

**JUSTYNA KOC-JURCZYK, ŁUKASZ JURCZYK,
DAWID WANOWICZ**

Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Zakład Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami, email: jjurczyk@ur.edu.pl

WYKORZYSTANIE KOMUNALNYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH JAKO ŹRÓDŁA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W pracy omówiono możliwości wykorzystania biogazu powstającego z komunalnych osadów ścieków w procesie fermentacji mezofilowej w Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej. W 2017 roku do WKF skierowano 18 308 m³ osadów ściekowych, a w 2018 – 23517 m³, co spowodowało skierowanie do kogeneratora w 2018 roku o 21955 m³ biogazu więcej niż w roku 2017. W pracy dokonano analizy efektywności ekonomicznej wykorzystania osadów ściekowych w latach 2017 i 2018, która wyniosła odpowiednio 29,3 oraz 31,7%. Przedstawione rozwiązanie zagospodarowania komunalnych osadów pozwalają na osiągnięcie korzyści ekonomicznych, jednocześnie przyczyniając się do zmniejszenia oddziaływania oczyszczalni ścieków komunalnych na środowisko.

Słowa kluczowe: komunalne osady ściekowe, biogaz, efektywność energetyczna

I. WSTĘP

Osady ściekowe powstają podczas fizycznych, biologicznych i fizyko-chemicznych procesów oczyszczania ścieków [Bień i Wystalska 2011]. Zgodnie z art. 3.1 punkt 4 ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [Dz.U. 2020 poz. 797] przez "komunalne osady ściekowe rozumiemy pochodzący z oczyszczalni ścieków osad z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych".

Biorąc pod uwagę miejsce powstawania osadów w ciągu technologicznym oraz ich charakter można je podzielić na:

- Osad wstępny (zanieczyszczenia organiczne pochodzące z zawiesiny wydzielonej ze ścieków surowych, w większości łatwo i szybko ulegające rozkładowi);
- Osad wtórny (pochodzi z osadu biologicznego i stanowi go biomasa mikroorganizmów, produkty ich rozkładu, zaadsorbowana na kłaczkach tak zwana inercyjna (nierozkładalna) część zawiesiny ścieków);
- Osady po chemicznym oczyszczaniu ścieków (powstają w efekcie koagulacji zanieczyszczeń ze ścieków oraz sorpcji drobnej zawiesiny, komórek bakterii na kłaczkach koagulantu) [Heidrich i Podedworna 2008, Bień i in. 2020].

Ilościowa jak i jakościowa charakterystyka osadów, które powstają w procesie oczyszczania ścieków jest zmienna. Wynika to głównie ze zmian demograficznych, a także z rodzaju ścieków dopływających na oczyszczalnię, ze stężenia zanieczyszczeń w ściekach surowych, wieku osadu

a także z technologii oczyszczania. Również bardzo duży wpływ na zmienne właściwości ma zmiana temperatury, wynikająca ze zmian pór roku, reagenty stosowane podczas przeróbki osadów, poziom odwodnienia oraz stopień rozkładu substancji organicznych [Szwedziak 2006, Fukas-Płonka 2011].

Osady ściekowe charakteryzują się udziałem części organicznych na poziomie 50-60%, zawierają znaczne ilości organizmów patogennych, bakterii, wirusów i jaj pasożytów, a co za tym idzie stanowią zagrożenie sanitarne. Ponadto, mogą zawierać niebezpieczne dla środowiska zanieczyszczenia, do których obok metali ciężkich zaliczyć można wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), adsorbowalne organiczne związki chloru (AOX), polichlorowane dwufenyle (PCB), polichlorowane dibenzodoksyny (PCDD) czy polichlorowane dibenzofurany (PCDF) [Oladejo i in. 2019]. Możliwość rolniczego i przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych staje pod dużym znakiem zapytania, przede wszystkim z powodu ciągle zaniżanych dopuszczalnych stężeń metali ciężkich w osadach [Kołodziejak 2012]. Należy również pamiętać o tym, że zapisy zawarte w Ustawie Prawo Wodne [Dz. U. 2020 poz. 310] wymuszają rozbudowę sieci kanalizacyjnej i budowę bądź modernizację znacznej ilości oczyszczalni ścieków, czego konsekwencją będzie zwiększenie strumienia osadów ściekowych. W 2018 roku w Polsce powstało 1046,5 tys. ton suchej masy komunalnych osadów ściekowych [GUS 2020]. Krajowy plan gospodarki odpadami 2022 [KPGO 2022] przewiduje całkowite zaniechanie składowania komunalnych osadów ściekowych. Coraz bardziej surowe przepisy w zakresie gospodarki odpadami powodują konieczność właściwego przetwarzania osadów ściekowych w tym ich odzysku i unieszkodliwiania, co z kolei stanowi poważny problem natury technicznej, ekologicznej oraz ekonomicznej. Najczęściej stosowaną metodą przeróbki osadów jest fermentacja mezofilowa. W osadzie po fermentacji zawartość substancji organicznych spada co najmniej o 30%, korzystnie maleje uwodnienie osadu, powodując wzrost masy substancji stałej w osadzie do 6÷7%. W efekcie procesu następuje nie tylko zmniejszenie ilości osadów oraz ich stabilizacja pod względem sanitarnym, ale także odzysk energii w postaci biogazu, który stanowi istotny punkt w rozwoju energetyki ze źródeł odnawialnych [Kołodziejak 2012, Neczaj i in. 2015, Grosser i Neczaj 2018].

