

Alicja MACHNICKA¹ i Ewelina NOWICKA¹

HIGIENIZACJA OSADU ŚCIEKOWEGO WYKORZYSTYWANEGO ROLNICZO WE WSTĘPNEJ OBRÓBCE I DWUSTOPNIOWEJ FERMENTACJI

HYGIENISATION OF SEWAGE SLUDGE AFTER PRE-TREATMENT AND TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION FOR THE APPLICATION IN AGRICULTURE

Abstrakt: Wykorzystanie ustabilizowanego osadu ściekowego w rolnictwie jest regulowane przez ustawodawstwo dotyczące kontroli zawartości bakterii, robaków pasożytniczych i metali ciężkich. Dezintegracja w procesie kawitacji hydrodynamicznej, suchym lodem i dwustopniowej fermentacji ma pozytywny wpływ na higienizację osadu ściekowego. Na podstawie analiz mikrobiologicznych i parazytologicznych zauważono znaczącą redukcję bakterii chorobotwórczych, colifagów i robaków pasożytniczych. Liczba pałeczek *Salmonella* sp. w 1 g s.m.o. uległa 100% redukcji podczas 60-minutowej dezintegracji osadu czynnego nadmiernego z wykorzystaniem kawitacji hydrodynamicznej. Destrukcja osadu czynnego nadmiernego z użyciem kawitacji hydrodynamicznej skutkowałą całkowitą redukcją jaj helmintów. Przy stosunku objętościowym osadu do suchego lodu 1:1 liczba bakterii *Salmonella* sp. uległa redukcji o 68,3%. Potwierdzeniem destrukcyjnego działania zamrażania/rozmróżania na mikroorganizmy było ograniczenie liczby jaj robaków. Ilość jaj *Ascaris* sp. zmniejszyła się o 85,3%, *Trichuris* sp. o 88,5%, a *Toxocara* sp. o 94,7%. Higienizacja osadu nadmiernego w dwustopniowej fermentacji umożliwiła obniżenie całkowitej liczby patogennych bakterii, colifagów i jaj helmintów. Po fermentacji mezofilowej zaobserwowano niewielkie obniżenie liczby *Salmonella* sp. - o 30,8%, podczas gdy wyniki analiz mikrobiologicznych po fermentacji termofilowej wskazywały na całkowitą eliminację organizmów wskaźnikowych. Fermentacja mezofilowa wydaje się nieskutecznym procesem w eliminacji jaj robaków pasożytniczych, takich jak *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. i *Toxocara* sp. Natomiast fermentacja termofilowa w 55±1°C redukuje pasożyty do poziomu niewykrywalności.

Słowa kluczowe: higienizacja, kawitacja hydrodynamiczna, zamrażanie/rozmróżanie, fermentacja dwustopniowa

Wstęp

Osady ściekowe są odpadem powstającym w oczyszczalniach podczas oczyszczania ścieków. Według Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (U.S. EPA), osady ściekowe zawierają organizmy patogenne (wirusy, bakterie, pierwotniaki, robaki pasożytnicze) będące przyczyną chorób, substancje lotne, metale ciężkie, jony nieorganiczne z substancji toksycznych pochodzących ze ścieków przemysłowych, chemii gospodarczej i pestycydy.

Osady ściekowe, pomimo negatywnego wpływu na jakość gleb i wód oraz na własności erozyjne, posiadają również właściwości nawozowe. Osady z biologicznego procesu oczyszczania ścieków są bogate w substancje organiczne, azot, fosfor, wapń, magnez, siarkę oraz mikroelementy niezbędne do życia roślin i fauny glebowej. Z tego względu są one coraz częściej stosowane w nawożeniu gruntów rolnych, lasów i rekultywacji terenów zdegradowanych, a tym samym ich wykorzystanie ma ogromne

¹ Zakład Mikrobiologii i Biotechnologii Środowiskowej, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel. 33 827 91 31, email: amachnicka@ath.bielsko.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'14, Jarnołtówek, 15-17.10.2014

znaczenie w ochronie środowiska. Jednakże ze względu na masę, duże uwodnienie i obecność patogenów stanowią zagrożenie sanitarne [1, 2]. Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych jest możliwe, jeżeli spełniają one warunki związane z dopuszczalnymi stężeniami metali ciężkich i brakiem patogenów będących wskaźnikami sanitarnej ich jakości [3, 4].

