

Dariusz BORUSZKO, Wojciech DĄBROWSKI

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska  
ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok, e-mail: d.boruszko@pb.edu.pl, dabrow@pb.edu.pl

## Badania efektywności procesu flotacji i właściwości osadów poflotacyjnych z podczyszczania ścieków mleczarskich

Wszystkie oczyszczalnie ścieków mleczarskich w regionie północno-wschodniej Polski stosują metodę osadu czynnego. Znacznemu zwiększeniu uległa ilość osadów ściekowych generowanych przez oczyszczalnie ścieków mleczarskich. Obecnie osady z oczyszczania ścieków mleczarskich to około 5000 ton suchej masy na rok. W technologii oczyszczania ścieków mleczarskich coraz częściej spotyka się flotację ciśnieniową, która obniża ładunek zanieczyszczeń dopływających do reaktorów biologicznych. W artykule przedstawiono badania związane z: właściwościami fizyczno-chemicznymi osadów poflotacyjnych, ich powstawaniem, przetwarzaniem oraz unieszkodliwianiem. Omówiono doświadczenia z trzech obiektów wykorzystujących flotację ciśnieniową w oczyszczaniu ścieków mleczarskich oraz badania składu fizyczno-chemicznego powstających flotatów. Zaprezentowano również badania technologiczne dotyczące wpływu stosowanych środków chemicznych na jakość ścieków oczyszczonych i ilość generowanego flotatu. Przeprowadzono badania z użyciem różnych chemikaliów stosowanych powszechnie w procesie flotacji ścieków mleczarskich. Wykonano dwie serie badań: Seria I - PAX XL 19 i polielektrolit Superfloc 82-98, Seria II - PIX 113, PAX 18 i flokulant F 414. W obu seriach badań uzyskano wysoki efekt usuwania substancji organicznej, fosforu i tłuszczów. Badania prowadzone w trzech obiektach aplikujących flotację we wstępnym oczyszczaniu ścieków mleczarskich w Dąbrowie Białostockiej, Wysokiem Mazowieckiem i Bielsku Podlaskim pozwoliły stwierdzić, że ilości osadów poflotacyjnych wynoszą od 1,7% (Dąbrowa Białostocka) do 2,5% (Wysokie Mazowieckie) ilości oczyszczanych ścieków mleczarskich. Podczyszczenie 1 m<sup>3</sup> ścieków mleczarskich powoduje powstanie od 0,64 kg s.m. (Wysokie Mazowieckie) do około 1,4 kg s.m. (Dąbrowa Białostocka) osadu poflotacyjnego. Ogólna zawartość metali ciężkich z oczyszczania i podczyszczania ścieków mleczarskich w uzyskanych badaniach jest niska i potwierdza celowość ich wykorzystania do nawożenia gleb. Stwierdzono również, że w osadach poflotacyjnych, podobnie jak w przypadku osadów nadmiernych z oczyszczania ścieków mleczarskich, metalem ciężkim o najwyższej zawartości był cynk.

**Słowa kluczowe:** ścieki i osady mleczarskie, osady poflotacyjne, metale ciężkie, związki biogenne

### Wstęp

Mleczarstwo w Polsce jest znaczną częścią przemysłu spożywczego. W 2012 r. wyprodukowano w naszym kraju 12 mld 298 mln litrów mleka, czyli o 2% więcej niż rok wcześniej. W tym czasie wzrosła wydajność mleka od jednej krowy. Najwięcej mleka pochodziło z województw: mazowieckiego (21,6%), podlaskiego (18,5%), wielkopolskiego (13,2%), zaś najmniej z woj. lubuskiego (1%). Wyższą

produkcję mleka na 1 ha użytków rolnych, w porównaniu ze średnią dla kraju (817 l), odnotowano w 6 województwach: podlaskim (2097 l), mazowieckim (1315 l), łódzkim (949 l), warmińsko-mazurskim (911 l), wielkopolskim (902 l) i kujawsko-pomorskim (834 l) [1]. Przy założeniu, że podczas przetwarzania 1 m<sup>3</sup> mleka powstaje 3,2 m<sup>3</sup> ścieków mleczarskich, w 2012 roku globalnie w skali kraju powstało 39,35 mln m<sup>3</sup> ścieków mleczarskich, z czego 7,08 mln m<sup>3</sup> w samym województwie podlaskim. Ścieki mleczarskie charakteryzują się znacznie wyższymi wartościami wskaźników zanieczyszczeń w porównaniu ze ściekami komunalnymi. Bardzo często istnieje więc konieczność ich podczyszczenia przed zrzutem do kanalizacji i oczyszczalni miejskiej [2-5].

Możliwość odbioru ścieków mleczarskich przez oczyszczalnię komunalną zależy od szeregu czynników, między innymi od: aktualnego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń, przepustowości hydraulicznej, możliwości gromadzenia i uśredniania ścieków czy od wymagań dotyczących ścieków oczyszczonych. Z analizy ładunku ścieków mleczarskich i możliwości oczyszczalni komunalnych województwa podlaskiego wynika, iż w większości przypadków konieczne jest zastosowanie podczyszczenia ścieków mleczarskich. Do podczyszczenia powszechnie stosowane są procesy: filtracji, cedzenia, uśredniania ładunku, flotacji i koagulacji [3, 6-8].

