

Tomasz KAMIZELA, Mariusz KOWALCZYK

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

Analiza wpływu ultradźwięków na zjawiska depolimeryzacji na przykładzie zmian lepkości flokulantów

Przedstawiono wyniki badań dotyczące zmian własności układów wielkocząsteczkowych pod wpływem energii sonifikacji. Podczas badań analizowano efekty zastosowania fali ultradźwiękowej w aspekcie zjawisk depolimeryzacji makrocząsteczek. Substratem badań były polimery kationowe wykorzystywane jako środki kondycjonujące osady ściekowe przed odwadnianiem. Oceny efektów sonifikacji dokonywano na podstawie zmian lepkości w funkcji parametrów sonifikacji. Zachodzące przemiany powodowały efekt depolimeryzacji poprzez zniszczenie struktur usieciowanych.

Słowa kluczowe: ultradźwięki, polielektrolity, lepkość

Wprowadzenie

Technologia osadów ściekowych stanowi obszar obejmujący wiele procesów jednostkowych, takich jak zagęszczanie, przeróbka osadów oraz ich odwadnianie. Na procesy w ciągu osadowym w oczyszczalniach ścieków składają się również zagadnienia dezintegracji i kondycjonowania osadów. Rozwiązania pozwalające na podniesienie sprawności procesów przeróbki i odwadniania osadów określane są mianem zabiegów kondycjonujących. Kondycjonowanie osadów polega na zmianie struktury osadu i stanu powierzchni cząstek fazy stałej, która prowadzi do zmniejszenia powierzchni rozdziału faz oraz zmniejszenia sił wiążących wodę z powierzchnią cząstek. Ogólnie przez kondycjonowanie osadów rozumie się szereg zabiegów o charakterze biochemicznym, fizycznym oraz fizykochemicznym, których celem jest uzyskanie nowych właściwości osadu i bardziej skuteczne usunięcie zawartej w osadzie wody [1, 2]. Ideą procesów dezintegracyjnych jest rozpad struktury osadów w wyniku zastosowania sił zewnętrznych, których celem jest rozdrobnienie osadu oraz rozerwanie błon komórkowych mikroorganizmów osadu. Procesy dezintegracji podnoszą wydajność procesów rozpadu biologicznego osadów ściekowych. Dezintegracja osadu realizowana jest przy udziale różnych metod termicznych, mechanicznych, chemicznych i biochemicznych oraz metod hybrydowych. W powyższe zagadnienia wpisuje się technika sonifikacji, która spełnia założenia metody kondycjonowania i dezintegracji. Dominującą aplikacją ultradźwięków jest dezintegracja strumienia osadu nad-

miernego kierowanego do komór stabilizacji beztlenowej. Zastosowanie sonifikacji powoduje przyspieszenie lizy komórek osadu nadmiernego, uwolnienie substancji organicznych do fazy ciekłej oraz zwiększenie dostępności substratu, co prowadzi do zwiększania produkcji biogazu i redukcji masy organicznej [3-8].

Ultradźwięki stanowią również metodę kondycjonowania osadów przed odwadnianiem, poprzez zmianę ich struktury i właściwości. Filtracja płackowa osadu preparowanego ultradźwiękiem wymaga jednak dość skrupulatnego doboru parametrów sonifikacji. Przy niskiej energii wejściowej ultradźwięków możliwe jest zwiększenie podatności osadów na odwadnianie mechaniczne. Przekroczenie pewnego progu powoduje odwrotny efekt, przy czym efektywne preparowanie osadów ultradźwiękami zależy od początkowych parametrów osadów, takich jak: stężenie, wielkość cząstek oraz koncentracja spolimeryzowanych substancji pozakomórkowych EPS [4, 9-12]. Rozwijają się również kierunki badań zmierzające do udokumentowania wpływu nadźwiękawiania osadów na strukturę polielektrolitów. Modyfikacja wielkocząsteczkowych polielektrolitów z użyciem pola ultradźwiękowego może przynieść określone efekty w postaci poprawy parametrów odwadniania osadów [13, 14].

Generalnie technika sonifikacji wymaga optymalizacji parametrów operacyjnych w celu uzyskania opłacalnych efektów. Zwraca się uwagę na dobór odpowiedniej częstotliwości, amplitudy, czasów oddziaływania oraz na charakterystykę osadów preparowanych. Analiza i ocena uzyskanych efektów preparowania ultradźwiękowego realizowana jest z uwzględnieniem zmiennych wejściowych, takich jak: energia wejściowa, dawka ultradźwięków, natężenie fali ultradźwiękowej. Dodatkowo efektywność oddziaływania ultradźwięków uzależniona jest od szeregu takich parametrów, jak objętość i rodzaj substratu czy geometria zbiornika do nadźwiękawiania [15, 16]. W przedstawionym artykule podjęto się realizacji dwóch celów. Pierwszy obejmuje określenie zmian struktury i właściwości nadźwiękawianych polielektrolitów. Drugi dotyczy analizy siły oddziaływania fali ultradźwiękowej w aspekcie wniesionej energii, dawki oraz natężenia pola ultradźwiękowego.

