

Agnieszka Rusin*, Alicja Machnicka**

ODDZIAŁYWANIE KAWITACJI HYDRODYNAMICZNEJ NA HIGIENIZACJĘ OSADU CZYNNEGO NADMIERNEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono działania zmierzające do zmiany właściwości oraz struktury osadu czynnego nadmiernego. W tym celu zastosowano dezintegrację osadu nadmiernego za pomocą kawitacji hydrodynamicznej. Powoduje ona destrukcję struktury kłaczków osadu i niszczenie komórek mikroorganizmów.

Przeprowadzone badania miały pokazać możliwości wykorzystania kawitacji hydrodynamicznej do higienizacji bakteriologicznej osadu czynnego nadmiernego. Skuteczność zastosowanej metody została potwierdzona przez oznaczenie liczby bakterii wyrosłych przed zastosowaniem i po zastosowaniu procesu higienizacji, na podłożach podstawowych i selektywnych oraz ich identyfikacji.

Wykonane analizy potwierdziły możliwość zastosowania kawitacji hydrodynamicznej do higienizacji osadu. Stwierdzono znaczne zmniejszenie ogólnej liczby bakterii, zwłaszcza bakterii chorobotwórczych należących do rodziny *Enterobacteriaceae* oraz rodzaju *Staphylococcus*. Redukcja liczby bakterii *Salmonella* spp. przy ciśnieniu 12 bar w czasie 15 min dezintegracji wynosiła 62%, natomiast przy 30 min już 92%. Po upływie 45 min zaobserwowano całkowitą redukcję pałeczek.

Hydrodynamic cavitation in hygienization surplus activated sludge

Abstract

Surplus activated sludge is treated for the purpose of changing its characteristics and structure. Disintegration of activated sludge was applied using hydrodynamic cavitation aimed at the destruction of sludge floc structure and destruction of microbial cells.

The purpose of the conducted research was to demonstrate the possibility of the application of the hydrodynamic cavitation in the bacteriological hygienization of the excessive activated sludge. The effectiveness of the applied method has been confirmed by the number of bacteria grown before and after the application of the process of hygienization on the basic and selective bases. Subsequently bacteria cultures have been conducted identification.

The performed analysis confirmed the possibility of the application of the hydrodynamic cavitation, as a significant decrease in the overall number of bacteria has been established, pathogenic bacteria belonging to the family *Enterobacteriaceae* and type species *Staphylococcus*. The reduction of *Salmonella* spp. bacteria with the used pressure of 12 bar and the time of disintegration of 30 minutes was 92%, however, with the time of 45 minutes was 100%.

1. WPROWADZENIE

Osad czynny nadmierny to wynik biologicznego rozkładu związków organicznych i przyrostu mikroorganizmów. Stanowią go głównie komórki mikroorganizmów „przyrastającej” masy osadu czynnego i zawiesiny ogólnej, pozostałej po sedymentacji wstępnej. W zależności od czasu przetrzymywania osadu w procesie biologicznym

* Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie w Głównym Instytucie Górnictwa

** Akademia Techniczno-Humanistyczna, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Bielsko-Biała

(tzw. wieku osadu), wytwarza się od 0,2 do 0,8 kg suchej masy osadu na 1 kg usuniętego BZT₅ (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2006).

Skład osadów wpływa na:

- wybór sposobu kondycjonowania,
- możliwość ostatecznego unieszkodliwiania osadu,
- ocenę prawidłowości przebiegu procesu stabilizacji,
- ocenę stabilności osadu.

Wśród działań prowadzących do kondycjonowania osadów ściekowych wymienia się między innymi **procesy dezintegracji**. Powodują one destrukcję struktury kłaczków osadów oraz struktur osłaniających komórki drobnoustrojów, takich jak ściana komórkowa czy błona cytoplazmatyczna. Obecnie w literaturze są dostępne dane dotyczące wykorzystania biologicznych, mechanicznych, fizycznych, chemicznych oraz hybrydowych metod dezintegracji osadu (Zielewicz-Madej 2007). Jedną z takich metod jest mechaniczna dezintegracja wysokociśnieniowa, w której jest wykorzystywane zjawisko kawitacji hydrodynamicznej.

Kawitacja hydrodynamiczna (strumieniowa, przepływowa) – zachodzi w wyniku spadku ciśnienia statycznego w cieczy poniżej ciśnienia krytycznego. Spadek ciśnienia może być wywołany przez miejscowy wzrost prędkości przepływu lub zmiany warunków zewnętrznych, np. ciśnienia (Wójs 2004; Mirola, Grúbel, Machnicka 2011). Kawitacja hydrodynamiczna zauważalna jest w przewężeniach kanałów przepływowych oraz w miejscach zakrzywienia linii prądu i oderwania strumienia cieczy od opływającego ciała.

