

Dr hab. inż. Roman KOWALCZYK, prof. SGGW
Mgr inż. Jan BĄBAŁA
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

ZUŻYCIE ENERGII W PROCESIE OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW Z WYKORZYSTANIEM METODY POGŁĘBIONEGO UTLENIANIA®

Badano zużycie energii w procesie oczyszczania ścieków z wykorzystaniem metody pogłębionego utlenienia w podczyszczalni jednego z większych zakładów drobiarskich. Stwierdzono, że w procesie tym zużywa się 2-3 krotnie mniej energii niż w tradycyjnych technologiach oczyszczania w innych porównywalnych zakładach przemysłu spożywczego.

WPROWADZENIE

Podstawowym źródłem zanieczyszczenia ścieków w zakładach przemysłu spożywczego są działy produkcyjne. Ścieki z zakładów mięsnych czy drobiarskich nie zawierają nieorganicznych substancji trujących, ale zawierają znaczne ilości substancji organicznych. Ponadto ścieki z zakładów mięsnych mogą zawierać bakterie chorobotwórcze i pasożyty jelitowe. Podstawowym zanieczyszczeniem ścieków jest przedostająca się do nich krew z uboju i obróbki poubojowej. W zakładach drobiarskich około 40% wartości BZT₅ w ściekach pochodzi z wykrwawiania. Duża zawartość białek we krwi, które łatwo ulegają biologicznemu rozkładowi, decyduje o zagniwalności ścieków i wpływa na powstawanie bardzo uciążliwych zapachów. Ścieki z przemysłu drobiarskiego zanieczyszczone są również tłuszczem. Do ścieków trafiają także resztki przewodu pokarmowego wraz z zawartością oraz część pierza.

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie oczyszczaniem ścieków z wykorzystaniem metod pogłębionego utleniania (Advanced Oxidation Processes - AOPs), w których powstające wysoko reaktywne rodniki hydroksylowe OH• wchodzi w reakcję niemal ze wszystkimi związkami organicznymi oraz poprawiają właściwości sanitarne ścieków [1]. Szybkość rozkładu zanieczyszczeń i efektywność sprawiają, że metoda ta jest coraz częściej stosowana w przemyśle spożywczym, zwłaszcza w połączeniu z tradycyjnymi metodami utleniania na drodze biologicznej. Taki sposób oczyszczania ścieków jest szczególnie przydatny przy oczyszczaniu ścieków z przemysłu mięsnego i drobiarskiego - ścieków zawierających duże ilości krwi. W literaturze znaleźć można wiele informacji na temat możliwości oczyszczania, efektywności i rozwiązań technicznych takiego oczyszczania ścieków. Nie ma natomiast informacji na temat energochłonności tej metody oczyszczania ścieków. Badania mające na celu określenie rzeczywistego zużycia energii z wykorzystaniem konkretnych rozwiązań technicznych są podstawą do udoskonalania i wprowadzania nowych energooszczędnych rozwiązań.

Celem artykułu jest prezentacja uzyskanych w trakcie badań doświadczalnych wyników w zakresie zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków z wykorzystaniem metody pogłębionego utleniania w podczyszczalni zakładu drobiarskiego o przerobie około 1500 ton żywca w ciągu miesiąca.

OBIEKT BADAŃ I METODYKA

Proces oczyszczania ścieków prowadzony był w zakładowej podczyszczalni ścieków, której zadaniem było oczyszczenie ścieków do warunków określonych w odpowiedniej umowie, umożliwiających odprowadzenie ich do kanalizacji miejskiej. Ścieki po oczyszczeniu powinny charakteryzować się następującymi parametrami:

temperatura – 35°C, odczyn pH – 6,5 – 10, zawiesiny ogólne 400 mgO₂/dm³, BZT₅ – 400 mg O₂/dm³, ChZT_{Cr} - 1000 O₂/dm³, azot amonowy 200 mg/dm³, fosfor ogólny 10 mg/dm³, ekstrakt eterowy 100 mg/dm³.

Ścieki powstające na terenie zakładu przepływały na początku przez sito bębnowe ROTAMAT RO-9 celem oddzielenia zanieczyszczeń stałych o średnicy ziarna powyżej 2 mm, a następnie kierowane były do zbiornika retencyjno-uśredniającego, a stąd pompowane do właściwej podczyszczalni, gdzie przebiegał podstawowy proces oczyszczania ścieków w komorze wielofunkcyjnej i utylizacja osadów.