1. Metodyka badań

Lepkość jest jednym z bardzo ważnych i wymagających co do wrażliwości i dokładności pomiarów i często w najlepszy sposób określa jakość badanego medium. W ramach przedstawionej pracy pomiar lepkości wykorzystano w celu określenia postępów depolimeryzacji polielektrolitów wynikającej z zastosowania propagacji fali ultradźwiękowej. Badania lepkości przeprowadzono z wykorzystaniem lepkościomierza HAAKE Visco Tester 7L. Zastosowany lepkościomierz to wiskozymetr obrotowy. Tego typu urządzenia stosowane są do określania lepkości płynów zależnej jedynie od temperatury i ciśnienia. W badaniach zasadniczym pomiarem była wartość lepkości dynamicznej cieczy. Zastosowany lepkościomierz wraz z zestawem wrzecion pomiarowych typu płytkowe-

go gwarantował wykonanie analizy wiskozymetrycznej cieczy mało i średnio lepkich. Lepkościomierz dysponuje 21 prędkościami obrotowymi (0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 10; 12; 20; 30; 50; 60; 100 oraz 200 min⁻¹). Pomiarów lepkości dokonywano w stałej temperaturze wynoszącej $T = 25^{\circ}\text{C}$. Stabilność pomiarów była zagwarantowana poprzez zastosowanie termostatu i kąpeli wodnej za pomocą łaźni typu otwartego. Objętość badanych próbek była zawsze wartością stałą i wynosiła $V = 200\text{ ml}$. Do nadźwiękowania substratów wykorzystano dezintegrator ultradźwiękowy Sonics VCX 134 o częstotliwości roboczej $f = 40\text{ kHz}$. Zastosowano czasy sonifikacji $t = 60, 120, 180, 240, 300, 360\text{ s}$ przy amplitudzie roboczej $A = 123\text{ }\mu\text{m}$. Podczas badań monitorowano wielkość wniesionej energii do próbki oraz obliczono pochodne wielkości energetyczne pola ultradźwiękowego. Określono wartość mocy akustycznej, gęstości energii i gęstości mocy oraz natężenie fali akustycznej. Wzory i objaśnienia zawarto w tabeli 1.

Tabela 1

Wielkości energetyczne pola ultradźwiękowego

Parametr	Symbol	Wzór	Jednostka	Objaśnienia
Moc akustyczna	N	$N = Es/ts$	W	Es - energia pola akustycznego, J S - pole powierzchni, przez którą przechodzi fala, cm ² ts - czas sonifikacji, s V - objętość próbki, dm ³
Natężenie fali akustycznej	I	$I = N/S$	W/cm ²	
Gęstość energii	We	$We = Es/V$	J/dm ³	
Gęstość mocy	Wm	$Wm = N/V$	W/dm ³	

W badaniach jako substraty wykorzystano roztwory polielektrolitów stosowanych jako środki wspomagające odwadnianie osadów ściekowych. Po przygotowaniu (2-godzinnym mieszaniu) odpowiednich próbek następowało nadźwiękowanie. Kolejnym krokiem była stabilizacja temperatury i pomiar lepkości. Wybrane polielektrolity należały do grupy Praestol i były to środki średnio i mocno kationowe:

- Praestol 650BC (średnio kationowy) roztwór $c = 0,5$ oraz $c = 0,25\%$
- Praestol 655BC (mocno kationowy) roztwór $c = 0,5$ oraz $c = 0,25\%$

2. Wyniki badań

Do każdej z preparowanych próbek polielektrolitów wniesiono za pomocą fali ultradźwiękowej pewną wielkość energii (tabele 2-4). Wielkość ta zależy przede wszystkim od czasów sonifikacji, a także właściwości samych roztworów i ich możliwości pochłaniania energii niesionej przez falę akustyczną.

Tabela 2

Wielkości energetyczne nadźwiękawiania próbek polielektrolitu Praestol 650BC

Praestol 650BC, c = 0,5%						
Czas sonifikacji	Moc akustyczna		Energia sonifikacji	Gęstość energii	Gęstość mocy	
ts, s	N, W		Es, J	We, J/dm ³	Wm, W/dm ³	
60	36,70	$\bar{X} = 37,6$	2202	11010	183,5	$\bar{X} = 188,2$
120	37,95		4554	22770	189,8	
180	38,79		6983	34915	194,0	
240	40,39	$\sigma = 1,76$	9694	48470	202,0	$\sigma = 8,79$
300	35,64		10691	53455	178,2	
360	36,39		13101	65505	182,0	
Praestol 650BC, c = 0,25%						
60	39,52	$\bar{X} = 35,2$	2371	11855	197,6	$\bar{X} = 176,0$
120	37,17		4460	22300	185,8	
180	34,51		6211	31055	172,5	
240	34,08	$\sigma = 2,78$	8179	40895	170,4	$\sigma = 13,90$
300	34,52		10355	51775	172,6	
360	31,46		11327	56635	157,3	