Powstała w procesie techniki strumieniowej kawitacja cechuje się znacznym stopniem dezintegracji, aż do całkowitej homogenizacji, a także inicjowaniem i przyspieszaniem reakcji chemicznych (Szulżyk-Cieplak, Fijałkowski, Ozonok 2005).

W celu likwidacji bądź ograniczenia organizmów patogennych, w osadach ściekowych (duże skażenie osadów) stosuje się procesy higienizacji. Dopuszczalne wartości zanieczyszczeń sanitarnych w osadach wykorzystywanych przyrodniczo wskazują na niewykrywalność w nich bakterii z rodzaju *Salmonella* (Stańczyk-Mazanek, Bień 2001).

Celem przeprowadzonych badań była próba wykazania wpływu kawitacji hydrodynamicznej na stan sanitarny osadu czynnego nadmiernego.

2. MATERIAŁ I METODA BADAŃ

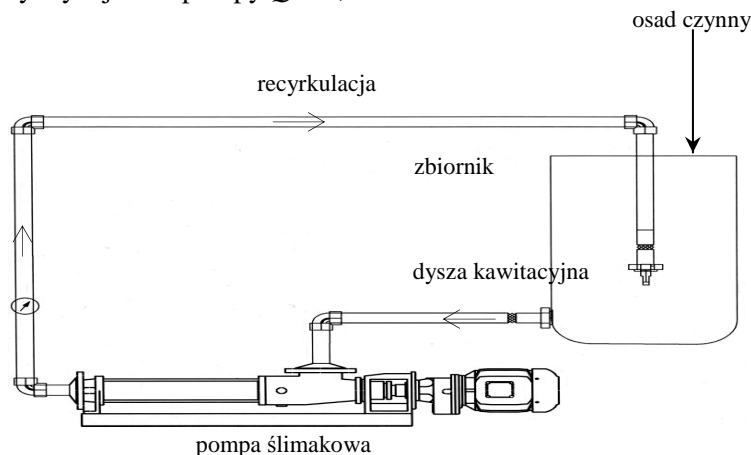
Wykorzystywany w badaniach materiał doświadczalny pochodził z oczyszczalni ścieków, która stosuje zaawansowane procesy biologicznego oczyszczania. Polegają one na symultanicznym usuwaniu związków organicznych oraz biogenów, azotu i fosforu. Oczyszczalnia posiada wydajność 90 tys. m³/d, natomiast w okresie intensywnych opadów jest dostosowana do oczyszczania zwiększonej ilości ścieków, nawet w granicach 124 tys. m³/d.

Próbki osadu nadmiernego pobierano czerpakiem do szklanych, zamykanych pojemników, które wcześniej poddano procesowi sterylizacji w autoklawie (1,5 kPa,

temperatura 121°C). Następnie materiał, w ciągu 30 min, dostarczano do laboratorium, gdzie pobrane próby wysiewano na podłoża hodowlane¹.

Proces dezintegracji osadu nadmiernego został przeprowadzony przy wykorzystaniu stanowiska badawczego, które składa się ze zbiornika osadu czynnego nadmiernego, dyszy kawitacyjnej oraz pompy ślimakowej o ciśnieniu 12 bar (rys. 1).

Czas trwania dezintegracji próbki osadu o objętości 7 dm³ wynosił kolejno: 15, 30 i 45 min, przy wydajności pompy $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$.



Rys. 1. Schemat instalacji wykorzystywanej do dezintegracji osadu czynnego nadmiernego

Fig. 1. Diagram of the installation used for the surplus activated sludge disintegration

Oznaczenie liczby bakterii przeprowadzono metodą hodowlaną. Liczebność bakterii w 1 cm³ osadu czynnego nadmiernego obliczono, wykorzystując PN-EN ISO 6222:2004. Ze względu na spodziewany stopień zanieczyszczenia pobranych próbek (duża ilość bakterii), przed posiewem rozcieńczono badany materiał od 10⁻¹ do 10⁻¹⁰, wykorzystując roztwór soli fizjologicznej.

Przedstawiona graficznie liczebność bakterii w 1 cm³ osadu nadmiernego przed i po procesie higienizacji hydrodynamicznej jest średnią arytmetyczną z pięciu serii badawczych. W każdej z tych serii wykonano dziesięć powtórzeń oznaczeń ilości drobnoustrojów.

