

OKREŚLENIE ENERGOCHŁONNOŚCI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW MLECZARSKICH S.M. BIELMLEK W BIELSKU PODLASKIM

Wojciech Dąbrowski¹, Radosław Żyłka²

¹ Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 B, 15-351 Białystok, e-mail: dabrow@pb.edu.pl

² S.M. Bielmlek, ul. Wojska Polskiego 52, 17-100 Bielsk Podlaski

STRESZCZENIE

Oprócz bardzo skutecznego oczyszczania ścieków mleczarskich, wymagane jest małe zużycie energii w celu obniżenia kosztów procesu. Przedstawiono wyniki badań podstawowych parametrów procesu oczyszczania ścieków jak: biochemiczne zapotrzebowanie na tlen, zawartość azotu oraz zawartość fosforu. Określono również zużycie energii z wybranych procesów technologicznych oraz całkowitą konsumpcję energii. Stwierdzono, że około 40,5% energii wykorzystano do napowietrzania komory SBR, 14,6% przeznaczono na proces flotacji rozpuszczonym powietrzem, a resztę do zasilania procesów związanych z obróbką mechaniczną osadu ściekowego. Analizowano wszystkie źródła zużycia energii oraz ich moc. Obliczono wskaźniki zużycia energii i obciążenia. Podjęte badania będą kontynuowane w celu optymalizacji zużycia energii przy zachowaniu wysokiej efektywności oczyszczania ścieków. Opracowany zostanie model matematyczny po zebraniu odpowiedniej ilości danych, który może być wykorzystany nie tylko w mleczarskich, ale i innych oczyszczalniach ścieków.

Słowa kluczowe: ścieki mleczarskie, zużycie energii elektrycznej, efektywność oczyszczania.

EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION IN DAIRY WWTP BIELMLEK BIELSK PODLASKI

ABSTRACT

Apart from highly efficient treatment of dairy wastewater, a low energy consumption is required in order to lower its costs. During the research period, parameters of raw and treated sewage were tested (BOD, COD, N_{total} , P_{total}). Also, the energy consumption from selected processes as well as the total consumption were measured. It was observed that about 40,5% of energy was used for aeration in SBR chambers, 14,6% for dissolved air flotation and the rest for processes connected with mechanical treatment and sewage sludge treatment. First, all the sources of energy consumption and their power were analysed. Indicators of energy consumption and removed load were calculated. The conducted research will be continued in order to optimize energy consumption while retaining high efficiency of treatment. A mathematical model will be prepared after data collecting. It can be universally applied in different WWTPs, not only dairy ones.

Keywords: dairy wastewater, energy consumption, treatment efficiency.

WPROWADZENIE

Przemysł mleczarski charakteryzuje się wysokim zapotrzebowaniem na wodę, co przekłada się bezpośrednio na duże ilości odprowadzanych ścieków. Obowiązujące przepisy prawne nakładają na operatorów oczyszczalni ścieków obowiązek uzyskania ściśle określonej, wysokiej efektywności oczyszczania, która powoduje duże zużycie energii elektrycznej. Ma to bezpośredni

wpływ między innymi na wzrost emisji gazów cieplarnianych [7]. Według danych statystycznych Głównego Urzędu Statystycznego, ilość ścieków odprowadzanych z sektora mleczarskiego wzrosła w Polsce o 800 tys.m³/rok w latach 2010–2013, natomiast ilość energii elektrycznej zużytej przez przemysł spożywczy wzrosła o 4,1% w latach 2013–2014 [4, 5]. W celu utrzymania konkurencyjności polskich zakładów przetwórstwa mleczarskiego konieczna jest opty-