Tabela 3

Wielkości energetyczne nadźwiękawiania próbek polielektrolitu Praestol 650BC

Praestol 655BC, c = 0,5%						
Czas sonifikacji	Moc akustyczna		Energia sonifikacji	Gęstość energii	Gęstość mocy	
ts, s	N, W		Es, J	We, J/dm³	Wm, W/dm³	
60	32,53	$\bar{X} = 39,9$	1952	9760	162,7	$\bar{X} = 196,9$
120	40,06		4807	24035	200,3	
180	38,92		7005	35025	194,6	
240	44,01	$\sigma = 3,94$	10563	52815	220,1	$\sigma = 19,7$
300	42,21		12663	63315	211,1	
360	38,52		13868	69340	192,6	
Praestol 655BC, c = 0,25%						
60	36,90	$\bar{X} = 33,9$	2214	11070	184,5	$\bar{X} = 169,7$
120	34,89		4187	20935	174,5	
180	34,46		6202	31010	172,3	
240	34,42	$\sigma = 2,13$	8261	41305	172,1	$\sigma = 10,6$
300	31,90		9569	47845	159,5	
360	31,06		11181	55905	155,3	

Tabela 4

Wartości natężenia fali akustycznej podczas sonifikacji roztworów polielektrolitów

Natężenie fali I , W/cm^2	Praestol 650BC $c = 0,5\%$	Praestol 650BC $c = 0,25\%$	Praestol 655BC $c = 0,5\%$	Praestol 655BC $c = 0,25\%$
Średnia	1,34	1,26	1,41	1,21
Odchylenie	0,06	0,10	0,14	0,08

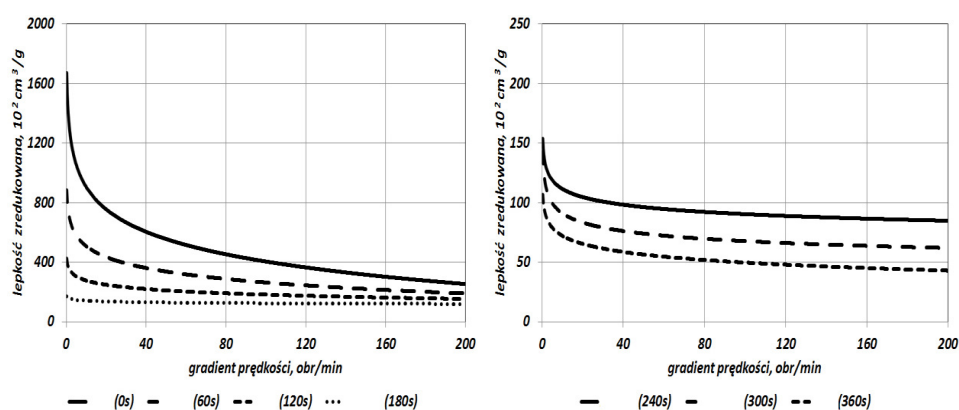
Na podstawie przytoczonych wartości można stwierdzić, że poszczególne próby w niewielkim stopniu różnią się wielkościami stanu energetycznego. Moc akustyczna oraz wartości gęstości mocy wskazują, że bardziej stężone roztwory charakteryzują się nieco większą sprawnością przekazywania energii przez sonotrodę, a więc podlegają większej intensywności sonifikacji. Wyróżnić ponadto można podstawową zależność odzwierciedlającą zwiększenie ilości wniesionej energii w funkcji rosnącego czasu sonifikacji. Na podstawie tych dwóch cech ilościowych wyznaczono związek korelacyjny oparty na prostej regresji o równaniu $y = ax + b$. Wartości współczynników regresji „a” - nachylenie oraz współczynnika determinacji „ r^2 ” zawarto w tabeli 5.