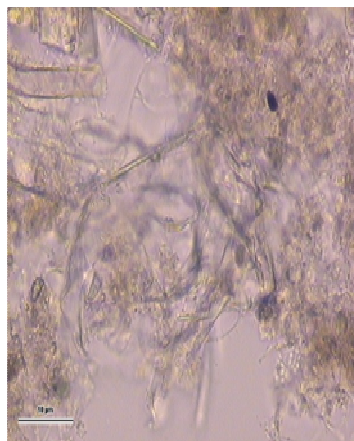
W przeprowadzonych badaniach wykorzystano agar odżywczy (wzbogacony) Mac Conkeya, SS, Chapmana, który stanowił podłoże hodowlane. Zastosowano metodę posiewu powierzchniowego oraz płytek tartych. Inkubację prowadzono w temperaturze 37°C w czasie 24 godzin. Przynależność taksonomiczną gatunków bakterii określono na podstawie kryteriów ustalonych przez Bergey's Manual Trust (Holt i in. 1996) oraz wykorzystując testy API 20E firmy Bio Merieux. Ponadto przy identyfikacji uwzględniono cechy morfologiczne kolonii wyrosłych na zastosowanych podłożach.

¹ Wysiewu dokonano zarówno bez poddania próbek procesowi kawitacji hydrodynamicznej, jak i po tym procesie.

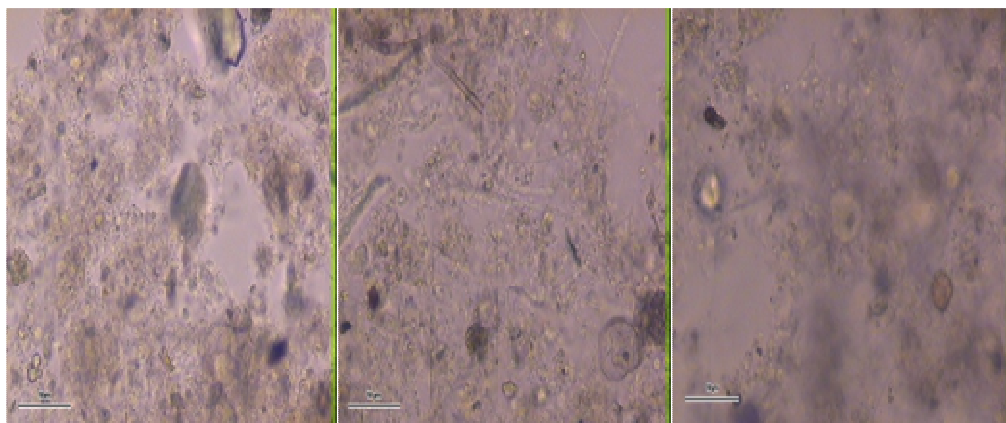
3. Dyskusja wyników badań

Celem przeprowadzonych badań było wykazanie możliwości wykorzystania kawitacji hydrodynamicznej do higienizacji osadu czynnego nadmiernego.

Wyniki badań wskazują, że proces kawitacji hydrodynamicznej doprowadza do destrukcji struktury osadu czynnego nadmiernego. Wywołanie procesu kawitacji w fazie początkowej powodowało niewielkie mechaniczne uszkodzenie struktury kłaczków, jednak w miarę trwania procesu, obserwowano rozrywanie drobnoustrojów. W konsekwencji dochodziło do całkowitej homogenizacji osadu nadmiernego (fot. 1–2).

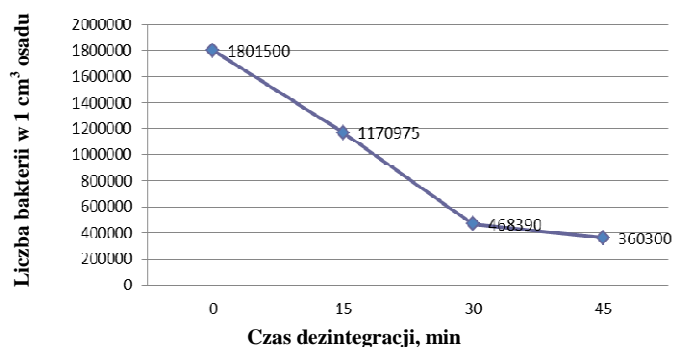


Fot. 1. Osad czynny nadmierny przed dezintegracją
Photo. 1. Surplus activated sludge before disintegration



Fot. 2. Zmiany struktury osadu czynnego nadmiernego w czasie dezintegracji:
a – po 15 min, b – po 30 min, c – po 45 min
Photo. 2. Change in the surplus activated sludge structure during the disintegration:
a – after 15 min, b – after 30 min, c – after 45 min

Proces destrukcji osadu czynnego nadmiernego pod wpływem kawitacji hydrodynamicznej powodował zmniejszenie liczby bakterii. Higienizacja osadu wzrastała wraz z wydłużeniem czasu dezintegracji. Ogólna liczba bakterii w 1 cm³ osadu nadmiernego poddanego kawitacji hydrodynamicznej uległa redukcji o 80% po 45 min procesu (rys. 2).

