

**Joanna RODZIEWICZ, Artur MIELCAREK, Kamil BRYSEWSKI
Wojciech JANCZUKOWICZ**

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk o Środowisku
Katedra Inżynierii Środowiska
ul. Warszawska 117a, 10-719 Olsztyn
email: joanna.rodziewicz@uwm.edu.pl

Charakterystyka ścieków z zakładu utylizacji odpadów pochodzenia zwierzęcego

Characteristics of Wastewater from Animal Rendering Plant

In this study, wastewater originating from a post-slaughter waste management plant, the main activity of which is the recovery of other than hazardous wastes of animal origin and wastes from the agri-food processing, were analyzed. The main substrates processed in the installation include post-slaughter wastes and wastes from the agri-food processing, like e.g.: waste animal tissue, raw materials and products unsuitable for consumption and processing originating from the food, dairy, bakery and confectionery industries, sludge from the onsite wastewater treatment plant, unusable dietary fats, cooking oils and fats, and biodegradable kitchen waste. The above-mentioned wastes are recovered and processed into meat-bone meal, blood meal, feather meal as well as technical fat. The wastewater was characterized by a high concentration of organic matter (COD from 20 345 to 66 260 mg O₂/dm³), total suspended solids (from 1068 to 4336 mg/dm³), and fats (from 1186 to 2244 mg/dm³). Phosphorus concentration in raw wastewater ranged from 75 to 230 mg P/dm³, that of total nitrogen from 496 to 910 mg N/dm³, and that of ammonia nitrogen from 450 to 846 mg N/dm³. The process line of the onsite wastewater treatment plant included: rotary screen, floatation-flocculation station (agents and procedures aiding the process: PIX coagulant, pH adjustment with soda lye, polyelectrolyte), aerobic bioreactor, and ultrafiltration station. The excess sludge from the bioreactor is dewatered on a filtration press and collected by an external company as a waste product. Removal effectiveness reached 99.7% for organic matter, 98.5% for total phosphorus, 95.2% for total nitrogen, 98.5% for ammonia nitrogen, and 98.9% for suspended solids. The total effectiveness of the first two stages of the treatment process (screening on rotary screens and wastewater treatment via floatation and flocculation) exceeded 50% in the case of most of the contaminants (except for total nitrogen with effectiveness accounting for 46%). The highest total effectiveness of the first two stages of the treatment process, reaching over 90%, was noted in the case of fats. Concentrations of contaminants in the treated wastewater did not exceed the permissible values, stipulated in the integrated permit.

Keywords: slaughterhouse waste, rendering plant, wastewater quality, wastewater treatment

Wprowadzenie

Sektor mięsny wytwarza duże ilości ścieków w związku z ubojem zwierząt i czyszczeniem obiektów rzeźni i przetwórstwa mięsnego. Przemysł mięsny wykorzystuje 24% wody zużywanej przez przemysł spożywczy i aż do 29% wody

zużywanej przez rolnictwo na całym świecie [1-3]. Wzrastające zapotrzebowanie na produkty żywnościowe powoduje powstawanie dużej ilości odpadów zarówno podczas produkcji żywności, jak i jej dystrybucji i konsumpcji. W ciągu roku państwa Unii Europejskiej wytwarzają, z samego tylko przemysłu mięsnego, 18 mln ton różnego rodzaju odpadów [4, 5]. Odpady z przemysłu spożywczego zawierają głównie zanieczyszczenia organiczne. Usuwanie i utylizacja tego typu produktów jest skomplikowana ze względu na niestabilność biologiczną, wysoką zawartość wody, słabą stabilność oksydacyjną i zagrożenia sanitarne [6]. Odpady z przemysłu mięsnego mogą być poddawane recyklingowi i przekształcane w produkty o wysokiej wartości biologicznej. Produkty uboczne, takie jak podroby, krew, nerki, wątroba, płuca, śledziona, flaki i mózg, charakteryzują się wysoką wartością odżywczą. Część z nich może być wykorzystana przez przemysł farmaceutyczny do produkcji leków. Ponadto bioaktywne peptydy wyizolowane z mięsnych produktów ubocznych mogą być stosowane do produkcji żywności funkcjonalnej zapobiegającej chorobom serca, problemom ze zdrowiem psychicznym i otyłości [7]. Produkty uboczne wytwarzane w rzeźniach zawierają części niejadalne, takie jak skóra, kości, krew, przewód pokarmowy, ścięgna i narządy trzewne, które są unieszkodliwiane w zakładach utylizacyjnych. Wytwarzane są z nich mączki mięsno-kostne oraz tłuszcze techniczne, wykorzystywane w przemyśle paszowym. Tłuszcz techniczny stosowany jest również w przemyśle kosmetycznym, tworzy sztucznych oraz farmaceutycznym [8-10]. Poza tym produkty uboczne z przemysłu mięsnego mogą być wykorzystane jako paliwo w procesie wypalania klinkieru cementowego, dodatek do paliw w postaci biomasy oraz alternatywne źródło fosforu i hydroksyapatytu [11-13].

