



Znaczenie potencjału energetycznego osadów ściekowych w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym – przykład oczyszczalni w Gdańsku

Arkadiusz Ostojski*, Marek Swinarski**
*Politechnika Gdańska

**Gdańska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjna Sp. z o.o.

1. Wstęp

Oczyszczalnia ścieków (OŚ) „Wschód” w Gdańsku, jak większość polskich oczyszczalni od wielu lat miała nierozwiązaną gospodarkę osadową. Próby przyrodniczego wykorzystania osadów do rekultywacji pobliskich hałd fosfogipsów nie dawały możliwości zagospodarowania całej ich produkcji. Lokalne miejskie warunki w znaczący sposób ograniczyły metody przyrodnicze, które jednak na obszarach wiejskich powinny być stosowane (Obarska-Pempkowiak i in. 2015). Składowanie osadów, jako metoda utylizacji, zostało prawnie zakazane. Po początkowym pomysle współspalania osadów w kotłach Gdańskiej Elektrociepłowni ostatecznie zdecydowano się na budowę własnej Instalacji Termicznego Przekształcania Osadów (ITPO) na terenie OŚ Gdańsk. Inwestycja powstała między III kwartałem 2008, a IV kwartałem 2012.

Instalacje przetwarzania osadów ściekowych w dużych oczyszczalniach ścieków, takich jak OŚ „Wschód”, podlegają Dyrektywie Parlamentu Europejskiego (IPPC DIRECTIVE 2008/1/EC) o zintegrowanym zapobieganiu zanieczyszczeniom i ich kontroli. Zgodnie z zaleceniami Dyrektywy należy stosować w tych instalacjach najlepszą dostępną technologię (BAT – ang. Best Available Technology), która została określona jako technologia spalania osadów w piecach fluidalnych. Większość dużych miast w Polsce zastosowała się do tych wytycznych i obec-

nie spalarnie osadów funkcjonują w kilkunastu miastach w Polsce. Zasadność stosowania metod termicznej utylizacji potwierdza również Krajowy Plan Gospodarki Odpadami (KPGO).

Celem pracy jest oznaczenie i ocena właściwości fizykochemicznych osadów ściekowych, w szczególności parametrów energetycznych oraz określenie zawartości pierwiastków podstawowych. W artykule scharakteryzowano osady pod względem ciepła spalania, wartości opałowej, wilgotności oraz składu chemicznego po kolejnych etapach przeróbki. Przedstawiono również aktualne rozwiązania gospodarki osadowej OŚ „Wschód”, które pozwalają wytworzyć energię cieplną na potrzeby procesów przeróbki osadów (ogrzewanie zamkniętych komór fermentacji (ZKF) oraz suszenie osadów, ogrzewanie powietrza nadmuchowego dostarczanego do pieca fluidalnego). Zużywana i wytwarzana energia elektryczna jeszcze się nie bilansuje, ale osiągnięcie poziomu oczyszczalni zero-energetycznej jest możliwe. O realnych możliwościach funkcjonowania oczyszczalni pasywnej plus może świadczyć przykład Oczyszczalni Ścieków Tychy – Urbanowice, która po pokryciu swoich potrzeb, ma dostarczać energię do pobliskiego parku wodnego.

2. Ciepło spalania i wartość opałowa osadów

W nomenklaturze polskiej „*paliwo jest materiałem stosowanym jako źródło ciepła (lub pośrednio) energii mechanicznej i elektrycznej wykorzystywanej do celów przemysłowych, technologicznych, transportowych i bytowych*”. W skład paliwa wchodzi substancja palna złożona ze związków chemicznych węgla elementarnego (C), wodoru (H) i siarki (S) oraz stanowiące balast substancje mineralne (popiół) i wilgoć. Paliwo służące do spalania zewnętrznego nosi nazwę paliwa opałowego, a do spalania wewnętrznego – paliwa napędowego. Zależnie od stanu skupienia różni się paliwo stałe, ciekłe i gazowe, a w zależności od pochodzenia – naturalne, sztuczne i odpadowe (Wandrasz 1996, 2006).

Paliwa stałe charakteryzowane są przez szereg wskaźników, takich jak: ciepło spalania Q_s (MJ/kg) – HHV (Higher Heating Value), wartość opałowa Q_i (MJ/kg) – LHV (Lower Heating Value), popielność (%), zawartość siarki (%). Wartość opałowa to użyteczny efekt cieplny spalania (Grabowski i Oleszkiewicz 1998).