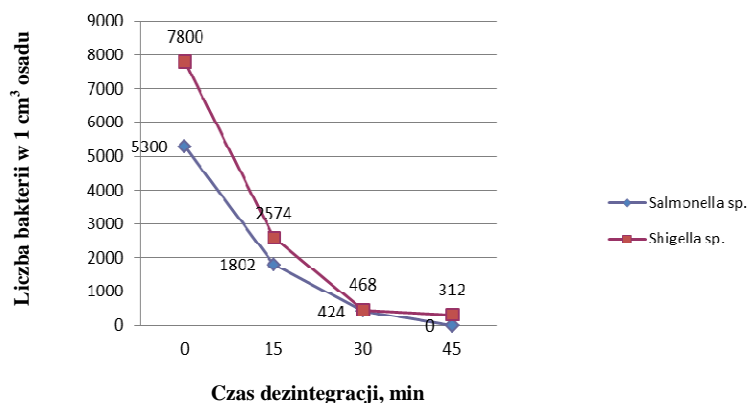


Rys. 2. Ogólna liczba bakterii w 1 cm³ osadu nadmiernego przed i po procesie dezintegracji hydrodynamicznej

Fig. 2. Total number of bacteria in 1 cm³ of the surplus sludge before and after the process of the hydrodynamic disintegration

Zjawisko kawitacji miało destrukcyjny wpływ na komórki bakteryjne, dzięki czemu ocena sanitarna osadów po dezintegracji uległa poprawie. Liczba bakterii z rodzaju *Salmonella* po 15 min higienizacji hydrodynamicznej zmniejszyła się o 66%, po 30 min o 92%, natomiast po 45 min uległa całkowitej redukcji (rys. 3).

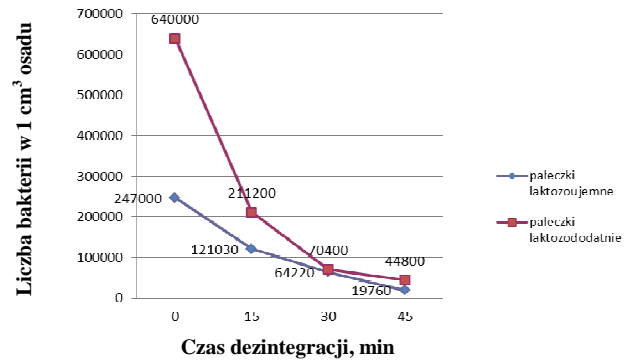
Kawitacja hydrodynamiczna spowodowała również zmniejszenie o 96% ilości pałeczek *Shigella* spp. (rys. 3).



Rys. 3. Liczba pałeczek z rodzaju *Salmonella* oraz *Shigella* w 1 cm³ osadu nadmiernego przed i po procesie dezintegracji hydrodynamicznej

Fig. 3. Number of rod-shaped bacterium from the *Salmonella* and *Shigella* genus in 1 cm³ of the surplus sludge before and after the process of the hydrodynamic disintegration

Higienizacja hydrodynamiczna spowodowała w osadzie nadmiernym spadek liczebności pałeczek z rodziny *Enterobacteriaceae* (rys. 4).

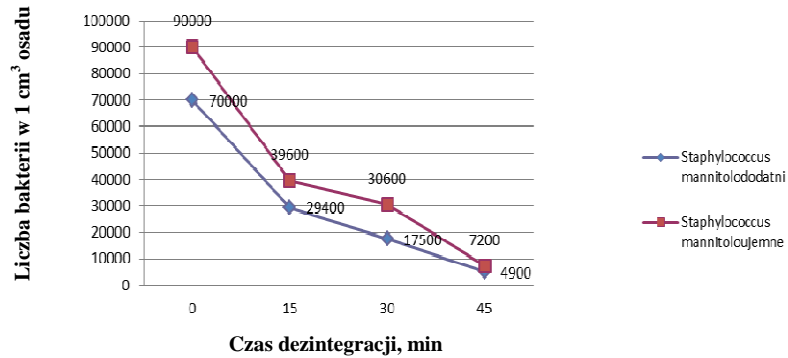


Rys. 4. Liczba pałeczek laktozododatnich i laktozoujemnych w 1 cm³ osadu nadmiernego przed i po procesie dezintegracji hydrodynamicznej