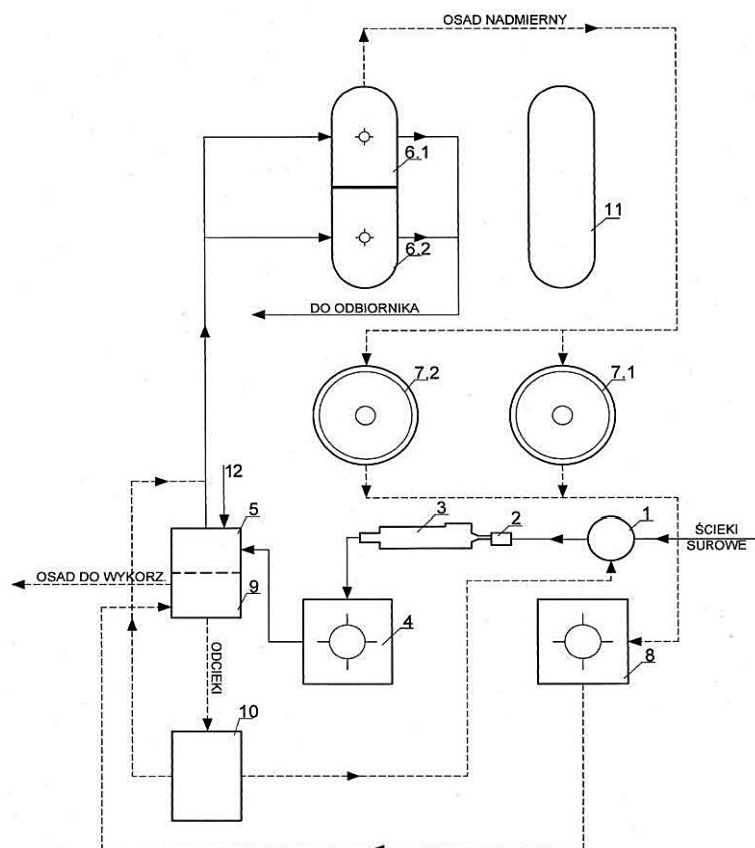
malizacja zużycia energii nie tylko w procesach produkcyjnych, ale także podczas oczyszczania ścieków. W celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej konieczne jest określenie energochłonności jednostkowych procesów oczyszczania w odniesieniu do usuwanego ładunku zanieczyszczeń. Badania pilotowe przeprowadzono w okresie marzec-kwiecień 2015 roku w oczyszczalni ścieków Spółdzielni Mleczarskiej Bielmlek w Bielsku Podlaskim.

METODYKA BADAŃ

Zakładowa oczyszczalnia ścieków S.M. Bielmlek została oddana do użytku na początku lat 70-tych XX wieku. Obecnie obiekt pracuje z zastosowaniem reaktora sekwencyjnego (SBR) o projektowanej przepustowości $Q_{\text{srđ}} = 750 \text{ m}^3/\text{d}$ i $Q_{\text{maxd}} = 1200 \text{ m}^3/\text{d}$. Schemat analizowanej oczyszczalni przedstawiono na rysunku 1 [2].

Ścieki z zakładu dopływają do oczyszczalni grawitacyjnie. Pierwsze urządzenie ciągu technologicznego to sito pionowe o prześwicie 6

mm. Kolejnymi elementami są pompownia główna i piaskownik o przepływie poziomym. Po usunięciu zawiesin mineralnych ścieki przepływają do zbiornika uśredniającego wyposażonego w mieszadła. W zbiorniku oprócz uśrednienia ładunku zanieczyszczeń możliwe jest prowadzenie procesu neutralizacji ścieków. Następnie ścieki kierowane są do flotatora typu DAF (Dissolved Air Flotation) gdzie następuje usunięcie tłuszczu i znaczne zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń szczególnie fosforu. Oczyszczanie biologiczne prowadzone jest w dwóch reaktorach SBR wyposażonych w turbiny mieszająco napowietrzające. Osad nadmierny i poflotacyjny jest zagęszczany i stabilizowany tlenowo. Odwodniony na prasie wykorzystywany jest rolniczo. Odcieki mogą być kierowane do podczyszczania w złożu hydrofitowym o przepływie pionowym. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie urządzeń i ich mocy z podziałem na flotację, reaktory SBR i pozostałe urządzenia. Najwyższa moc jest zainstalowana w reaktorach biologicznych, gdzie pracują cztery turbiny napowietrzająco mieszające [11].



Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków Bielmlek:

- 1 – sito pionowe, 2 – pompownia, 3 – piaskownik, 4 – zbiornik retencyjny, 5 – flotator, 6.1 i 6.2 – reaktory SBR, 7.1 i 7.2 – grawitacyjne zagęszczacze osadu, 8 – zbiornik regeneracji osadu, 9 – prasa, 10 –złoże hydrofitowe, 11 – plac składowy osadu odwodnionego, 12 – stacja dozowania chemikaliów

Tabela 1. Zapotrzebowanie mocy elektrycznej urządzeń wchodzących w skład oczyszczalni

Element ciągu technologicznego	Nazwa urządzenia	Ilość urządzeń	Moc urządzenia	Moc razem
		[szt.]	[kW]	[kW]
Flotacja DAF	Flotator USF 40	1	8,5	8,5
	Pompa śrubowa	1	4,8	4,8
	Stacja dozowania koagulantów	3	2	6
	Razem flotacja			19,3
Reaktory SBR	Turbina napowietrzająca	4	22	88
	Pompa osadu nadmiernego	2	5,5	11
	Zasuwy w komorze zasuwy	5	1,1	5,5
	Razem SBR			104,5
Pozostałe	Sito spiralne pionowe SP-400	1	3,5	3,5
	Mieszadło - osad	2	2,2	4,4
	Mieszadło - pompownia	2	5,3	10,6
	Mieszadło - zb. Retencyjny	2	1,5	3
	Dmuchawa	1	11	11
	Pompa osadu zagęszczonego grawitacyjnie	2	3,1	6,2
	Turbina napowietrzająca	1	22	22
	Pompa osadu	1	2,2	2,2
	Pompa osadu odwodnionego	1	7,5	7,5
	Stacja dezodoryzacji powietrza	1	10	10
	Pompa wód drenażowych	1	0,55	0,55
	Razem pozostałe			80,95
RAZEM				204,75

Tabela 2. Parametry ścieków w okresie badań

Pobór	Średnie Q w tygodniu [m ³ /d]	BZT ₅			ChZT			N _{og.}			P _{og.}		
		przed flotacją	po flotacji	po SBR	przed flotacją	po flotacji	po SBR	przed flotacją	po flotacji	po SBR	przed flotacją	po flotacji	odpływ z SBR
		[mg/dm ³]											
I	782	2700	1020	7	3940	1083	15	46	41	16	11,05	8,7	0,68
II	850	850	700	8	976	815	15	61	46	17	14,8	8,7	0,44
III	850	1050	540	15	1250	678	44,1	84	52	14,4	13,7	4	0,47
IV	845	440	350	13	960	486	42,1	134	21	18	20,8	11,7	1,7
V	983	1260	650	11	1780	765	43	81	39	25	15,1	8,3	0,82

Ścieki dopływające do zakładowej oczyszczalni ścieków charakteryzują się bardzo dużą zmiennością ładunku zanieczyszczeń. Jest to typowe dla zakładów branży spożywczej [3]. Na podstawie wyników badań wykonanych w laboratorium zakładowym, w tabeli 2 przedstawiono zmiany ilości ścieków, wartości BZT₅ i ChZT oraz stężenia azotu i fosforu. Wyniki posłużyły do obliczeń jednostkowych wskaźników zużycia energii w odniesieniu do usuwanego ładunku zanieczyszczeń. Pobór próbek prowadzono w odstępie tygodniowym.

Zużycie energii elektrycznej przez poszczególne urządzenia wyznaczone zostało na

podstawie iloczynu czasu pracy oraz pobieranej mocy. Czas pracy rejestrowany jest automatycznie przez system SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sterujący oczyszczalnią. Pobieraną moc odczytywano bezpośrednio z falowników regulujących prędkości obrotowe silników urządzeń. Zużycie energii elektrycznej przez cały obiekt wyznaczono na podstawie różnic we wskazaniach licznika głównego oczyszczalni. Licznik główny wraz z falownikami zlokalizowany jest w rozdzielni głównej znajdującej się w budynku pompowni ścieków.