Oczyszczalnia ścieków ma dość duże zapotrzebowanie na energię elektryczną, zarówno ze względu na prowadzone procesy technologiczne jak i utrzymanie socjalne budynków. Wykorzystanie biogazu z osadów ściekowych przyczynia się do mniejszych rachunków za energię jak również przynosi dodatkowy zysk ze sprzedaży nadwyżki energii do zewnętrznej sieci elektrycznej.

Celem pracy była ocena efektywności ekonomicznej wykorzystania komunalnych osadów ściekowych pochodzących z Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej, jako źródła biogazu.

II. METODYKA

Dane wykorzystane w niniejszym artykule uzyskano z Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej, która należy do Łańcuckiego Zakładu Komunalnego Sp. z o.o. Udostępnione informacje stanowią roczne zestawienia na temat ilości i rodzajów powstałych osadów, ilości biogazu oraz zużycia energii elektrycznej powstałej z wykorzystania osadów. Otrzymane dane obejmują okres od 1 stycznia 2017 do 31 grudnia 2018 roku.

Oczyszczalnia Ścieków w Woli Dalszej jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną z technologią osadu czynnego, ze zintegrowanym procesem usuwania związków azotu i fosforu. Na oczyszczalnię dopływają ścieki z miasta Łańcut, gminy Łańcut, części gmin Czarna, Białobrzegi i Rakszawa. Ścieki doprowadzane są kanalizacją rozdzielczą, a także częściowo z terenu miasta Łańcut kanalizacją ogólnospławną. Przepustowość oczyszczalni w okresie

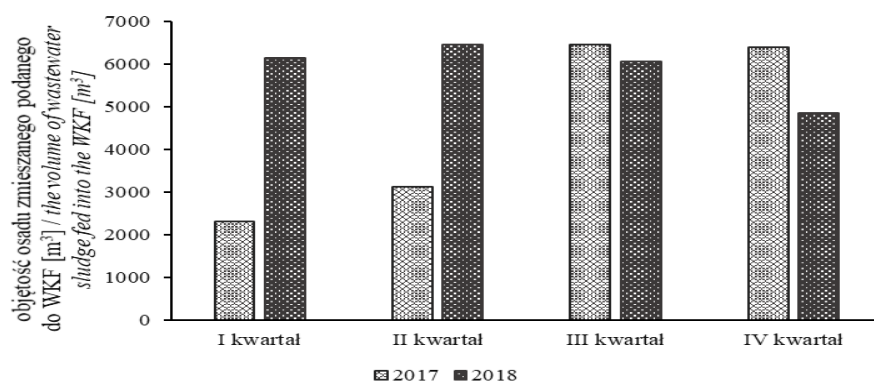
pogody bezdeszczowej wynosi $Q_{\text{śrd}} = 9200 \text{ m}^3/\text{d}$, a w okresie deszczowym $Q_{\text{śrd}} = 9610 \text{ m}^3/\text{d}$, oczyszczalni została zaprojektowana dla RLM 92 400 [Mędrała i in. 2015].