Obecnie ocena stanu sanitarnego osadów ściekowych oparta jest o obecność/brak bakterii *Salmonella* sp. i żywych jaj robaków jelitowych: *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. i *Toxocara* sp. [3].

Pasożyty jelitowe obok patogenów bakteryjnych, wirusowych i pasożytniczych pierwotniaków stanowią poważny problem w odniesieniu do zdrowia człowieka. Jaja helmintów są wydalane z kałem i rozprzestrzeniają się za pośrednictwem ścieków, zanieczyszczonej ściekami wody, osadów ściekowych, gleby i żywności. Odporne są na stres środowiskowy, a także na proces chlorowania [5].

Ryzyko zainfekowania środowiska patogenami pochodzącymi z osadów ściekowych wymaga poszukiwania coraz to nowych metod higienizacji w celu poprawy ich mikrobiologiczno-parazytologicznej jakości.

Dezintegracja i fermentacja są najczęściej stosowanymi procesami stabilizacji i higienizacji osadów ściekowych. Dezintegrację prowadzi się metodami mechanicznymi, chemicznymi i biologicznymi [6-8], powodując rozerwanie osłon komórkowych (błony cytoplazmatycznej i/lub ściany komórkowej) i uwolnienie do otoczenia substratu organicznego oraz enzymów wewnątrzkomórkowych, a tym samym zniszczenie mikroorganizmów [9].

Redukcja masy osadu, produkcja metanu, powstawanie ditlenku węgla, higienizacja i poprawa własności odwadniających przefermentowanego osadu są najistotniejszymi cechami fermentacji. Powstający produkt końcowy wykazuje lepszą stabilność biologiczną w porównaniu z osadem nieprzefermentowanym.

W niniejszym artykule przedstawiono możliwość wykorzystania wstępnej obróbki (dezintegracji hydrodynamicznej, zamrażania - z zastosowaniem suchego lodu/rozmrażania) i dwustopniowej fermentacji (mezofilowo/termofilowej) do higienizacji osadu czynnego nadmiernego, mogącego mieć zastosowanie rolnicze.

Materiał i metoda

Materiałem badawczym był osad czynny nadmierny (z osadnika wtórnego) o stężeniu substancji zawieszonych - 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 (EBNR) 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 $4,32\text{-}4,64 \text{ g/dm}^3$.

Wstępna obróbka osadu czynnego nadmiernego

Dezintegracja/higienizacja hydrodynamiczna

Dezintegrację/higienizację hydrodynamiczną osadu czynnego nadmiernego (wykorzystywana objętość osadu nadmiernego - 25 dm^3) realizowano z zastosowaniem pompy ciśnieniowej 12 bar, o mocy silnika 1,1 kWh, zaopatrzonej w dyszę kawitacyjną. Na podstawie wcześniejszych wyliczeń zaprojektowana dysza charakteryzowała się:

- średnicą wlotową i wylotową $D = 10 \text{ mm}$,
- średnicą gardzieli $d = 2,5 \text{ mm}$,
- długością odcinków, dopływowego i odpływowego $l_0 = 70 \text{ mm}$,
- długością części konfuzorowej, cylindrycznej i dyfuzorowej - odpowiednio - $l_1 = 13 \text{ mm}$, $l_2 = 2,5 \text{ mm}$ i $l_3 = 29 \text{ mm}$.

Obliczono również straty (różnica) ciśnienia, które wyniosły $\Delta p = 74,8 \text{ kPa}$. Natomiast wyliczone nadciśnienie ($p_{\text{min}}/\Delta p$) zmalało ponad 5-krotnie.

Parametry liczbowe dyszy kawitacyjnej wskazują na jej efektywność w procesie dezintegracji osadu nadmiernego.

Czas przepływu 25 dm^3 osadu przez dyszę kawitacyjną wynosił 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/higienizacja przez zamrażanie/rozmarzanie

Do dezintegracji/higienizacji osadu nadmiernego zastosowano następujące stosunki objętościowe osadu do suchego lodu: 1:0,25; 1:0,5; 1:0,75; 1:1.