Ubojnie i zakłady przetwórstwa mięsnego charakteryzują się dużym zapotrzebowaniem na wodę zużywaną do celów technologicznych. Ponadto woda w takich zakładach wykorzystywana jest do zabiegów porządkowo-higienicznych. Powstawanie takich ścieków i ich odprowadzanie ma istotny wpływ na środowisko naturalne. Ścieki te zawierają również związki toksyczne, w tym niezjonizowany amoniak, chrom i garbniki. W ich skład wchodzi także znaczne ilości zawiesin organicznych i nieorganicznych, które zwiększają mętność wody. Materiał organiczny stanowią tłuszcz, węglowodany i białko [6, 14].

W Polsce przemysł utylizacyjny charakteryzuje się wysokim potencjałem produkcyjnym, jest silnie rozdrobniony, przeważają niewielkie zakłady o niskim poziomie technologicznym [8]. Obecnie około 37% odpadów z przemysłu mięsnego jest utylizowanych, 30% odprowadzanych ze ściekami, 33% składowanych. Dąży się, by w przyszłości 90% takich odpadów utylizować, 9% odprowadzać ze ściekami, a 1% składować [11, 15]. Proces technologiczny unieszkodliwiania odpadów pochodzących z przemysłu mięsnego obejmuje transport, składowanie, obróbkę wstępną (rozdrabnianie), sterylizację, suszenie, odłuszczenie i obróbkę końcową [16, 17]. Sterylizacja prowadzona jest głównie w reaktorach ciśnieniowych przez co najmniej 20 minut w temperaturze 133°C, pod ciśnieniem 3 bar [11]. Powstająca papkowata masa zawiera od 50 do 70% wody, 10÷25% tłuszczów i 20÷25% części stałych zawierających do 80% białka surowego i około 20% składników mineral-

nych [16]. Następnie odpady poddawane są suszeniu i odtłuszczeniu oraz obróbce końcowej, na przykład mieleniu w młynku młotkowym do uziarnienia mniejszego od 4 mm [11].

W skład typowych ścieków z zakładów utylizacji odpadów poubojowych wchodzi ścieki produkcyjne, wody chłodzące, ścieki sanitarne oraz wody opadowe [16]. Średnia ilość ścieków produkcyjnych wynosi $1\div 2 \text{ m}^3/\text{t}$ surowca. Ścieki z zakładów utylizacyjnych są biologicznie rozkładalne, o dużym stężeniu lotnych kwasów tłuszczowych i azotu amonowego oraz wysokim ładunku związków organicznych [17]. Ładunek organiczny z utylizacji 1 tony surowca odpowiada ładunkowi wyprodukowanemu przez 100 osób w ciągu jednego dnia [18].

Ścieki z zakładów utylizacyjnych są oczyszczane w oczyszczalniach komunalnych lub zakładowych. Przed odprowadzeniem ścieków do zbiorczego systemu kanalizacyjnego należy przede wszystkim obniżyć ich temperaturę, poddać procesom dezodoryzacji oraz usunąć z nich tłuszcze. Retencja ścieków w zamkniętych zbiornikach wyrównawczych ma na celu obniżenie ich temperatury, a także zmniejsza nierównomierność ilości i ładunku zanieczyszczeń w nich zawartych przy odpływie do kanalizacji [16]. Mechaniczne oczyszczanie ścieków prowadzone jest za pomocą separatorów tłuszczu, sit, mikrosit i osadników. Nerozpuszczone surowce zwierzęce, takie jak tłuszcz i cząsteczki tłuszczu, pozostałości mięsa, włosów, szczeciny mogą być zwracane do procesu produkcyjnego. Usuwanie tłuszczu za pomocą separatorów może być utrudnione, ponieważ tłuszcz w ściekach najczęściej występuje w postaci bardzo rozdrobnionej, co jest spowodowane wysoką temperaturą ścieków i tym, że zawierają one środki powierzchniowo czynne. Poza tym wysokie wartości pH mają negatywny wpływ na separację tłuszczu z powodu zmydlania [18]. Do separacji tłuszczu i ciał stałych stosowane są metody flotacyjne, które mogą być wspomagane środkami flokulacyjnymi. Zatrzymanie tłuszczu może być prowadzone w pułapkach tłuszczu z czyszczeniem ręcznym lub automatycznym. Jeżeli tłuszcz jest emulgowany lub zawiera wodę, wtedy separacja może być bardzo trudna. Podobnie jak w przypadku separatorów tłuszczu, wysokie temperatury i wartości pH ujemnie wpływają na efektywność flotacji. W takich przypadkach konieczne jest stosowanie strącania chemicznego i flotacji. Na mechaniczną flotację, przy użyciu powietrza doprowadzanego za pomocą zanurzonych aeratorów flotacyjnych, w niewielkim stopniu mają wpływ wysokie wartości pH [18].

