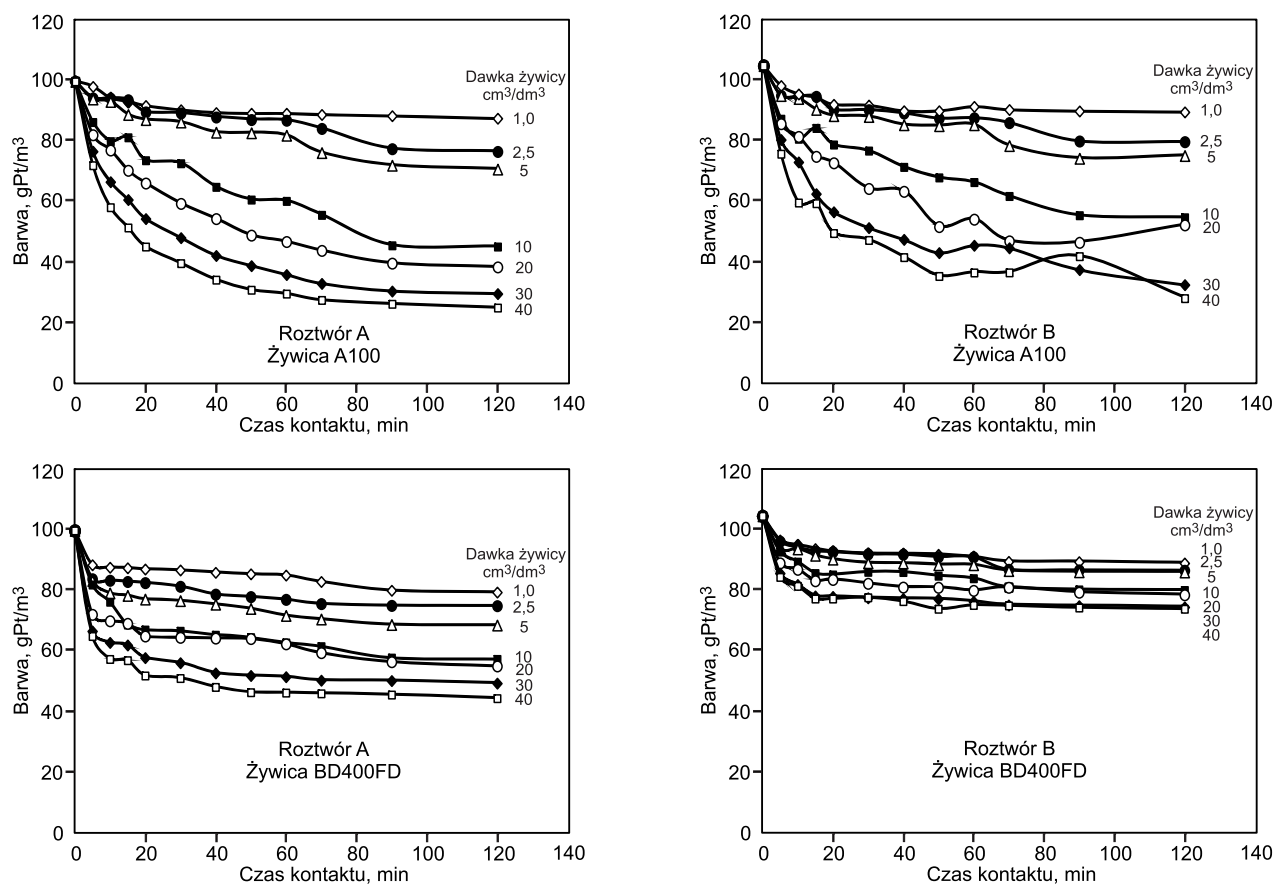
Ziarna obydwu żywic były nieprzezroczyste i miały w przypadku żywicy A100 barwę białą, a w przypadku żywicy BD400FD jasnożółtą. Przygotowanie żywic anionowych do użycia obejmowało przeprowadzenie ich w formę chlorkową przez umieszczenie w 12% roztworze NaCl, a następnie wypłukanie wodą redestylowaną aż do momentu całkowitego usunięcia solanki.

