

Alicja MACHNICKA¹ i Ewelina NOWICKA¹

WPŁYW DEZINTEGRACJI MECHANICZNEJ I TERMICZNEJ NA SEPARACJĘ GRAWITACYJNĄ OSADU NADMIERNEGO

THE INFLUENCE OF MECHANICAL AND THERMAL DISINTEGRATION ON GRAVITATIONAL SEPARATION OF SURPLUS ACTIVATED SLUDGE

Abstrakt: Podstawowym efektem procesu dezintegracji osadów ściekowych jest fizyczna, chemiczna lub biologiczna przemiana ich struktury, która powoduje destrukcję kłaczków, fragmentację komórek mikroorganizmów, a przez to uwolnienie treści komórkowej do otaczającej cieczy. Tak spreparowany osad może być wykorzystany w ciągu technologicznym przeróbki osadów m.in. w procesach zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych. W niniejszej pracy przedstawiono wpływ dezintegracji hydrodynamicznej, mikrofalowej i termicznej na wybrane własności grawitacyjne osadu czynnego nadmiernego. Zakres badań obejmował parametry charakterystyczne dla procesu sedymentacji tj. I.G.O., I.O.O., prędkość zagęszczania osadu, stężenie osadu oraz zmiany zachodzące w fazie płynnej osadu ($ChZT_C$ i mętność). Uzyskane wyniki badań oraz przeprowadzone obliczenia potwierdziły wpływ zastosowanych metod dezintegracji na poprawę własności grawitacyjnych osadu czynnego nadmiernego.

Słowa kluczowe: kawitacja hydrodynamiczna, pole elektromagnetyczne, suchy lód, osad czynny nadmierny, własności grawitacyjne osadu

Wprowadzenie

Nieodłącznym produktem każdej oczyszczalni ścieków są osady. Powstając na różnych etapach ciągu technologicznego oczyszczania ścieków, stanowią specyficzny odpad procesów oczyszczania. Zawsze jednak są istotnym problemem technicznym ze względu na duże uwodnienie i masę oraz niebezpieczeństwo sanitarne. Najnowsze przepisy wymagają na wytwórcach (oczyszczalniach) poprawę tych niekorzystnych właściwości.

Zagęszczanie osadów jest procesem ciągu technologicznego przeróbki osadów, w którym następuje rozdział części stałych od cieczy. Osad nie zmienia swej płynnej konsystencji, następuje wzrost suchej masy oraz uzyskuje się zmniejszenie ich objętości [1]. Zagęszczanie grawitacyjne przebiega samorzutnie w urządzeniach zwanych osadnikami (wstępne, wtórne, pośrednie) albo może być prowadzone w wydzielonych zagęszczaczach. Urządzenia te mogą zagęszczać osady w systemie ciągłym lub okresowym.

Metody przerobu osadów ściekowych są bardzo kosztowne i czasochłonne i nie zawsze dają zadowalające efekty. Konieczny jest więc dobór odpowiedniej metody przeróbki przy zachowaniu stosunkowo niskich kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Głównym zadaniem procesu kondycjonowania osadów jest przekształcenie jego właściwości i składu tak, aby procesy zagęszczania i odwadniania były bardziej efektywne.

Jednym z procesów kondycjonowania osadów jest dezintegracja osadów polegająca na niszczeniu kłaczków osadu oraz rozerwaniu osłon komórkowych przy pomocy sił

¹ Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel. +48 33 827 91 31, email: amachnicka@ath.bielsko.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 15, Jarnołtówek, 14-16.10.2015

zewnątrznych i uwolnieniu substancji wewnątrzkomórkowej do fazy płynnej osadu [2]. Wykorzystuje się ją głównie do poprawy efektywności procesów rozkładu biologicznego, ograniczenia zjawiska pienienia, puchnięcia osadu oraz obniżenia indeksu osadu.

Wśród stosowanych i badanych metod dezintegracji wykorzystuje się głównie: mechaniczne [3, 4], chemiczne [5], biologiczne [6], termiczne [7, 8] i hybrydowe [9].

W artykule przedstawiono wpływ zastosowanych czynników dezintegracyjnych - kawitacji hydrodynamicznej, mikrofal i suchego lodu - na separację grawitacyjną osadu nadmiernego. Kawitacja hydrodynamiczna jest wynikiem tworzenia się pęcherzyków kawitacyjnych wypełnionych parą - mieszaniną gazów - wewnątrz przepływającej cieczy. W obszarze zapadania się pęcherzyków kawitacyjnych powstają silne wiry turbulენტne. Pęcherzyki implodują (zanikają) w obszarach podwyższonego ciśnienia powyżej wartości krytycznej, przez co wywołują w mikroobszarach wzrost temperatury i wytwarzanie fal uderzeniowych o bardzo dużym ciśnieniu [10, 11].

Jedną z metod dezintegracji osadów ściekowych jest wykorzystanie mikrofal. Promieniowanie mikrofalowe stanowi składową widma elektromagnetycznego, którego długość fali wynosi od 1 mm do 1 m, co odpowiada częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz, która najczęściej wykorzystywana jest w radarach i telewizji satelitarnej czy telefonach komórkowych. Spektrum widma zawarte jest w przedziale pomiędzy promieniowaniem podczerwonym a falami radiowymi (krótkimi) - jest to zakres odpowiadający częstotliwości od $3 \cdot 10^9$ do $3 \cdot 10^{12}$ Hz, a długości λ od 10^{-4} do 10^{-1} m [12].

Inną metodą dezintegracji osadów ściekowych jest zamrażanie/rozmarzanie. Oddziaływanie lodu na kłaczkę osadu powoduje stopniowe łączenie się małych cząstek osadu w większe aglomeraty, które w wyniku zamrażania ulegają rozrywaniu powodując dehydratację oraz zagęszczanie osadu. Ponadto, wpływ niskiej temperatury na mikroorganizmy zawarte w osadzie przyczynia się do uwolnienia materii organicznej i nieorganicznej do fazy płynnej osadu [13].