Systemy podczyszczenia ścieków oparte na filtracji, cedzeniu, koagulacji i flotacji będą miały szerokie zastosowanie w momencie zamknięcia przestarzałych oczyszczalni mleczarskich i konieczności odprowadzenia ścieków do oczyszczalni miejskich. Głównymi czynnikami decydującymi o takim rozwiązaniu będą koszty związane z ewentualną modernizacją oczyszczalni mleczarskiej i techniczne możliwości odbioru ścieków przez oczyszczalnię komunalną. Zastosowanie procesu flotacji i koagulacji umożliwi znaczne zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń, w odniesieniu do biochemicznego zapotrzebowania na tlen (BZT<sub>5</sub>) nawet do 60%, a w odniesieniu do fosforu do 30÷40%. Tego typu rozwiązania stosowane są na terenie województwa podlaskiego nie tylko w przemyśle mleczarskim, lecz także w przetwórstwie mięsny i rybny. Do rozwiązania pozostaje problem przeróbki i zagospodarowania odpadu w postaci osadu poflotacyjnego. Jego ilość i skład zależą od charakteru produkcji, stopnia podczyszczenia ścieków i chemikaliów używanych w eksploatacji instalacji. Według danych literaturowych, ilość osadów poflotacyjnych powstających w procesie podczyszczenia ścieków z różnych branż przemysłu spożywczego stanowi od 0,5 do 2% ilości ścieków [9].

W niniejszym artykule przedstawiono badania dotyczące składu osadów z podczyszczenia ścieków mleczarskich w zakładach mleczarskich w: Dąbrowie Białostockiej, Wysokiem Mazowieckiem i Bielsku Podlaskim. Znajdujący się w Dąbrowie Białostockiej zakład mleczarski firmy Mlekoop odprowadza ścieki po procesie podczyszczenia do oczyszczalni komunalnej. Osad powstały w procesie podczyszczenia ścieków trafia okresowo do oczyszczalni komunalnej, gdzie przy użyciu prasy taśmowej poddawany jest odwadnianiu łącznie z osadem nadmiernym. Osady po odwadnianiu są higienizowane wapnem, mieszane ze słomą i stosowane do nawożenia gruntów na terenie gminy. Działanie układu do podczyszczenia ścieków od 2003 roku oparte jest na procesach cedzenia, uśredniania i flotacji. Ścieki

z zakładu trafiają na sito, następnie ich skład jest uśredniany w zbiorniku napowietrzonym dyfuzorami. Ostatni etap to dozowanie chemikaliów i proces flotacji.

Oczyszczalnia ścieków w Wysokiem Mazowieckiem należy do SM Mlekovita i jest największą i najnowocześniejszą oczyszczalnią przemysłu mleczarskiego w województwie podlaskim. Oprócz ścieków mleczarskich dopływają do niej również ścieki komunalne z terenu miasta. Oczyszczalnia zlokalizowana jest w pobliżu zakładu SM Mlekovita, a odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest rzeka Brok. W roku 2013 nastąpiło zakończenie modernizacji oczyszczalni, a zastosowana technologia znacznie zmieniła procesy gospodarki osadowej. Modernizacja oczyszczalni w Wysokiem Mazowieckiem pozwoliła na przyjęcie dodatkowych ładunków, wynikających ze wzrostu produkcji. Doprowadzone do oczyszczalni ścieki mleczarskie trafiają na sito piaskownika, a następnie kierowane są pompowo do zbiornika buforowego. Strumień ścieków dalej transportowany jest na flotator ciśnieniowy DAF o wydajności 180÷350 m<sup>3</sup>/h, w którym następuje usunięcie tłuszczów i zawiesin, prowadzące do obniżenia obciążenia ładunkiem organicznym komór napowietrzania. Zanieczyszczenia organiczne w postaci wskaźnika ChZT zostają usunięte w 40÷50%, natomiast zawiesina w 60%. Osad nadmierny zbierany z osadników wtórnych kierowany jest pompowo na stację mechanicznego odwadniania i zagęszczania, a następnie zostaje składowany w zbiorniku osadów. Razem z osadem nadmiernym do instalacji fermentacji beztlenowej w reaktorze BIOBULK odprowadzane są osady powstałe w procesie flotacji. Uzyskuje się osad przefermentowany, transportowany na stację odwadniania i zagęszczania.