Proces spalania może przebiegać autotermicznie lub wymagać doprowadzenia energii. W przypadku, gdy 1/3 osadów jest niepalna, to ciepło spalania suchego osadu nie przekracza 14 MJ/kg, a po odjęciu energii potrzebnej na odparowanie wody wartość opałowa osadów spada do ok. 9 MJ/kg. Wartość opałowa osadu przefermentowanego jest niższa w przypadku osadu świeżego nieprzefermentowanego o około 2 MJ/kg (Schubering 1992). Przy dużej wilgotności osadów występują zerowe wartości ciepła spalania. Jeżeli ciepło ze spalania osadu nie wystarcza do odparowania zawartej w nim wody, konieczne jest dostarczenie dodatkowego nośnika energii – np. węgla, oleju opałowego, słomy, biogazu czy zrębek drzewnych. Źródła austriackie podają, iż osad ściekowy zawierający 50% substancji organicznej i odwodniony do poziomu 50% suchej masy ma wartość opałową 4 MJ/kg, natomiast zawierający 75% substancji organicznej i odwodniony do poziomu 50% wilgotności ma wartość opałową równą 6,5 MJ/kg. W przypadku wilgotności wynoszącej 85% w uwodnionym osadzie zawierającym 50% substancji organicznej wartość opałowa spada do zera (Schubering 1992).

3. Obiekt badań – OŚ „Wschód” w Gdańsku

Początki tej oczyszczalni sięgają lat 70. Obecny wygląd oczyszczalni oraz możliwości wysokoefektywnego usuwania zanieczyszczeń organicznych i biogenych ze ścieków jest wynikiem rozbudowy i modernizacji w latach 1997-2000. OŚ „Wschód” jest największą oczyszczalnią w województwie pomorskim – przyjmuje ścieki komunalne z obszaru Gdańska, Sopotu oraz sąsiadujących gmin: Pruszcza Gdańskiego, Kolbud, Żukowa.



Rys. 1. Oczyszczalnia ścieków „Wschód” w Gdańsku – foto A. Ostojski
Fig. 1. WWTP „Wschód” in Gdansk – photo A. Ostojski

Na terenie zlewni oczyszczalni mieszka około 540 tys. mieszkańców, a średni dopływ ścieków do oczyszczalni wynosi około 95 tys. m³/dobę, w tym około 10% całkowitego dopływu stanowią ścieki z zakładów przemysłu spożywczego, stoczniowego i chemicznego. Po ostatniej modernizacji przepustowość projektowa oczyszczalni wynosi 120 tys. m³/d.

Technologia oczyszczania obejmuje procesy mechaniczne i biologiczne oraz przeróbkę osadów. W skład układu mechanicznego oczyszczalni wchodzi 4 kraty mechaniczne, 3 piaskowniki oraz 4 osadniki wstępne. Ścieki oczyszczone mechanicznie następnie są przepompowywane do komory rozdzielczej i dalej kierowane do pięciu (łącznie 6 istniejących) ciągów oczyszczania biologicznego. Biologiczne oczyszczanie, w którym przebiegają zintegrowane procesy usuwania związków węgla, azotu oraz fosforu, realizowane jest w bioreaktorach opartych na systemie A2O. Z każdego reaktora biologicznego oczyszczone ścieki odprowadzane są do dwóch radialnych osadników wtórnych (łącznie jest ich 12). Ścieki oczyszczone odprowadzane są rurociągiem 2,5 km w głąb Zatoki Gdańskiej. Zagęszczony grawitacyjnie osad z dolnej części osadników wtórnych recyrkulowany jest do pierwszej beztlenowej komory reaktora biologicznego. Osad nadmierny poddawany jest zagęszczaniu mechanicznemu na prasach filtracyjnych. Osad zmieszany, biologiczny i wstępny, kierowany jest do ZKF, a następnie poddawany mechanicznemu odwadnianiu na wirówkach sedymentacyjnych.

Ostatnie inwestycje na terenie oczyszczalni związane były z gospodarką osadową: modernizacją komór fermentacji, budową elektrociepłowni biogazowej – systemu Skojarzonej Produkcji Energii (SPE) elektrycznej i ciepłej, a przede wszystkim uruchomieniem ITPO, w maju 2013, która unieszkodliwia osady na drodze suszenia i spalania ich w piecu fluidalnym. Do czasu ostatniej modernizacji i rozbudowy linii osadowej całość wytworzonych osadów zagospodarowywano przez przyrodnicze wykorzystanie, w tym 79% przeznaczano na rekultywację składowisk odpadów, 17% na kompostowanie, 4% na nawożenie rolnicze (Zielona oczyszczalnia 2013). Nowe obiekty w istotny sposób wpłynęły również na poprawę bilansu energetycznego oczyszczalni.