Tabela 5

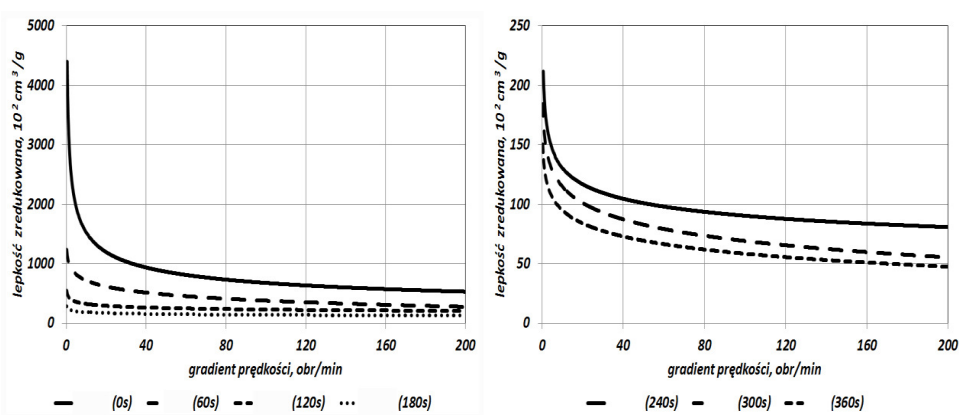
Współczynniki korelacji i nachylenie prostej najmniejszych kwadratów dla zależności $E_s = f(t_s)$ dla badanych próbek polielektrolitów

Polielektrolit	Stężenie	a	r^2
Praestol 650BC	$c = 0,5\%$	36,008	0,989
	$c = 0,25\%$	30,682	0,993
Praestol 655BC	$c = 0,5\%$	41,289	0,984
	$c = 0,25\%$	30,019	0,994

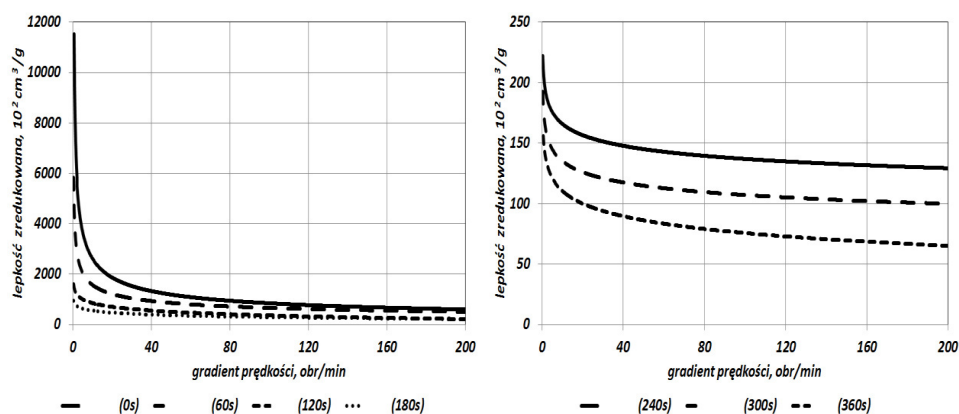
Współczynniki determinacji potwierdzają, że związek pomiędzy energią a czasem sonifikacji ma charakter prostoliniowy, występują jednak różnice w intensywności oddziaływania fali ultradźwiękowej. Ponieważ brak jest dokładnych danych na temat mas cząsteczkowych badanych polielektrolitów, należy sądzić, że wyznacznikiem tym będzie moc jonowa polielektrolitu. Dla silnie kationowego polielektrolitu Praestol 655BC o stężeniu $c = 0,5\%$ odnotowano, względem wniesionej energii, największą dynamiczność nadźwiękawiania. Zasadnicze badania dotyczyły określenia wartości lepkości dynamicznej w funkcji czasów gradientu prędkości obrotowej wrzecion lepkościomierza oraz zależności od czasu sonifikacji. Na podstawie zmierzonej lepkości roztworów polielektrolitów $\eta_{roztworu}$ oraz rozpuszczalnika, którym była woda η_{wody} , obliczono lepkość względną η_{wz} , która stanowi iloraz $\eta_{roztworu}$ i η_{wody} . Kolejnym krokiem było wyliczenie wartości lepkości zredukowanej według wzoru $\eta_{red} = (\eta_{wz} - 1)/c$. Lepkość zredukowaną dla badanych próbek zobrazowano na rysunkach 1-4. Należy nadmienić, że wyznaczenie lepkości przy gradientie zerowym następowało poprzez ekstrapolację krzywych do gradientu zerowego, otrzymując wartości lepkości zredukowanej przy $G = 0$.



Rys. 1. Wartości lepkości zredukowanej polielektrolitu Praestol 650BC o stężeniu $c = 0,5\%$