Materiał badawczy

Materiałem badawczym był osad czynny nadmierny (z osadnika wtórnego) o stężeniu suchej masy - średnio - $11,81 \text{ g/dm}^3$, pochodzący z oczyszczalni ścieków zlokalizowanej na terenie województwa śląskiego, stosującej zintegrowany system biologicznego usuwania związków organicznych, fosforu i azotu ze ścieków. Usuwanie związków biogenych ze ścieków zachodzi z wykorzystaniem sektorów beztlenowych, anoksycznych i tlenowych. Oczyszczalnia została zaprojektowana dla przepływu ścieków $120\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. Natężenie dopływu ścieków do tej oczyszczalni wynosi około $90\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, czas zatrzymania ścieków jest ok. 14-dniowy, a stężenie substancji zawieszonych w bioreaktorze znajduje się w przedziale $4,32\text{-}4,64 \text{ g/dm}^3$.

Metoda

Dezintegracja hydrodynamiczna

Dezintegrację hydrodynamiczną osadu czynnego nadmiernego (wykorzystywana objętość osadu nadmiernego - 25 dm^3) realizowano z zastosowaniem pompy ciśnieniowej o mocy silnika $1,1 \text{ kWh}$, zużyciu energii $0,58 \text{ kWh}$, wydajności $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, ciśnieniu 12 bar ,

zaopatrzonej w 1,2 mm dyszę kawitacyjną. Czas przepływu 25 dm³ osadu przez dyszę kawitacyjną wyniósł 3 min. Proces dezintegracji przeprowadzono dla 15, 30, 45 i 60 minut, co odpowiadało 3-, 6-, 9- i 12-krotnemu przepływowi osadu przez dyszę.

Dezintegracja mikrofalowa

Proces dezintegracji mikrofalowej osadu czynnego nadmiernego (próbka o objętości 1000 cm³) przeprowadzono przy użyciu fali elektromagnetycznej (mikrofal) o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 900 W. Czas ekspozycji osadu czynnego nadmiernego na promieniowanie mikrofalowe wyniósł: 30, 60, 90 i 120 s. Krótki czas działania mikrofal jest wynikiem uniknięcia efektu wysokotemperaturowego, albowiem temperatura wzrasta wraz z wydłużaniem czasu oddziaływania pola elektromagnetycznego.

Dezintegracja termiczna

Termiczna dezintegracja osadu nadmiernego została przeprowadzona przy użyciu suchego lodu. Suchy lód to ditlenek węgla w stanie stałym, który powstaje przy rozprężaniu ciekłego ditlenku węgla w warunkach normalnych (temperatura 273 K, ciśnienie 1013,25 hPa). Suchy lód sublimuje w temperaturze $-78,5^{\circ}\text{C}$ i przy ciśnieniu 1013,25 hPa. Jego ciepło sublimacji wynosi 573 kJ, co powoduje, że jest on ok. 3,3 razy efektywniejszym czynnikiem chłodniczym niż lód wodny (przy tej samej objętości). Jest bezwodny, niepalny, nietoksyczny oraz nie posiada smaku ani zapachu [14].

Do dezintegracji osadu czynnego nadmiernego (próbka o objętości 1000 cm³) suchym lodem zastosowano następujące stosunki objętościowe osadu do suchego lodu, tj.: 1 : 0,25; 1 : 0,5; 1 : 0,75; 1 : 1. Osad nadmierny o temperaturze pokojowej wymieszano z określoną powyżej objętością suchego lodu. Następnie próbki poddano rozmrożeniu w temperaturze pokojowej aż do całkowitego wysublimowania suchego lodu.

Metoda analityczna

W pobranych próbkach osadu czynnego nadmiernego wykonano oznaczenia parametrów ChZT_{Cr} oraz mętności, wykorzystując metodykę zawartą w Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 22th Edition [15].

W badanych próbkach określono również zawiesiny oraz lotne zawiesiny według procedury Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4th edition) [16]. Dla oznaczeń kolorymetrycznych wykorzystano spektrofotometr firmy DR LANGE Xion 500. Analizy fizykochemiczne wykonano w próbkach przed i po dezintegracji hydrodynamicznej, mikrofalowej i zamrażania/rozmarzania.

Przedstawione wyniki zrealizowano w 10 powtórzeniach, z których wyliczono średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe (program STATISTICA 6.0).

Indeks gęstości osadu, indeks objętości osadu, prędkość zagęszczania oraz stężenie osadu

Zakres badań obejmował określenie kinetyki sedymentacji opartej na krzywych opadania osadu i prędkości zagęszczania. Znajduje tutaj zastosowanie twierdzenie Kyncha, które mówi, że prędkość opadania cząstek osadu jest funkcją stężenia zawiesin w najbliższym otoczeniu [17].

Opadanie osadów obserwowano w cylindrach o pojemności $V = 1000 \text{ cm}^3$ i powierzchni przekroju wynoszącej $F = 26,4 \text{ cm}^2$.

W próbkach osadu, zarówno w kontrolnych, jak i tych poddanych procesowi dezintegracji, na podstawie Tchobanoglousa i in. [16] wykonano obliczenia:

Indeksu gęstości osadu, na podstawie wzoru:

$$\text{I. G. O} = \frac{m}{V \cdot 10} [\text{g}/\text{cm}^3] \quad (1)$$

gdzie: m - masa zawieszin ogólnych w próbce [g/dm^3], V - objętość osadu odczytana po 30 minutach sedymentacji próbki o objętości 1000 cm^3 [cm^3/dm^3].