4. Metodyka badań

Uśrednione próbki osadów: surowego, zmieszanego i przefermentowanego poddane zostały analizom, które pozwoliły określić skład substancji organicznej (zawartość węgla, azotu, siarki, tlenu oraz wodoru) oraz ciepło spalania i wartość opałową. Wykonano 41 serii pomiarowych dla osadów z oczyszczalni ścieków w Gdańsku. Analizy składu pierwiastkowego wykonywano w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych, Polskiej Akademii Nauk w Łodzi, natomiast oznaczenia ciepła spalania i wartości opałowej na Wydziale Chemii Politechniki Gdańskiej.

Ciepło spalania to ilość ciepła wydzielona podczas całkowitego spalania paliwa stałego w bombie kalorymetrycznej w atmosferze tlenu w odniesieniu do temperatury 25°C (PN-81 G-04513 1981). Wartość opałowa to ciepło spalania pomniejszone o ciepło parowania wody, wydzielonej podczas spalania z paliwa i powstałej z wodoru zawartego w paliwie (PN-81 G-04513 1981) podawane zwykle w MJ/kg paliwa.

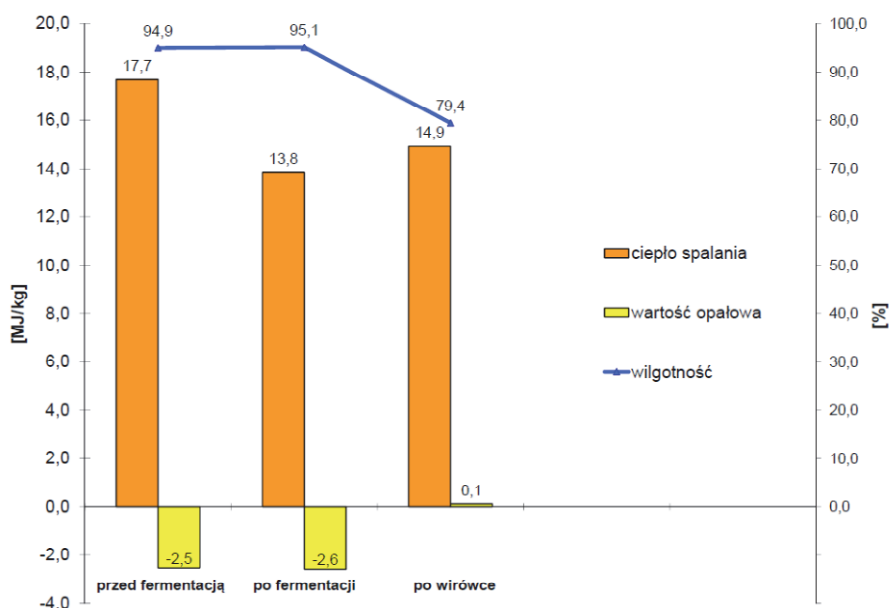
Oznaczenia wykonywano zgodnie z PN-G-04571 (1998) *Paliwa stałe. Oznaczanie węgla, wodoru i azotu automatycznymi analizatorami. Metoda makro*. Norma ta dotyczy jedynie oznaczeń węgla, wodoru i azotu, ale w podobny sposób wykonywano oznaczenia siarki. Mimo, że norma dotyczy metody w skali makro, to stosowano ją do oznaczeń w skali mikro. Oznaczenia węgla, wodoru, azotu i siarki wykonywano z jednej odważki przy wykorzystaniu automatycznego analizatora Vario MICRO cube firmy Elementar Analysensysteme GmbH. Odważka w naczyniu z folii cynowej wprowadzana jest do rury reakcyjnej ogrzanej do 1150°C, w wyniku egzotermicznej reakcji jest spalana w atmosferze tlenu, a utworzone produkty spalania, po przereagowaniu z tlenem, w strumieniu helu przechodzą przez odpowiednie katalizatory i jako produkty spalania w postaci N₂, CO₂, H₂O, SO₂ są adsorbowane w specjalnej kolumnie, a następnie poddawane są termicznej desorpcji i kierowane do detektora przewodnictwa cieplnego (N₂, CO₂, H₂O), a w przypadku SO₂ do detektora absorpcji w poczerwieni. Analizator jest sprzężony z komputerem, który zarówno steruje procesem spalania, jak również wylicza zawartości pierwiastków w analizowanej próbce. Program oblicza tzw. dzienny współczynnik korekcji na podstawie wcześniej wyznaczonej krzywej kalibracyjnej dla każdego z oznaczanych pierwiastków.



Analiza jest poprawna, jeśli dzienny współczynnik korekcji zawiera się w granicach 0,9-1,1. W przypadku analiz wykonywanych zgodnie ze zleceniem wartość tego współczynnika mieściła się w granicach określonych przez producenta aparatu. Współczynnik korelacji Pearsona (r) został użyty w celu określenia współzależności liniowej zmiennych przy założeniu, że dla $|r|$ z zakresu 0,7–0,9 obecna jest silna, a dla $|r| > 0,9$ bardzo silna zależność (Węglarczyk 2010).