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). Jego ciężar właściwy mieści się w zakresie od 1,2 do $1,6 \text{ kg/dm}^3$, a jego twardość w skali Mohsa wynosi 2, co odpowiada twardości gipsu. Jest bezwodny, niepalny, nietoksyczny oraz nie posiada smaku ani zapachu [10].

Dwustopniowa fermentacja

Fermentację mezofilowo/termofilową przeprowadzono w szklanych bioreaktorach o pojemności $2,5 \text{ dm}^3$. Reaktory doświadczalne umieszczano w termostatycznych warunkach: $35 \pm 1^\circ\text{C}$ dla mezofilnych przez 12 dni i $55 \pm 1^\circ\text{C}$ dla termofilnych przez 13 dni. Skutek higienizacyjnego działania procesu beztlenowego określano po etapie mezofilowym i po 25 dniach trwania procesu.

Analiza mikrobiologiczna

Bakterie i somatyczne colifagi

Próbki osadu nadmiernego do analiz mikrobiologicznych pobierano do szklanych, szczelnie zamykanych pojemników o objętości $0,25 \text{ dm}^3$. Pojemniki przed pobraniem

próbek poddano 30-minutowej sterylizacji w autoklawie w temperaturze 121°C i ciśnieniu 0,1 MPa.

Analizy mikrobiologiczne, ilościowe i jakościowe wykonano w osadzie nadmiernym przed i po procesie higienizacji (hydrodynamicznej, suchym lodem i w dwustopniowej fermentacji). Dotyczyły one wykrywania bakterii z rodzaju *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* i somatycznych colifagów. Oznaczenia drobnoustrojów: *Escherichia coli* i *Clostridium perfringens* przeprowadzono według procedury Project Routes (2011-2014), Novel processing routes for effective sewage sludge management. Innovative system solutions for municipal sludge treatment and management. Grant agreement n° 265156 [11].

W izolacji i identyfikacji bakterii *Salmonella* sp. posłużono się kryteriami ustalonymi przez Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9th Edition [12]. W celu potwierdzenia przynależności taksonomicznej bakterii *Salmonella* sp. i *Escherichia coli* dodatkowo wykorzystano test biochemiczny API 20E.

Identyfikację somatycznych colifagów wykonano zgodnie z normą ISO 10705-2:2000.

Robaki pasożytnicze

Badania parazytologiczne polegały na oznaczaniu liczby jaj helmintów zawartych w osadzie nadmiernym przed i po higienizacji hydrodynamicznej, suchym lodem i w dwustopniowej fermentacji. Identyfikację jaj *Ascaris* sp. i *Trichuris* sp. zrealizowano zgodnie z normą PN-Z-19000-4:2001. Jaja pasożytów jelitowych wyizolowywano z próbki badanej przez wytrząsanie, wirowanie i filtrację. Następnie przeprowadzono obserwację mikroskopową wyflotowanej zawiesiny.

Zastosowanie eteru etylowego, wytrząsania, wirowania, filtracji oraz obserwacji mikroskopowej umożliwiło wykrycie jaj *Toxocara* sp. [13]. Liczebność jaj określono przy użyciu komory McMastera.

Do badań użyto mikroskopu Nikon Alphaphot - 2 YS jasnego pola, sprzężonego z kamerą Panasonic GP - KR 222. Uzyskane wyniki mikroskopowe analizowano, stosując program obróbki komputerowej obrazu *Lucia* - ScMeas Version 4.51.

Wyniki i dyskusja

Przepisy krajowe i międzynarodowe [14-16] wymagają, aby osad był ustabilizowany i zhygienizowany przed zastosowaniem do celów rolniczych. Eliminacja chorobotwórczych bakterii i pasożytów jelitowych z osadów ściekowych w wyniku dezintegracji hydrodynamicznej i zamrażania/rozmarzania (suchym lodem) przyczyniła się do częściowej higienizacji osadu czynnego nadmiernego, czego potwierdzeniem są wyniki analiz mikrobiologiczno-parazytologicznych (tabele 1 i 2).

Ocena stanu sanitarnego osadów ściekowych mogących mieć rolnicze zastosowanie opiera się o zbadanie obecności organizmów wskaźnikowych: *Salmonella* sp., *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. i *Toxocara* sp.