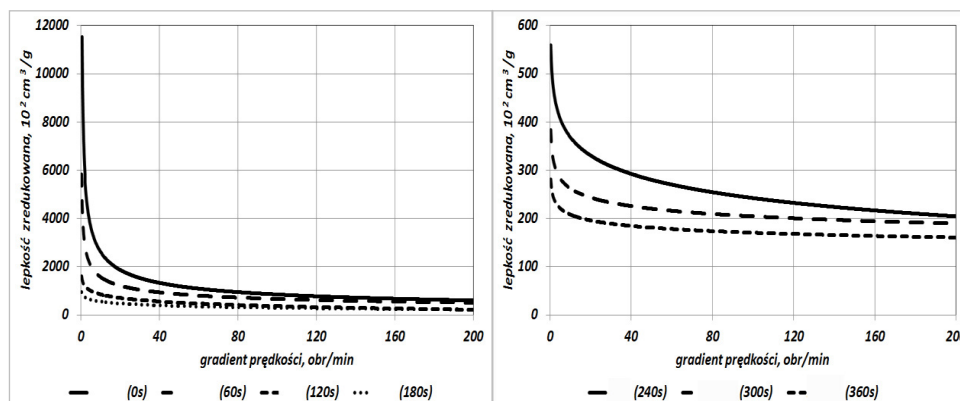
Rys. 2. Wartości lepkości zredukowanej polielektrolitu Praestol 650BC o stężeniu $c = 0,25\%$



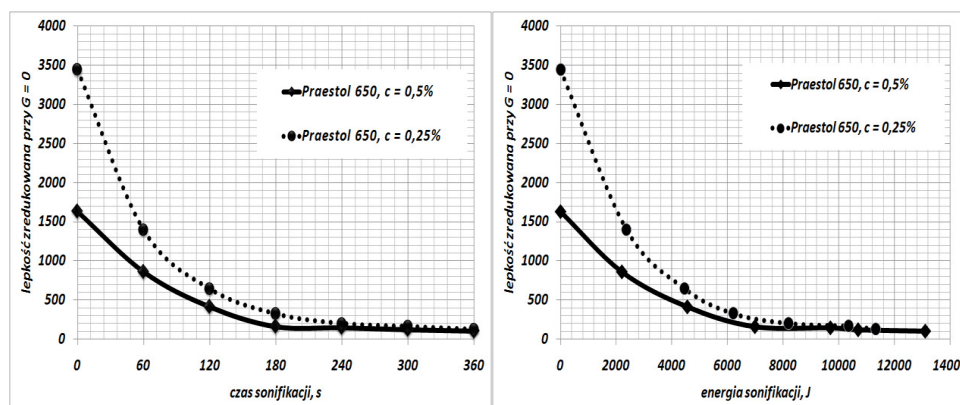
Rys. 3. Wartości lepkości zredukowanej polielektrolitu Praestol 655BC o stężeniu $c = 0,5\%$

Jak wspomniano wcześniej, krzywe lepkości zredukowanej ekstrapolowano do gradientu zerowego, dzięki czemu uzyskano wartości lepkości zredukowanej przy gradiencie $G = 0$. W dalszej kolejności otrzymane wartości naniesiono na wykres zależności lepkości zredukowanej w funkcji czasów nadzwiekawiania

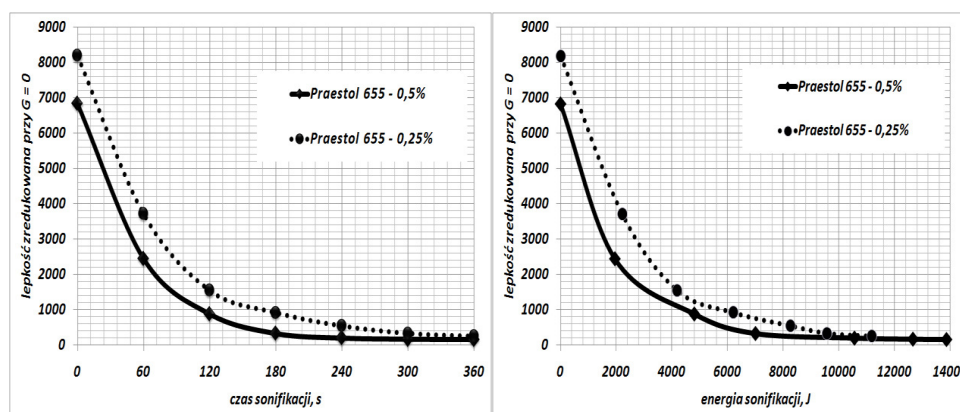
i energii sonifikacji odpowiednio dla rodzajów i stężeń badanych polielektrolitów (rys. rys. 5 i 6).



Rys. 4. Wartości lepkości zredukowanej polielektrolitu Praestol 655BC o stężeniu $c = 0,25\%$

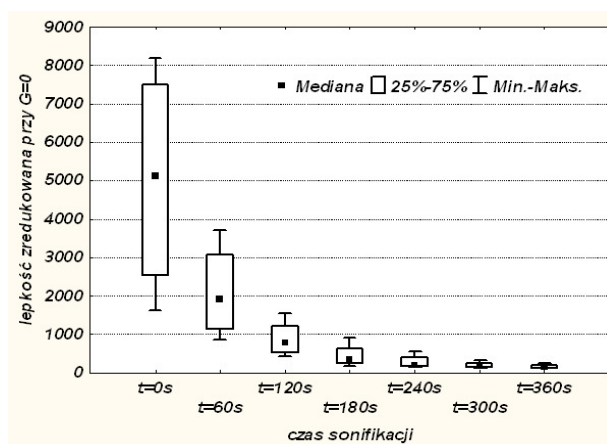


Rys. 5. Wartości lepkości zredukowanej przy gradiencie prędkości dążącym do 0 w funkcji czasu i energii sonifikacji dla polielektrolitu Praestol 650BC