4.1. Wyniki badań – ciepło spalania i wartość opałowa osadów

Uzyskane w wyniku badań laboratoryjnych wartości ciepła spalania osadów (rys. 2) kształtowały się na poziomie 14-18 MJ/kg, a zmienność tego parametru odpowiadała zastosowanym procesom przeróbki. Fermentacja metanowa prowadzona w OŚ „Wschód” skutkuje obniżeniem ciepła spalania o około 4 MJ/kg – jest to wartość dwukrotnie większa niż podawana przez Schuberinga (1992) – do poziomu 13,8 MJ/kg.



Rys. 2. Średnia wartość ciepła spalania, wartość opałowa i wilgotność osadów ściekowych OŚ „Wschód”

Fig. 2. Average value of HHV, LHV and humidity of sludge at the WWTP “Wschód”

Wraz z kolejnymi etapami przeróbki osadów, dzięki zmniejszeniu uwodnienia, wartość opałowa wzrastała. W porównaniu do danych literaturowych, przefermentowane osady charakteryzowały się wysoką wartością HHV i małą zawartością popiołu – zaledwie 34-35% na tym etapie przeróbki – rysunek 3. Skawińska i Kuklis (2014) określiły średnią zawartość popiołu w stanie suchym na poziomie 40,3%. Czeskie źródła (Houdkova i in. 2008) podają, że przefermentowane osady zawierają średnio 49,2% substancji organicznych i 50,8% popiołu w suchej masie. Ich ciepło spalania wynosiło 12,18 MJ/kg suchej masy, a wartość opałowa 11,23 MJ/kg suchej masy.

Wyznaczone ciepło spalania suchych osadów ściekowych wynosi ok. 15 MJ/kg i jest prawie dwukrotnie niższe niż ciepło spalania dobrego węgla. Na ogół przyjmuje się, że jedna tona węgla kamiennego jest równoważna energetycznie 2 tonom suchego osadu. Ciepło spalania suchych organicznych składników osadów ściekowych wynosi 18-21,5 MJ/kg, węgla kamiennego około 21-25 MJ/kg, lekkiego oleju opałowego 45 MJ/kg, gazu ziemnego 48 MJ/kg.

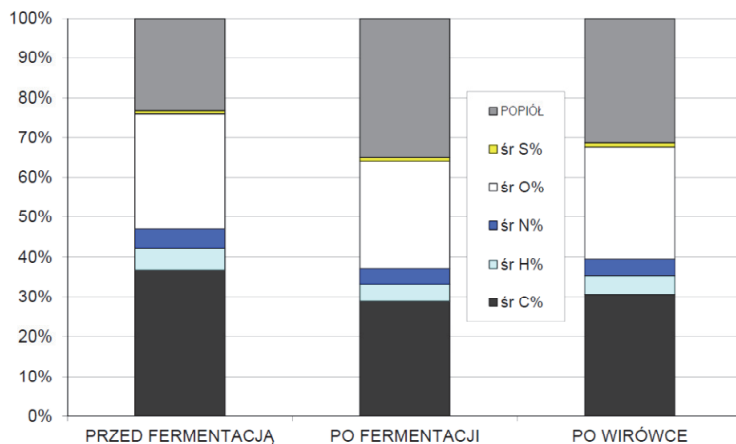
W laboratorium Politechniki Lubelskiej, podczas próby wykorzystania osadów pochodzących z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków "Hajdów" jako paliwa alternatywnego do wypalania klinkieru, uzyskano wartość opałową wynoszącą 43,2 MJ/kg. Była to jednak mieszanina osadu z olejem opałowym (Czechowska-Kosacka 2013). Wartość opałowa (Q_i) i ciepło spalania (Q_s) paliwa zależy od jego składu chemicznego, ujawnionego w wyniku analizy technicznej (zawartość wilgoci, popiołu czy też części lotnych) oraz analizy elementarnej (C, H, N, O, S).