Salmonella sp. jest bakterią chorobotwórczą obejmującą ponad 2000 serotypów, występującą w ściekach, osadach ściekowych i zanieczyszczonej wodzie, będącą przyczyną duru, duru rzekomego, a także licznych schorzeń typu *gastroenteritis* [17, 18].

Tabela 1

Eliminacja bakterii i jaj robaków w wyniku dezintegracji/higienizacji hydrodynamicznej

Table 1

Bacteria and helminth eggs elimination as a result of the hydrodynamic disintegration/hygienisation

Dezintegracja/higienizacja hydrodynamiczna					
Bakterie, Fagi [jtk/g s.m.o.], [pfu/g s.m.o.]	Osad bez dezintegracji	Czas dezintegracji			
		15 min	30 min	45 min	60 min
<i>Salmonella</i> sp.	$4,1 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$0,3 \cdot 10^3$	0
<i>Escherichia coli</i>	$6,4 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$
<i>Clostridium perfringens</i>	$6,1 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$
Somatyczne colifagi	$5,9 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$4,6 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^5$
Robaki [liczba jaj/kg s.m.o.]	Osad bez dezintegracji	15 min	30 min	45 min	60 min
<i>Ascaris</i> sp.	$1,7 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^2$	0	0
<i>Trichuris</i> sp.	$9,6 \cdot 10^2$	$6,8 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^2$	0	0
<i>Toxocara</i> sp.	$3,8 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^2$	0	0

Dezintegracja/higienizacja hydrodynamiczna spowodowała całkowitą eliminację liczby pałeczek *Salmonella* sp. w czasie 60 min procesu (tab. 1), natomiast higienizacja suchym lodem w zależności od zastosowanego stosunku objętościowego osadu do suchego lodu (1:0,25; 1:0,5; 1:0,75; 1:1) powodowała stopniową redukcję liczby bakterii wskaźnikowej (tab. 2), maksymalnie o 68,3%.

Tabela 2

Eliminacja bakterii i robaków w wyniku dezintegracji/higienizacji przez zamrażanie/rozmarzanie

Table 2

Bacteria and helminth eggs elimination as a result of the disintegration/hygienisation by freezing/thawing processes

Dezintegracja/higienizacja przez zamrażanie/rozmarzanie					
Bakterie, Fagi [jtk/g s.m.o.], [pfu/g s.m.o.]	Osad bez dezintegracji	Stosunek objętościowy osadu do suchego lodu			
		1:0,25	1:0,5	1:0,75	1:1
<i>Salmonella</i> sp.	$4,1 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$
<i>Escherichia coli</i>	$6,4 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$
<i>Clostridium perfringens</i>	$6,1 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$
Somatyczne colifagi	$5,9 \cdot 10^5$	$5,8 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$
Robaki [liczba jaj/kg s.m.o.]	Osad bez dezintegracji	1:0,25	1:0,5	1:0,75	1:1
<i>Ascaris</i> sp.	$1,7 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^2$	$4,2 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
<i>Trichuris</i> sp.	$9,6 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^2$	$4,9 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
<i>Toxocara</i> sp.	$3,8 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$0,2 \cdot 10^2$

Escherichia coli to były wskaźnik sanitarny osadów ściekowych, spotykany w tym środowisku [19] w formie szczepów: enterotoksycznych (ETEC), enteropatogennych (EPEC), enterohemolitycznych (EHEC), enteroinwazyjnych (EIEC) i enteroagregacyjnych (EAggEC) [20-22].

W zależności od czasu dezintegracji mechanicznej i zamrażania/rozmarzania zaobserwowano obniżenie liczebności *Escherichia coli* w osadzie, odpowiednio o 94,8% -

dla czasu 60 minut i 67,2% - dla stosunku objętościowego osadu do suchego lodu 1:1, (tab. 1 i 2).

Potencjalnym wskaźnikiem sanitarnej jakości osadów ściekowych, o którym występują wzmianki w literaturze [23], jest *Clostridium perfringens*. Jest to laseczka bezwzględnie beztlenowa, występująca w ściekach, osadach ściekowych oraz w glebie skażonej fekaliami, mająca zdolność do przeżycia przez długi okres w środowisku ze względu na możliwość tworzenia w warunkach niekorzystnych endospor. *Clostridium* sp. może być patogenem oportunistycznym, ale także związanym z jednostkami chorobowymi [24].