Ciąg technologiczny oczyszczalni obejmuje linię ściekową oraz osadową. W linii osadowej możemy wyróżnić takie urządzenia jak: zbiornik osadów zmieszanych (uśrednienie zagęszczonych osadów wstępnych i nadmiernych), zagęszczacz osadu wstępnego (grawitacyjne zagęszczanie doprowadzonego osadu wstępnego o około 2% s.m. do około 5% s.m.), budynek prasy (wstępne zagęszczanie osadów zmieszanych do 16% smo), pomieszczenie wirówek (odwadnianie końcowe do około 32% smo). Tak przygotowane osady kierowane są do Wydzielonej Komory Fermentacji (WKF) o pojemności 1570 m^3 , wyposażonej w mieszadło wolnoobrotowe. Proces fermentacji prowadzono w temperaturze 37°C .

Wytwarzany biogaz był magazynowany w zbiorniku biogazu o pojemności 950 m^3 , a następnie, po oczyszczeniu kierowany do spalania w silniku kogeneracyjnym pozwalającym na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej. Moduł kogeneracyjny wyposażony jest w prądnice umożliwiającą pracę generatora również w przypadku zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej. Pozwala to na utrzymanie w ruchu urządzeń odpowiedzialnych za prawidłowe funkcjonowanie procesów technologicznych oczyszczalni. Energia elektryczna zużywana była na potrzeby własne, zaś jej nadwyżka sprzedawana do sieci lokalnego Zakładu Energetycznego.

III. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Na podstawie danych rysunku 1 przedstawiono objętość osadu zmieszanego podawanego do WKF w latach 2017 i 2018.



Rys. 1. Objętość osadu zmieszanego podanego do WKF w latach 2017 i 2018

Fig. 2. The volume of wastewater sludge fed into the WKF in 2017 and 2018

Stwierdzono, że w I i II kwartale 2017 roku objętość osadów była mniejsza niż w roku 2018, w I kwartale - 2,6 razy mniejsza, w II – prawie 2 razy. W III kwartale objętość ta była porównywalna, natomiast w IV zauważono tendencję odwrotną. W rezultacie w 2017 roku do WKF skierowano $18\,308 \text{ m}^3$ osadów ściekowych, a w 2018 – $23\,517 \text{ m}^3$.

Prawidłowo prowadzona fermentacja metanowa powinna zapewnić uzyskanie ustabilizowanych pod względem biochemicznym osadów ściekowych i produkcję wysokokalorycznego biogazu. W skład biogazu poza metanem i dwutlenkiem węgla wchodzi także śladowe ilości siarkowodoru, amoniaku, azotu, czy wodoru. Zarówno skład jakościowy gazu, jak i udział poszczególnych składników są zmienne i zależą od wielu

czynników, a przede wszystkim, od składu chemicznego surowca poddawanego biodegradacji, technicznego rozwiązania reaktorów oraz warunków technologicznych w których zachodzi proces fermentacji [Kardos i in. 2011, Oladejo i in. 2019]. W czasie procesu fermentacji beztlenowej w biogaz zamieniane jest do 60% substancji organicznej. Jego głównym składnikiem jest CH_4 - 55-70%, 32-37% CO_2 , 0,2-0,4% N_2 oraz 6 g/100m³ H_2S przed odsiarczaniem i poniżej 0,01g/100m³ H_2S po oczyszczeniu [Buchowski 2011]. Jak podaje Kołodziejak [2012] biogaz otrzymywany ze zmieszanych komunalnych osadów ściekowych charakteryzuje się zawartością metanu na poziomie 63,8-66,7%, a dwutlenku węgla - 33,3-36,2%. Z kolei Grosser i Neczaj [2018] podają, że z 1 kg usuniętej zawiesiny organicznej zawartej w osadach ściekowych można pozyskać od 0,75 do 1,12 m³ biogazu. Prawidłowa temperatura fermentacji wynosi 30-35°C dla bakterii mezofilnych i 50-60°C dla bakterii termofilnych [Kardos i in. 2011]. Na utrzymanie takich temperatur w komorach fermentacyjnych zużywa się od 20-50% uzyskanego biogazu [Buchowski 2004, Masłoń 2017].

Średnie wartości składników w biogazie uzyskanym z wydzielonej komory fermentacji przedstawiono w tabeli 1. Z przedstawionych danych wynika, że skład biogazu wytworzonego w analizowanym zakładzie komunalnym jest charakterystyczny dla biogazu powstałego w wyniku procesu fermentacji metanowej komunalnych osadów ściekowych.