4.2. Wyniki badań – skład pierwiastkowy osadów

Substancja palna osadu zmieszanego (60% osad wstępny, 40% osad nadmierny) z niemieckich aglomeracji miejskich (Sükrü Solmaz 1998) składa się z: C – 50%, O – 38%, H – 7%, N – 4%, S – 1%, Cl ≤ 0,2%, F ≤ 0,01%. Podobnie przedstawia się skład osadów w duńskich oczyszczalniach ścieków: C – 52-58%, H – 7-8%, O – 29-31%, N – 4-9%, S – 1-1,5% (Simonsen i in. 1996). Porównując uzyskane wyniki z Gdańska (rys. 3, 4) z niemieckimi danymi literaturowymi (Sükrü Solmaz 1998), zauważyć należy niższą zawartość węgla (średnio o 6%) oraz wyższą zawartość tlenu (średnio o 3%), jednak różnice są niewielkie. Większe różnice w zawartości węgla zauważyć należy porównując uzyskane wyniki ze składem osadów w duńskich oczyszczalniach ścieków: C – 52-58%, H – 7-8%, O – 29-31%,

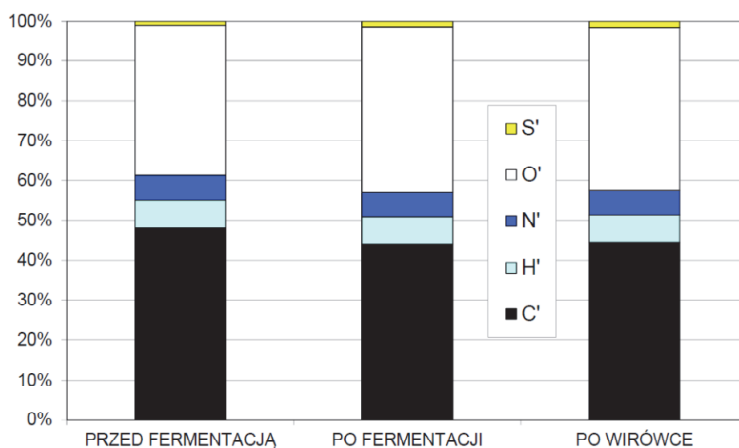


N – 4-9%, S – 1-1.5% (Simonsen i in. 1996), czeskich: C – 67%, H – 5%, O – 25%, N – 2.2%, S – 0.8% (Stasta i in. 2006) oraz chińskich: C – 52.4%, H – 9.3%, O – 27.4%, N – 7.9%, S – 3.0% (Han-min Xiao i in. 2009).



Rys. 3. Średnia zawartość C, H, N, O, S oraz popiołu w suchej masie osadów ściekowych OŚ „Wschód” (Ostojski i Gajewska. 2014)

Fig. 3. Average content of C, H, N, O, S and ash in dry matter of sludge at the WWTP “Wschód” (Ostojski & Gajewska. 2014)



Rys. 4. Średnia zawartość C, H, N, O, S w suchej masie organicznej osadów ściekowych OŚ „Wschód” (Ostojski i Gajewska. 2014)

Fig. 4. Average content of C, H, N, O, S in dry organic matter of sludge at the WWTP “Wschód” (Ostojski & Gajewska 2014)

5. Elektrociepłownia biogazowa

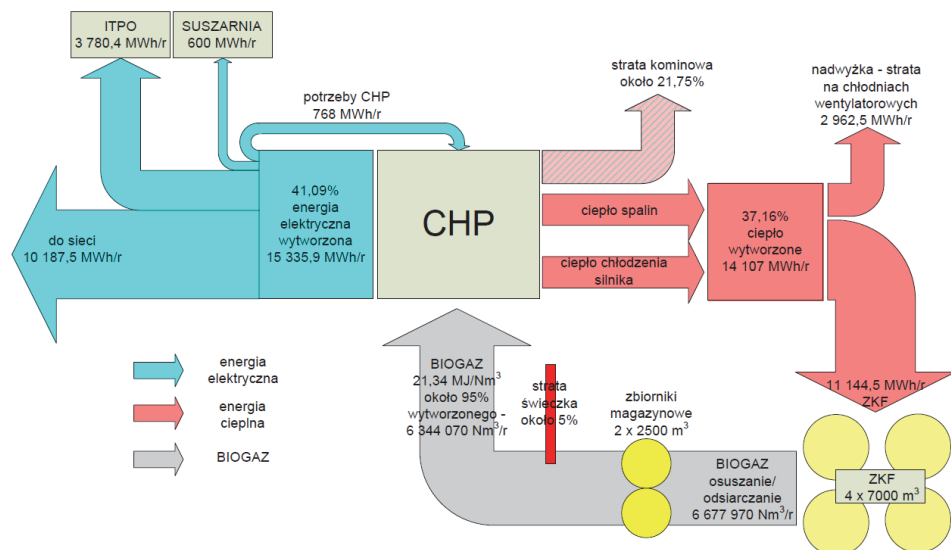
Na terenie oczyszczalni funkcjonują cztery komory mezofilowej fermentacji beztlenowej. Są to stalowe, cylindryczne ZKF o pojemności 7000 m³ każdy, posadowione na betonowych fundamentach. W 2012 roku przeprowadzono modernizację tych obiektów. Przebudowa komór pozwoliła na zwiększenie wskaźnika produkcji biogazu z wartości średniej 0,33 Nm³/kg s.m.org. w 2011r. do 0,49 Nm³/kg s.m.o. w 2014 r., przy minimalnym wzroście obciążenia z 1,50 do 1,7 kg s.m.o./m³. Wzrosła również produkcja biogazu z 13558 Nm³/d w 2011 r. do 17915 Nm³/d w 2013 r. Osiągnięcie takich parametrów wiązało się jednak z wydłużeniem czasu przetrzymania osadu średnio do 28 dni. Według literatury (Bień 2007) klasyczne zamknięte komory fermentacyjne projektowane są dla obciążenia rzędu 0,8-2,2 kg s.m.o./m³d, a wysokoobciążone 2,5-5,0 kg s.m.o./m³d. Zapewnia to stabilność procesu przy wysokim wskaźniku produkcji biogazu, mierzonym w m³/kg s.m.o. Kaloryczność wytworzonego w procesie fermentacji mezofilowej biogazu wynosi 21,34 MJ/Nm³.