Wymianę jonową realizowano w układzie porcjowym w reaktorach o pojemności 2 dm³ zawierających po 1 dm³ roztworów, do których dawkowano testowane żywice w ilości 1 cm³/dm³, 2,5 cm³/dm³, 5 cm³/dm³, 10 cm³/dm³, 20 cm³/dm³, 30 cm³/dm³ i 40 cm³/dm³. Następnie reaktory umieszczono na mieszałce magnetycznej i mieszano z intensywnością 135 obr./min, co gwarantowało równomierny rozkład żywicy w całej objętości roztworu oraz utrzymanie jej w stanie zawieszonym. Czas mieszania wynosił od 5 min do 120 min, po czym próbki poddawano sedymentacji przez 30 min.

W przeprowadzonych badaniach dokonano także oceny wpływu wartości pH i temperatury roztworu na skuteczność eliminacji naturalnych związków organicznych. Wartość pH roztworów badawczych zmieniano w zakresie od 2 do 10, zaś temperaturę w zakresie od 20°C do 40°C.

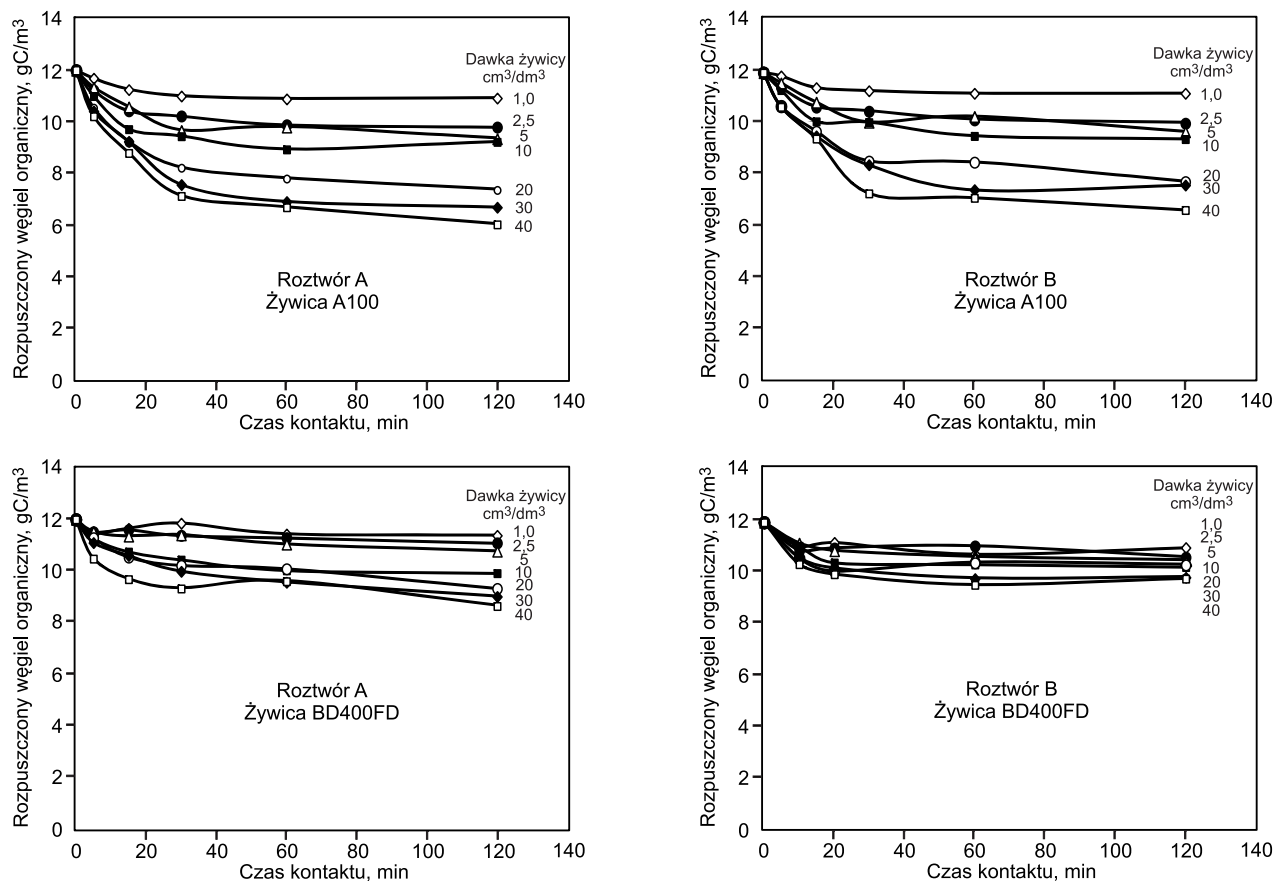
Interpretacja wyników badań

Testy dotyczące przydatności makroporowatych polistyrenowych żywic jonowymiennych do usuwania naturalnych związków organicznych z wody pozwoliły określić wpływ dawki żywicy, jej rodzaju oraz czasu kontaktu z mikrozanieczyszczeniami na skuteczność oczyszczania wody (rys. 1 i 2). Stwierdzono, że zwiększenie dawki żywicy jonowymiennej skutkowało zmniejszeniem intensywności barwy, absorbancji w UV oraz zawartości rozpuszczonego węgla organicznego. Wraz ze wzrostem dawki żywicy więcej anionów organicznych może zostać wymienionych w miejscach aktywnych na przechodzące do oczyszczanego roztworu jony chlorkowe, natomiast mniejsze dawki ograniczają całkowitą ilość dostępnych miejsc aktywnych na ziarnach żywicy, z których tylko część przypada na wymianę słabszych anionów organicznych. Przykładowo, intensywność barwy roztworu A po 30 min kontaktu z żywicą A100 w ilości 5 cm³/dm³ zmalała o 13,5%, a zawartość RWO o 17,8%, natomiast stosując dawkę żywicy 30 cm³/dm³ uzyskano zmniejszenie wartości tych wskaźników odpowiednio o 51,9% i 36,9%. W przypadku użycia żywicy BD400FD w dawce 5 cm³/dm³ intensywność barwy roztworu A zmalała o 23,2%, a zawartość RWO o 5,0%, natomiast dawka 30 cm³/dm³ tej żywicy spowodowała zmniejszenie wartości tych wskaźników odpowiednio o 43,9% i 16,8%. Istotny wpływ na sprawność wymiany jonowej miał czas kontaktu żywicy z makrocząsteczkami organicznymi. Stwierdzono, że wymiana jonowa zachodziła najintensywniej w początkowym etapie procesu, a następnie dynamika wymiany anionów organicznych ulegała spowolnieniu. Przykładowo, stosując żywicę BD400FD w ilości 10 cm³/dm³, po czasie kontaktu 5 min intensywność barwy roztworu A uległa zmniejszeniu o 17,9%, zaś po czasie 30 min o 33,3%. W przypadku zawartości RWO skuteczność procesu wyniosła odpowiednio 6,2% i 13,0%. Zaobserwowano, że optymalny czas mieszania żywicy z oczyszczaną wodą wynosił 40÷60 min, zaś dalsze wydłużanie czasu kontaktu powodowało tylko nieznaczny wzrost skuteczności oczyszczania wody. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że spośród testowanych żywic skuteczniejszą okazała się żywica A100. W przypadku roztworu A, stosując dawkę 40 cm³/dm³ i czas kontaktu 2 h, umożliwiła ona zmniejszenie zawartości RWO, intensywności barwy i absorbancji w nadfiolecie odpowiednio o 50%, 75% i 83%. W tych samych warunkach w przypadku roztworu B uzyskano skuteczność oczyszczania równą odpowiednio 45%, 73% i 79%. Użycie żywicy BD400FD do oczyszczania



Rys. 1. Wpływ dawki żywicy i czasu kontaktu na zmianę intensywności barwy wody

Fig. 1. Influence of resin dose and contact time on change in water color intensity



Rys. 2. Wpływ dawki żywicy i czasu kontaktu na zmianę zawartości rozpuszczonego węgla organicznego

Fig. 2. Influence of resin dose and contact time on change in dissolved organic carbon content