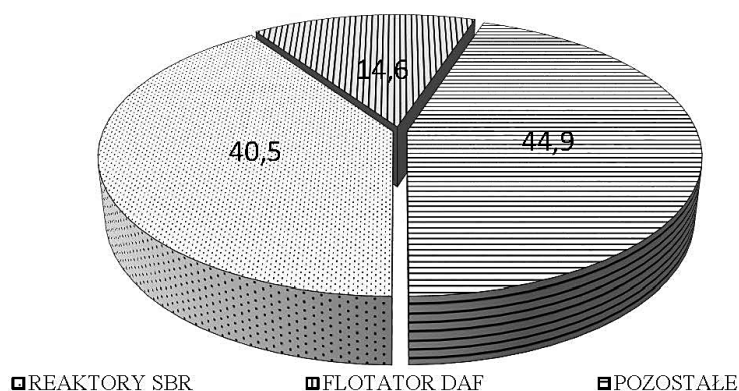
WYNIKI BADAŃ

Wykonane badania pozwoliły na określenie zużycia energii elektrycznej poprzez poszczególne zespoły ciągu technologicznego jak i w całym obiekcie. Dokonano podziału na trzy główne grupy: reaktory SBR – (część biologiczną oczyszczalni), flotację oraz pozostałe elementy (tab. 1). Na rysunku 2 przedstawiono rozkład zużycia energii w całym okresie, natomiast na rysunku 3 – w rozbiciu na pięć tygodni, w których prowadzono badania.

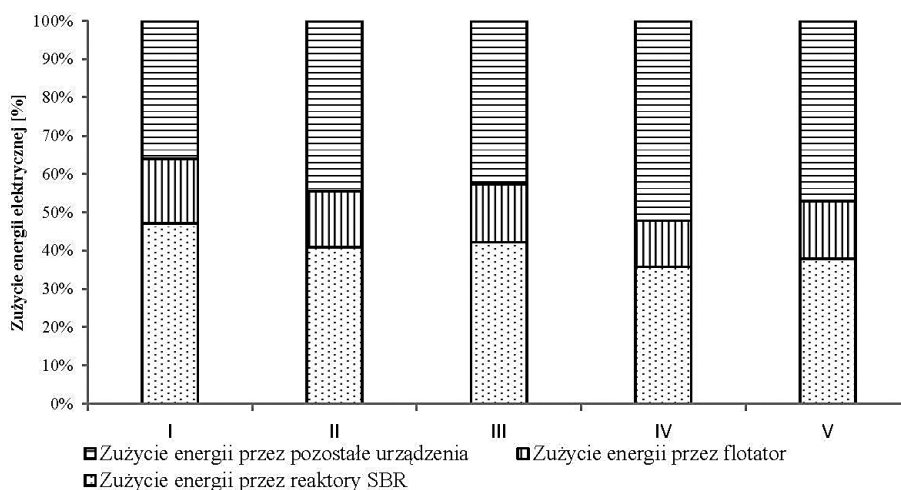
W procesie biologicznego oczyszczania energia zużywana jest głównie przez turbiny napowietrzająco mieszające. Potwierdzają to dane literaturowe odnoszące się do konwencjonalnych oczyszczalni biologicznych stosujących metodę osadu czynnego oraz tlenową bądź beztlenową stabilizację osadu ściekowego [1, 6, 8, 10]. Zaobserwowano duży udział w zużyciu energii urządzeń do przeróbki osadu i procesu dezodoryzacji (tab. 1, rys. 2 i 3). Zmiany w rozkładzie zużycia energii w całej oczyszczalni

były niewielkie (rys. 3). Na podstawie danych dotyczących ładunku zanieczyszczeń usuwanego w procesie oczyszczania biologicznego (reaktory SBR) oraz w trakcie flotacji na rysunkach 4-7 przedstawiono zmiany ilości usuwanej substancji organicznej mierzonej wartościami BZT i ChZT oraz związków biogenych w odniesieniu do zużycia energii elektrycznej.