Oczyszczalnia ścieków w Bielsku Podlaskim została poddana gruntownej modernizacji w 2011 roku w celu sprostania wymaganiom nowych przepisów dotyczących konieczności usuwania związków biogenych. Stara technologia uwzględniająca biologiczne oczyszczanie w rowach cyrkulacyjnych została zastąpiona sekwencyjnymi reaktorami SBR. Ścieki poprodukcyjne dopływają grawitacyjnie do sita, na którym zatrzymywane są większe zanieczyszczenia stałe, dalej odwadniane na prasie ślimakowej i wywożone na wysypisko odpadów stałych. Następnie ścieki spływają do pompowni głównej i tłoczone są na piaskownik poziomy. Kolejnym elementem jest zbiornik uśredniający, wyposażony w mieszadła hiperboloidalne i system napowietrzania wstępnego. Uśrednione i wstępnie napowietrzane ścieki pompowane są na flotator ciśnieniowy, pozwalający na usunięcie tłuszczów i zawiesin. Proces wspomagany jest dodatkowo dozowaniem koagulantów oraz polielektrolitu. Zastosowano flotator ciśnieniowy DAF. Osady poflotacyjne są następnie mieszane z osadem nadmiernym i wspólnie stabilizowane, a następnie wykorzystywane przyrodniczo.

## 1. Metoda

Badania dotyczące składu osadów z podczyszczania ścieków mleczarskich prowadzono w trzech obiektach: SM Mlekpól Zakład w Dąbrowie Białostockiej, SM Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem, SM Bielmlek w Bielsku Podlaskim.

W osadach oznaczano zawartość ołowiu, rtęci, miedzi, kadmu, niklu, cynku i chromu. Zakres analiz metali ciężkich w osadach wynikał z rozporządzenia w sprawie komunalnych osadów ściekowych, które określa zakres badań pod kątem zagospodarowania ustabilizowanych osadów [10]. Badania osadów przeprowadzono w laboratorium Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej. Osad mineralizowano przy użyciu systemu mikrofalowego Mars 5 według procedur EPA 3015 i EPA 3051. Oznaczenia metali, oprócz rtęci, wykonano przy zastosowaniu metody spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie, rtęć oznaczono techniką spektrometrii absorpcji atomowej w analizatorze AMA-254. Oznaczenia metali, pierwiastków biogennych i substancji organicznej wykonano zgodnie z Polską Normą. Wyniki badań osadu zestawiono z wartościami dopuszczalnymi przy przyrodniczym (w tym rolniczym) zastosowaniu osadów.

Celem badań technologicznych było natomiast określenie skuteczności procesu flotacji ciśnieniowej DAF do oczyszczania ścieków mleczarskich z SM w Mońkach. Badania prowadzono z użyciem ścieków pobranych ze zbiornika uśredniającego jako reprezentatywna próba dobowa.

Przeprowadzono badania z zastosowaniem różnych chemikaliów stosowanych powszechnie w procesie flotacji ścieków mleczarskich.

Wykonano dwie serie badań:

- Seria I - PAX XL 19 i polielektrolit Superfloc 82-98.
- Seria II - PIX 113, PAX 18 i flokulant F 414.

Dobór dawek chemikaliów wykonano w oparciu o doświadczenia ich stosowania z oczyszczalni mleczarskich województwa podlaskiego. Zastosowano w każdej serii pięć dawek koagulantu i polielektrolitu. Dawka II jest dawką optymalną i przyjętą na podstawie doświadczeń z eksploatacji flotatora w oczyszczalniach firmy SM Bielmek oraz SM Mlekovita. W celu oceny możliwości procesu oprócz dawek optymalnych zastosowano dawkę zmniejszoną I oraz dawki zwiększone III, IV i V. Najwyższa dawka V przekraczała trzykrotnie dawkę optymalną II.

Dawka optymalna w przypadku serii I odpowiada w przybliżeniu następującym ilościom chemikaliów:

- 2 l PAX XL 19 na 1 m<sup>3</sup> przepływu ścieków + 0,08 l polielektrolitu Superfloc na 1 m<sup>3</sup> przepływu ścieków.

Dawka optymalna w przypadku serii II odpowiada w przybliżeniu następującym ilościom chemikaliów:

- 0,2 l PIX na 1 m<sup>3</sup> przepływu ścieków, 0,15 l PAX na 1 m<sup>3</sup> przepływu ścieków + + 10 l polimeru F 414 na 1 m<sup>3</sup> przepływu ścieków.

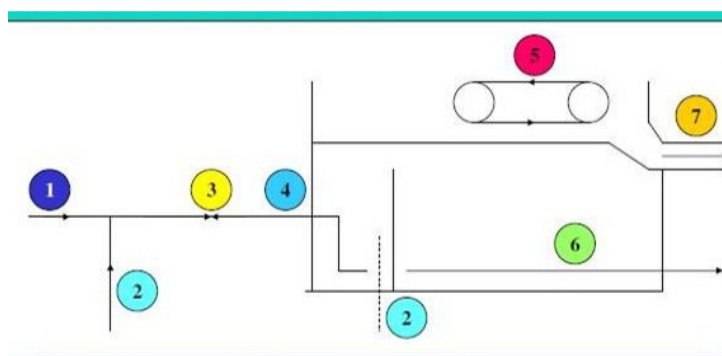
Na rysunku 1 przedstawiono schemat układu badawczego.