Wytworzony biogaz magazynowany jest w dwóch powłokowych, beciśnieniowych zbiornikach o pojemności 2500 m³ każdy. Przed wybudowaniem instalacji Skojarzonej Produkcji Energii (Combined Heat and Power – CHP), biogaz spalany był w 15 metrowej pochodni i powodował emisję CO₂ do atmosfery. Zainstalowane na oczyszczalni jednostki kogeneracyjne pozwalają na jednoczesną produkcję energii elektrycznej i ciepłej. Biogaz obecnie stanowi paliwo dla silnika spalinowego napędzającego generator prądu elektrycznego. W ten sposób wytwarzana jest energia elektryczna. Ciepło natomiast odbierane jest z układów chłodzenia silnika oraz spalin za pośrednictwem wymienników ciepła. Znajdująca się w nich zimna woda ogrzewa się i staje się nośnikiem użytecznej energii ciepłej do wykorzystania na cele technologiczne i bytowe oczyszczalni. W elektrociepłowni zainstalowane są 4 takie agregaty prądowłórcze, które mogą wytworzyć 716 kW energii elektrycznej i 729 kW energii ciepłej każdy, przy zużyciu 1088 m³ biogazu na godzinę. W 2016r. z instalacji uzyskano 15335,9 MWh energii elektrycznej i 14107,1 MWh energii ciepłej wykorzystując około 95% wytwarzanego biogazu, czyli 6344070 Nm³ – rysunek 5.

Całkowita produkcja biogazu w ZKF w 2016 roku wyniosła 6678 tys. Nm³, z tego około 95% wykorzystano w biogazowni. Produkcja



biogazu oraz jego uzyskiwana kaloryczność (zawartość metanu) mogłyby być jeszcze większa, gdyby przed fermentacją osady poddawane były hydrolizie termofilowej (Dąbrowska 2015). Inwestycja w instalację do hydrolizy osadów pozwoliłaby wykorzystać nadwyżkę ciepła, jednak bez równoczesnej rozbudowy systemu SPE byłaby bezcelowa.



Rys. 5. Bilans energii elektrycznej i cieplnej dla systemu SPE w roku 2016

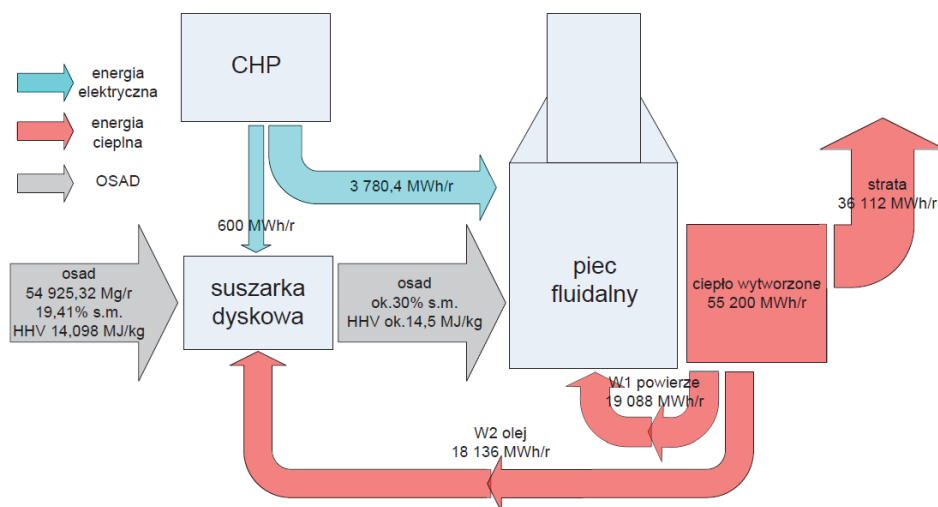
Fig. 5. Electricity and heat balance of the CHP system in 2016