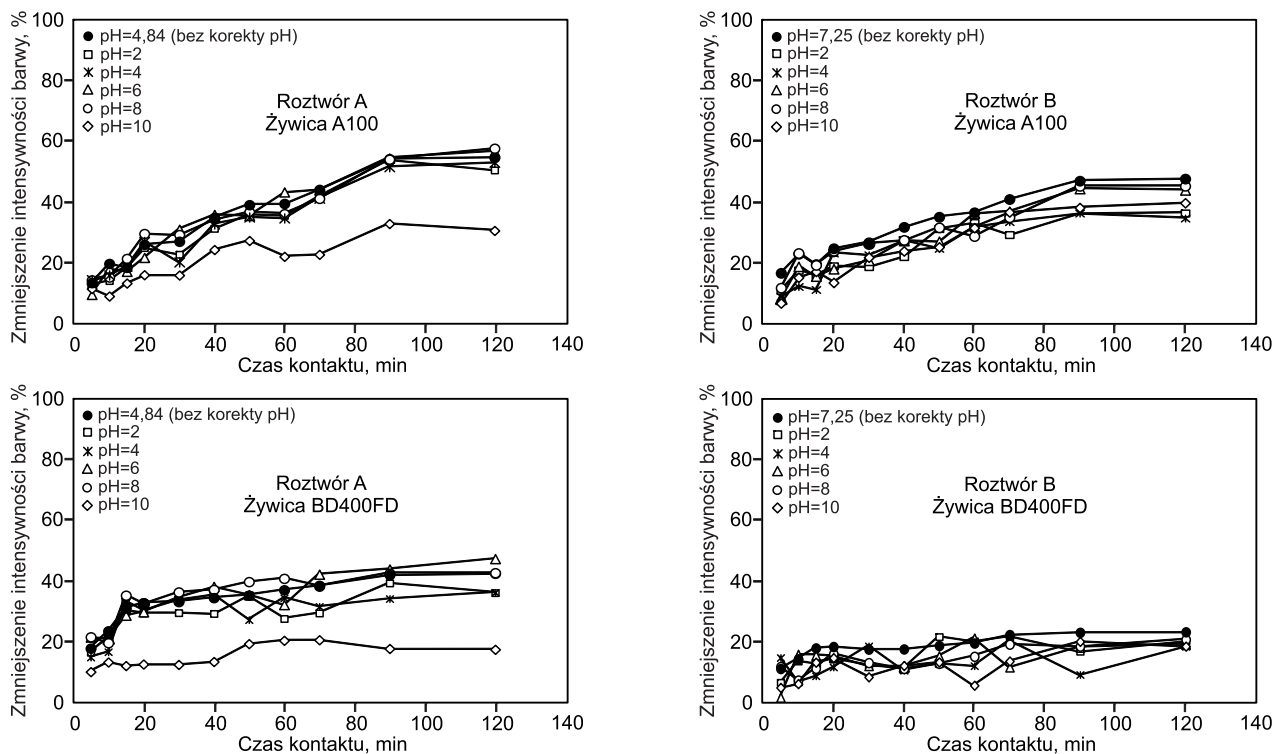
roztworu A (w tych samych warunkach) skutkowało obniżeniem zawartości RWO o 28%, intensywności barwy o 56% i absorbancji w UV o 55%.

Obie badane żywice mają strukturę makroporowatą i charakteryzują się większą, w porównaniu do żywic o charakterze żelowym, średnicą porów, co ułatwia penetrację mikrozanieczyszczeń i ich zatrzymywanie w strukturze żywicy. Ponadto żywice makroporowate mają dużą powierzchnię właściwą, co powoduje, że o eliminacji związków organicznych decyduje nie tylko mechanizm adsorpcji jonowymiennej, ale także mechanizm adsorpcji fizycznej. Autorzy pracy [12] wykazali, że dzięki temu żywice makroporowate są bardziej przydatne do usuwania związków organicznych z wody niż żywice o charakterze żelowym. Testowane żywice różnią się między sobą rodzajem dysocjujących grup funkcyjnych przyłączonych do matrycy polimerowej, co powoduje, że żywica A100 ma charakter słabo zasadowy, a żywica BD400FD silnie zasadowy. Uzyskane wyniki badań nie potwierdzają doniesień literaturowych, według których słabo zasadowe żywice anionowymienne mają znacznie mniejszą skuteczność eliminacji związków organicznych w porównaniu do żywic silnie zasadowych [13,21]. Słabo zasadowe żywice anionowymienne, ze względu na swoje właściwości, mają zdolność do wymiany anionów mocnych kwasów, podczas gdy naturalne związki organiczne są – w przypadku ich jonowego charakteru – anionami słabych kwasów. Uzyskane efekty mogły być spowodowane różną zawartością wody w ziarnach żywic, która w bardzo istotny sposób wpływa na skuteczność eliminacji związków organicznych. Według badań własnych zawartość wody w żywicy A100 wynosiła 51%, natomiast w przypadku żywicy BD400FD – 37%. Żywice zawierające w swojej strukturze więcej wody, dzięki bardziej otwartej strukturze, pozwalają na łatwiejsze wnikanie makrocząstek organicznych w głąb ziaren jonitu [15], co może tłumaczyć większą sprawność żywicy A100 w porównaniu do żywicy BD400FD.

