

January Bień, Longina Stępiak

## Ocena możliwości zastosowania ultradźwięków do wspomaganie koagulacji domieszek wody

Dotychczas potwierdzono pozytywny efekt oddziaływania ultradźwięków w procesie dezynfekcji wody ozonem i dwutlenkiem chloru [1,2]. Efekt ten jest związany ze zjawiskiem kawitacji ultradźwiękowej, występującym po przekroczeniu natężenia progowego, które dla wody wynosi około  $1 \text{ W/cm}^2$ . Dezaktywację bakterii powodują wówczas siły rozrywające wzbudzonej fali udarowej. W polu ultradźwiękowym o niższych natężeniach zachodzą natomiast zjawiska o odmiennym charakterze, sprzyjające aglomeracji cząstek obecnych w wodzie [3,4]. Możliwość wykorzystania tego zjawiska w procesie koagulacji jest tematem badań, których efektem może być zmniejszenie dawek koagulantów stosowanych do uzdatniania wody.

W niniejszej pracy omówiono wyniki badań dotyczących oceny możliwości zastosowania ultradźwięków do wspomaganie procesu koagulacji domieszek wody siarczanem glinu. Podjęcie badań nad układami skojarzonymi poprzedzono doświadczeniami z wykorzystaniem samego pola ultradźwiękowego, jednak w ich rezultacie otrzymano nieznaczne efekty, dodatkowo bardzo zróżnicowane w zależności od wartości wskaźników fizyczno-chemicznych wody [5].

### Zakres i metodyka badań

Koagulacji poddano próbki wody powierzchniowej po sedymentacji zawieszin łatwo opadających. Badania koagulacji prowadzono metodą testu naczyniowego (szybkie mieszanie 30 s, wolne mieszanie 30 min, sedymentacja 1 h), stosując dla wody o mętności  $20+50 \text{ g/m}^3$  18-wodny siarczan glinu w dawkach  $15+40 \text{ g/m}^3$ . W badaniach zmieniano kolejność stosowania czynników koagulujących, tj. ultradźwięków i koagulantu (połowa dawki), porównując efektywność tych układów z koagulacją prowadzoną połową i pełną dawką koagulantu bez ultradźwięków. Źródłem ultradźwięków był dezintegrator UD-20 o następujących parametrach:

- maksymalna moc wyjściowa:  $P=180 \text{ W}$ ,
- częstotliwość drgań:  $f=22 \text{ kHz}$ ,
- stabilizowana amplituda drgań:  $A=8+16 \text{ }\mu\text{m}$ .

Działaniu ultradźwięków poddano próbki wody w naczyniu o pojemności  $500 \text{ cm}^3$ . W badaniach zastosowano zmienne czasy działania ultradźwięków ( $1+5 \text{ min}$ ) oraz stałą amplitudę drgań ( $8 \text{ }\mu\text{m}$ ), zapewniającą ekspozycję próbek wody w polu ultradźwiękowym o najniższym natężeniu, sprzyjającym efektem koagulacji.

Do oceny efektów technologicznych procesu koagulacji wytypowano trzy wskaźniki, które określono przed i po realizacji danego testu, tj. mętność, barwę oraz potencjał elektrokinetyczny ( $\zeta$ ). Analiza uzyskanych efektów w skojarzonych układach koagulacji (ultradźwięki i połowa dawki koagulantu) polegała na ich porównaniu z końcowym efektem zastosowania samego koagulantu w danej próbce wody. Przyjęto zatem, że potwierdzeniem intensyfikującego oddziaływania ultradźwięków w procesie koagulacji będzie obniżenie mętności i intensywności barwy wody uzyskane w układach skojarzonych, w porównaniu z działaniem samego koagulantu. Dodatkową ocenę zachodzących procesów umożliwiły wyniki oznaczeń potencjału elektrokinetycznego, przy czym obniżenie jego wartości bezwzględnej sugerowało poprawę badanych efektów. Dokonano również pomiaru pH wody, jako istotnego parametru procesu koagulacji.