Przeprowadzone procesy higienizacji spowodowały częściową eliminację *Clostridium perfringens*. Liczba laseczek zgorzeli gazowej uległa obniżeniu o 62,3% - po 60-minutowej kawitacji hydrodynamicznej i o 41% - przy stosunku objętościowym osadu do suchego lodu 1 : 1) (tab. 1 i 2).

Osady ściekowe ulegają skażeniu wieloma rodzajami wirusów (ponad 140 rodzajów). Szczególne znaczenie mają rodzaje *Enterovirus* i *Rotavirus*. Somatyczne colifagi występują w większych ilościach niż wirusy jelitowe, a ich obecność świadczy o zanieczyszczeniu osadów rotawirusami [25, 26].

Higienizacja hydrodynamiczna (60 min) spowodowała 30,5% redukcję liczby colifagów, natomiast suchy lód (stosunek objętościowy osadu do suchego lodu 1:1) obniżył liczebność bakteriofagów o 18,6% (tab. 1 i 2).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [3], wskaźnikiem sanitarnym osadów ściekowych są również jaja robaków, tj.: *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. W procesie biologicznego oczyszczania ścieków jaja helmintów nie są usuwane całkowicie, natomiast częściowo ulegają redukcji w procesie sedymentacji ze względu na ich wielkość i gęstość. Jaja robaków wydalane są drogą kałową i rozprzestrzeniają się za pośrednictwem ścieków, osadów ściekowych, gleby lub żywności. Przykładowo 63% populacji chińskiej jest zakażona jednym lub większą liczbą rodzajów robaków pasożytniczych, zwłaszcza *Ascaris lumbricoides* i *Trichuris trichiura* [5].

Hydrodynamiczna destrukcja skutkowałą całkowitą redukcją jaj helmintów, a dla stosunku objętościowego osadu do suchego lodu 1:1 ilość jaj *Ascaris* sp. uległa zmniejszeniu o 85,3%, *Trichuris* sp. o 88,5%, a *Toxocara* sp. o 94,7% (tab. 1 i 2).

Większość standardowych procedur stabilizacji osadu ma na celu zmniejszenie biochemicznego zapotrzebowania na tlen, obniżenie zawartości substancji stałych oraz zredukowanie przykrego zapachu. Parametry te są jednak niezadowolające w przypadku zastosowania osadów ściekowych do nawożenia gruntów rolnych z powodu obecności bakterii chorobotwórczych i helmintów. Uzupełnieniem zastosowanej procedury wstępnej higienizacji osadu czynnego nadmierne było wykorzystanie dwustopniowej fermentacji (mezofilowo-termofilowej).

Dwustopniowa fermentacja przyczyniła się do higienizacji osadu nadmierne poprzez obniżenie liczby bakterii, somatycznych colifagów i jaj helmintów. W wyniku fermentacji mezofilowej stwierdzono spadek liczebności pałeczek *Salmonella* sp. o 30,8% i *Escherichia coli* o 42,1%, laseczek *Clostridium perfringens* o 23,6% oraz bakteriofagów o 8,3%, (tab. 3). Liczba jaj robaków również uległa zmniejszeniu i dla *Ascaris* sp. obniżyła się o 76,3%, dla *Trichuris* sp. o 74,5%, a dla *Toxocara* sp. o 70,8% (tab. 3). Podczas fermentacji termofilowej nastąpiło całkowite wyeliminowanie organizmów wskaźnikowych z wyjątkiem *Clostridium perfringens* (tab. 3).