Indeksu objętości osadu, na podstawie wzoru:

$$\text{I. O. O} = \frac{1}{\text{I.G.O}} [\text{cm}^3/\text{g}] \quad (2)$$

Prędkości zagęszczania osadu, na podstawie wzoru:

$$v = \frac{V_r - V_n}{t_n} [\text{mm}/\text{min}] \quad (3)$$

gdzie: V_r - wysokość słupa osadu użyta w procesie sedymentacji [mm], V_n - objętość osadu dla n czasu sedymentacji [mm], t_n - czas sedymentacji [s].

Stężenia osadu w czasie t_i zagęszczania, na podstawie wzoru:

$$C_i = \frac{c_o \cdot h_o}{h_i + v_i \cdot t_i} [\text{g s. m. o.}/\text{dm}^3] \quad (4)$$

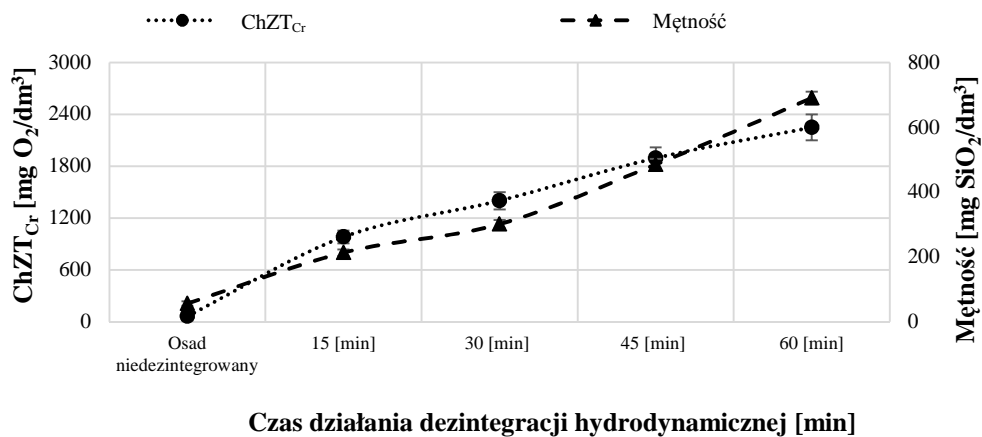
gdzie: c_o - stężenie suchej masy osadu [$\text{g s.m.o.}/\text{dm}^3$], h_o - początkowa wysokość warstwy osadu o stężeniu c_o [cm], v_i - prędkość opadania w punkcie h_i [cm/min], t_i - dowolny czas opadania [min], h_i - wysokość warstwy osadu po czasie t_i [cm].

Dyskusja wyników

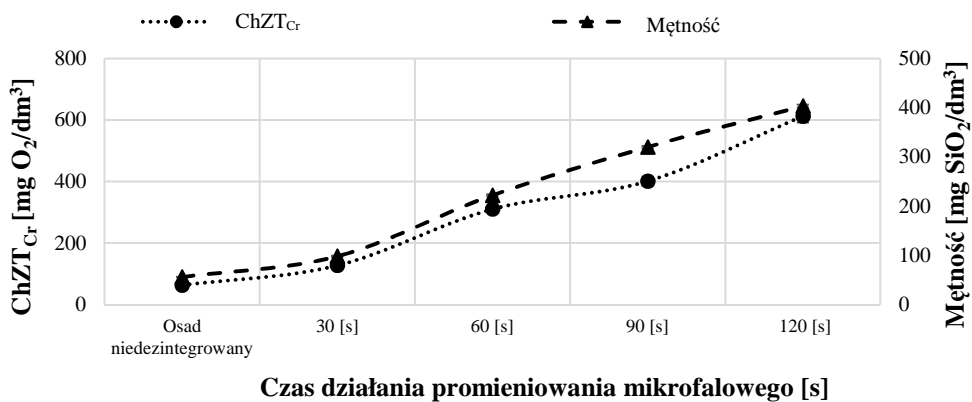
Podczas zagęszczania osadów ściekowych zawartość suchej masy w osadach jest zwiększana na skutek sedymentacji cząstek osadu oraz ich komprymacji pod wpływem działania siły ciężkości, a przez to następuje zmniejszanie zawartości wody wolnej. Skutkuje to zmniejszeniem ich objętości. Zagęszczanie osadów ściekowych można traktować jako wstępne przetwarzanie przed fermentacją bądź jako wstępne przetwarzanie przed odwadnianiem w oczyszczalni ścieków, która nie wykorzystuje stabilizacji beztlenowej.

Celem użytych metod dezintegracji (kawitacja hydrodynamiczna, promieniowanie mikrofalowe, zamrażanie/rozmarzanie) było zniszczenie struktury kłaczków i mikroorganizmów osadu czynnego nadmiernego [18, 19].

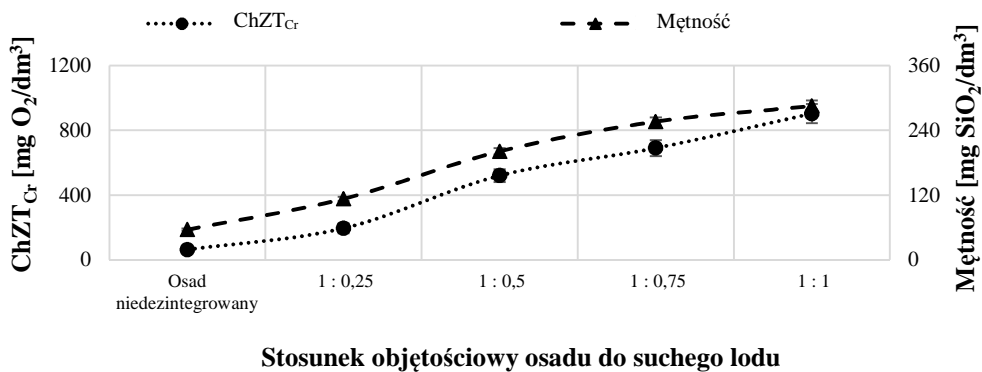
Miarą skuteczności działania metod dezintegracyjnych było uwolnienie materii organicznej z fazy stałej osadu do płynnej oraz wzrost mętności cieczy osadu. Uwolnienie substancji organicznych wyrażone wartością ChZT_{Cr} i mętnością fazy płynnej osadu wskazuje na skuteczność niszczenia kłaczków i mikroorganizmów osadu.