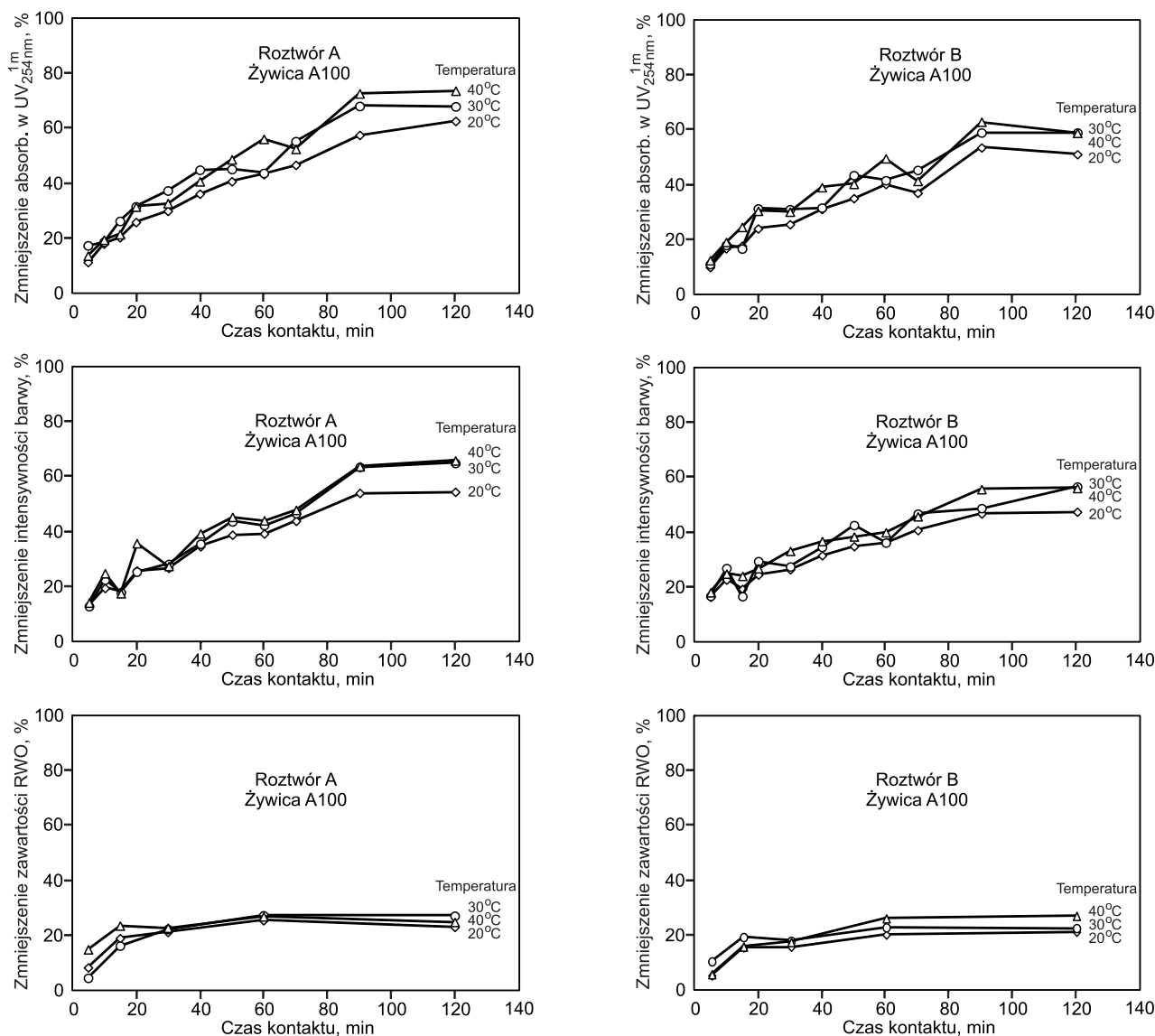
O skuteczności usuwania związków organicznych decyduje również skład oczyszczanej wody, w tym właściwości makrocząstek organicznych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że lepsze efekty oczyszczania uzyskano w przypadku roztworu A, niezależnie od zastosowanej żywicy jonowymiennej. Mogło to być spowodowane obecnością w wodzie naturalnej małych cząstek organicznych, których frakcja jest lepiej usuwana na żywicach jonowymienne niż wielkocząsteczkowa frakcja barwnych związków organicznych. Wynika to z faktu, że duże cząsteczki naturalnych związków organicznych mają ograniczoną możliwość dyfuzji, przez co są w mniejszym stopniu eliminowane z wody w procesie wymiany jonowej. Roztwór A charakteryzował się znaczącym udziałem frakcji o masie cząsteczkowej <1 kDa [22], podczas gdy substancje humusowe użyte do przygotowania roztworu B mają charakter humusu glebowego i znacznie większą masę cząsteczkową.