Efektywność badanych metod koagulacji określono jako procentową skuteczność obniżenia mętności, intensywności barwy oraz potencjału  $\zeta$ . W wypadku podwyższenia wartości badanego wskaźnika uznano, że skuteczność procesu była zerowa. Potwierdzeniem wspomaganego działania ultradźwięków był wzrost skuteczności obniżania wartości badanych wskaźników w skojarzonej metodzie koagulacji (ultradźwięki i połowa dawki koagulantu) względem efektu uzyskanego po zastosowaniu samego koagulantu (połowa dawki). Wartości te określono odpowiednio jako wzrost skuteczności obniżenia mętności, intensywności barwy oraz potencjału  $\zeta$ .

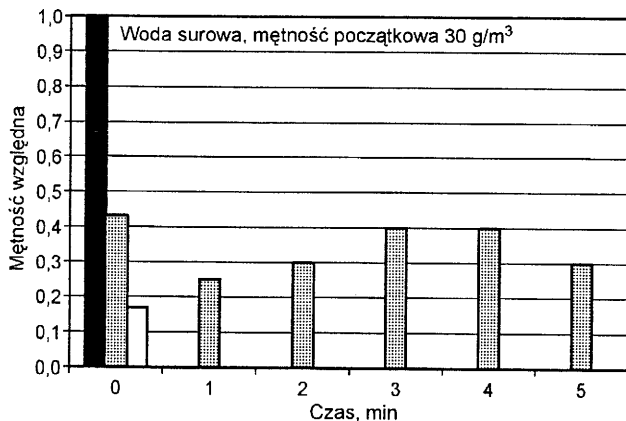
### Dyskusja wyników

Badania rozpoznawcze miały na celu wybór układu technologicznego spośród dwóch, różniących się kolejnością zastosowania ultradźwięków i koagulantu. Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że najkorzystniejsze oddziaływanie pola ultradźwiękowego wystąpiło w wariancie, w którym koagulację domieszek wody połową dawki siarczanu glinu poprzedzono zastosowaniem ultradźwięków. Stosując połowę dawki koagulantu, po wcześniejszym działaniu pola ultradźwiękowego w czasie 5 min, uzyskano istotne obniżenie mętności, a efekt ten wzrastał wraz ze wzrostem mętności początkowej wody. Wyniki dalszych badań prowadzonych według tego wariantu, rozszerzone o oznaczenia barwy wody i potencjału elektrokinetycznego, pozwoliły na lepszą ocenę przebiegu procesów uzdatniania wody. Zmienne parametry prowadzenia procesu koagulacji, tj. czas działania ultradźwięków i początkowa mętność wody, umożliwiły ustalenie najkorzystniejszych wartości parametrów procesu.

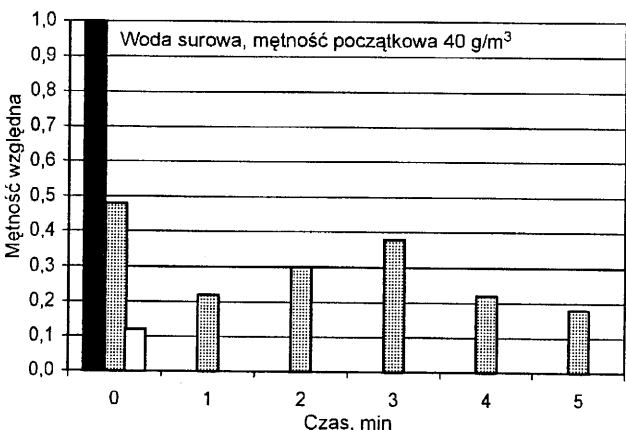
Analizując zmiany mętności próbek wody w tych badaniach potwierdzono, że po koagulacji metodą skojarzoną (ultradźwięki i połowa dawki koagulantu) była ona zasadniczo niższa, niż przy stosowaniu samego koagulantu (połowa dawki). Nie zaobserwowano natomiast jednoznacznej zależności wzrostu tego efektu wraz z wydłużaniem czasu działania ultradźwięków. Wspomagające działanie pola ultradźwiękowego wiązało się jednocześnie z obniżeniem potencjału  $\zeta$ , co mogło powodować lepsze wykorzystanie właściwości koagulacyjnych siarczanu glinu. Ponadto, niemal we wszystkich próbkach wody po koagulacji metodą skojarzoną, odnotowano niewielkie podwyższenie pH w stosunku do próbek nie poddanych działaniu ultradźwięków.