Skład ścieków z przemysłu utylizacyjnego umożliwia poddawanie ich beztlenowej obróbce wstępnej. Nie jest jednak możliwe całkowite usunięcie ładunku organicznego i azotu. Po procesach beztlenowych ścieki najczęściej poddawane są procesom tlenowym w celu usunięcia azotu (i fosforu) w oczyszczalni zakładowej lub komunalnej oczyszczalni ścieków [18].

1. Cel i zakres pracy

Celem pracy była charakterystyka ścieków pochodzących z zakładu utylizacji odpadów pochodzenia zwierzęcego oraz analiza funkcjonowania zakładowej

oczyszczalni ścieków. W pracy przedstawiono wyniki badań jakościowych ścieków surowych oraz ścieków oczyszczonych w zakładowej oczyszczalni na poszczególnych etapach ich oczyszczania. Kontrolowano wartości następujących wskaźników: ChZT, fosfor ogólny, azot amonowy, azot ogólny, pH, tłuszcze oraz zawiesiny ogólne.

Zakres pracy obejmował:

- badania jakościowe ścieków surowych,
- charakterystykę ścieków oczyszczonych po poszczególnych etapach oczyszczania,
- ocenę efektywności działania oczyszczalni ścieków i poszczególnych etapów oczyszczania.

2. Metodyka badań

Badania wykonano w latach 2015-2016. Próbkę pobrano siedmiokrotnie - trzy w roku 2015 i cztery w 2016 (maj, czerwiec). Próbki ścieków pochodziły z zakładu utylizacji odpadów poubojowych, którego podstawową działalność stanowi odzysk produktów ubocznych innych niż niebezpieczne pochodzenia zwierzęcego i z przetwórstwa rolno-spożywczego. Głównym surowcem przerabianym w instalacji są odpady poubojowe oraz odpady z przetwórstwa rolno-spożywczego, w tym m.in.: odpadowa tkanka zwierzęca, surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetwórstwa z przemysłu spożywczego, mleczarskiego, piekarskiego i cukierniczego, osady z zakładowej oczyszczalni ścieków, przeterminowane produkty spożywcze, odpady z mycia i przygotowywania surowca, nieprzydatne do wykorzystania tłuszcze spożywcze, oleje i tłuszcze jadalne oraz odpady kuchenne ulegające biodegradacji. W wyniku procesu odzysku i przeróbki wyżej wymienionych produktów ubocznych produkowana jest mączka mięsno-kostna, mączka z krwi oraz mączka z pierza, a także tłuszcz techniczny.

Na terenie przedsiębiorstwa znajduje się zakładowa oczyszczalnia ścieków, stanowiąca integralną część instalacji do przetwarzania ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego. Ścieki są oczyszczane mechanicznie, chemicznie i biologicznie.

Stosowana technologia oczyszczania ścieków obejmuje:

- usunięcie zanieczyszczeń stałych i mineralnych w procesach mechanicznych na sicie bębnowym,
- wstępne usunięcie substancji trudnoopadających w procesie flotacji wspomaganą flokulacją w stacji flotacyjno-flokulacyjnej,
- usuwanie zanieczyszczeń organicznych, związków fosforu oraz azotu w radialnym reaktorze biologicznym,
- usuwanie zawiesin z oczyszczonych biologicznie ścieków w procesie ultrafiltracji.

Oczyszczone ścieki kierowane są do zbiornika ścieków oczyszczonych i stamtąd kolektorem odprowadzane do rzeki. Natomiast wydzielony osad jest recyrkulowany

do reaktora biologicznego, a osad nadmierny odwodniany na prasie filtracyjnej i jako odpad okresowo odbierany przez firmę zewnętrzną.

Analizom fizyczno-chemicznym poddawano ścieki surowe, ścieki oczyszczone na sicie bębnowym, ścieki odpływające ze stacji flotacyjno-flokulacyjnej, ścieki oczyszczone w bioreaktorze i w stacji ultrafiltracji.

W uzyskanych próbkach ścieków oznaczano następujące wskaźniki zanieczyszczeń:

- azot ogólny przy użyciu Total Organic Carbon Analyzer TOC-L CPH/CPN z TNM-L device (Shimadzu Corporation, Japan) metodą „spalania utleniającego - chemiluminescencja”;
- azot amonowy metodą kolorymetryczną przy użyciu spektrofotometru;
- fosfor ogólny (z dokładnością 0,01 mg P/dm³) przy użyciu spektrofotometru UV-VIS 5000 DR (HACH Lange, Germany), metodą HACH Lange LCK 348-350;
- związki organiczne wyrażone wartością ChZT, metodą dwuchromianową (wg PN-74 C-04578/03);
- odczyn (z dokładnością 0,01 pH), miernikiem pH CP-105 (Elmetron, Poland);
- tłuszcze (wg PN 86 C-04573/01);
- zawiesiny ogólne - metoda wagowa (wg PN-EN 872:2007).