Tabela 3

Redukcja organizmów wskaźnikowych w procesie dwustopniowej fermentacji

Table 3

Reduction of indicators organisms in two steps anaerobic digestion process

Higienizacja osadu w procesie dwustopniowej fermentacji			
Bakterie, Fagi [jtk/g s.m.o.], [pfu/g s.m.o.]	Surowy	Fermentacja mezofilowa	Fermentacja termofilowa
		35±1°C 12 dni	55±1°C 13 dni
<i>Salmonella</i> sp.	1,3·10 ⁴	0,9·10 ⁴	0
<i>Escherichia coli</i>	1,9·10 ⁵	1,1·10 ⁵	0
<i>Clostridium perfringens</i>	7,2·10 ⁴	5,5·10 ⁴	1,3·10 ⁴
Somatyczne colifagi	1,2·10 ⁵	1,1·10 ⁵	0
Robaki [liczba jaj/kg s.m.o.]	Surowy	Fermentacja mezofilowa	Fermentacja termofilowa
		35±1°C 12 dni	55±1°C 13 dni
<i>Ascaris</i> sp.	1,6·10 ³	3,8·10 ²	0
<i>Trichuris</i> sp.	5,1·10 ²	1,3·10 ²	0
<i>Toxocara</i> sp.	4,8·10 ²	1,4·10 ²	0

Wnioski

1. Procesy wstępnej obróbki osadu (dezintegracja hydrodynamiczna, zamrażanie/rozmarzanie) oraz dwustopniowa fermentacja metanowa są metodami powodującymi niszczenie bakterii i robaków jelitowych, obecnych w osadach ściekowych.
2. Dezintegracja hydrodynamiczna i fermentacja termofilowa całkowicie wyeliminowały z osadu ściekowego wskaźniki sanitarne: *Salmonella* sp., *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., i *Toxocara* sp.
3. Zastosowanie dezintegracji hydrodynamicznej i termofilowej fermentacji do higienizacji osadów ściekowych zmniejsza emisję patogenów w osadzie wykorzystywanym rolniczo.

Literatura

- [1] Westrell T, Schönning C, Stenström TA, Ashbolt NJ. QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. *Water Sci Technol.* 2004;50:23-30.
- [2] Whitmore TN, Robertson LJ. *J Appl Microbiol.* 1994;78:34-38. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1995.tb01670.x.
- [3] Rozporządzenia Ministra Środowiska (DzU 2010 Nr 137, poz. 924). <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20101370924>.
- [4] Bień J. *Osady ściekowe. Teoria i praktyka.* Częstochowa: Wyd. Politechniki Częstochowskiej; 2007.
- [5] Bitton G. *Wastewater Microbiology, Third Edition.* New Jersey: John Wiley and Sons; 2005. DOI: 10.1002/0471717967.
- [6] Grübel K, Machnicka A, Suschka. *Environ Eng III.* 2010;1:279-284. DOI: 10.1201/b10566-46.
- [7] Barjenbruch M, Kopplow O. *Adv Environ Res.* 2003;7:715-720. DOI: 10.1016/S1093-0191(02)00032-1.
- [8] Jin-Song G, Yu-Feng X. *J. Bioremed Biodegrad.* 2011;2:130. DOI: 10.4172/2155-6199.1000130.
- [9] Nowicka E, Machnicka A. *Proc ECOpole.* 2013;7:673-678. DOI: 10.2429/proc.2013.7(2)088.
- [10] Jean DS, Lee DJ, Chang CY. *Adv Environ Res.* 2001;5:145-150. DOI: 10.1016/S1093-0191(00)00052-6.
- [11] Project Routes (2011-2014), Novel processing routes for effective sewage sludge management. Innovative system solutions for municipal sludge treatment and management. Grant agreement n° 265156. Methodology of Detection and enumeration of spores of *Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium perfringens* and colifages in sludge, soils and organic fertilizers: Pour plate method for quantification, University of Barcelona.