Na oczyszczanie ścieków w komorze wielofunkcyjnej składały się następujące procesy:

– Wstępne odtłuszczenie ścieków w procesie flotacji wspomaganą koagulacją chemiczną (dozowanie H₂O₂ - 20g/m³ i polielektrolitu kationowego Praestol 859 BS – 8 g/m³), saturacją ciśnieniową i biosorpcją na kłaczkach osadu nadmiernego poddawanego jednocześnie zagęszczaniu w procesie flotacji,

– Flotacja i zagęszczenie osadu nadmiernego z procesu tlenowego podczyszczania prowadzonego w komorach napowietrzania,

– Redukcja ładunku zanieczyszczeń w procesie fermentacji metanowej, realizowanej w beztlenowym reaktorze osadu zawieszzonego UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor). Utylizacja osadu polegała na jego odwadnianiu na prasie taśmowej i higienizacji przy użyciu wapna palonego CaO.

Zakres pracy obejmował określenie:

1. Strumienia objętościowego oczyszczanych ścieków – na podstawie licznika zakładowego typu MAG 5000 firmy Siemens z dokładnością do 1m³.

2. Wartości BZT₅: ścieków surowych i oczyszczonych – na podstawie analizy próbek ścieków, pobieranych dwa razy w miesiącu.

3. Zużycia energii elektrycznej w zakładzie i oczyszczalni – na podstawie liczników zakładowych z dokładnością do 1 kWh.

4. Zużycia energii cieplnej w zakładzie - na podstawie raportów zakładowych podających wartości w tonach pary o entalpii 2733 kJ/kg.

5. Ładunku zanieczyszczeń jako iloczynu strumienia objętościowego ścieków i ich wartości BZT_5 .

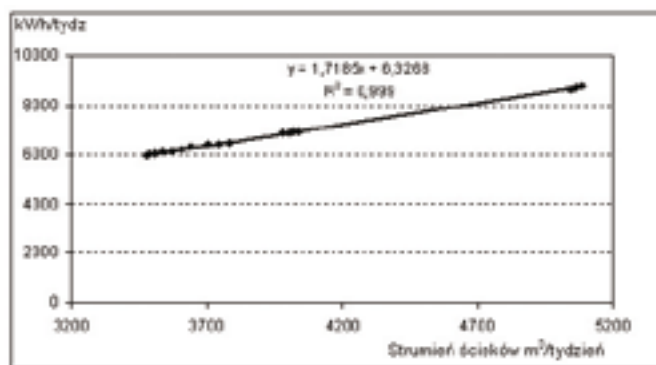
Badaniami objęto 20 tygodni pracy podczyszczalni w miesiącach jesienno - zimowych (listopad – marzec).

Energochłonność oczyszczania ścieków wyrażono wskaźnikami w kWh na m³ oczyszczanych ścieków [kWh/m³] oraz w kWh na usunięty ładunek zanieczyszczeń w przeliczeniu na BZT_5 w kg [kWh/kg BZT_{5US}].

Porównując zużycie energii w procesie oczyszczania ścieków w stosunku do zużycia energii w całym zakładzie (łącznie z oczyszczalnią), energię elektryczną i energię ciepłą przeliczono na energię pierwotną. Przeliczając zużycie energii cieplnej i energii elektrycznej na energię pierwotną uwzględniono sprawność przemian podaną przez Wojdałskiego i in. [6] i zalecaną przez GIGE [2], która dla energii elektrycznej wynosi 0,3, a dla energii cieplnej 0,7.

WYNIKI I Dyskusja

Tygodniowe zużycie energii elektrycznej w badanej podczyszczalni przyjmowało wartości od 5970 do 8760 kWh. Odpowiednio strumień oczyszczanych ścieków wahał się od 3470 do 5060 m³/tydzień. Średnia wartość BZT_5 ścieków surowych wynosiła 1629 ± 77 mg/dm³, ścieków opuszczających podczyszczalnię 259 ± 8 mg/dm³. Wszystkie pozostałe parametry ścieków po oczyszczeniu nie przekraczały dopuszczalnych ustalonych parametrów.



Rys. 1. Wpływ strumienia ścieków na zużycie energii elektrycznej w procesie ich oczyszczania.

Zależność zużycia energii elektrycznej w podczyszczalni od strumienia ścieków przedstawiono na rys. 1. Uzyskany współczynnik korelacji r wyniósł 0,997 ($R^2 = 0,999$), co świadczy o istotnej statystycznie zależności (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$) między ilością zużywanej energii a strumieniem objętości oczyszczanych ścieków.

W badanej oczyszczalni, wzrost strumienia objętościowego ścieków spowodował proporcjonalny wzrost zużycia energii na ich oczyszczanie. Oznacza to, że sterowanie pracą wszystkich urządzeń oczyszczalni było prawidłowe bez zbędnego zużycia energii, szczególnie na nadmierne napowietrzanie, na które w procesie oczyszczania ścieków zużywane jest najwięcej energii.