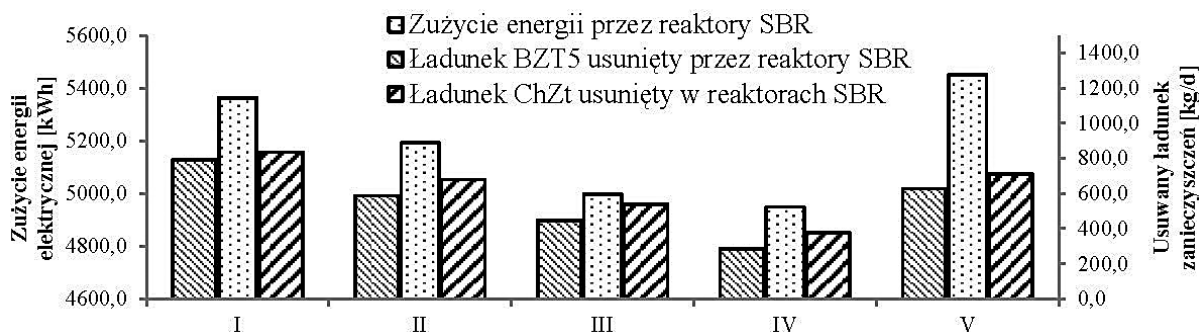
Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie współczynników zużycia energii elektrycznej dla całego obiektu oraz reaktorów SBR i flotatora DAF. Współczynniki zostały odniesione do usuwanych ładunków substancji organicznej wyrażonej, jako BZT_{5s} i ChZT oraz do związków biogenych: azotu i fosforu ogólnego. Wyznaczono także współczynnik zużycia energii elektrycznej w funkcji przepływu. Wyniki zostały przedstawione w Tabeli 3. Jednostkowe zużycie energii zmieniało się w okresie badawczym od 0,77 do 5,48 kWh/kg BZT_{5s} w całym obiekcie i od 0,97 do 2,48 kWh/kg BZT_{5s} w reaktorach SBR. W przypadku azotu i fosforu stwierdzono także duże zmiany wskaźnika zużycia energii na jednostkę usuwane-



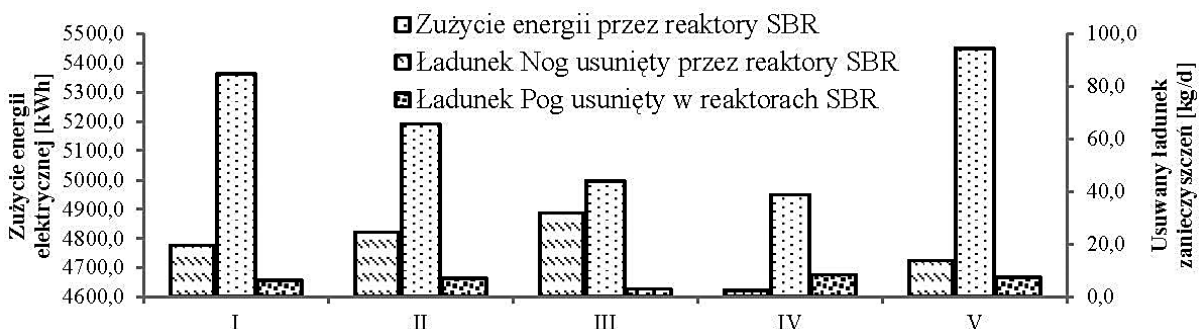
Rys. 2. Procentowy rozkład zużycia energii w całym obiekcie



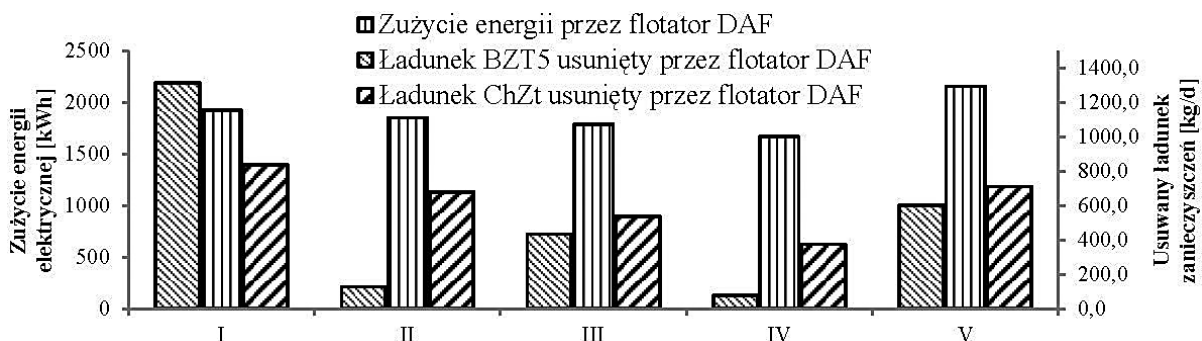
Rys. 3. Przebieg procentowego rozkładu zużycia energii w okresie badań