Opis chemikaliów stosowanych do badań procesu flotacji.

I seria badawcza - PAX XL 19 i polielektrolit Superfloc 82-98

- a) Koagulant glinowy PAX 19F - stosowany do uzdatniania wody i oczyszczania ścieków przemysłowych. Skład chemiczny: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16%), gęstość 1220 kg/m<sup>3</sup>, pH 4,0.

- b) Superfloc - polielektrolity w postaci suchej oraz emulsje i roztwory wodne. Zastosowanie: Odwadnianie i zagęszczanie osadów ściekowych na wszelkiego rodzaju urządzeniach, prasach, wirówkach, zagęszczaczach mechanicznych. Skutecznie poprawiają wydajność procesów i parametry osadów zagęszczanych i odwadnianych. Wspomaganie koagulacji wody i ścieków (flokulacja). Oczyszczanie wody - redukują zawiesinę i mętność. Filtracja - poprawiają parametry wody filtrowanej oraz zwiększają wydajność procesu.



Rys. 1. Schemat procesu flotacji: 1 - ścieki, 2 - powietrze, 3 - dławik, 4 - roztwór nasycony powietrzem, 5 - odprowadzenie flotatu, 6 - komora flotatora, 7 - ścieki po flotacji

Fig. 1. Scheme flotation: 1 - effluent, 2- air, 3 - choke, 4 - solution saturated with air, 5 - discharge sludge of flotation, 6 - chamber of the flotation unit, 7 - wastewater after flotation

II seria badawcza - PIX 113, PAX 18 i flokulant F 414

- a) Koagulant żelazowy PIX 113 - wodny roztwór siarczanu żelaza(III) o zawartości żelaza ogólnego ok. 11,8%. Produkt przeznaczony do uzdatniania wody i oczyszczania ścieków. W technologii ścieków stosowany głównie do chemicznego strącania fosforu. Dawka zalecana przez producenta: 15 g PIX na każdy 1 g fosforu usuwanego w 1 m<sup>3</sup> oczyszczanych ścieków.
- b) Koagulant glinowy PAX 18 - wodny roztwór chlorku poliglinu o zawartości Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ok. 17% i aktywnego jonu Al<sub>3</sub><sup>+</sup> ok. 9%. W technologii ścieków stosowany jako środek wspomagający sedymentację zawiesin łatwo opadających oraz osadu czynnego. Wysoce skuteczny również w walce z bakteriami nitkowatymi.
- c) Flokulant F 414 - polielektrolit kationitowy w postaci proszku. Dozowany do ścieków jako roztwór o maksymalnym stężeniu 5 g/dm<sup>3</sup>. Jego rola w procesie flotacji to destabilizacja cząsteczek koloidalnych i wytworzenie większych aglomeratów zanieczyszczeń, które łatwiej zostają wynoszone na powierzchnię bądź ulegają sedymentacji.

## 2. Wyniki i dyskusja

Badania prowadzone w trzech obiektach stosujących flotację we wstępnym oczyszczaniu ścieków mleczarskich w Dąbrowie Białostockiej, Wysokiem Mazo-

wiekiem i Bielsku Podlaskim pozwoliły stwierdzić, że ilości osadów poflotacyjnych wynoszą od 1,7% (Dąbrowa Białostocka) do 2,5% (Wysokie Mazowieckie) ilości oczyszczanych ścieków mleczarskich. Podczyszczenie 1 m<sup>3</sup> ścieków mleczarskich powoduje powstanie od 0,64 kg s.m. (Wysokie Mazowieckie) do około 1,4 kg s.m. (Dąbrowa Białostocka) osadu poflotacyjnego. Według Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków, ilość osadów powstających podczas oczyszczania 1 m<sup>3</sup> ścieków komunalnych wynosi 0,247 kg s.m. Przy oczyszczaniu ścieków mleczarskich wskaźnik ten może sięgać nawet 1 kg s.m./1 m<sup>3</sup> ścieków [11]. Analizując wyniki badań próbek osadów z podczyszczania ścieków mleczarskich i osadów komunalnych, można stwierdzić, iż zawartość metali ciężkich w osadach poflotacyjnych jest zdecydowanie mniejsza niż w osadach komunalnych i zbliżona do zawartości w osadach nadmiernych z biologicznego oczyszczania ścieków mleczarskich. Skład ścieków mleczarskich w dużym stopniu determinuje ilość metali w osadzie nadmiernym poddanych badaniom obok osadu poflotacyjnego. Przy dużym udziale ścieków przemysłowych (mleczarskich) nie ma możliwości osiągnięcia wysokiego efektu oczyszczania ścieków w oczyszczalni komunalnej bez zastosowania intensywnego procesu podczyszczania ścieków mleczarskich. Przekłada się to na ilość osadów poflotacyjnych.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań na zawartość metali ciężkich w badanych osadach, a także maksymalną zawartość metali oznaczoną w osadach z podlaskich indywidualnych oczyszczalni ścieków mleczarskich i z oczyszczalni komunalnych [12]. Porównując wyniki badań osadu poflotacyjnego z osadami komunalnymi z lat 80. ubiegłego wieku według EPA (USA) oraz z oczyszczalni chińskich, można stwierdzić znacznie niższą zawartość metali. Na przykład, według EPA, zawartość cynku to 8352 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., zaś według badań chińskich to 49 000 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. [13, 14].