Na skuteczność eliminacji makrocząstek organicznych istotny wpływ miała także zawartość frakcji nieorganicznej. Blisko dwukrotnie większa przewodność właściwa roztworu B wskazuje, że zawierał on znaczące ilości jonów, w tym anionów, które preferencyjnie, ze względu na swój wymiar i ruchliwość, były wiązane przez miejsca aktywne żywicy. Stąd też – stosując obydwie żywice – większą skuteczność eliminacji makroanionów organicznych zaobserwowano w przypadku roztworu A, charakteryzującego się mniejszą zawartością domieszek nieorganicznych.

Wśród wskaźników roztworu istotnie wpływających na przebieg wymiany jonowej na szczególną uwagę zasługuje pH, którego wpływ na zmianę intensywności barwy wody w procesie wymiany jonowej przedstawiono na rysunku 3. Analizując wpływ wartości pH badanych roztworów wodnych na skuteczność usuwania z nich naturalnych związków organicznych w procesie wymiany jonowej stwierdzono, że zwiększenie wartości pH do 10 spowodowało znaczne ograniczenie skuteczności usuwania makroanionów



Rys. 3. Wpływ pH na zmianę intensywności barwy wody w procesie wymiany jonowej (dawka żywicy $10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$)
Fig. 3. Influence of pH on change in water color intensity in the ion exchange process (resin dose $10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$)



Rys. 4. Wpływ temperatury na skuteczność usuwania naturalnych związków organicznych z wody w procesie wymiany jonowej
Fig. 4. Influence of temperature on NOM removal efficacy from water in the ion exchange process

organicznych. Przykładowo, podczas oczyszczania roztworu A z użyciem żywicy A100, zwiększenie wartości pH z 4 do 10 (dawka żywicy $10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$, czas kontaktu 60 min) zmniejszyło skuteczność procesu – w odniesieniu do intensywności barwy – z 35% do 22%. W przypadku żywicy A100, będącej anionitem słabo zasadowym, efekt ten wynikał z charakteru żywicy, której zdolność jonowymienna maleje wraz ze wzrostem wartości pH roztworu i stąd też obserwowana separacja makrocząstek organicznych w środowisku zasadowym była skutkiem adsorpcji fizycznej. Pogorszenie skuteczności eliminacji związków organicznych z użyciem silnie zasadowej żywicy BD400FD, której zdolność jonowymienna nie powinna ulegać zmianie wraz ze zmianą pH, mogło być skutkiem preferencyjnej wymiany jonowej anionów nieorganicznych, których zawartość zwiększała się wraz z alkalizacją roztworów. Ponadto postępująca dysocjacja grup funkcyjnych substancji organicznych powodowała wzrost wymiaru przestrzennego tych cząsteczek, co utrudniło ich wymianę jonową na żywicy. Potwierdzeniem tej tezy był – obserwowany wraz z alkalizacją roztworów – wzrost wartości absorbancji właściwej (SUVA) roztworów oczyszczonych, co świadczyło o pozostaniu w nich substancji o dużej masie cząsteczkowej.