Tabela 1 – Table 1

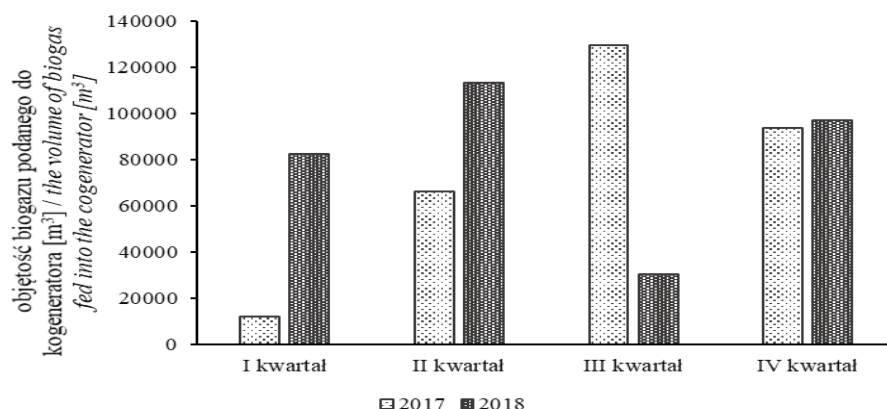
Średnie wartości parametrów biogazu na Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej / Average values of biogas parameters at the Sewage Treatment Plant in Wola Dalsza

Parametr / Parameter	Wartość / Value
Metan (CH_4) / Methan (CH_4)	61%
Dwutlenek węgla (CO_2) / Carbon dioxide (CO_2)	34%
Siarkowodor (H_2S) / Hydrogen sulfide (H_2S)	384 ppm
Tlen (O_2) / Oxygen (O_2)	0,5%
Tlenek węgla (CO) / Carbon oxide (CO)	1,1%
Azot (N_2) / Nitrogen (N_2)	0,4%

Źródło: Opracowanie własne / Source: Own elaboration

Na rysunku 2 przedstawiono objętość biogazu skierowaną do kogeneratora w roku 2017 i 2018. W I kwartale roku 2017 podano do kogeneratora prawie 6-cio krotnie mniejszą objętość biogazu niż w tym samym okresie czasu w 2018r., a w II kwartale prawie dwukrotnie mniejszą. W III kwartale 2017 roku sytuacja odwróciła się i podano 4-ro krotnie większą objętość biogazu niż w 2018r. Ostatni kwartał każdego roku pokazuje porównywalne objętości. Porównując cały rok możemy zauważyć, że w rezultacie w roku 2018 do kogeneratora skierowano 21 955m³ biogazu więcej w porównaniu z rokiem 2017. Jako biomasę do produkcji biogazu oprócz osadów ściekowych stosuje się obecnie głównie słomę, liście buraków, łęty ziemniaczane, łodygi kukurydzy, koniczynę oraz trawę. Jak podaje Kołodziejak [2012] z osadu ściekowego można pozyskać od 875 000 do 1 020 000 m³ biogazu. W analizowanym okresie najwięcej biogazu powstało w III kwartale 2017 roku – 129 390 m³. Wynika z tego, że oczyszczalnia nie wykorzystuje potencjału produkowanych

osadów ściekowych, co może być spowodowane zagospodarowaniem części powstających osadów ściekowych na inne cele.



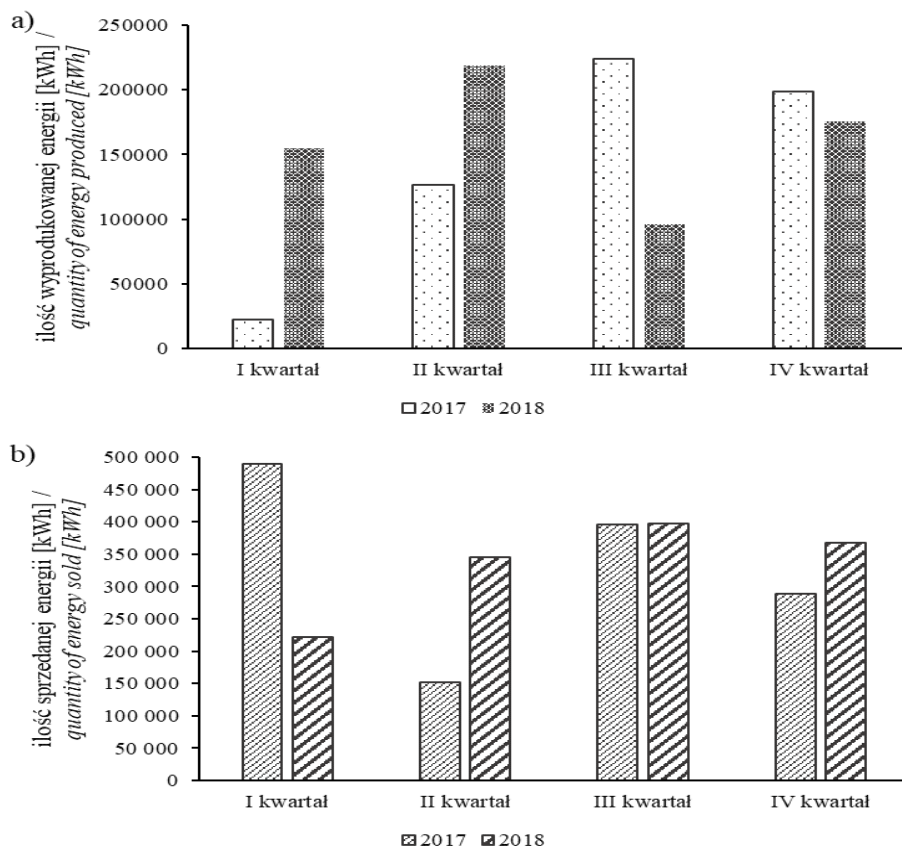
Rys. 2. Objętość biogazu podawanego do kogeneratora w latach 2017 i 2018