Na rysunkach 1 i 2 pokazano dwa przykładowe wykresy obrazujące końcowy rezultat badanych metod koagulacji w postaci mętności względnej wody ( $M/M_0$ ). Można stwierdzić, że najlepszy efekt wystąpił dla skrajnych wartości z badanego przedziału czasu, co oznacza, że nawet 1-minutowe działanie ultradźwięków spowodowało istotne podwyższenie skuteczności działania połowy dawki siarczanu glinu. Wspomaganie koagulacji ultradźwiękami nie zastąpiło jednak w tym wypadku pełnej dawki koagulantu.

W przeciwieństwie do zmian mętności wody wskutek oddziaływania ultradźwięków z koagulantem nie uzyskano jednak obniżenia intensywności barwy wody. Zmniejszenie wartości tego wskaźnika było spowodowane jedynie działaniem samego koagulantu, a pole ultradźwiękowe nie wpłynęło



Rys. 1. Zależność mętności wody od czasu działania pola ultradźwiękowego ( $M_0=30\text{ g/m}^3$ , słupki białe – pełna dawka koagulantu, słupki szare – ultradźwięki i połowa dawki koagulantu)



Rys. 2. Zależność mętności wody od czasu działania pola ultradźwiękowego ( $M_0=40\text{ g/m}^3$ , słupki białe – pełna dawka koagulantu, słupki szare – ultradźwięki i połowa dawki koagulantu)

dodatkowo na jego zmianę. Zestawienie uzyskanych w badaniach skuteczności obniżania mętności wody i potencjału  $\zeta$  wykazało, że najkorzystniejsze rezultaty zbiegły się ze znacznym obniżeniem potencjału elektrokinetycznego po zastosowaniu pola ultradźwiękowego, natomiast niekorzystne wyniki wystąpiły wówczas, kiedy obniżenie potencjału spowodował sam koagulant.

Zależność efektów oddziaływania ultradźwięków od początkowej mętności wody nie była możliwa do ustalenia. Być może przyczynił się do tego wąski zakres mętności wody ( $30+40\text{ g/m}^3$ ), jednakże z drugiej strony niewielkie zmiany mętności badanej wody pozwalają uśrednić uzyskane wartości i efekt ten ocenić w zależności od czasu działania ultradźwięków.

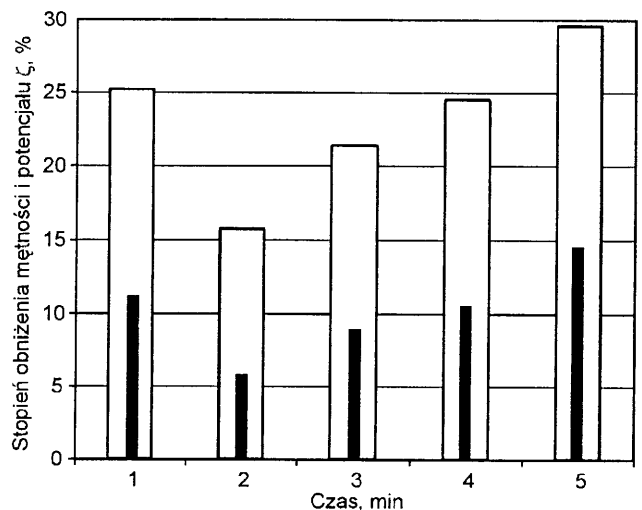
W tabeli 1 zestawiono średnie wartości wzrostu skuteczności obniżania trzech badanych wskaźników fizyczno-chemicznych wody, określające efekt wspomaganie procesu koagulacji ultradźwiękami.