Stwierdzono również, że w osadach poflotacyjnych, tak jak w przypadku osadów nadmiernych z oczyszczania ścieków mleczarskich, metalem ciężkim o najwyższej zawartości był cynk. Podobnie jest w osadach komunalnych, gdzie cynk jest pierwiastkiem o zdecydowanie najwyższej zawartości, co potwierdzają między innymi badania prowadzone na Politechnice Koszalińskiej [15].

Ogólna zawartość metali ciężkich z oczyszczania i podczyszczania ścieków mleczarskich jest niska i potwierdza celowość ich zastosowania do nawożenia gleb [16].

Zawartość pierwiastków nawozowych jest czynnikiem decydującym o możliwości zastosowania osadów poflotacyjnych do przyrodniczego bądź rolniczego zastosowania. W tabeli 2 zaprezentowano wyniki badań osadów poflotacyjnych na zawartość: Ca, Mg, N, P. Zawartość azotu ogólnego w osadzie poflotacyjnym wynosiła średnio 36,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m., fosforu 39,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m., wapnia 92,6 g·kg<sup>-1</sup> s.m. i magnezu 18,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m. Zawartość pierwiastków nawozowych w osadach z oczyszczalni komunalnej określona przez Duszę i innych była zbliżona do wartości w osadzie poflotacyjnym [17]. Natomiast Filipek i Fidecki, badając osady z oczyszczalni ścieków mleczarskich, określili zawartość potasu (4,6÷18,5 g·kg<sup>-1</sup> s.m.), wapnia (3,0÷46,9 g·kg<sup>-1</sup> s.m.), sodu (3,2÷4,6 g·kg<sup>-1</sup> s.m.), magnezu (4,5÷6,2 g·kg<sup>-1</sup> s.m.) [18].

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.) w osadach poflotacyjnych z podczyszczania ścieków mleczarskich w osadzie komunalnym z oczyszczalni odbierającej podczyszczone ścieki oraz w osadach z indywidualnych oczyszczalni mleczarskich i komunalnych województwa podlaskiego

Table 1. Content of heavy metals ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  d.m.) in flotation sludge from individual dairy and treatment plants of Podlasie province

Parametr	Pb $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Hg $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Cu $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Cd $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Ni $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Zn $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Cr $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.
Osad z podczyszczalni ścieków mleczarskich w Dąbrowie Białostockiej [19]							
Średnia	6,70	0,03	27,40	0,23	8,00	92,10	5,90
Osad z oczyszczalni ścieków mleczarskich w Wysokiem Mazowieckiem							
Średnia	7,50	0,02	6,70	0,19	2,50	21,41	4,75
Osad z oczyszczalni mleczarskiej w Bielsku Podlaskim							
Średnia	6,80	0,09	26,00	0,17	4,50	111,50	4,60
Osad z indywidualnych oczyszczalni mleczarskich, 1998-2002, województwo podlaskie							
Maksimum	19	0,38	26	0,8	12	348,0	19,0
Osad komunalny, 1998-2000, województwo podlaskie							
Maksimum	194	5,1	136	4,9	25	2436	1000
Maksimum przy rolniczym wykorzystaniu	750	16	800	20	100	2500	500

Tabela 2. Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.) Ca, Mg, N, P i substancji organicznej (%) w osadzie z podczyszczania ścieków mleczarskich i w osadzie komunalnym z oczyszczalni odbierającej podczyszczone ścieki mleczarskie

Table 2. Content ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  d.m.) Ca, of Mg, N, P and the organic substance (%) in the sludge from dairy wastewater pretreatment