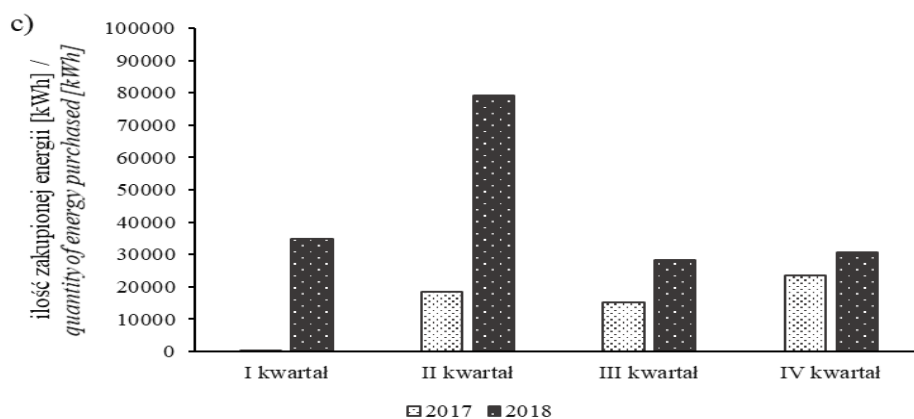
Fig. 2. The volume of biogas fed into the cogenerator in 2017 and 2018

Analizując ilość energii wyprodukowanej z podanego biogazu stwierdzono, że w pierwszej połowie roku 2017 wytworzono znacznie mniej energii niż w analogicznym okresie 2018 roku, natomiast w III kwartale roku sytuacja odwróciła się i wytworzono ponad 2 krotnie więcej energii. W IV kwartale sytuacja była porównywalna w roku 2017 jak 2018. W rezultacie w roku 2018 wyprodukowano o 73 735,12 kWh więcej niż w roku 2017 (rys. 3a). Przeliczając ilość wyprodukowanej energii na m^3 podawanego do kogeneratora biogazu w 2017 roku wytworzono $1,89 \text{ kWh}/m^3$, a w roku 2018 - $2,19 \text{ kWh}/m^3$. Porównując analizowaną oczyszczalnię z innymi instalacjami pracującymi w województwie podkarpackim stwierdzono, że ilość wyprodukowanej energii z m^3 biogazu jest stosunkowo niska. W miejskiej oczyszczalni ścieków komunalnych w Rzeszowie wyprodukowano średnio $4.67 \text{ kWh}/m^3$, w Mielcu - $1.9\text{--}4.8 \text{ kWh}/m^3$, a w Krośnie $3.82\text{--}4.51 \text{ kWh}/m^3$ [Masłoń 2017].