Fig. 4. Number of rod-shaped bacterium lactose-positive and lactose-negative in 1 cm³ of the surplus sludge before and after the process of the hydrodynamic disintegration

Liczba bakterii laktozoujemnych w 1 cm³ osadu uległa redukcji z 247 000 do 19 760 czyli o 92% przy zastosowaniu ciśnienia 12 bar. Liczebność pałeczek laktozododatnich, do których należy *E. coli*, zmniejszyła się z 640 000 do około 44 000 czyli o 93% (rys. 4).

Kawitacja hydrodynamiczna spowodowała także redukcję patogennych dla człowieka przedstawicieli bakterii rodzaju *Staphylococcus*. Liczba ziarniaków mannitolododatnich po 45 min dezintegracji zmniejszyła się o 93%, natomiast liczebność ziarniaków mannitoloujemnych o 92% (rys. 5).



Rys. 5. Liczba bakterii *Staphylococcus* spp. w 1 cm³ osadu nadmiernego przed i po procesie dezintegracji hydrodynamicznej

Fig. 5. Total number of *Staphylococcus* spp. bacteria in 1 cm³ of the surplus sludge before and after the process of the hydrodynamic disintegration

Efektom higienizacji osadu nadmiernego, przeprowadzonej metodą kawitacji hydrodynamicznej, była znacząca redukcja bakterii.

3. WNIOSKI

1. Metoda dezintegracji za pomocą kawitacji hydrodynamicznej przyczyniła się do zmniejszenia ogólnej liczebności bakterii (o 80%), a tym samym do higienizacji osadu czynnego nadmiernego.
2. Najskuteczniejsze efekty higienizacji osiągnięto po 45 min trwania procesu. W tym czasie liczba bakterii z rodzaju *Salmonella* uległa całkowitej redukcji.
3. Kawitacja hydrodynamiczna spowodowała zmniejszenie liczby pałeczek *Shigella* spp. o 96%.
4. W procesie dezintegracji kawitacyjnej redukcji uległy patogenne dla człowieka bakterie z rodzaju *Staphylococcus*. Ziarniaki mannitolododatnie zostały zredukowane o 93%, natomiast ziarniaki mannitoloujemne o 92%.
5. Liczebność pałeczek laktozododatnich zmalała o 92%, a laktozoujemnych o 93%.

Literatura

1. Holt J.G., Krieg N.R., Staley J.T., Williams S.T. (1996): *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th. Tokyo, Williams&Wilkins.
2. Mirola K., Grübel K., Machnicka A. (2011): Badania i ocena możliwości stosowania zwięzki kawitacyjnej do intensyfikacji procesu fermentacji osadów ściekowych. *Ochrona Środowiska* nr 33 (1), s. 47–52.
3. PN-EN ISO 6222:2004 Jakość wody – Oznaczanie ilościowe mikroorganizmów zdolnych do wzrostu – Określanie ogólnej liczby kolonii metodą posiewu na agarze odżywczym.
4. Stańczyk-Mazanek E., Bień J.B. (2001): Sanitarne właściwości gleb nawożonych osadami ściekowymi. W: *Osady ściekowe – problem aktualny*. Praca zbiorowa pod red. J.B. Bienia. Częstochowa – Ustroń, Wydaw. Politechniki Częstochowskiej, s. 325–329.
5. Szulżyk-Cieplak J., Fijałkowski S., Ozonek J. (2005): Wykorzystanie zjawiska kawitacji hydrodynamicznej w technologii oczyszczania wody i ścieków. *Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska*, t. 1. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 33, s. 279–282.
6. Wójs K. (2007): *Kawitacja w cieczach o różnych właściwościach reologicznych*. Wrocław, Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej.
7. Zielewicz E. (2007): Dezintegracja ultradźwiękowa osadu nadmiernego w pozyskiwaniu lotnych kwasów tłuszczowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Inżynieria Środowiska* z. 58, s. 1773.
8. Zielewicz-Madej E., Fukas-Płonka Ł. (2006): Nowoczesny ciąg technologiczny przeróbki osadów ściekowych nadmiernych. *Gospodarka Odpadami Komunalnymi*, t. 2, Koszalin, s. 69–186.