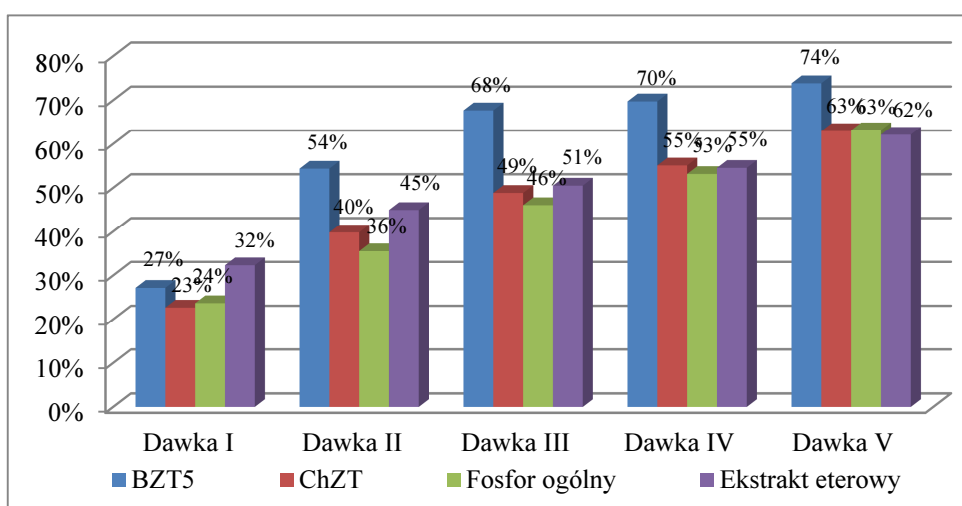
Parametr	Ca $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Mg $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	N $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	P $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.	Substancje organiczne %
Osad z podczyszczalni ścieków mleczarskich w Dąbrowie Białostockiej [19]					
Średnia	9,3	1,8	2,3	4,5	75,1
Osad z oczyszczalni ścieków mleczarskich w Wysokiem Mazowieckiem					
Średnia	7,2	1,9	3,6	2,5	87,0
Osad z oczyszczalni ścieków mleczarskich w Bielsku Podlaskim					
Średnia	11,3	1,9	5,1	4,9	80,0

W tabeli 3 oraz na rysunku 2 przedstawiono zestawienie wyników badań skuteczności stosowania procesu flotacji do oczyszczania ścieków mleczarskich ze Spółdzielni Mleczarskiej w Mońkach przy zastosowaniu koagulantu PAX XL 19 oraz polielektrolitu Superfloc.

Tabela 3. Efektywność procesu flotacji. Seria I przy zastosowaniu PAX XL 19 i polielektrolitu Superfloc 82-9877

Table 3. Effectiveness of the process of the flotation. Series I at applying PAX XL 19 and Superfloc 82-9877

Parametr	Jednostka	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone				
			Dawka I	Dawka II	Dawka III	Dawka IV	Dawka V
pH	-	5,7	5,9	6,0	6,0	6,0	6,1
Przewodność	mS·cm <sup>-1</sup>	2,3	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9
BZT <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup>	1950	1420	890	630	590	510
ChZT	mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup>	4320	3340	2600	2210	1940	1600
Fosfor ogólny	mg·dm <sup>-3</sup>	38,0	29,0	24,5	20,5	17,8	14,0
Ekstrakt eterowy	mg·dm <sup>-3</sup>	198	134	109	98	90	75



Rys. 2. Porównanie efektywności procesu flotacji przy zastosowaniu różnych dawek koagulantu PAX XL 19 i polielektrolitu Superfloc 82-98

Fig. 2. Comparing the effectiveness flotation process of the at applying different doses of the PAX XL 19 coagulant and Superfloc 82-98 polyelectrolyte

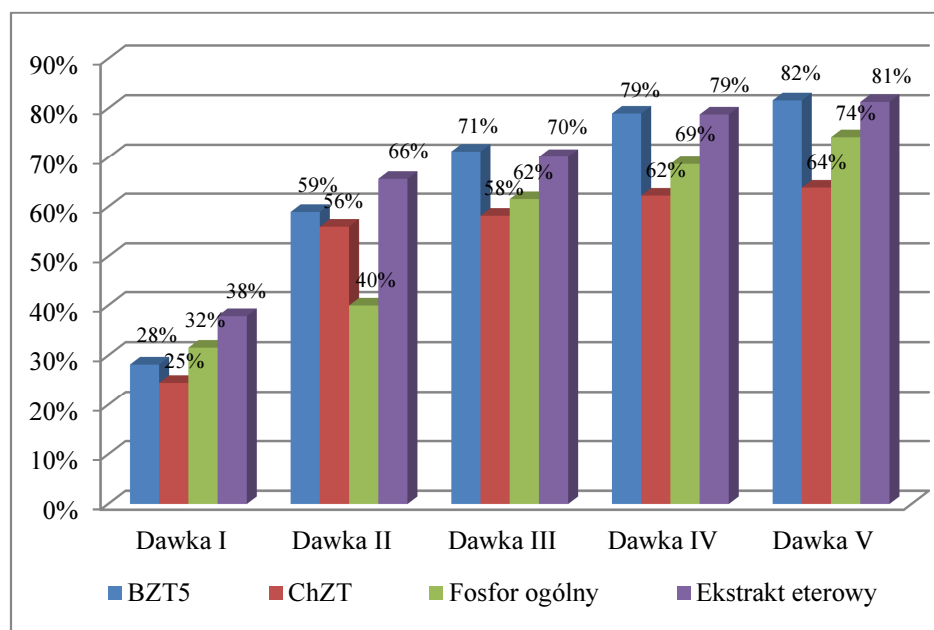
W tabeli 4 oraz na rysunku 3 przedstawiono zestawienie wyników badań skuteczności stosowania procesu flotacji do oczyszczania ścieków mleczarskich ze Spółdzielni Mleczarskiej w Mońkach przy zastosowaniu koagulantu PIX 113, PAX 18 i flokulantu F 414.