Tabela 1. Udział procentowy w zużyciu energii w procesie oczyszczania ścieków

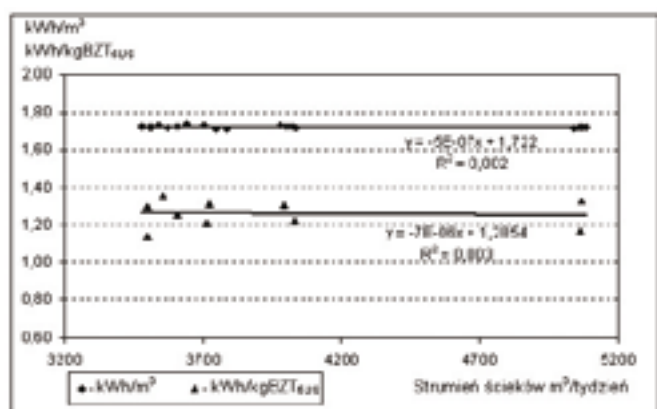
Miesiąc pomiaru	Zużycie energii			
	Energia elektryczna		Energia sumaryczna (elektryczna i ciepła) w przeliczeniu na energię pierwotną	
	Zakład	Oczyszczalnia	Zakład	Oczyszczalnia
Listopad	94,2	5,8	97,5	2,5
Grudzień	94,2	5,8	97,6	2,4
Styczeń	94,2	5,8	97,3	2,7
Luty	94,1	5,8	97,6	2,4
Marzec	93,9	5,9	97,6	2,4
Średnia	94,12	5,82	97,52	2,48
Odchylenie standardowe	0,13	0,05	0,13	0,13

W oczyszczalni ścieków głównymi odbiornikami energii elektrycznej były silniki dmuchaw, pomp i mieszadeł. Udział procentowy zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków podano w tabeli 1. W analizowanym okresie, proces oczyszczania ścieków pochłaniał średnio 5,8% energii elektrycznej zużywanej w całym zakładzie łącznie z oczyszczalnią.

Zakłady przemysłu spożywczego zużywają na ogół dwa rodzaje energii, energię cieplną i energię elektryczną. Przed zsumowaniem, zarówno energia cieplna jak i energia elektryczna powinny być przeliczone na energię pierwotną ze względu na różną sprawność ich wytwarzania. Uwzględniając sumaryczne zużycie energii cieplnej i elektrycznej w badanym zakładzie, łącznie z oczyszczalnią, w procesie oczyszczania ścieków zużywano średnio około 2,5% sumarycznego zużycia energii pierwotnej.

Uzyskane wartości procentowego zużycia energii są 2-3 krotnie niższe od wartości analogicznych uzyskanych w innych oczyszczalniach [4, 5]. Przy porównywaniu trzeba jednak pamiętać, że w typowej oczyszczalni, ścieki oczyszczane są do parametrów umożliwiających odprowadzenie ich bezpośrednio do odbiornika jakim są najczęściej rzeki czy jeziora. Ścieki w badanym zakładzie były jedynie podczyszczane tak, by umożliwić wprowadzenie ich do oczyszczalni miejskiej. Poza tym każdy zakład przemysłu spożywczego ma swoją specyfikę, zużywa różne ilości energii cieplnej i elektrycznej, co uniemożliwia dokładne porównanie.

W oczyszczalniach ścieków pracujących w zakładach przemysłu spożywczego, w poszczególnych okresach pracy oczyszczalni zmieniają się zwykle w mniejszym lub większym stopniu takie parametry jak strumień ścieków, ładunek zanieczyszczeń oraz zużycie energii elektrycznej. Wpływa to na wskaźniki zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków. Taka sytuacja ma miejsce, gdy wielkość oczyszczalni jest niedostosowana do strumienia oczyszczanych ścieków i ładunku zanieczyszczeń lub proces oczyszczania nie jest właściwie prowadzony i kontrolowany.



Rys. 2. Wskaźniki zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków.

Zależność wskaźników zużycia energii w badanej oczyszczalni, wyrażonych w kWh na m³ oczyszczanych ścieków (kWh/m³) i kWh na usunięty ładunek zanieczyszczeń w przeliczeniu na kg BZT₅ (kWh/kg BZT_{5SUS}) od strumienia ścieków pokazano na rys 2. Uzyskane współczynniki korelacji $j_r = 0,045$ ($R^2 = 0,002$) $i_r = 0,055$ ($R^2 = 0,003$) są bardzo małe, co świadczy, że obliczone wskaźniki zużycia energii elektrycznej nie zależą od strumienia oczyszczanych ścieków. Jest to sytuacja korzystna i świadczy o prawidłowych warunkach eksploatacji badanej podczyszczalni. Otrzymane zależności odbiegają od zależności uzyskanych dla innych oczyszczalni, gdzie wskaźniki zależą od strumienia ścieków i ładunku zanieczyszczeń w nich zawartych [3].