Rys. 1. Zmiana wartości ChZTCr i mętności cieczy nadosadowej podczas dezintegracji hydrodynamicznej



Rys. 2. Zmiana wartości ChZTCr i mętności cieczy nadosadowej podczas dezintegracji mikrofalowej

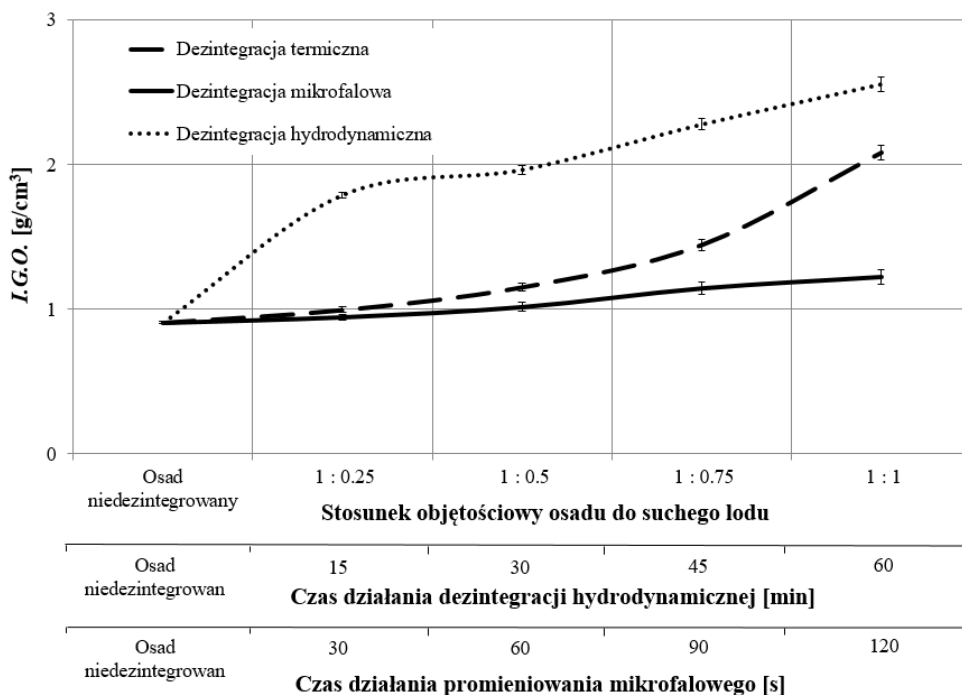


Rys. 3. Zmiana wartości ChZTCr i mętności cieczy nadosadowej podczas dezintegracji zamrażania/rozmarzania

Po 60-minutowej kawitacji hydrodynamicznej wartość $ChZT_{Cr}$ zmieniła się z wartości $63 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ (osad niezdeintegrowany) do wartości $2248 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ (rys. 1). Dezintegracja mikrofalowa i termiczna powodowały także wzrost wartości $ChZT_{Cr}$ odpowiednio o 549 i o $840 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ (rys. 2 i 3).

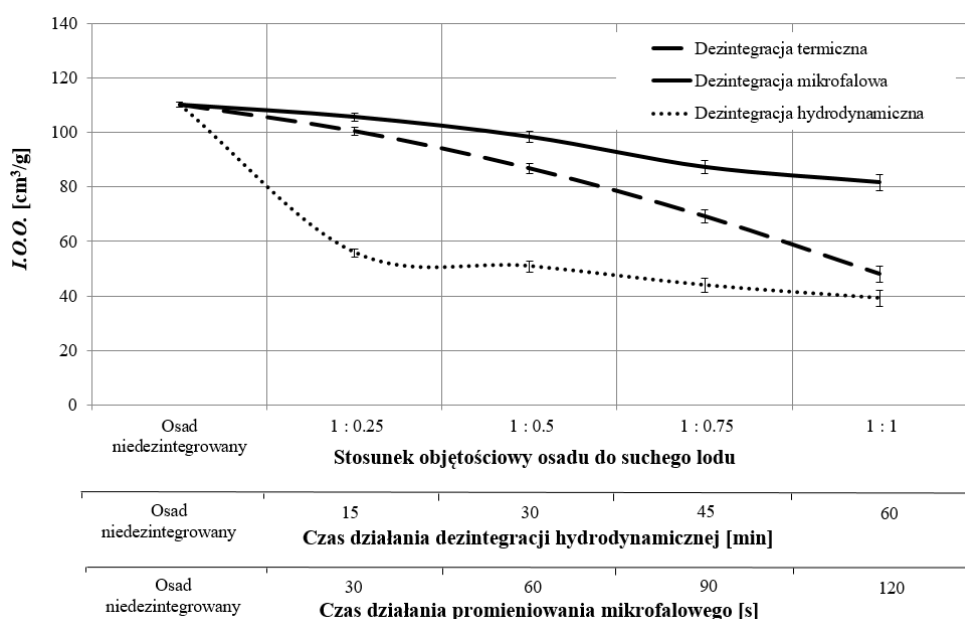
W ostatniej dekadzie można odnotować wiele prac badawczych, dotyczących destrukcji mikroorganizmów i uwolnienia materii organicznej podczas zamrażania/rozmarzania osadów ściekowych. Stwierdzono, że podczas tego procesu następuje uszkodzenie błon komórkowych bakterii, a co za tym idzie uwolnienie substancji wewnątrzkomórkowych do otoczenia. Uwalnianie substancji organicznych podczas zamrażania/rozmarzania osadów ściekowych zbadali Hu i in. [20]. Uzyskali 15% wzrost wartości $ChZT_{Cr}$, który porównywalny był z przeróbką termiczną osadów (100°C w ciągu 30 minut) [21] oraz ultradźwiękami (5 minut) [22].