Tabela 4. Efektywność procesu flotacji. Seria II przy zastosowaniu PIX 113, PAX 18 i flokulantu F 414

Table 4. Effectiveness of the flotation process. The II series at applying PIX 113, PAX 18 and F 414 flocculent

Parametr	Jednostka	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone				
			Dawka I	Dawka II	Dawka III	Dawka IV	Dawka V
pH	-	5,7	5,7	5,9	5,8	6,0	5,8
Przewodność	mS·cm <sup>-1</sup>	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3
BZT <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup>	1950	1400	800	560	410	358
ChZT	mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup>	4320	3260	1900	1805	1630	1560
Fosfor ogólny	mg·dm <sup>-3</sup>	38,0	26,0	22,8	14,6	11,9	9,8
Ekstrakt eterowy	mg·dm <sup>-3</sup>	198	123	68	59	42	37



Rys. 3. Porównanie efektywności procesu flotacji przy zastosowaniu różnych dawek koagulantu PIX 113, PAX 18 i flokulantu F 414

Fig. 3. Comparing the effectiveness of the flotation process at applying different doses of the PIX 113 coagulant, PAX 18 and flocculent F 414

W obu seriach badań uzyskano wysoki efekt usuwania substancji organicznej, fosforu i tłuszczów. W serii I efekt zmniejszenia się wartości BZT<sub>5</sub> wynosił od 27 do 74%, natomiast ChZT od 23 do 63%. W przypadku fosforu ogólnego było to od 24 do 63% w przypadku ekstraktu eterowego, który wskazuje na zawartość tłuszczów, od 32 do 62%.

W serii II efekt zmniejszenia się wartości BZT<sub>5</sub> wynosił od 28 do 81%, natomiast ChZT od 25 do 64%. W przypadku fosforu ogólnego było to od 32 do 74%, w przypadku ekstraktu eterowego, który wskazuje na zawartość tłuszczów, od 38 do 81%.

Efekt usuwania substancji organicznej był zbliżony, natomiast nieco lepsze rezultaty osiągnięto w II serii, jeśli chodzi o usuwanie fosforu i tłuszczów. Z przeprowadzonych badań wynika, iż efekt usuwania zanieczyszczeń ze ścieków zależy od dawki chemikaliów stosowanych w procesie flotacji.

Uzyskane wyniki badań technologicznych potwierdziły wysoką skuteczność procesu flotacji ciśnieniowej DAF do oczyszczania ścieków mleczarskich z SM w Mońkach.

## Wnioski

1. Badane osady z podczyszczania ścieków mleczarskich zawierają znaczne ilości pierwiastków nawozowych, co stanowi o ich atrakcyjności jako nawozu bądź komponentu do produkcji kompostu. Zawartość azotu ogólnego w osadzie poflotacyjnym wynosiła średnio 36,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m., fosforu 39,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m., wapnia 92,6 g·kg<sup>-1</sup> s.m. i magnezu 18,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m.
2. Zawartość metali ciężkich w osadach z podczyszczania ścieków mleczarskich z zastosowaniem procesów koagulacji i flotacji jest zbliżona do wartości w osadach z biologicznego oczyszczania ścieków mleczarskich i znacznie niższa niż w osadach komunalnych. Stwierdzono również, że w osadach poflotacyjnych, podobnie jak w przypadku osadów nadmiernych z oczyszczania ścieków mleczarskich, metalem ciężkim o najwyższej zawartości był cynk; najwyższą wartość określono w osadzie poflotacyjnym w SM Bielsk Podlaski 111,50 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.
3. Ze względu na wysoką zawartość substancji organicznej w osadach poflotacyjnych, wynoszącą od 751 g·kg<sup>-1</sup> s.m. w SM Dąbrowa Białostocka do 870 g·kg<sup>-1</sup> s.m. w SM Wysokie Mazowieckie, są one potencjalnie cennym źródłem do produkcji biogazu w procesie fermentacji metanowej.
4. Z przeprowadzonych badań technologicznych wyraźnie wynika, że efekt usuwania zanieczyszczeń ze ścieków zależy od dawki chemikaliów stosowanych w procesie flotacji. Najbardziej optymalna była dawka II, zapewniająca zadowalający efekt usuwania badanych zanieczyszczeń przy jednoczesnym niewielkim zużyciu stosowanych środków chemicznych.
5. W obu seriach badań uzyskano wysoki efekt usuwania substancji organicznej: BZT<sub>5</sub> do 81%, zaś ChZT do 64%, fosforu do 74% i tłuszczów do 81%.