6. Instalacja Termicznego Przekształcania Osadów Ściekowych (ITPO)

ITPO jest nowym obiektem na terenie Oczyszczalni Ścieków „Wschód” w Gdańsku – rysunek 6. Funkcjonuje ona od wiosny 2013 r. Jest to w rzeczywistości instalacja służąca do spalania osadów ściekowych w piecu fluidalnym. Kompletny projekt ITPO opracowała francuska firma Degremont na bazie swojej własnej technologii prowadzenia procesu spalania osadów Thermylis®. Przepustowość instalacji wynosi 48800 kg s.m./d.

Głównymi elementami instalacji są: wydajna suszarka dyskowa, piec z piaskowym złożem fluidalnym oraz dwustopniowy system oczysz-

czenia gazów spalinowych. Suszarka dyskowa zasilana jest olejem o temperaturze około 170°C (maksymalna temp. 210°C) i w układzie przeciwnieprądowym suszy osad, który następnie kierowany jest nad złożo fluidalne. Suszarka może odparować do 3 tys. kg H₂O/h, przy przepływie do 190 ton oleju na godzinę.



Rys. 6. Bilans energii elektrycznej i cieplnej dla ITPO w roku 2016

Fig. 6. Electricity and heat balance of the thermal treatment plant in 2016

Proces spalania osadów prowadzi się w temperaturze ponad 850°C w komorze pieca fluidalnego, powyżej piaskowego złoża. Dla utrzymania wymaganej temperatury procesu spalania piec wyposażono we wspomagający palnik olejowy. Przewidziano również możliwość wtrysku wody amoniakalnej, w celu usuwania NO_x ze spalin. Gazy spalinowe z pieca fluidalnego kierowane są w pierwszej kolejności do systemu odzysku ciepła poprzez dwa wymienniki zainstalowane szeregowo. Wymiennik nr 1 służy do odzysku ze spalin ciepła, wykorzystywanego następnie do podgrzewania powietrza wtórnego do procesu spalania w piecu fluidalnym, natomiast wymiennik nr 2 odzyskuje ze spalin ciepło do podgrzania oleju termicznego zasilającego suszarkę. Po przejściu przez system odzysku ciepła gazy spalinowe kierowane są następnie do systemu oczyszczania gazów spalinowych. W ITPO zastosowano dwa filtry workowe. Pierwszy służy do eliminacji pyłów wynoszonych wraz

ze spalinami z komory spalania. Następnym urządzeniem na drodze spalin jest reaktor, w którym są one poddawane działaniu dwóch środków chemicznych: wapna o dużej porowatości (SORBACALU) oraz węgla aktywnego. Wapno neutralizuje dwutlenek siarki (SO_2), fluorowodór (HF) oraz chlorowodór (HCl). Węgiel aktywny zapewnia absorpcję metali ciężkich, dioksyn oraz furanów. Usunięcie ze spalin pozostałości po procesach prowadzonych w reaktorze następuje w filtrze workowym nr 2. Ostatecznie oczyszczone spaliny o temperaturze około 200°C trafiają do komina o wysokości 22 m, wyposażonego w analizator spalin do ciągłego pomiaru stężeń zanieczyszczeń i poboru próbek.

W wyniku spalania osadów ściekowych w Gdańsku powstają dwa rodzaje odpadów: popioły oraz pozostałości z oczyszczania spalin. Do celowo odpady poddawane będą obróbce w węźle stabilizacji i zestalania. Wyzwaniem będzie również wdrożenie efektywnych metod pozyskiwania fosforów z popiołów po spalaniu osadów. W Polsce podejmowano już różne próby z wykorzystaniem produktów spalania komunalnych osadów ściekowych np. w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Łomży potwierdzono ich przydatność jako materiału na nasypy liniowe i do makroniwelacji terenu (Zabielska-Adamska 2015).

7. Wnioski

1. Wykorzystanie osadów na cele przyrodnicze, choć zgodne z ideą obiegu materii w naturze, jest coraz trudniejsze do zrealizowania, przede wszystkim z uwagi na coraz wyższe wymagania jakościowe stawiane przetworzonym osadom ściekowym. Brak jest również wystarczających terenów, które można byłoby nawozić lub rekultywować osadami, szczególnie w okolicy dużych miast. Metody termiczne utylizacji są metodami najwłaściwszymi dla dużych miejskich oczyszczalni ścieków. Wykorzystanie proces monospalania pozwala na właściwe rozwiązanie problemu utylizacji osadów.
2. W OŚ „Wschód” zawartość związków węgla w osadach przed fermentacją nie przekraczała 40%, natomiast po procesie fermentacji uległa tylko niewielkiemu obniżeniu o około 8% i wynosiła średnio poniżej 30% (rys. 3). Ubytek związków węgla podczas fermentacji w przeliczeniu na suchą masę organiczną wyniósł około 3% (rys. 4).