Ilość energii wyprodukowanej z biogazu pochodzącego z fermentacji osadów ściekowych jest niewystarczająca do pokrycia zapotrzebowania energetycznego Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej. Dlatego też istniała konieczność zakupienia energii z zakładu PGE w Leżajsku (rys. 3b). Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono, że tylko w I kwartale 2017 musiano kupić 2,2 krotnie większą ilość energii niż w analogicznym czasie w 2018. W II i IV kwartale roku 2017 zakupiono o 272 682 kWh mniej niż w 2018r. III kwartał w przypadku obu lat charakteryzował się porównywalnym poziomem zapotrzebowania na energię. W momencie braku zapotrzebowania na energię elektryczną - jej nadwyżkę sprzedawano do sieci elektrycznej (rys. 3c). Analizując dane dotyczące sprzedanej energii cieplnej w roku 2017 i 2018 możemy zauważyć, że rok 2018 był bardziej korzystny. W roku 2018 sprzedano prawie 70% więcej energii niż w roku 2017. Największą różnicę możemy zauważyć w pierwszej połowie roku, gdzie w I kwartale 2017r. sprzedano niecałe 500 kWh, a w tym okresie roku 2018 prawie 35 000 kWh. Relacja pomiędzy wytwarzaniem i zużyciem energii ogółem w przypadku oczyszczalni ścieków komunalnych w Rzeszowie kształtowała się na poziomie 71,1–91,6% przy średniej wartości 83,6%, w Krośnie wartość ta wyniosła średnio 70% [Masłoń 2017].

W analizowanej oczyszczalni ścieków w 2017 roku zużyto 91,2% wytworzonej energii, w roku 2018 - 73,6%. Oznacza to, że stosunkowo niewielka oczyszczalnia ścieków komunalnych w Woli Dalszej wykorzystuje wytworzoną energię na porównywalnym poziomie z oczyszczalniami większymi i lepiej doinwestowanymi. Z danych zawartych na rysunku 3c oraz w tabeli 2 wynika, że produkcja energii z biogazu jest korzystna dla oczyszczalni z powodów ekonomicznych. Na potrzebę obliczeń efektywności energetycznej produkcji energii z biogazu zestawiono średnie jednostkowych cen energii w danym roku (tabela 2).





Rys. 3. Bilans energetyczny Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej w 2017 i 2018 roku

Fig. 3. Energy balance of the Wastewater Treatment Plant in Wola Dalsza in 2017 and 2018

Tabela 2 – Table 2

Bilans kosztowy produkcji energii z biogazu Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej / Cost balance of energy production from biogas in the Sewage Treatment Plant in Wola Dalsza

	Parametry / Parameter	2017	2018
1	ilość energii wyprodukowanej [kWh] quantity of energy produced [kWh]	571 150,88	644 886,00
2	ilość energii wykorzystana na potrzeby własne [kWh] amount of energy used for own consumption [kWh]	513 780,81	472 014,00
3	średnia cena jednostkowa kupionego 1 kWh [PLN] average unit price of purchased 1 kWh [PLN]	0,36	0,29
4	zaoszczędzony wydatek na energię [PLN] (2 * 3) saved energy expenditure [PLN] (2 * 3)	184 961,09	136 884,06
5	ilość sprzedanej energii [kWh] quantity of energy sold [kWh]	57 370,07	172 872,00
6	średnia cena jednostkowa sprzedanego 1 kWh [PLN] average unit price of sold 1 kWh [PLN]	0,16	0,17
7	zysk ze sprzedaży energii [PLN] (5 * 6) / proceeds from the sale of energy [PLN] (5 * 6)	9 179,21	29 388,24
8	ilość energii zakupionej dodatkowo [kWh] / amount of energy purchased additionally [kWh]	1 326 563,0	1 332 441,00
9	koszty poniesione na zakup energii [PLN] (8 * 3) costs incurred for the purchase of energy [PLN] (8 * 3)	477 562,68	386 407,89
10	całkowity koszt energii [PLN] (4+9) total cost of energy [PLN] (4+9)	662 523,77	523 291,95
11	zysk oczyszczalni [PLN] (4 + 7) the profit of the treatment plant [PLN] (4 + 7)	194 140,30	166 272,30
12	koszt poniesiony przez oczyszczalnię [PLN] (10-11)/ cost incurred by the treatment plant [PLN] (10-11)	468 383,47	357 019,65