## Podziękowania

*Badania sfinansowano z pracy statutowej S/WBiŚ/3/2014.*

## Literatura

- [1] Krawiecka L., Fizyczne rozmiary produkcji zwierzęcej w 2012 r., Główny Urząd Statystyczny, Departament Rolnictwa, Wyniki Badań GUS.
- [2] IPPC Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, European Commission 2006.
- [3] Ochrona środowiska w przemyśle mleczarskim, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa (FAPA), Warszawa 1998.
- [4] Anielak A.M., Gospodarka wodno-ściekowa przemysłu mleczarskiego, *Agro Przemysł* 2008, 2, 57-59.
- [5] Kajurek M., Dąbrowski W., Przeróbka i zagospodarowanie osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków mleczarskich na przykładzie S.M. Mlekovita, II Międzynarodowa Konferencja Nowe spojrzenie na osady ściekowe, odnawialne źródła energii, Częstochowa 2003.
- [6] Piotrowski J., Pasternak T., Możliwości podczyszczania ścieków mleczarskich, *Przegląd Mleczarski* 1982, 5, 26-29.
- [7] Bartkiewicz B., Oczyszczanie ścieków przemysłowych, WN PWN, Warszawa 2002.
- [8] Ostrowska K., Janczukowicz W., Wpływ procesu filtracji na relację między ilością substancji organicznych i związków biogenych w ściekach mleczarskich, *Annual Set the Environment Protection* 2013, 15, 1411-1425.
- [9] Gudelis-Matys K., Problem użytkowania instalacji flotacyjnych - zagospodarowanie osadów poflotacyjnych, *Magazyn Przemysłu Rybnego* 2007, 3(57), 27-29.
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z 13 lipca 2010, DzU 2010, Nr 137, poz. 924 .
- [11] Boruszko D., Doświadczenia z zastosowaniem niskonakładowych metod przetwarzania osadów ściekowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2010, 13(1), 29-42.
- [12] Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L., Bilans ścieków i osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków województwa 1998-2000, Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok 2000.
- [13] Fytli D., Zabaniotou A., Utilization of sewage sludge in U.E. application of old and new methods - A review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2006, 12, 116-140.
- [14] Wang M.J., Sludge disposal and land use in China, [in:] *Wastewater Sludge - Waste or Resource*, Ed. J.B. Bień, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1997, 328-335.
- [15] Szymański K., Janowska B., Jastrzębski P., Heavy metal compounds wastewater and sewage sludge, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2011, 13, 1, 83-98.
- [16] Boruszko D., Application of heavy metals and nutrients into natural environment with sewage sludge, *Ecological Chemistry and Engineering* 2011, 18(9-10).
- [17] Dusza E., Zabłocki Z., Nierszczykowska-Wójcikowska B., Content of magnesium and other fertilizer compounds in stabilized sludge from the municipal sewage treatment plant in Recz, *J. Elementology* 2009, 14(1), 63-70.
- [18] Filipek T., Fidecki M., Ocena przydatności do nawożenia osadu ściekowego z mleczarni w Krasnymstawie, *Folia Univ. Agric. Stetinensis* 200, *Agricultura* 77, Wyd. A12, Szczecin 1999, 87-92.
- [19] Dąbrowski W., Określenie możliwości rolniczego zastosowania osadu poflotacyjnego z podczyszczania ścieków mleczarskich, *Inżynieria Ekologiczna* 2011, 25, 78-85.

## Research on the Effectiveness of the Flotation Process and Properties of Flotation Sludge from Dairy Wastewater Pretreatment

All dairy WWTPS in north-eastern part of Poland utilize sludge activated systems. High increase of dairy sewage sludge quantity was observed. By now the quantity of dairy sewage sludge is approximately 5 000 tons of dry mass per year. Dissolved air flotation is more commonly used in dairy sewage treatment plants. This technology provides a significant decrease of organic load discharged to the biological treatment. The article presents results of physico-chemical composition of sludge obtained during the flotation process. It also presents problems with obtainment, treatment and final disposal. Results of DAF flotation in real scale installations were presented - parameters of flotation sludge were tested. The total heavy metals quantity in flotation sludge from treatment and pretreatment of dairy sewage was low. This confirms agriculture reuse of flotation sludge. During research the highest concentration of zinc was observed. The same results can be found in excess dairy sludge. The results of technological tests with DAF flotation in laboratory scale were also presented (the quality of treated sewage and quantity of flotation sludge). Different chemicals typically used in DAF were checked during laboratory scale experiments. Two series of research were conducted: Series I - PAX XL 19 and Superfloc 82-98, Series II - PIX 113, PAX 18 and flocculent F 414. In both series high efficiency of organic, biogenic compounds and fat removal were reached. The effect of organic substances removal was nearly the same in both series. Significant differences in phosphorus and fat removal were observed. Treatment effectiveness is strictly connected with the chemical dose used in DAF process. Research data was taken from real scale installations located in Dąbrowa Białostocka, Wysokie Mazowieckie and Bielsk Podlaski. It was found that the quantity of flotation sludge was from 1.7 (Dąbrowa Białostocka) to 2.5% (Wysokie Mazowieckie) to compare with raw dairy sewage. DAF pretreatment of 1 m<sup>3</sup> of dairy sewage is responsible for 0.64 of flotation sludge (Wysokie Mazowieckie) and 1.4 kg d.m. (Dąbrowa Białostocka).

**Keywords:** dairy wastewater and sewage sludge, flotation sludge, heavy metals, biogenic compounds