3. Analiza oraz dyskusja wyników

Skład ścieków surowych i oczyszczonych po poszczególnych etapach oczyszczania przedstawiono w tabeli 1. Stężenie związków organicznych w ściekach surowych, wyrażonych wskaźnikiem ChZT, przyjmowało wartości od 20 345 do 66 260 mg O₂/dm³. Średnie stężenie ChZT wynosiło 28 662 mg O₂/dm³. W ściekach oczyszczonych wartość tego wskaźnika oscylowała od 29 do 154 mg O₂/dm³, przyjmując wartość średnią równą 72 mg O₂/dm³, która nie przekraczała wielkości dopuszczalnej podanej w pozwoleniu zintegrowanym wynoszącej 125 mg O₂/dm³. Sprawność usuwania związków organicznych w procesie technologicznym oczyszczalni wynosiła średnio 99,7% (rys. 1). Związki organiczne usuwane były z najwyższą sprawnością w reaktorze biologicznym i w procesie ultrafiltracji, gdzie uzyskano 99,4% efektywność oczyszczania. Najmniejszą efektywność usuwania ChZT zanotowano na sitach. Natomiast największy ładunek zanieczyszczeń organicznych został usunięty w stacji flotacyjno-flokulacyjnej (ponad 50%). Następowo to głównie w wyniku usunięcia zawiesin trudnoopadających (środki i działania wspomagające proces - PIX, korekta odczynu z wykorzystaniem ługu sodowego, polielektrolitu).

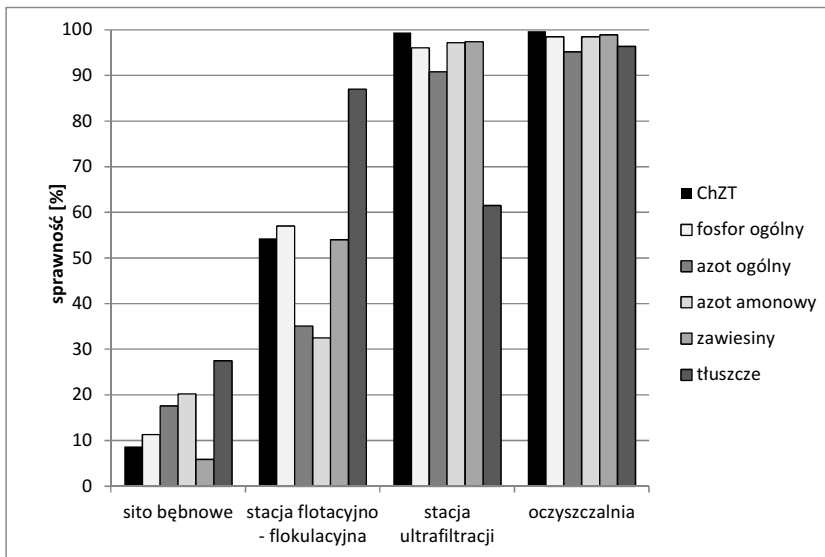
Stężenie fosforu ogólnego w ściekach odpływających z zakładu utylizacji materiałów poubojowych do oczyszczalni wynosiło od 75 do 230 mg P/dm³ przy średniej 181 mg P/dm³. Związki fosforu usuwane były z najwyższą sprawnością (96,1%) w zespole urządzeń reaktor biologiczny/stacja ultrafiltracji. Podobnie jak w przypadku wskaźnika ChZT, największy ładunek tłuszczu został usunięty podczas

połączonych procesów flokulacji i flotacji. Natomiast sprawność usuwania fosforu na sitach przekroczyła 10%. W ściekach oczyszczonych stężenie fosforu zmieniło się od 1,44 do 5,27 mg P/dm³. Średnie stężenie tego parametru wynosiło 2,66 mg P/dm³ przy wartości dopuszczalnej, określonej w pozwoleniu zintegrowanym - 3,0 mg P/dm³.

Tabela 1. Charakterystyka ścieków surowych i odpływających z poszczególnych urządzeń ciągu technologicznego oczyszczalni ścieków przemysłowych

Table 1. The quality of wastewater inflow and outflow of the other devices sewage treatment plant

rodzaj ścieków		parametr	ChZT mg O ₂ /dm ³	fosfor ogólny mg P/dm ³	azot ogólny mg N/dm ³	azot amonyowy mg N/dm ³	zawiesiny ogólne mg/dm ³	tluszcze mg/dm ³	pH
ścieki surowe	zakres		20 345÷66 260	75÷230	496÷910	450÷846	1068÷4336	1180÷2240	6,89÷8,11
	średnia		28 662	181	723	624	2673,4	1380	7,5
ścieki odpływające z sita bębnowego	zakres		10 329÷45 043	59÷190	310÷640	253÷580	956÷3820	850÷1310	5,91÷7,57
	średnia		26 169	160,6	596	498	2515,8	1020	6,8
ścieki odpływające ze stacji flotacyjno- flokulacyjnej	zakres		7047÷23 305	40÷107	220÷598	190÷498	372÷1948	80÷160	8,04÷8,55
	średnia		11 969	69	387	336	1158,4	130	8,3
ścieki odpływające ze stacji ultrafiltracji	zakres		29÷154	1,44÷5,27	31,56÷44,5	5,6÷15,3	19,3÷42,5	6÷80	7,12÷7,65
	średnia		72	2,66	35,64	9,48	30,4	50	7,4
wartość dopuszczalna, określona w pozwoleniu zintegrowanym			125	3,0	40,0	10,0	35	–	6,5÷9,0