Metody mechanicznej i termicznej dezintegracji, powodując zniszczenie mikrobiologicznej struktury kłaczków, przyczyniły się do wzrostu mętności fazy płynnej osadu głównie na skutek uwolnienia substancji wewnątrzkomórkowej i zewnątrzkomórkowych polimerów. W osadzie nadmiernym niepoddanym dezintegracji mętność cieczy nadosadowej wyniosła $56 \text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$ (rys. 1-3). Po procesie destrukcji hydrodynamicznej (60 min), mikrofalowej (120 sekund) i suchym lodem (stosunek objętościowy osadu do suchego lodu 1 : 1) mętność zwiększyła się odpowiednio o $634 \text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$ (rys. 1), $347 \text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$ (rys. 2) i $229 \text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$ (rys. 3).



Rys. 4. Zmiana I.G.O. podczas dezintegracji hydrodynamicznej, mikrofalowej i zamrażania/rozmarzania

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego, kawitacji hydrodynamicznej i ujemnej temperatury na osad nadmierny skutkowało zmianami I.G.O. i I.O.O. w odniesieniu do próbki osadu niepoddanej dezintegracji. I.G.O. (indeks Donaldsona) definiuje się jako masę zawieszin ogólnych wyrażoną w gramach, jaka przypada na objętość 100 cm^3 osadu poddanego 30-minutowemu procesowi sedymentacji [23]. Natomiast I.O.O., czyli indeks Mahlmana, jest odwrotnością indeksu Donaldsona i przedstawia objętość osadu w cm^3 po 30 minutach sedymentacji, przypadającą na 1 g zawieszin ogólnych, oznaczonych w próbce pobranej z osadu czynnego [23]. Zmiana wartości I.G.O. i I.O.O. zależna była od zastosowanego czasu działania mikrofal i kawitacji hydrodynamicznej oraz od stosunku objętościowego osadu do suchego lodu (rys. 4 i 5).

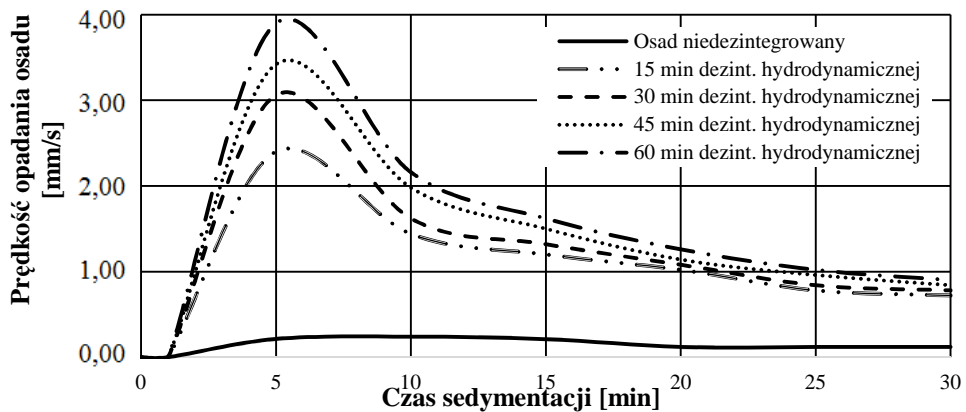


Rys. 5. Zmiana I.O.O. podczas dezintegracji hydrodynamicznej, mikrofalowej i zamrażania/rozmarzania

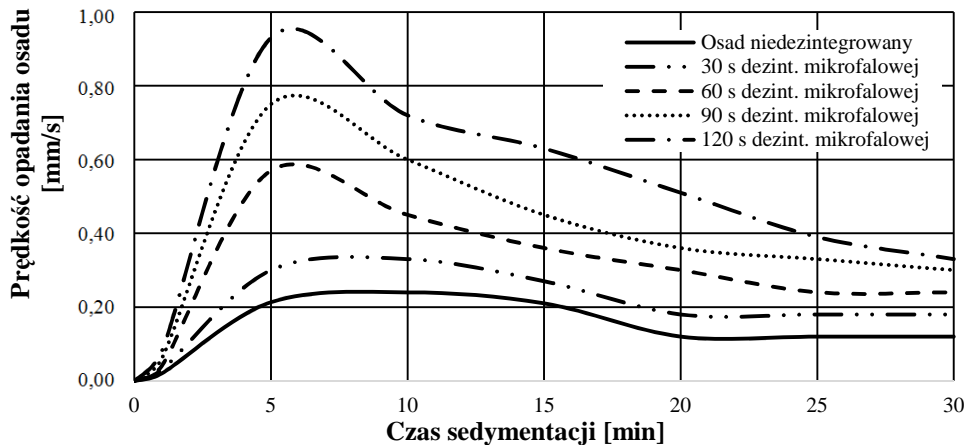
I.G.O. wzrósł o 1,65, 0,32 i 1,17 g/cm^3 odpowiednio dla dezintegracji osadu nadmiernego kawitacją hydrodynamiczną (60 min), mikrofalami (120 s) i termiczną (stosunek objętościowy osadu do suchego lodu 1 : 1) (rys. 4). Działanie destrukcyjne stosowanych czynników kondycjonujących osad spowodowało spadek wartości I.O.O. Działanie kawitacji hydrodynamicznej na osad spowodowało największą zmianę wartości I.O.O. w porównaniu do wpływu pola magnetycznego i zamrażania/rozmarzania (rys. 5). Dla osadu dezintegrowanego kawitacją hydrodynamiczną w czasie 60 min wartość I.O.O. wyniosła $39 \text{ cm}^3/\text{g}$ (rys. 5). Obniżenie wartości indeksu poniżej $100 \text{ cm}^3/\text{g}$ s.m. (rys. 4 i 5) wskazuje na wysoką zdolność osadu czynnego nadmiernego do odwadniania w wyniku zastosowanych procesów kondycjonowania.