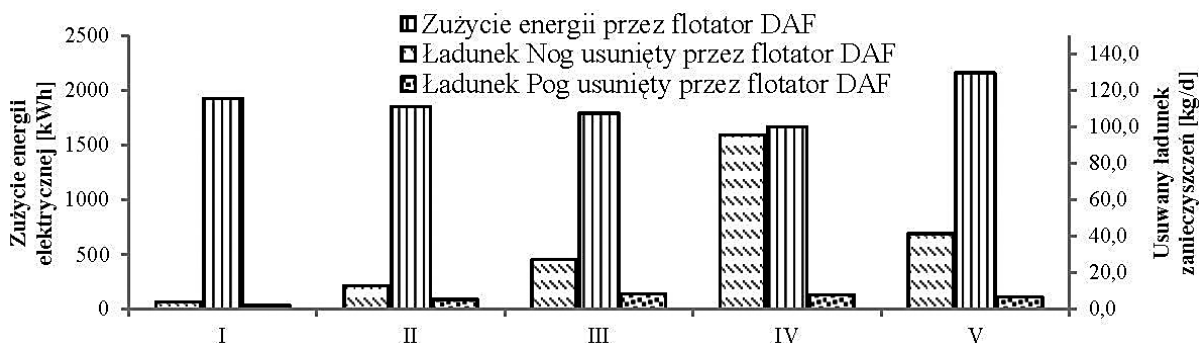
Rys. 4. Zestawienie ładunków usuwanej substancji organicznej wyrażonej jako BZT₅ i ChZT ze zużyciem energii elektrycznej w reaktorach SBR



Rys. 5. Zestawienie ładunków usuwanych związków biogennych ze zużyciem energii elektrycznej w reaktorach SBR



Rys. 6. Zestawienie ładunków usuwanej substancji organicznej wyrażonej jako BZT₅ i ChZT ze zużyciem energii elektrycznej w procesie flotacji DAF



Rys. 7. Zestawienie ładunków usuwanych związków biogennych ze zużyciem energii elektrycznej w procesie flotacji DAF

Tabela 3. Współczynniki zużycia energii elektrycznej odniesione do: usuwanych ładunków zanieczyszczeń oraz ilości ścieków

	BZT ₅			ChZT			Pog			Nog			Q
	cały obiekt	reaktory SBR	flotator DAF	cały obiekt	reaktory SBR	flotator DAF	cały obiekt	reaktory SBR	flotator DAF	cały obiekt	reaktory SBR	flotator DAF	cały obiekt
	kWh/kg BZT ₅ ^{usu.}			kWh/kg ChZT _{usu.}			kWh/kg Pus.			kWh/kg Nus.			kWh/m ³
I	0,77	0,97	0,21	0,53	0,92	0,12	200,6	122,1	149,8	69,35	39,17	70,40	2,08
II	2,53	1,26	2,08	2,22	1,09	1,93	148,2	105,6	51,1	48,50	30,10	20,75	2,13
III	1,92	1,60	0,59	1,65	1,32	0,53	150,4	237,9	31,01	28,59	22,33	9,40	1,99
IV	5,48	2,48	3,13	2,55	1,88	0,59	122,5	83,64	30,97	20,17	278,8	2,49	2,34
V	1,67	1,24	0,51	1,20	1,10	0,31	146,1	105,8	46,09	37,27	56,55	7,46	2,09
Średnio	2,48	1,51	1,30	1,63	1,26	0,70	153,6	131,0	61,78	40,78	85,39	22,10	2,13