Rys. 1. Sprawność oczyszczania ścieków z zakładu utylizacji odpadów poubojowych

Fig. 1. Efficiency of wastewater treatment from rendering plant

Stężenie azotu ogólnego w ściekach surowych zmieniało się w przedziale od 496 do 910 mg N/dm³. Związki azotu usuwane były głównie w zespole urządzeń reaktor biologiczny/stacja ultrafiltracji (ze sprawnością 90,8%). Znaczny udział w procesie usuwania azotu miały procesy cedzenia na sitach (sprawność jednostkowa urządzenia równa 17,5%) i procesy flokulacji i flotacji (ponad 30%). W dwóch pierwszych etapach oczyszczania sumaryczna sprawność usuwania azotu ogólnego była niższa niż w przypadku fosforu ogólnego. W ściekach odpływających z oczyszczalni średnie stężenie azotu ogólnego wynosiło 35,64 mg N/dm³ i nie przekraczało wartości dopuszczalnej, równej 40,0 mg N/dm³, określonej w pozwoleniu zintegrowanym.

Azot amonowy usuwany był w zakładowej oczyszczalni ze sprawnością 98,5%. W ściekach odpływających z zakładu utylizacyjnego stężenie tego wskaźnika wynosiło średnio 624 mg N/dm³. Azot amonowy unieszkodliwiany był przede wszystkim w zespole obiektów: reaktor biologiczny-stacja ultrafiltracji, gdzie odnotowano 97,2% skuteczności. Ponad 30% ładunku azotu amonowego było usunięte w czasie oczyszczania na sicie bębnowym i w stacji flotacyjno-flokulacyjnej. Stężenie tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych wynosiło od 5,6 do 15,3 mg N/dm³. Średnie stężenie było równe 9,48 mg N/dm³ przy dopuszczalnym stężeniu 10,0 mg N/dm³.

Stężenie zawiesin ogólnych w ściekach dopływających do zakładowej oczyszczalni wynosiło od 1068 do 4336 mg/dm³, przeciętnie 2673,4 mg/dm³. Zawiesiny ogólne w stacji flotacyjno-flokulacyjnej usuwane były z 54% sprawnością i ich średnie stężenie na dopływie do reaktora biologicznego wynosiło 1158,4 mg/dm³. W dwóch pierwszych urządzeniach ciągu technologicznego zostało zatrzymane prawie 55% ładunku zawiesin ogólnych. Efektywność ich usuwania w komorze osadu czynnego i w stacji ultrafiltracji wynosiła 97,4%. W ściekach oczyszczonych stężenie zawiesin zmieniało się w przedziale od 19,3 do 42,5 mg/dm³, przeciętnie 30,4 mg/dm³. Zgodnie z pozwoleniem zintegrowanym stężenie zawiesin ogólnych w ściekach oczyszczonych nie powinno przekraczać 35 mg/dm³.

Tłuszcze usuwane były przede wszystkim w stacji flotacyjno-flokulacyjnej z efektywnością 87%. Sumaryczna sprawność usuwania tłuszczów na dwóch pierwszych stopniach oczyszczania wyniosła ponad 90%. W reaktorze biologicznym i w procesie ultrafiltracji uzyskano dalsze obniżenie stężenia tego parametru. Sprawność usuwania tłuszczów w badanej oczyszczalni wynosiła 96,4%. Średnie stężenie tłuszczów wynosiło 50 mg/dm³. W warunkach pozwolenia zintegrowanego nie określono wartości dopuszczalnej tego wskaźnika.

Zgodnie z pozwoleniem zintegrowanym odczyn ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika powinien przyjmować wartości z przedziału 6,5÷9,0. Z zakładu utylizacyjnego odprowadzane były ścieki o pH 6,89÷8,11, a przeciętny odczyn ścieków oczyszczonych był równy 7,4.

Średnie wartości stężeń ścieków odpływających z badanej oczyszczalni zakładu utylizacji odpadów pochodzenia zwierzęcego spełniały warunki określone w pozwoleniu zintegrowanym. Należy zwrócić jednak uwagę, że w jednostkowych przypadkach do środowiska wodnego odprowadzane były ścieki o jakości nie-

zgodnej z warunkami pozwolenia. Przepisy dotyczące wymagań stawianych jakości ścieków wprowadzanych do wód lub do ziemi [19] dopuszczają takie sytuacje.