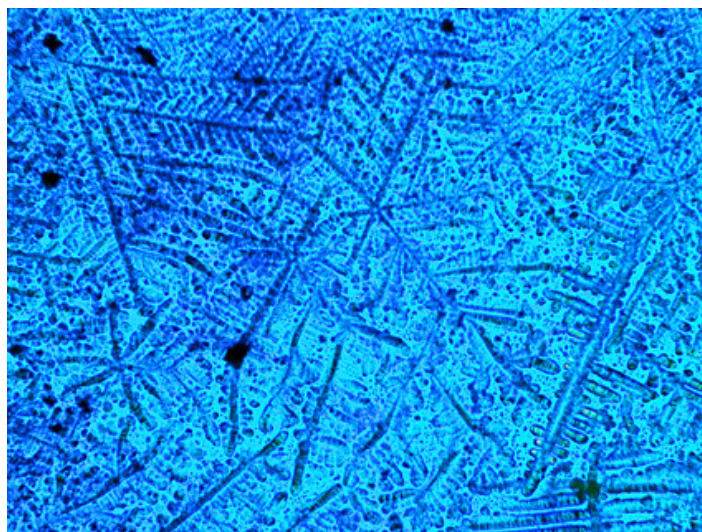
Rys. 6. Wartości lepkości zredukowanej przy gradiencie prędkości dążącym do 0 w funkcji czasu i energii sonifikacji dla polielektrolitu Praestol 655BC

Kolejnym krokiem była analiza lepkości zredukowanej przy $G = 0$ w aspekcie zmian lepkości wywołanej zwiększaniem czasu sonifikacji. Niezależnie od rodzaju badanych próbek polielektrolitów zobrazowano zakresy obserwowanych wartości maksymalnych i minimalnych, medianę jako miarę tendencji centralnej oraz percentyle 25 i 75%. Celem takiego zestawienia było określenie czasu nadźwiękawiania, w tym i siły nadźwiękawiania, który wywołuje depolimeryzację makrocząsteczek polielektrolitu i znaczące obniżenie lepkości (rys. 7).

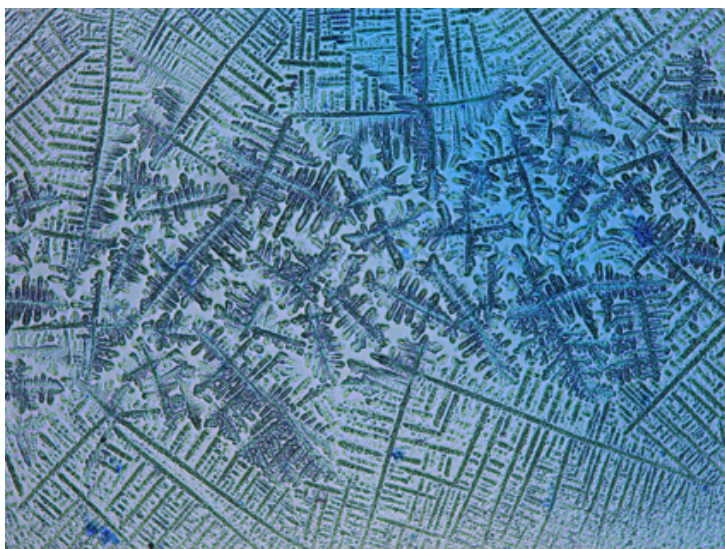


Rys. 7. Zmiany lepkości badanych próbek w zależności od czasu sonifikacji

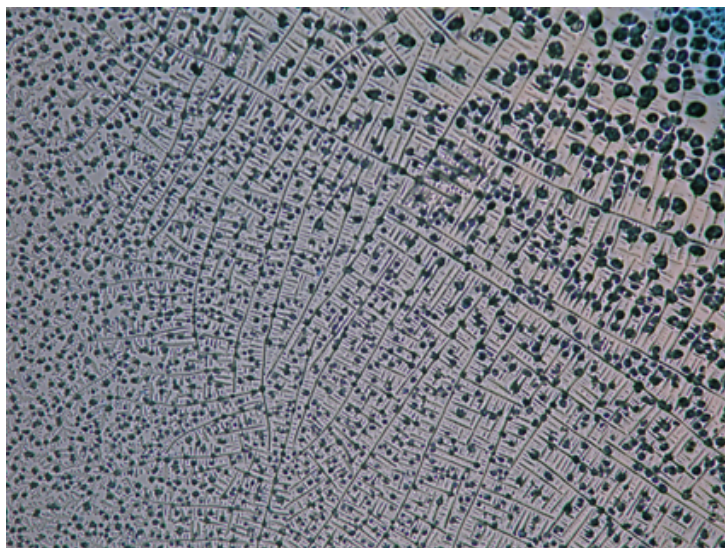
Podczas badań wykonano również zdjęcia mikroskopowe usieciowanych struktur polielektrolitów. Zastosowane powiększenie obrazu struktury flokulantów to 1:100 (rys. rys. 8-10).