Źródło: Opracowanie własne / Source: Own elaboration

W tabeli 2 jako zysk oczyszczalni ujęto nie tylko zysk pochodzący ze sprzedaży energii (7), ale również koszty, które oczyszczalnia poniosłaby na zakup energii wykorzystanej na potrzeby oczyszczalni, ale pochodzącej z wytworzonego biogazu (4). Wynika z tego, że w 2017 roku oczyszczalnia wykorzystwała 89,96% wyprodukowanej energii, a w 2018 roku – 73,19%, co stanowiło odpowiednio 39,48 oraz 38,34% ogólnej puli zaoszczędzonych przez oczyszczalnię wydatków. Natomiast efektywność ekonomiczna oczyszczalni liczona ze stosunku zysku osiągniętego przez oczyszczalnię do całkowitych kosztów wykorzystanej energii w 2017 roku wyniosła 29,3%, a w 2018 – 31,7%. Z uwagi na to, iż oczyszczalnie ścieków mają znaczne zapotrzebowanie własne na ciepło i energię elektryczną, energetyczne wykorzystanie biogazu z fermentacji metanowej osadów ściekowych pozwala na obniżenie kosztów eksploatacyjnych. Oczyszczalnie ścieków, w których zastosowano fermentację metanową, mogą być samowystarczalne energetycznie, a nakłady inwestycyjne zwracają się w przedziale 5-7 lat [Kołodziejak 2012]. Pod względem ekonomicznym pozyskanie biogazu z osadów ściekowych w procesie mezofilowym jest opłacalne również w mniejszych obiektach jak np. w oczyszczalni ścieków Gubin/Guben, przyjmujących średnio około 8000 m³/d ścieków. W miastach tej wielkości gospodarka osadowa prowadzona w oczyszczalni ścieków z wykorzystaniem procesu fermentacji metanowej pozwala na pokrycie zapotrzebowania na ciepło, i w ponad 45% pokrywa zapotrzebowanie na energię elektryczną w oczyszczalni [Bień i in. 2020]. Również wysoki stopień wykorzystania energii uzyskuje się prowadząc fermentację metanową z dodatkiem odpadów, jakimi są odpady z przetwórstwa drobiu. Pozwoliło to w oczyszczalni ścieków komunalnych w Iławie w bardzo wysokim stopniu pokryć zapotrzebowanie energetyczne zakładu, wahające się od 93,0% do 99,8% (średnio 98,2%) [Masłoń i in. 2020]. W przedstawionej w pracy oczyszczalni średni dobowy dopływ ścieków wynosi 9200 m³/d. Efektywność ekonomiczna jest niższa, ale może to być spowodowane jakością powstających osadów. Jednak z tabeli 2 wynika, że efektywność ta rośnie. Rozwój coraz tańszych technologii pozwalają na przesunięcie „w dół” umownego progu, czyli skali oczyszczalni, przy której zachowana jest opłacalność inwestycji. Teraz jest to przepustowość na poziomie od 500 do 3 000 m³ ścieków na dobę, a nie jak uważano wcześniej minimum 5 000 m³/dobę. Analiza ekonomiczna możliwości wykorzystania biogazu w oczyszczalniach ścieków zasadniczo różni się od podobnych analiz tego typu. Należy również pamiętać, że oczyszczalnia ścieków jako instalacja nie jest nastawiona na zysk.

IV. PODSUMOWANIE

Prawidłowe rozwiązanie gospodarki osadowej powoduje zmniejszenie kosztów eksploatacji linii osadowej w komunalnych oczyszczalniach ścieków. W Oczyszczalni Ścieków w Woli Dalszej osady ściekowe wykorzystuje się do produkcji biogazu, który przetwarzany jest w kogeneratorze na energię elektryczną i ciepłą. W pracy prześledzono proces dotyczący energii elektrycznej w latach 2017 i 2018. W roku 2018 do WKF skierowano więcej osadów ściekowych, co wiąże się z powstaniem większej ilości biogazu. Po przeprowadzonej analizie efektywności energetycznej stwierdzono, że Oczyszczalnia Ścieków w Woli Dalszej dzięki własnej produkcji biogazu oszczędza około 1/3 kosztów, ponoszonych na potrzeby energetyczne. Efektywność ekonomiczna w roku 2017 wyniosła 29,3%, a w roku 2018 – 31,7%. Osad, mimo, że jest odpadem jest także odnawialnym źródłem energii. Ideą gospodarki o obiegu zamkniętym jest wykorzystanie odpadów powstających w cyklu życia produktów i tym samym ograniczenie zużycia surowców, zwiększenie strumienia odpadów wykorzystywanych w ramach odzysku i recyklingu oraz zmniejszenie ilości składowanych odpadów.