Zakłady utylizacyjne odgrywają znaczącą rolę w ochronie środowiska. Przerabianie materii organicznej, o niewielkiej wartości ekonomicznej, pochodzącej z produkcji zwierzęcej, przetwórstwa mięsnego oraz spożywczego ogranicza ilość odpadów składowanych na wysypiskach czy odprowadzanych do miejskiej oczyszczalni ścieków. Wstępne oczyszczanie takich ścieków polega na cedzeniu, sedymentacji i flotacji, gdzie uzyskuje się zmniejszenie stężenia zawiesin ogólnych, tłuszczów oraz olejów. Ale procesy te gwarantują także usuwanie wraz z zawiesinami materii organicznej, związków azotu i fosforu. Następnie ścieki z zakładów utylizacyjnych, w zależności od wybranej technologii, oczyszczane są w procesach biologicznych z wykorzystaniem tlenowych i beztlenowych stawów ściekowych, komór osadu czynnego, reaktorów beztlenowych, złóż biologicznych oraz konstruowanych systemów hydrofitowych. W badanej oczyszczalni ścieków z zakładu utylizacyjnego procesy biologicznego oczyszczania prowadzone były w reaktorze biologicznym z osadem czynnym w zmiennych warunkach tlenowych, co zapewniało dalsze usuwanie związków organicznych, a także biogenów w procesach nityfikacji, denityfikacji i defosfatacji. Następnie odpływ poddawano procesowi ultrafiltracji. Obserwowano bardzo wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń w tej części oczyszczalni. Zbliżone wyniki uzyskali Pabón i Gélvez [20], którzy oczyszczali ścieki z rzeźni. Usuwali oni związki organiczne i zawiesiny ogólne z efektywnością równą odpowiednio 89,03 i 94,09%. Trochę wyższą sprawność utleniania związków organicznych (97,6%) otrzymali Fongsatitkul i inni [21]. Fosfor ogólny usuwany był z efektywnością z zakresu 85÷89%, a azot ogólny Kjeldahla ze skutecznością 81,5÷95,6%. O'Brien i inni [22, 23] badali efektywność biologicznego oczyszczania ścieków z zakładu utylizacyjnego w membranowym bioreaktorze i w systemie hydrofitowym o przepływie pionowym. W obu przypadkach ścieki były wstępnie oczyszczane w procesie flotacji. Badania ich wykazały, że sprawność działania obu systemów jest podobna. Skuteczność usuwania fosforu w membranowym bioreaktorze była niższa, natomiast efektywność usuwania azotu amonowego w systemie hydrofitowym zmniejszała się wraz z upływem czasu. Natomiast Poggi-Varaldo i inni [24], oczyszczając ścieki z przemysłu mięsnego w systemie hydrofitowym, uzyskali efektywność usuwania związków organicznych, zawiesin ogólnych i azotu organicznego równą odpowiednio 74, 44 i 48%. Wyższe sprawności uzyskali Goulet i Sérodes [25], którzy unieszkodliwiali ścieki z rzeźni w systemie hydrofitowym z powierzchniowym przepływem ścieków. Otrzymali oni efektywność usuwania zawiesin ogólnych, związków organicznych, azotu ogólnego Kjeldahla, azotu amonowego oraz fosforu ogólnego odpowiednio na poziomie: 95, 85, 66, 54 i 74%.

Mając na uwadze zasady zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska, należałoby zacząć stosować do oczyszczania ścieków odpływających z zakładów utylizacyjnych przede wszystkim beztlenowe technologie oczyszczania ścieków, tak aby ograniczyć zużycie energii w procesie oczyszczania ścieków. Jest to realne, jeśli weźmie się pod uwagę wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków

surowych świadczących o ich potencjale energetycznym, takich jak ChZT (od 20 345 do 66 260 mg O₂/dm³), koncentracja zawiesin ogólnych (od 1068 do 4336 mg/dm³), stężenie tłuszczów (od 1186 do 2244 mg/dm³). Równocześnie stężenie fosforu w ściekach surowych wynosiło od 75 do 230 mg P/dm³, azotu ogólnego od 496 do 910 mg N/dm³, a stężenie azotu amonowego od 450 do 846 mg N/dm³. W procesach beztlenowego oczyszczania związki organiczne są przekształcane przez bakterie do dwutlenku węgla i metanu. Poza tym systemy beztlenowe charakteryzują się takimi zaletami, jak: wysoka efektywność usuwania ChZT, niewielka produkcja osadu (5÷20%) w porównaniu z systemami tlenowymi oraz mniejsze wymagania energetyczne z potencjalnego odzysku substancji odżywczych i biogazu [26]. Stąd połączenie systemów beztlenowych i tlenowych wydaje się korzystną alternatywą dla konwencjonalnych metod oczyszczania w celu zapewnienia obecnych standardów odprowadzania ścieków [27]. Równocześnie praktyki i rozwiązania opisane w literaturze fachowej [28] pokazują, że te rozwiązania mogą być bardzo atrakcyjne pod względem energetycznym, ponieważ biogaz powstający w obiektach do beztlenowego oczyszczania ścieków może zawierać nawet do 70% metanu.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Ścieki odprowadzane z zakładu utylizacji odpadów poubojowych charakteryzowały się wysokim stężeniem związków organicznych wyrażonych ChZT (20 345÷66 260 mg O₂/dm³), fosforu ogólnego (75÷230 mg P/dm³), azotu ogólnego (496÷910 mg N/dm³), azotu amonowego (450÷846 mg N/dm³), zawiesin ogólnych (1068÷4336 mg/dm³) i tłuszczów (1180÷2240 mg/dm³).
2. Badana oczyszczalnia ścieków z zakładu utylizacji odpadów poubojowych charakteryzowała się wysoką efektywnością oczyszczania. Związki organiczne usuwane były ze sprawnością 99,7%, fosfor ogólny - 98,5%, azot ogólny - 95,2%, azot amonowy - 98,5% i zawiesiny - 98,9%.
3. Efektywność usuwania zanieczyszczeń na sicie bębnowym wynosiła w przypadku związków organicznych wyrażonych ChZT 8,7%, fosforu ogólnego 11,3%, azotu ogólnego 17,6%, azotu amonowego 20,2%, zawiesin 5,9%, tłuszczów 27,5%.
4. Sprawność stacji flotacyjno-flokulacyjnej osiągała dla ChZT 54,3%, fosforu ogólnego 57%, azotu ogólnego 35,1%, azotu amonowego 32,5%, zawiesin 54,0%, tłuszczów 87,0%.
5. Efektywność usuwania zanieczyszczeń w stacji ultrafiltracji wynosiła w odniesieniu do związków organicznych wyrażonych ChZT 99,4%, fosforu ogólnego 96,1%, azotu ogólnego 90,8%, azotu amonowego 97,2%, zawiesin 97,4%, tłuszczów 61,5%.
6. Stężenia badanych wskaźników zanieczyszczeń ścieków odpływających z oczyszczalni nie przekraczały dopuszczalnych wartości określonych w pozwoleniu zintegrowanym i wynosiły dla ChZT od 29 do 154 mg O₂/dm³, fosforu ogólnego

nego od 1,44 do 5,27 mg P/dm³, azotu ogólnego od 31,56 do 44,5 mg N/dm³, azotu amonowego od 5,6 do 15,3 mg N/dm³, zawiesin ogólnych od 19,3 do 42,5 mg/dm³, tłuszczów od 6 do 80 mg/dm³.

7. Zastosowana w oczyszczalni stacja flotacyjno-flokulacyjna umożliwiła skuteczne usuwanie tłuszczów.
8. Należałoby rozważyć możliwość wykorzystania dużego ładunku związków organicznych obecnego w ściekach do produkcji biogazu poprzez zastąpienie reaktora tlenowego reaktorem beztlenowym.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane w ramach Projektu nr 18.610.008-300 Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Polska. Stypendysta wsparty finansowaniem Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP) - beneficjentem jest Artur Mielcarek.

Literatura

- [1] Bustillo-Lecompte C.F., Mehrvar M., Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances, *Journal of Environmental Management* 2015, 161, 287-302.
- [2] Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., A global assessment of the water footprint of farm animal products, *Ecosystems* 2012, 15(3), 401-415.
- [3] Gerbens-Leenes P.W., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The water footprint of poultry, pork and beef: a comparative study in different countries and production systems, *Water Resour. Ind.* 2013, 1-2, 25-36.
- [4] Staroń A., Kowalski Z., Banach M., Wzorek Z., Sposoby termicznej utylizacji odpadów z przemysłu mięsnego, *Chemia, Czasopismo Techniczne* 2010, 10, 323-332.
- [5] Wzorek Z., Odzysk związków fosforu z termicznie przetworzonych odpadów i ich zastosowanie jako substytutu naturalnych surowców fosforowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, Monografia, Inżynieria i Technologia Chemiczna, 356, Kraków 2008.
- [6] Rahman U., Sahar A., Khan M.A., Recovery and utilization of effluents from meat processing industries, *Food Research International* 2014, 65, 322-328.
- [7] Tomas L., Maria H., Bioactive peptides from meat muscle and by-products: generation, functionality and application as functional ingredients, *Meat Science* 2014, 98, 227-239.
- [8] Białecka B., Gospodarka odpadami z przemysłu rolno-spożywczego w województwie śląskim, *Problemy Ekologii* 2008, 12(1), 28-32.
- [9] Rudziński M., Gospodarka odpadami poubojowymi w Polsce, *Przegląd Komunalny* 2001, 2, 30-32.
- [10] Cavey A., Kubicki M., Ochrona środowiska w przemyśle utylizacyjnym, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa (FAPA), Warszawa 2001.
- [11] Sobczak A., Błyszczek E., Kierunki zagospodarowania produktów z przemysłu mięsnego, *Chemia, Czasopismo Techniczne* 2009, 4, 141-151.
- [12] Deydier E., Guilet R., Sarda S., Sharrock P., Physical and chemical characterization of crude meat and bone meal combustion residue: waste or raw material? *Journal of Hazardous Materials* 2005, 121, 141-148.