Rys. 8. Mikroskopowa struktura polielektrolitu Praestol 655BC



Rys. 9. Mikroskopowa struktura polielektrolitu Praestol 655BC po 120 s sonifikacji



Rys. 10. Mikroskopowa struktura polielektrolitu Praestol 655BC po 360 s sonifikacji

Na podstawie przedstawionych obrazów można wnioskować, że polielektrolit ma tzw. „grzebykową” strukturę. Pod wpływem nadźwiękawiania wydaje się, że nie ulega ona raczej degradacji, natomiast zmianom podlegają własności polielektrolitu i jego zdolność do destabilizacji i koagulacji cząstek. Wynika to z faktu, że flokulanty posiadają w roztworze wodnym grupy chemicznie czynne, które wskazują silne powinowactwo w stosunku do substancji koloidalnych i to one prawdopodobnie podlegają modyfikacji ultradźwiękowej.

3. Omówienie wyników badań i uwagi końcowe

Oddziaływanie ultradźwięków kojarzone jest głównie ze zjawiskiem kawitacji oraz reakcjami sonochemicznymi wynikającymi z powstawania podczas propagacji fali ultradźwiękowej wysokoreaktywnych rodników. Obok zjawiska kawitacji, które w głównej mierze odpowiada za charakter dezintegracyjny fali ultradźwiękowej, występują również oddziaływania mechaniczne w formie sił tnących. Według źródeł literaturowych, oddziaływania mechaniczne są zjawiskiem pierwotnym (podstawowym), natomiast powstanie kawitacji wymaga przekroczenia pewnego natężenia progowego, przy czym zależne jest również od szeregu właściwości sonifikowanego ośrodka i warunków nadźwiękawiania. Przyjmuje się, że natężenie akustyczne niezbędne do wywołania zjawiska kawitacji przy częstotliwościach drgań $f = 15$ kHz mieści się w zakresie $0,16 \div 2,6$ W/cm² i zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości. Maksymalne natężenie fali akustycznej otrzymane podczas doświadczeń osiąga wartość 1,41 W/cm². Odnosząc te dane do otrzymanych wyników, nie można stwierdzić, czy zjawisko kawitacji, czy oddziaływania mechaniczne stanowiły podstawę oddziaływania ultradźwięków na zmiany lepkości polielektrolitów. Jasnym spostrzeżeniem jest, że roztwór polielektrolitu poddany sonifikacji obniżał wartości lepkości zredukowanej wraz ze wzrostem czasu nadźwiękawiania i tym samym wniesionej energii. Postępy depolimeryzacji widoczne są już przy najkrótszym czasie nadźwiękawiania. Struktura i właściwości sonifikowanego polielektrolitu wskazują na znaczące pogorszenie jego własności flokulacyjnych i koagulacyjnych. Porównanie przebiegu krzywych lepkości zredukowanej przy $G = 0$ w funkcji czasów i energii sonifikacji (rys. 5 i 6) wskazuje, że charakter oddziaływania fali ultradźwiękowej nie jest uzależniony od stężenia polielektrolitu. Wynika to z faktu, że krzywe te mają przebieg równoległy do siebie. Zaobserwowane na sumarycznym wykresie zmiany lepkości badanych polielektrolitów (rys. 7) dowodzą, że czas nadźwiękawiania $t_s = 60$ s powoduje co najmniej dwukrotne obniżenie zakresu wartości lepkości zredukowanej. Wydłużanie czasu potęguje efekt destrukcyjny. Przy czasie rzędu $t_s = 240$ s można mówić o szczątkowej lepkości polielektrolitów. Od tego czasu otrzymane wartości utrzymują się na stałym poziomie i nie obserwuje się dynamizmu przemian charakterystycznego dla początkowych czasów nadźwiękawiania. Należy stwierdzić, że energia dezaktywacji badanych polimerów to około $9 \div 10$ kJ, przy czym już energia 2 kJ wystarcza, aby znacząco zmienić charakter związku. Podatność zatem polielektrolitów opartych w swoim składzie na kopolimerach akrylamidu, przy badanych stężeniach, jest niska i łatwo podlegająca zjawiskom dezintegracji.