Kolejnym parametrem, który wyliczono, była prędkość opadania cząstek osadu czynnego w zależności od czasu ekspozycji osadu nadmiernego na działania dezintegracji mechanicznej i stosunku objętościowego osadu do suchego lodu. Jest to jeden z najważniejszych parametrów oceny procesu zagęszczania osadów.

Zmiany prędkości opadania osadu nadmiernego pod wpływem preparowania kawitacją hydrodynamiczną, mikrofalami i termicznego przedstawiają rysunkach 6-8. W początkowym okresie sedymentacji (0-5 minut) odnotowano wzrost prędkości opadania osadu dezintegrowanego. Związane to było z wcześniejszą destrukcją kłaczków, a następnie ich flokulacją, tworzeniem się agregatów o większej gęstości i mniejszej porowatości w stosunku do skupisk osadu przed dezintegracją.



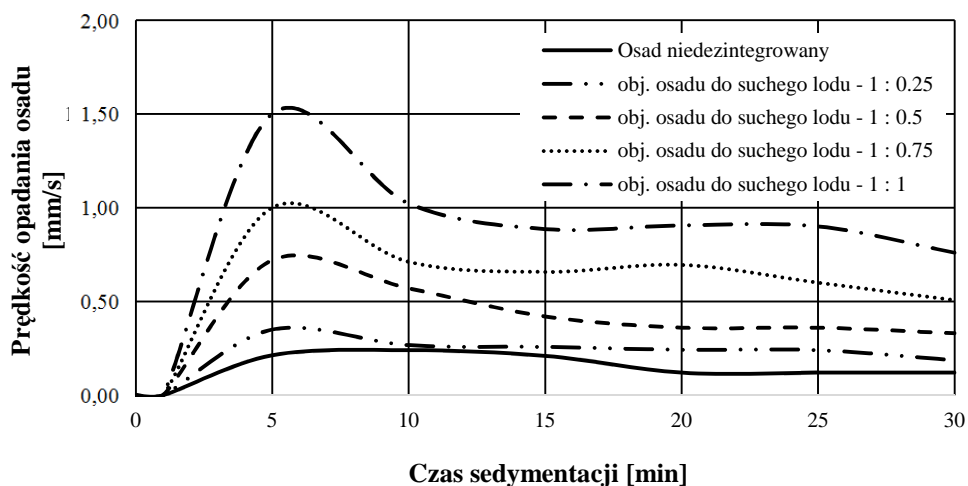
Rys. 6. Prędkość opadania osadu podczas dezintegracji hydrodynamicznej



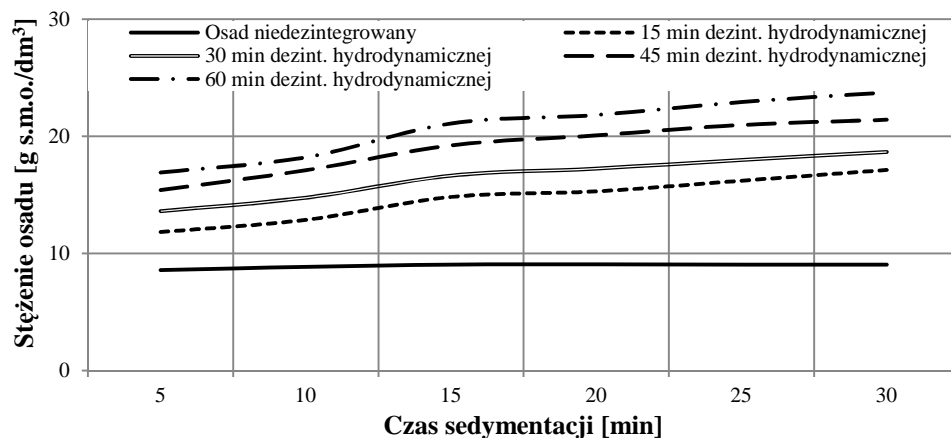
Rys. 7. Prędkość opadania osadu podczas dezintegracji mikrofalowej

Podobne wyniki wzrostu sprawności fazy sedymentacyjnej (prędkości opadania) osadu ściekowego dla dezintegracji termicznej uzyskali Hu i in. [20] oraz Bień i in. [24] dla dezintegracji ultradźwiękowej.

Zmiany stężenia masy osadu w zależności od czasu opadania przedstawiono na rysunkach 9-11.



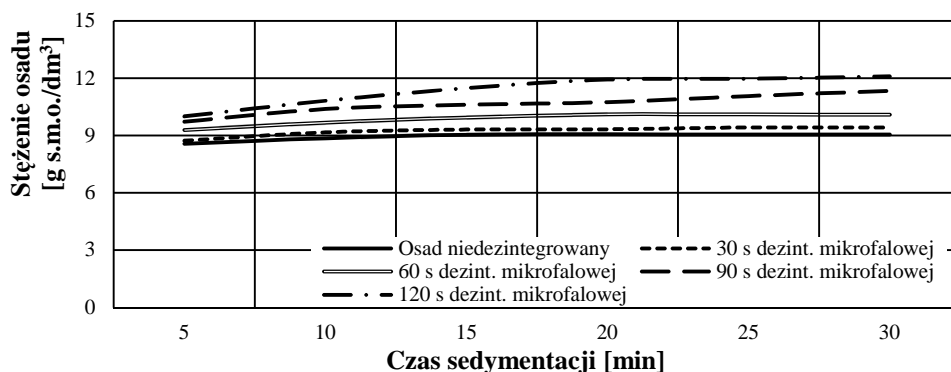
Rys. 8. Prędkość opadania osadu podczas dezintegracji suchym lodem