W przypadku większości wykorzystywanych w technologii oczyszczania wody procesów fizyczno-chemicznych bardzo istotnym parametrem, decydującym o ich przebiegu i skuteczności, jest temperatura, w jakiej prowadzone są badania. Analiza uzyskanych wyników (rys. 4) wykazała, że zwiększanie temperatury w zakresie $20\text{--}40^\circ\text{C}$ poprawiło skuteczność wymiany jonowej, niezależnie od rodzaju żywicy i składu oczyszczanego roztworu. Przykładowo, podczas oczyszczania roztworu A z użyciem żywicy A100 w ilości $10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ i czasie kontaktu 60 min, wzrost wartości temperatury z 20°C do 40°C spowodował zwiększenie stopnia oczyszczania wody w przypadku absorbancji w UV z 44% do 56%, intensywności barwy z 40% do 44% oraz zawartości RWO z 26% do 27%. Podobne wyniki uzyskano podczas oczyszczania roztworu B, a także stosując żywicę BD400FD w obydwu roztworach. Zjawisko to może wynikać z faktu, iż podwyższenie temperatury przyspiesza reakcję wymiany jonów, powoduje rozluźnienie struktury przestrzennej jonitów (ułatwiając dyfuzję szczególnie dużych jonów do wnętrza struktury przestrzennej jonitów) oraz zwiększa stopień dysocjacji słabo zdysocjowanych grup funkcyjnych.

Wnioski

♦ Zastosowane w badaniach makroporowate żywice jonowymiennne mogą być skutecznie wykorzystane do usuwania naturalnych związków organicznych z roztworów wodnych.

♦ O skuteczności oczyszczania roztworów wodnych decydowały takie parametry, jak rodzaj żywicy jonowymiennnej, jej dawka oraz czas kontaktu makrocząsteczek organicznych z żywicą.

♦ Wzrost wartości pH skutkował nieznacznym zmniejszeniem sprawności usuwania związków organicznych, natomiast zwiększenie temperatury badanych roztworów poprawiło skuteczność oczyszczania wody.

Praca została częściowo sfinansowana ze środków przeznaczonych na badania statutowe Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej (0401/0064/16).

Autorki dziękują panu Jackowi Gąsiorowskiemu, z firmy WIGO-Gąsiorowski, za udostępnienie próbek żywicy BD400FD do badań.