Ważnym spostrzeżeniem jest to, że liniowa sonifikacja rozumiana jako prostoliniowa zależność pomiędzy czasem a energią sonifikacji wywołuje nieliniowe efekty oddziaływania w formie zmian lepkości. Należy odnieść się krytycznie co do doniesień o możliwości ultradźwiękowej modyfikacji struktury polielektrolitów, umożliwiającej poprawę stopnia odwodnienia osadów. Z przeprowadzonych badań można wnioskować, że fala ultradźwiękowa pomimo niskich stanów energetycznych jest czynnikiem, który w istotny sposób modyfikuje substancje obecne w roztworze. Możliwa polimeryzacja monomerów pod wpływem sonifikacji, któ-

ra jest sygnalizowana w publikacjach naukowych, wydaje się być zagadnieniem o drugorzędnym charakterze względem dezintegracyjnego oddziaływania ultradźwięków.

Podziękowanie

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy BG 401- 407/10.

Literatura

- [1] Bień J.B., Osady ściekowe. Teoria i praktyka, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
- [2] Bień J.B., Bień J.D., Wystalska K., Problemy gospodarki osadowej w ochronie środowiska, Skrypty Politechniki Częstochowskiej nr 31, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998.
- [3] Podedworna J., Umiejewska K., Technologia osadów ściekowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [4] Gogate P.R., Kabadi A.M., A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology, Biochemical Engineering Journal 2009, 44, 60-72.
- [5] Naddeo V., Belgiorno V., Landi M., Zarra T., Napoli R.M.A., Effect of sonolysis on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, Desalination 2009, 249, 762-767.
- [6] Bień J., Szparkowska I., Wpływ dezintegracji ultradźwiękowej osadów ściekowych na przebieg procesu stabilizacji beztlenowej, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2004, 7, 3-4, 341-352.
- [7] Zawieja I., Wolny L., Wolski P., Wpływ procesu hydrolizy ultradźwiękowej na generowanie lotnych kwasów tłuszczowych w procesie kwaśnej fermentacji osadów nadmiernych, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2009, 12, 3, 207-217.
- [8] Barański M., Zawieja I., Wpływ termicznej hydrolizy na zmiany struktury osadów nadmiernych poddanych stabilizacji beztlenowej, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2010, 13, 2, 85-91.
- [9] Feng X., Deng J., Lei H., Bai T., Fan Q., Li Z., Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning, Bioresource Technology 2009, 100, 1074-1081.
- [10] Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T., Skuteczność odwadniania osadów kondycjonowanych substancjami chemicznymi w metodach łączonych z ultradźwiękami, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2008, 11, 1, 65-72.
- [11] Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T., Efekty odwadniania mechanicznego osadów pokoagulacyjnych kondycjonowanych substancjami niereaktywnymi chemicznie i ultradźwiękami w metodach łączonych, [w:] Gospodarka odpadami komunalnymi, praca zbiorowa pod red. K. Szymańskiego, Komitet Chemii Analitycznej PAN, Koszalin 2007, III, 179-187.
- [12] Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T., Wpływ parametrów warstwy filtracyjnej oraz sposobu preparowania osadów ściekowych na efekty ich odwadniania, [w:] Gospodarka opadami komunalnymi, praca zbiorowa pod red. K. Szymańskiego, Komitet Chemii Analitycznej PAN, Koszalin 2009, V, 129-138.
- [13] Bień J., Wolny L., Badanie niektórych właściwości osadów ściekowych w procesie kondycjonowania polem ultradźwiękowym, Materiały XI Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Osady ściekowe - technologie - wspomaganie decyzji, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000, 11-16.

- [14] Bień J., Wolny L., Wolski P., Wpływ ultradźwięków na strukturę osadów ściekowych w procesie ich kondycjonowania, Materiały XII Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Osady ściekowe - problem aktualny, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2001, 40-50.
- [15] Kidak R., Wilhelm A.M., Delmas H., Effect of process parameters on the energy requirement in ultrasonical treatment of waste sludge, Chemical Engineering and Processing 2009, 48, 1346-1352.
- [16] Nanzai B., Okitsu K., Takenaka N., Bandow H., Tajima N., Maeda Y., Effect of reaction vessel diameter on sonochemical efficiency and cavitation dynamics, Ultrasonics Sonochemistry 2009, 16, 163-168.

Analysis of the Ultrasound Influence on the Depolymerization Phenomenon on the Example of Flocculants Viscosity Changes

The paper presents results of studies on characteristic changes of macromolecular systems under the influence of sonication energy. During the study analyzed the effects of ultrasound wave in terms of depolymerization of macromolecules. Substrate for the study were cationic polymers used as a conditioning factor in the sludge dewatering. Evaluation of the sonication effects were made on the basis of viscosity changes as a function of sonication parameters. The occurring transformation caused a depolymerization effect by the destruction of cross-linked structures.

Keywords: ultrasound, polyelectrolytes, viscosity