BIBLIOGRAFIA

1. Bień J., Myszograj S., Pluciennik-Koropczuk E. 2020. Gospodarka komunalnymi osadami ściekowymi w obiegu zamkniętym. [w:] Bień J., Gromiec M., Pawłowski Ł. (red.). Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce. 106-124.
2. Bień J.B., Wystalska K. 2011. Osady ściekowe. Teoria i praktyka. Wyd. III Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa 2011.
3. Buchowski J. 2004. Bioenergetyka polska – blaski i cienie. Rynek Energii. 4. 18-21.
4. Fukas-Płonka Ł. 2011. Rodzaje i charakterystyka osadów ściekowych. [w:] Ł. Fukas-Płonka (red.). Gospodarka odpadami ściekowymi wybrane zagadnienia T.II. 15-24.
5. Grosser A., Neczaj E. 2018. Sewage sludge and fat rich materials co-digestion – Performance and energy potential. Journal of Cleaner Production. 198. 1076-1089. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.124.
6. GUS 2020 [dokument elektroniczny. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2019,1,20.html>. data wejścia 22.11. 2020].
7. Heidrich Z., Podędworna J. 2008. Zagospodarowanie osadów w ujęciu regionalnym. Wodociągi i Kanalizacja. 10. 38-41.
8. Kardos L., Juhász Á., Palkó Gy., Olá J., Barkács K., Záray Gy. 2011. Comparing of mesophilic and thermophilic anaerobic fermented sewage sludge based on chemical and biochemical tests. Applied ecology and environmental research. 9. 293-302.
9. Kołodziejak G. 2012. Możliwości wykorzystania potencjału energetycznego biogazu powstającego w trakcie procesu oczyszczania ścieków. Analiza opłacalności proponowanych rozwiązań. NAFTA-GAZ. 12. 1036-1044.
10. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2022 [M.P. 2016 poz. 784].
11. Masłoń A. 2017. Analysis of energy consumption at the Rzeszów Wastewater Treatment Plant. E3S Web of Conferences 22. 00115. doi: 0.1051/e3sconf/20172200115.
12. Masłoń A., Czarnota J., Szaja A., Szulżyk-Cieplak J., Łagód G. 2020. The Enhancement of Energy Efficiency in a Wastewater Treatment Plant through Sustainable Biogas Use: Case Study from Poland. Energies. 13. 60-56. doi:10.3390/en13226056.
13. Mędrala G., Antosz A., Tomaszek J. 2015. Efektywność zmodernizowanej Oczyszczalni Ścieków dla aglomeracji miasta Łańcut w zakresie gospodarki osadowej. [w:] Marczevska B. (red.) Gospodarka komunalna nowe rozwiązania i technologie.
14. Neczaj E., Hrut K., Grosser A., Kamizela T. 2015. Intensyfikacja produkcji biogazu w procesie fermentacji osadów ściekowych z wykorzystaniem fizykochemicznych metod dezintegracji. [w:] Wiśniewski J., Kutylowska M., Trusz-Zdybek A. (red.). Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska. T.V. 284-291.
15. Oladejo J., Shi K., Luo X., Yang G., Wu T. 2019 A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods. 12. 1-38. doi: 10.3390/en12010060.
16. Orzech A., Woroszyło W. 2019. Osady ściekowe źródłem własnej energii gminy. [dokument elektroniczny. <https://magazynbiomasa.pl/osady-sciekowe-zrodlem-wlasnej-energii-gminy/>. data wejścia 22.11. 2020].
17. Szwedziak K. 2006. charakterystyka osadów ściekowych i rolnicze wykorzystanie. Inżynieria Rolnicza. 4. 297-302.
18. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012r. o odpadach [Dz.U. 2013 poz. 21 z późn. zm. Dz. U. 2020 poz. 797].
19. Ustawa z dnia 20 lipca 2017r. Prawo Wodne [Dz.U. 2017 poz. 1566 z późn. zm. Dz. U. 2020 poz. 310].

USE OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE AS A SOURCE OF ELEKTRICAL ENERGY

Summary

This work referred to the possibilities of using biogas from municipal sewage sludge in the mesophilic fermentation process at the Sewage Treatment Plant in Wola Further. In 2017, 18,308 m³ of sewage sludge was sent to the WKF, and in 2018 – 23517 m³, resulting in a referral to the cogenerator in 2018 for 21955m³ more biogas than in 2017. The work analyzed the economic efficiency of sewage sludge use in 2017 and 2018, which was 29.3% and 31.7% respectively. The presented solution for the management of municipal settlements allows achieving economic benefits while contributing to a reduction in the environmental impact.

Key words: *municipal sewage sludge, biogas, economic efficiency*