LITERATURA

1. M. HAVELCOVÁ, J. MIZERA, I. SÝKOROVÁ, M. PEKAŘ: Sorption of metal ions on lignite and the derived humic substances. *Journal of Hazardous Materials* 2009, Vol. 161, No. 1, pp. 559–564.
2. A. MATILAINEN, M. VEPSÄLÄINEN, M. SILLANPÄÄ: Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* 2010, Vol. 159, No. 2, pp. 189–197.
3. A. MATILAINEN, E. T. GJESSING, T. LAHTINEN, L. HED, A. BHATNAGAR, M. SILLANPÄÄ: An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. *Chemosphere* 2011, Vol. 83, No. 11, pp. 1431–1442.
4. J. A. LEENHEER, J.-P. CROUÉ: Characterizing aquatic dissolved organic matter. *Environmental Science and Technology* 2003, Vol. 37, No. 1, pp. 18A–26A.
5. A. M. SILLANPÄÄ: Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods. Butterworth-Heinemann, London 2014.
6. A. GREFFE, M. DIGNUM, E. R. CORNELISSEN, L. C. RIETVELD: Natural organic matter removal by ion exchange at different positions in the drinking water treatment lane. *Drinking Water Engineering and Science* 2013, Vol. 6, No. 1, pp. 1–10.
7. H. HUMBERT, H. GALLARD, H. SUTY, J.-P. CROUÉ: Natural organic matter (NOM) and pesticides removal using a combination of ion exchange resin and powdered activated carbon (PAC). *Water Research* 2008, Vol. 42, No. 6–7, pp. 1635–1643.
8. A. TUBIĆ, J. AGBABA, B. DALMACIJA, J. MOLNAR, S. MALETIĆ, M. WATSON, S. U. PEROVIĆ: Insight into changes during coagulation in NOM reactivity for trihalomethanes and haloacetic acids formation. *Journal of Environmental Management* 2013, Vol. 118, pp. 153–160.
9. T. BOND, M. R. TEMPLETON, O. RIFAI, H. ALI, N. J. D. GRAHAM: Chlorinated and nitrogenous disinfection by-product formation from ozonation and post-chlorination of natural organic matter surrogates. *Chemosphere* 2014, Vol. 111, pp. 218–224.
10. J.-Q. JIANG, H.-Y. WANG: Comparative coagulant demand of polyferric chloride and ferric chloride for the removal of humic acid. *Journal Separation Science and Technology* 2009, Vol. 44, No. 2, pp. 386–397.
11. B. BOLTO, D. DIXON, R. ELDRIDGE, S. KING, K. LINGE: Removal of natural organic matter by ion exchange. *Water Research* 2002, Vol. 36, No. 20, pp. 5057–5065.
12. B. BOLTO, D. DIXON, R. ELDRIDGE, S. KING: Removal of THM precursors by coagulation or ion exchange. *Water Research* 2002, Vol. 36, No. 20, pp. 5066–5073.
13. M. KABSCH-KORBUTOWICZ: Zastosowanie procesu wymiany jonowej do usuwania naturalnych substancji organicznych z wody (Application of ion exchange to natural organic matter removal from water). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 1, ss. 11–18.
14. T. H. BOYER, P. C. SINGER, G. R. AIKEN: Removal of dissolved organic matter by anion exchange: Effect of dissolved organic matter properties. *Environmental Science and Technology* 2008, Vol. 42, No. 19, pp. 7431–7437.
15. M. GOTTLIEB: The reversible removal of naturally occurring organics using resins regenerated with sodium chloride. *Ultrapure Water* 1996, Vol. 11, pp. 53–58.
16. A. A. ZAGORODNI: Ion Exchange Materials: Properties and Applications. Elsevier, Oxford-Amsterdam 2007.
17. Y. TAN, J. E. KILDUFF: Factors affecting selectivity during dissolved organic matter removal by anion-exchange resins. *Water Research* 2007, Vol. 41, No. 18, pp. 4211–4221.
18. H. HUMBERT, H. GALLARD, H. SUTY, J.-P. CROUÉ: Performance of selected anion exchange resins for the treatment of high DOC content surface water. *Water Research* 2005, Vol. 39, No. 9, pp. 1699–1708.
19. Purolite® A100 product data sheet (<http://www.lenntech.com/Data-sheets/Purolite-A100-L.pdf>).
20. BD400FD anion exchange resin data sheet.
21. E. R. CORNELISSEN, N. MOREAU, W. G. SIEGERS, A. J. ABRAHAMSE, L. C. RIETVELD, A. GREFFE, M. DIGNUM, G. AMY, L. P. WESSELS: Selection of anionic exchange resins for removal of natural organic matter (NOM) fractions. *Water Research* 2008, Vol. 42, No. 1–2, pp. 413–423.
22. A. URBANOWSKA, M. KABSCH-KORBUTOWICZ: The properties of NOM particles removed from water in ultrafiltration, ion exchange and integrated processes. *Desalination and Water Treatment* 2016, Vol. 57, pp. 13453–13461.

Urbanowska, A., Kabsch-Korbutowicz, M. Separation of Natural Organic Matter from Water Using Macroporous Polystyrene Anion-Exchange Resins. *Ochrona Środowiska* 2017, Vol. 39, No. 3, pp. 55–60.

Abstract: Removal of natural organic matter (NOM) from surface waters is a critical aspect of potable water treatment as NOM compounds are precursors of harmful disinfection by-products and as such should be removed from water intended for human consumption. Ion exchange on synthetic ion-exchange resins is one of the NOM removal methods as a substantial fraction of these compounds forms macroanions. Moreover, the uncharged fraction of organic compounds can be removed from water by physical adsorption on resin particles. The study was conducted to evaluate the impact of ion exchange conditions on the efficacy of NOM removal from water solutions. The physico-chemical properties of the water treated,

the resin properties, its dose and the contact time between the resin and contaminants were taken into consideration. Two macroporous polystyrene ion exchange resins were used for testing in the batch mode: weakly alkaline A100 (Purolite) and strongly alkaline BD400FD (Suzhou Bojie Resin Technology). It was demonstrated that anion exchange resins could successfully remove NOM from water. It was observed that increase in the resin dosage and contact time between resin particles and water resulted in improved quality of treated water (color, UV absorbance, DOC), while increase in the pH resulted in a slight decrease of the process efficacy. In addition, the process efficacy was enhanced by the increase in temperature of the tested solutions.

Keywords: Surface water, natural organic matter (NOM), ion exchange, macroporous anionit, contact time, resin dose, pH, color, UV absorbance, DOC.