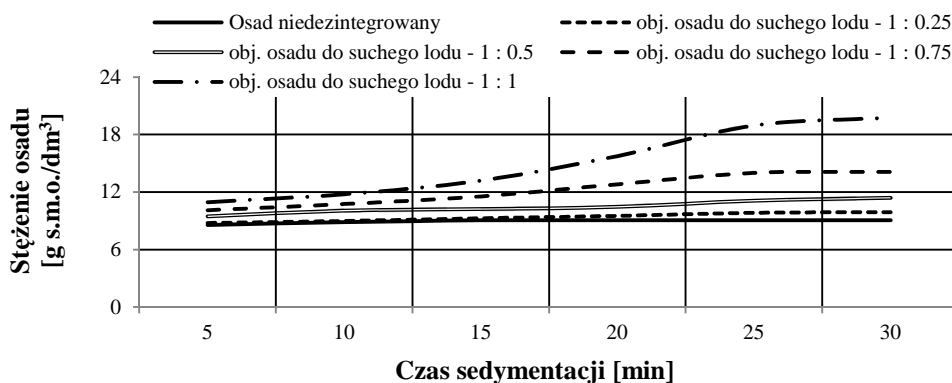
Rys. 9. Stężenie osadu podczas dezintegracji hydrodynamicznej

Początkowa sucha masa osadu niepoddanego dezintegracji wynosiła $8,35 \text{ g/dm}^3$, a po 30 min sedymentacji miała wartość $8,95 \text{ g s.m.o./dm}^3$. Na podstawie uzyskanych wyników i obliczeń można stwierdzić, że stężenie osadu rośnie wraz z czasem ekspozycji na czynnik dezintegracyjny (rys. 9-11). Po dezintegracji osadu nadmiernego w procesie

hydrodynamicznym (60 min) uzyskano stężenie osadu wynoszące 23,74 g s.m.o./dm³, po dezintegracji mikrofalowej 12,10 g s.m.o./dm³, a po dezintegracji termicznej 19,77 g s.m.o./dm³. Wzmożony wzrost stężenia osadu dezintegrowanego następuje w pierwszych 5 minutach sedymentacji. Zdecydowanie mniej intensywniej zmienia się stężenie osadu niepoddanego dezintegracji. Wydłużenie czasu działania dezintegracji i zwiększenie stosunku objętościowego osadu do suchego lodu, powodując destrukcję kłaczków i zniszczenie osłon komórkowych mikroorganizmów, umożliwiło szybsze oddawanie wody podczas zagęszczania i łączenie się rozdrobnionych wcześniej kłaczków w większe agregaty.



Rys. 10. Stężenie osadu podczas dezintegracji mikrofalowej



Rys. 11. Stężenie osadu podczas dezintegracji suchym lodem

Uzyskane wyniki badań potwierdzają korzystny wpływ analizowanych metod dezintegracji (kawitacja hydrodynamiczna, mikrofalowa i termiczna) na wybrane własności grawitacyjne osadu czynnego nadmiernego. Wydłużanie czasu działania dezintegracji w procesach mechanicznych oraz zwiększanie objętości suchego lodu do osadu nadmiernego skutkuje likwidacją pęcznienia (zmniejszeniem objętości) i flotacji osadów oraz zmianą własności sedymentacyjnych w stosunku do osadu niezdeintegrowanego.

Jednakże, wzrost mętności fazy płynnej osadu wykazuje skuteczność dezintegracji, ale jednocześnie oznacza to, że pewna część zawiesin znajduje się zawieszona w cieczy nadosadowej. Ładunek zawiesin w cieczy osadu może w pewnym stopniu negatywnie wpływać na separację grawitacyjną osadu. Występuje bowiem prawdopodobieństwo zmian własności fizycznych wywołanych negatywnymi modyfikacjami powierzchni cząstek stałych i oddziaływań ciecz - ciało stałe.

Wnioski

1. Dezintegracja hydrodynamiczna, mikrofalowa i zamrażania/rozmarzania osadu czynnego nadmiernego skutkowało uwolnieniem materii organicznej do fazy płynnej (wyrażonej wartością $ChZT_{Cr}$). $ChZT_{Cr}$ wzrosło z wartości 63 do 2248 mg O_2/dm^3 dla 60-minutowej dezintegracji hydrodynamicznej, 612 mg O_2/dm^3 dla 120 sekund promieniowania mikrofalowego i 903 mg O_2/dm^3 dla stosunku objętościowego osadu do suchego lodu 1 : 1.
2. Procesy kondycjonowania osadu ściekowego spowodowały wzrost mętności fazy płynnej: kawitacja hydrodynamiczna 12-krotnie, mikrofałe 7-krotnie i zamrażania/rozmarzania 5-krotnie.
3. Dezintegracja osadu czynnego nadmiernego metodami mechanicznymi oraz metodą termiczną powodowała w zależności od czasu działania i stosunku objętościowego osadu do suchego lodu zmiany jego parametrów sedymentacyjnych:
 - wzrost wartości I.G.O. (w stosunku do I.G.O. niedezintegrowanego) wynosił 2,56 g/cm³ dla dezintegracji hydrodynamicznej, 1,23 g/cm³ dla działania pola elektromagnetycznego i 2,08 g/cm³ dla procesu termicznego,
 - I.O.O. uległ zmianie o 65% dla kawitacji hydrodynamicznej, 26% dla mikrofał i 56% dla zamrażania/rozmarzania,
 - opadanie osadu kondycjonowanego trzema analizowanymi metodami zachodziło z największą intensywnością w pierwszych 5 minutach zagęszczania grawitacyjnego,
 - zmiany stężenia masy osadu w zależności od czasu opadania. Po dezintegracji osadu nadmiernego w procesie hydrodynamicznym (60 min) uzyskano stężenie osadu wynoszące 23,74 g s.m.o./dm³, po dezintegracji mikrofalowej 12,10 g s.m.o./dm³, a po dezintegracji termicznej 19,77 g s.m.o./dm³.