Wyliczone średnie wartości wskaźników zużycia energii wynosiły: $1,72 \pm 0,006$ kWh/m³ oczyszczanych ścieków oraz $1,29 \pm 0,07$ kWh/kg BZT_{5SUS}. Są one 2-3 krotnie niższe od analogicznych wskaźników określonych dla innych oczyszczalni w zakładach przemysłu spożywczego [4, 5]. Kilkukrotnie niższe wskaźniki zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków wynikały prawdopodobnie ze stosowanej technologii oczyszczania, w której wykorzystywany był proces pogłębnego utleniania z wykorzystaniem nadtlenu wodoru. Nie wykluczone, że przyczyną był także inny ładunek zanieczyszczeń usuwany w procesie oczyszczania w badanej oczyszczalni. Pełne wyjaśnienie wymaga przeprowadzenia badań w innych oczyszczalniach, gdzie końcowy stopień oczyszczenia umożliwia, zgodnie z przepisami, odprowadzenie ścieków bezpośrednio do rzeki czy jeziora.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W procesie oczyszczania ścieków z wykorzystaniem metody pogłębnego utleniania w podczyszczalni zakładu drobiarskiego zużywa się 2-3 krotnie mniej energii niż w tradycyjnych technologiach oczyszczania ścieków w innych zakładach przemysłu spożywczego.

2. W badanej podczyszczalni udział energii elektrycznej na oczyszczanie ścieków w stosunku do energii elektrycznej zużywanej w całym zakładzie (zakład drobiarski i podczyszczalnia) wyniósł średnio 5,8%. Energia zużywana na oczyszczanie ścieków w przeliczeniu na energię pierwotną stanowiła 2,5% ogólnego zużycia energii pierwotnej (energii cieplnej i elektrycznej) w zakładzie.

3. Wskaźniki zużycia energii w procesie oczyszczania w badanej podczyszczalni wynosiły $1,72 \pm 0,006$ kWh/m³ oczyszczanych ścieków oraz $1,29 \pm 0,07$ kWh/kg BZT_{5SUS}.

4. Ze względu na kilkukrotnie mniejszą energochłonność oczyszczania ścieków z wykorzystaniem metody pogłębnego utleniania celowym wydaje się upowszechnienie tej metody oczyszczania ścieków, szczególnie w przemyśle mięsnym i drobiarskim.

LITERATURA

- [1] DĘBOWSKI M., ZIELIŃSKI M., KRZEMIŃSKI M. 2005. *Metoda oczyszczania ścieków o wysokim stężeniu krwi z wykorzystaniem odczynnika Fentona*. Roczniki Ochrony Środowiska, 7, 267 - 278.
- [2] GIGE. 1983. *Wytyczne ustalenia i stosowania państwowych normatywów zużycia paliw i energii oraz wskaźników jednostkowej energochłonności*. Główny Inspektorat Gospodarki Energetycznej, Warszawa.
- [3] KOWALCZYK R. 2003. *Wpływ zmian strumienia ścieków na wskaźniki zużycia energii w procesie ich oczyszczania w zakładzie przemysłu owocowo-warzywnego*. Problemy Inżynierii Rolniczej, Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Techniki Rolniczej, 3 (41), 109 – 117.
- [4] KOWALCZYK R., KARP K. 2005. *Energochłonność oczyszczania ścieków w wybranym zakładzie przemysłu Mleczarskiego*. Problemy Inżynierii Rolniczej, Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Techniki Rolniczej, 4 (50), 79 -88.
- [5] KOWALCZYK R., RÓWNICKI M. 2003. *Energochłonność oczyszczania ścieków w wybranym zakładzie przemysłu owocowo – warzywnego*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, Wyższa Szkoła Menedżerska SIG w Warszawie, Tom 13/23 nr 2, s. 40 - 43.
- [6] WOJDALSKI J., DOMAGAŁA A., KAŁETA A., JANUS P. 1998. *Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

THE ENERGY CONSUMPTION IN THE PROCESS OF WASTE WATER TREATMENT WITH USAGE OF ADVANCED OXIDATION PROCESSES

SUMMARY

The energy consumption in the process of sewage purification with usage of Advanced Oxidation Processes in treatment plant of waste water of the one of bigger poultry-breeding plant was investigated. It was found that in above mentioned process the energy consumption is 2-3 times lower than in traditional technologies of sewage purification in other food industry plants.