- [12] Holt JG, Krieg NR, Sneath PHA, Staley JT, Williams ST. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th Ed. Baltimore: The Williams & Wilkins Co.; 1994.
- [13] Buczek A. *Choroby pasożytnicze*. Lublin; Wyd. Koliber: 2005.
- [14] European Directive 86/278 (European Union, 1986).
- [15] European Working Document on Sludge (European Union, 2000).
- [16] 40 CFR Part 503' (U.S. EPA, 1995).
- [17] Virella G. *Microbiology and Infectious Diseases*. Baltimore: Wyd. Williams & Willins a Waverly Company; 2000.
- [18] Lunn AD, Fàbrega A, Sánchez-Céspedes J, Vila J. Prevalence of mechanisms decreasing quinolone-susceptibility among *Salmonella* spp. clinical isolates. *Research Support, Non-U.S. Gov't*. 2010;13:15-20. DOI: 10.2436/20.1501.01.107.
- [19] Kocwa-Haluch R, Woźniakiewicz T. Analiza mikroskopowa osadu czynnego i jej rola w kontroli procesu technologicznego oczyszczania ścieków. *Czasop Techn.* 2011;6:141-162. https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i4/i9/i0/i8/r4908/KocwaHaluchR_AnalizaMikroskopowa.pdf.
- [20] Guerrant RL, Thielman NM. *Types of Escherichia coli Enteropathogens. Infection of the Gastrointestinal Tract*. New York: Raven Press; 1995.
- [21] Levine MM. *Escherichia coli* that cause diarrhea: enterotoxigenic, enteropathogenic, enteroinvasive, enterohemorrhagic, and enteroadherent. *J Infect Dis.* 1987;389155:377-389. DOI: 10.1093/infdis/155.3.377.
- [22] Reinhaller F., Posch J, Feierl G, Wüst G, Haas D, Ruckebauer G, et al. Antibiotic resistance of *E. coli* in sewage and sludge. *Water Res.* 2003;37:1685-1690. DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00569-9.
- [23] Sidhu Jatinder PS, Toze Simon G. *Environmental Internat.* 2009;35:187-201. DOI: 10.1016/j.envint.2008.07.006.
- [24] Payment, P, Godfree A, Sartory D. *Clostridium*. In: *Encyclopedia of Environmental Microbiology*. G. Bitton, editor-in-chief. New York: Wiley-Interscience; 2002.
- [25] Skrabber S, Gantzer C, Maul A, Schwartzbrod L. Fate of bacteriophages and bacterial indicators in the Moselle river. *Water Res.* 2002;36:3629-3637. DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00063-5.
- [26] Mocé-Livina L, Muniesa M, Pimenta-Vale H, Lucena F, Jofre J. *Appl Environ Microbiol.* 2003;69:1452-1456. DOI: 10.1128/AEM.69.3.1452-1456.2003.

HYGIENISATION OF SEWAGE SLUDGE AFTER PRE-TREATMENT AND TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION FOR THE APPLICATION IN AGRICULTURE

Department of Environmental Microbiology and Biotechnology, Institute of Environmental Protection and Engineering, University of Bielsko-Biala

Abstract: The utilization of treated sewage sludge in agriculture is controlled by legislation regulating the content of bacteria, helminth parasites and heavy metals. Disintegrated by hydrodynamic cavitation, dry ice and two-steps fermentation has a positive effect on the sewage sludge hygienisation. Based on the microbiological and parasitological analyses a significant reduction in pathogenic bacteria, coliphages and helminth parasites has been noticed. The number of rods *Salmonella* sp. in 1 g d.w. decrease about 100%, after 60 minutes of disintegration of surplus activated sludge by hydrodynamic cavitation. The disintegration of the surplus activated sludge by hydrodynamic cavitation resulted in the total reduced number of helminthes eggs. The total number of *Salmonella* sp. in 1 g d.w. of the volume ratio of the sludge to dry ice 1:1 was reduced by 68.3%. The confirmation of the destructive action of freezing/thawing on microorganisms, were the results of limited number of helminth eggs. Number of *Ascaris* sp. eggs reduced by 85.3%, number of *Trichuris* sp. eggs decreased by 88.5% and number of *Toxocara* sp. eggs reduced by 94.7%. The hygienisation of the surplus activated sludge by two steps anaerobic digestion carried out, helped to reduce the total number of pathogenic bacteria, coliphages and helminth eggs. After mesophilic fermentation was observed a slight reduction *Salmonella* sp. by 30.8%, whereas total elimination of analyzed microorganisms indicators was observed after thermophilic anaerobic digestion. Mesophilic anaerobic digestion appears to be ineffective in reducing the number of parasite eggs such as *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. and *Toxocara* sp. Thermophilic anaerobic digestion at 55±1°C reduces these parasites to undetectable levels.

Keywords: hygienisation, hydrodynamic cavitation, freezing/thawing, two step anaerobic digestion