- [13] Kowalski Z., Wzorek Z., Krupa-Żuczek K., Konopka M., Sobczak A., The possibilities of obtaining hydroxyapatite from meat industry, *Mol Cryst. Liq. Cryst.* 2008, 486, 282-290.
- [14] Bugajski P., Satora S., Wpływ zanieczyszczeń odprowadzanych z ubojni trzody chlewnej oraz masarni na jakość ścieków dopływających do oczyszczalni, *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 2011, 10(2), 3-10.
- [15] Rosik-Dulewska C., *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [16] Ruffer H., Rosenwinkel K.-H., *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1998.
- [17] Bartkiewicz B., *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [18] Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola, Dokument referencyjny na temat Najlepszych Dostępnych Technik dla rzeźni oraz przetwórstwa produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, 2005, http://www.ekoportal.gov.pl/fileadmin/Ekoportal/Pozwolonia_zintegrowane/BREF/7_Dokument_referencyjny_BREF_Rzeznie.pdf (luty 2017 r.).
- [19] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 listopada 2014 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, DzU 2014, poz. 1800.
- [20] Pabón S.L., Gélvez J.H.S., Starting-up and operating a full-scale activated sludge system for slaughterhouse wastewater, *Ing. Invest.* 2009, 29(2), 53-58.
- [21] Fongsatitkul P., Wareham D.G., Elefsiniotis P., Charoensuk P., Treatment of a slaughterhouse wastewater: effect of internal recycle rate on chemical oxygen demand, total Kjeldahl nitrogen and total phosphorus removal, *Environ. Technol.* 2011, 32(15), 1755-1759.
- [22] O'Brien C.A., Scholz M., McConnachie G.L., Comparison of treatment technologies for pre-treated animal rendering plant wastewater in Scotland, *Food, Agriculture & Environment* 2003, 1(2), 314-319.
- [23] O'Brien C.A., Scholz M., McConnachie G.L., Comparison of secondary treatment technologies for pre-treated rendering plant wastewater, *The First Scottish Conference for Postgraduate Researchers of the Built and Natural Environment*, eds. Ch.O. Egbu, M.K.L. Tong, Glasgow Caledonian University, Glasgow Scotland, UK, 18th - 19th November 2003, 515-524.
- [24] Poggi-Varaldo H.M., Gutiérrez-Saravia A., Fernández-Villagómez G., Martínez-Pereda P., Rinderknecht-Seijas N., A full-scale system with wetlands for slaughterhouse wastewater treatment, [in:] *Wetlands and Remediation II*. Battelle Press, eds. K.W. Nehring, S.E. Brauning, Columbus, Ohio, 2002, 213-223.
- [25] Goulet R., Sérodes J., Principles and Actual Efficiency of Constructed Wetlands, *INTECOL Wetland Conference*, 2000, Québec, Canada.
- [26] Bustillo-Lecompte C.F., Mehrvar M., Quiñones-Bolaños E., Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes, *J. Environ. Manag.* 2014, 134, 145-152.
- [27] Chan Y.J., Chong M.F., Law C.L., Hassell D., A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater, *Chem. Eng. J.* 2009, 155(1-2), 1-18.
- [28] Sindt L.G., Environmental issues in the rendering industry, [in:] *Essential Rendering*, ed. D. Meeker, National Renderers Association, Washington DC, 2006, 245-258.

Streszczenie

Celem pracy była charakterystyka ścieków pochodzących z zakładu utylizacji odpadów poubojowych oraz ścieków po kolejnych etapach oczyszczania. W skład ciągu technologicznego oczyszczalni wchodzi sito obrotowe, stacja flotacyjno-flokulacyjna, tlenowy reaktor biologiczny i stacja ultrafiltracji. Badania wykonano w latach 2015-2016. Próbki pobrano siedmiokrotnie - trzy w roku 2015 i cztery w 2016 (maj, czerwiec). Ścieki charakteryzowały się wysokim stężeniem związków organicznych wyrażonych ChZT (od 20 345 do 66 260 mg O₂/dm³), zawiesin ogólnych (od 1068 do 4336 mg/dm³), tłuszczów (od 1186 do 2244 mg/dm³). Równocześnie stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych wynosiło od 75 do 230 mg P/dm³, azotu ogólnego od 496 do 910 mg N/dm³, a stężenie azotu amonowego od 450 do 846 mg N/dm³. Związki organiczne usuwane były ze sprawnością 99,7%, fosfor ogólny - 98,5%, azot ogólny - 95,2%, azot amonowy - 98,5% i zawiesiny - 98,9%. Sumaryczna efektywność w dwóch pierwszych etapach oczyszczania na sitach obrotowych oraz w procesie flotacji i flokulacji w większości przypadków była wyższa od 50% (wyjątek stanowił azot ogólny). Stężenia wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych nie przekraczały wartości dopuszczalnych, określonych w pozwoleniu zintegrowanym.

Słowa kluczowe: odpady poubojowe, zakład utylizacyjny, charakterystyka jakościowa ścieków, oczyszczanie ścieków