Literatura

- [1] Podedworna J, Umiejewska K. Technologia osadów ściekowych. Warszawa: Ofic Wyd Politechniki Warszawskiej; 2008.
- [2] Nowicka E, Machnicka A. Wpływ dezintegracji osadu nadmiernego suchym lodem na uwalnianie materii organicznej i nieorganicznej. *GWITS*. 2014;8:307-310.
- [3] Feng X, Lei HY, Deng JC, Yu Q, Li HL. *Chem Eng Proc*. 2009;48:187-194. DOI: 10.1016/j.cep.2008.03.012.
- [4] Grübel K, Machnicka A. Impact of microwave disintegration on activated sludge. *Ecol Chem Eng S*. 2011;18:75-82.
- [5] Campios JL, Otero L, Franco A, Mosquera-Corral A, Roca E. Ozonation strategies to reduce sludge production of a seafood industry WWTP. *Bio Technol*. 2009;100:1069-1073.
- [6] Roman HJ, Burgess JE, Pletschke BI. Enzyme treatment to decrease solids and improve digestion of primary sewage sludge. *Afr J Biotechnol*. 2006;5:963-967.

- [7] Montusiewicz A, Lebiocka M, Rożej A, Zacharska E, Pawłowski L. *Bioresour Technol.* 2010;101:3466-3473. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.12.125.
- [8] Nowicka E, Machnicka A. *Ecol Chem Eng S.* 2015;21:651-660. DOI: 10.1515/eces-2014-0047.
- [9] Grübel K, Machnicka A, Nowicka E, Waclawek S. *Ecol Chem Eng S.* 2014;1:125-136. DOI: 10.2478/eces-2014-0011.
- [10] Dewil R, Baeyens J, Goutvrind R. *Environ Progress.* 2006;25:121-128. DOI: 10.1002/ep.10130.
- [11] Vichare NP, Gogate PR, Pandit AB. *Chem Eng Technol.* 2000;23:683-690. DOI: 10.1002/1521-4125(200008)23:8<683::AID-CEAT683>3.0.CO;2-9.
- [12] Dębowski M, Zieliński M. *Możliwość zastosowania promieniowania mikrofalowego w procesach suszenia osadów powstających podczas oczyszczania ścieków.* Woda i Ścieki. 2009;1:8-11.
- [13] Tao T, Peng XF, Lee DJ. *Interaction between wastewater-sludge floc and moving icefront.* *Chem Eng Sci.* 2006;61:5369-5376.
- [14] Jean DS, Lee DJ, Chang CY. *Adv Environ Res.* 2001;5:145-150. DOI: 10.1016/S1093-0191(00)00052-6.
- [15] Rice, EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri, LS. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd edition). Washington: American Public Health Association; 2012.
- [16] Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th edition. New York: Mc Graw Hill; 2002.
- [17] Cywiński B, Gdula S, Kempa E, Kurbiel J, Płoszański H. *Oczyszczanie ścieków. Tom 1 - Oczyszczanie mechaniczne i chemiczne.* Warszawa: Arkady; 1983.
- [18] Machnicka A, Grübel K, Suschka J. *The use hydrodynamic disintegration as means to improve anaerobic digestion of activated sludge.* *Water SA.* 2009;35:129-132.
- [19] Phothilangka P, Schoen MA, Huber M, Luchetta P, Winkler T, Wett B. *Water Sci Technol.* 2008;58:1467-1473. DOI: 10.2166/wst.2008.726.
- [20] Hu K, Jiang JQ, Zhao QL, Lee DJ, Wang K, Qiu W. *Water Res.* 2011;45:5969-5976. DOI: 10.1016/j.watres.2011.08.064.
- [21] Bougrier C, Delgenès JP, Carrère H. *Chem Eng J.* 2008;139:236-244. DOI: 10.1016/j.cej.2007.07.099.
- [22] Zhao QL, Hu K, Miao LJ, Wang K. *Effect of ultrasonic treatment on characteristics of waste activated sludge.* 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. DOI: 10.1109/ICBBE.2010.5517867. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5517867/>.
- [23] Gajkowska-Stefańska L, Guberski S, Gutowski W, Mamak Z, Szperliński Z. *Laboratoryjne badania wody ścieków i osadów ściekowych. Część II.* Warszawa: Ofic Wyd Politechniki Warszawskiej; 2007.
- [24] Bień J, Kamizela T, Kowalczyk M. *Separacja grawitacyjna osadów poddanych kondycjonowaniu polem ultradźwiękowym.* W: *Zintegrowane, inteligentne systemy wykorzystania energii odnawialnej.* Częstochowa-Podlesice: 2005.

THE INFLUENCE OF MECHANICAL AND THERMAL DISINTEGRATION ON GRAVITATIONAL SEPARATION OF SURPLUS ACTIVATED SLUDGE

Institute of Environmental Protection and Engineering, University of Bielsko-Biala

Abstract: The primary effect of sewage sludge of disintegration process is the physical, chemical or biological change of their structure, which causes destruction of flocs, fragmentation of microbial cells and thus release of cell contents into the surrounding liquid. Pre-treatment sludge can be used in the technological sludge *i.e.* in the process of thickening and dewatering of sludge. In this paper, the influence of hydrodynamic, microwave and thermal disintegration oven on selected properties of gravitational surplus activated sludge. The scope of the research included the parameters characteristic of the sedimentation process, *i.e.* SDI, SVI, speed sludge thickening, sludge concentration and changes in the liquid phase of sludge (SCOD and turbidity). The results obtained and performed calculations have confirmed the impact of the disintegration of the methods used to improve the properties of gravity surplus activated sludge.

Keywords: hydrodynamic cavitation, microwave radiation, dry ice, surplus activated sludge, gravitational sludge separation