go ładunku zanieczyszczeń. Zmieniał się on od 20,17 do 69,35 kWh/kg Nus. i od 122,5 do 200,6 kWh/kg Pus w całym obiekcie oczyszczalni.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule wyniki badań wskazują na konieczność ich prowadzenia w długim okresie czasu tak, aby można było określić zależność pomiędzy usuwanym ładunkiem zanieczyszczeń, zużyciem energii na procesy jednostkowe i w całym systemie w powiązaniu z temperaturą powietrza czy zmiennym składem zanieczyszczeń odprowadzanych z zakładu mleczarskiego. O ile usuwanie substancji organicznej w reaktorach biologicznych (SBR) można w dużym stopniu powiązać z ilością zużywaną energii elektrycznej o tyle w procesie flotacji należy dodatkowo uwzględnić ilość środków chemicznych stosowanych w procesie. Uzyskanie dużej ilości danych pozwoli wykonać modelowanie procesu oczyszczania ścieków mleczarskich z uwzględnieniem optymalizacji zużycia energii elektrycznej. Technologia reaktorów sekwencyjnych umożliwia w dużym stopniu wprowadzanie zmian w poszczególnych fazach pracy. Możliwa jest zmiana np. czasu poszczególnych cykli w zależności od składu dopływających ścieków przy założeniu określonej efektywności. Takich możliwości nie mają reaktory przepływowe. Uzyskany wskaźnik zużycia energii w całym okresie badawczym wynosił 2,13 kWh/m³. Natomiast wskaźnik zużycia energii na jednostkę usuniętego ładunku zanieczyszczeń zmieniał się w dużym stopniu od 77 do 5,48 kWh/kg BZT₅, przy wartości średniej wynoszącej 2,48 kWh/kg BZT₅. Duże wahania wskaźnika zużycia energii zaobserwowano także w przypadku usuwania fosforu i azotu. Potwier-

dza to konieczność prowadzenia badań, których wynikiem powinno być zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich stosującej procesy flotacji i oczyszczanie biologiczne w reaktorach SBR.

Podziękowania

Badania prowadzono w ramach współpracy naukowo-technicznej między Politechniką Białostocką i Spółdzielnią Mleczarską Bielmlek w Bielsku Podlaskim oraz w celu realizacji pracy statutowej S/WBiŚ/3/2014.

LITERATURA

1. Banaszek P. 2014. Klimzowiec według algorytmu. Kierunek Wod-Kan, nr 3, 26–29.
2. Dąbrowski W. 2012. Modernizacja oczyszczalni ścieków mleczarskich na przykładzie S.M. Bielmlek w Bielsku Podlaskim, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 6, 244–246.
3. Dąbrowski W., Puchlik M. 2010. Udział frakcji ChZT w ściekach mleczarskich w oczyszczalni stosującej intensywne usuwanie związków węgla, azotu i fosforu. Rocznik Ochrona Środowiska, tom 12, 735–745.
4. Ochrona Środowiska 2014. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
5. Rocznik przemysłu 2014. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
6. Krzemiski P., Jaap H.J van der Graf, Jules B. van Lier 2012. Specific energy consumption of membrane bioreactor (MBR) for sewage treatment. IWA publishing, Water Science and Technology, 65(2), 380–392.
7. Mizuta K., Shimada M. 2010. Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plant. Water Science Technology, 62, 2256–2262.

8. Pakenas L.J. 1995. Energy efficiency in wastewater treatment plant. Published by New York State Energy Research and Development Authority. Albany, New York, Technology Assessment, 9/95, 1–24.
9. Singh P., Carliel-Marquet C., Kansal A., 2012. Energy pattern analysis of a wastewater treatment plant. *Apply Water Science* (2), 221–226.
10. Wawrentowicz D. 2009. The influence of selected technological parameters of the sewage treatment plant in Hajnówka on the energy consumption on the sewage neutralisation process. *Polish Journal of Environmental Studies – Series of Monographs*, vol. 4, HARD Publishing Company, 75–79.
11. Żyłka R., Vasilyeva G. 2014. Określenie efektywności procesu flotacji do oczyszczania ścieków mleczarskich na przykładzie oczyszczalni S.M. Bielmlek. W: *Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Studenckiej „Inżynieria Środowiska Młodym Okiem”*, Materiały konferencyjne, Tom X, Białystok 2014, 51–63.