Tabela 1. Średni wzrost skuteczności procesu koagulacji (%) (ultradźwięki i połowa dawki koagulantu)

Czas, min	Mętność	Potencjał $\zeta$	Barwa
1	25,2	11,4	0
2	15,7	5,6	0
3	21,4	9,2	0
4	24,5	10,2	0
5	29,6	14,9	0

Najsukuteczniejszy czas działania ultradźwięków, w odniesieniu do usuwania mętności wody (ok. 30%), wyniósł 5 min i pokrywał się z maksymalnym obniżeniem potencjału elektrokinetycznego, co potwierdza wcześniejszą ocenę tej zależności. Z ekonomicznego punktu widzenia za bardziej korzystny należy jednak uznać najkrótszy z zastosowanych czasów (1 min), który pozwolił na uzyskanie zbliżonych efektów (ok. 25%).

Otrzymałą w badaniach zależność pomiędzy efektem działania ultradźwięków w odniesieniu do mętności wody i potencjału w badanym przedziale czasu obrazuje rysunek 3. Zwraca uwagę fakt, że wzrost lub obniżenie skuteczności działania ultradźwięków w procesie koagulacji było zbieżne z taką samą zmianą potencjału elektrokinetycznego.



Rys. 3. Zależność skuteczności obniżenia mętności wody oraz potencjału elektrokinetycznego od czasu działania pola ultradźwiękowego ( $A=8\text{ }\mu\text{m}$ ,  $f=22\text{ kHz}$ , słupki białe – mętność, słupki czarne – potencjał  $\zeta$ )

## Wnioski

♦ Potwierdzono pozytywny wpływ pola ultradźwiękowego na efekt procesu koagulacji domieszek wody siarczanem glinu. Przy zastosowaniu działania ultradźwięków uzyskano wzrost skuteczności obniżenia mętności wody o 16÷30%. Czas działania ultradźwięków, przy którym uzyskano maksymalną skuteczność dla badanej wody wynosił 5 min, jednak z ekonomicznego punktu widzenia korzystniejsze jest stosowanie czasu 1 min, dla którego efekt był niewiele niższy.

♦ Zmiany wartości potencjału elektrokinetycznego korelowały z obniżeniem mętności próbek wody. Maksymalny efekt oddziaływania ultradźwięków uzyskano w próbkach, w których następowało wyraźne dążenie potencjału elektrokinetycznego do zera. Niezależnie od zastosowanego czasu działania ultradźwięków nie odnotowano wpływu tego czynnika na obniżenie intensywności barwy wody.

## LITERATURA

1. J. BIENI, L. STĘPNIAK, J. PALUTKIEWICZ: Skuteczność dezynfekcji wody w polu ultradźwiękowym. *Ochrona Środowiska*, 1995, nr 4(59), ss. 55–58.
2. S. S. PHULL, A. P. NEWMAN: The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1997, No. 4, pp. 79–92.
3. A. ŚLIWIŃSKI: *Ultradźwięki i ich zastosowanie*. WNT, Warszawa 1993.
4. B. P. SINGH, R. SINGH: Investigation on the effect of ultrasonic pretreatment on selective separation of iron values from iron ore tailings by flocculation. *Separation Science and Technology*, 1997, No. 5, pp. 993–1002.
5. J. BIENI, L. STĘPNIAK, M. DAWID: Wstępne badania nad możliwością zastosowania ultradźwięków do uzdatniania wody metodą koagulacji. *Mat. konf. „Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka”*, Politechnika Częstochowska, Ustroń 1999, ss. 166–171.

---

### On the Utility of Ultrasounds as Coagulant Aid in Water Treatment

*The experiments were carried out on natural water samples which were subject to alum coagulation in an ultrasounds + coagulant ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) system. The ultrasonic field made use of in the study had a frequency of 22 kHz and a vibration amplitude of 8  $\mu m$ , the time of exposure ranging from 1 to 5 minutes. The findings of the study can be noticeably upgraded by the use of ultrasounds; a 5-minute exposure to the ultrasonic*

*field brought about the maximum efficiency of turbidity removal but, in terms of cost-effectiveness, a one-minute exposure was sufficient to produce a turbidity removal efficiency which was only slightly below the maximum value; the contribution of ultrasounds to the treatment effect was the most favourable when the zeta potential value tended to zero.*