- W przefermentowanych osadach udział procentowy pierwiastków węgla był na poziomie 44%, tlenu 42%, wodoru 7%, azotu 6%.
3. Osady są dobrym źródłem energii. Przeciętna wartość ciepła spalania (HHV) osadów ściekowych w oczyszczalni w Gdańsku wynosi 14-15 MJ/kg dla osadu przefermentowanego i 17,5 MJ/kg dla osadu nieprzefermentowanego. W efektywnym uzysku energii z osadów przeszkadza jednak duża wilgotność, która obniża ich wartość opałową. Pomimo dużej wilgotności (około 70%), osady są z powodzeniem spalane w piecu fluidalnym w instalacji ITPO na terenie oczyszczalni. Spalanie w temperaturze 850-870° odbywa się autotermicznie.
 4. Największy wkład energetyczny uzyskiwany jest z elektrociepłowni biogazowej i to dzięki wytwarzanemu z osadów biogazowi możliwe jest ich uznanie za bardzo wydajne źródło energii. Wartość opałowa tego paliwa w Gdańsku wynosi 21,34 MJ/Nm³. Ilość produkowanej energii cieplnej (SPE i ITPO) jest znacznie wyższa od potrzeb własnych oczyszczalni. Produkcja energii elektrycznej netto w systemie SPE, po odjęciu energii zużywanej przez instalację ITPO, stanowi ok. 68% całkowitego zużycia energii na oczyszczalni ścieków.
 5. Oczyszczalnia „Wschód” w Gdańsku nie jest jeszcze oczyszczalnią zero-energetyczną, ale konsekwentnie dąży się do pełnego zamknięcia bilansu zużywanej i produkowanej energii. Dodatkowym źródłem energii dla oczyszczalni mogłyby być np. panele fotowoltaiczne, soczewki wodne lub wykorzystanie energii kinetycznej ścieków oczyszczonych. Z uwagi na dużą ilość ciepła odpadowego powstającego na instalacji ITPO (36 tys. MWh/r) i SPE (3 tys. MWh/r), interesujące jest rozważenie jego wykorzystania w instalacji ORC (ang. Organic Rankine Cycle) do produkcji energii elektrycznej. Z drugiej strony wskazane jest poszukiwanie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej poprzez optymalizację procesów technologicznych oczyszczalni.

Badania składu i ciepła osadów wykonano w ramach projektu nr PL0085 finansowanego przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię poprzez Mechanizm Finansowy EOG oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



Literatura

- Bień, J. (2007). *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- Dąbrowska, L. (2015). Wpływ sposobu prowadzenia fermentacji osadów ściekowych na produkcję biogazu. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 17, 943-957
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/1/WE z dnia 15 stycznia 2008 r. *dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli*. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 29.1.2008.
- Czechowska-Kosacka, A. (2013). Sewage Sludge as a Source of Renewable Energy. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 314-323.
- Grabowski, Z., Oleszkiewicz, J. (1998). *Spalanie osadów*. Materiały Międzynarodowego Seminarium Szkoleniowego „Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów”; wyd. LEM, Kraków.
- Han-min Xiao, Xiao-qian, Ma, Zhi-yi, Lai (2009). Isoconversional kinetic analysis of co-combustion of sewage sludge with straw and coal. *Applied Energy*, 86(2009), 1741-1745.
- Houdkova L, Boran J., Uciekaj V., Elsaser T., Stehlik P. (2008). Thermal processing of sewage sludge – II. *Thermal Engineering*, 28, 2083-2088.
- Obarska-Pempkowiak, H., KołECKA, K., Gajewska, M., Wojciechowska, E, Ostojcki, A. (2015). Zrównoważone gospodarowanie ściekami na przykładzie obszarów wiejskich. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 17, 585–602
- Ostojcki A., Gajewska M. (2014). Możliwości energetycznego wykorzystania osadów ściekowych jako paliwa. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17, 515-525.
- PN-81 G-04513. 1981. *Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej*.
- PN-G-04571. 1998. *Paliwa stałe. Oznaczanie węgla, wodoru i azotu automatycznymi analizatorami. Metoda makro*.
- Schubering A. (1992). *Kompleksowe rozwiązanie problemu odwadniania szlamu aż do uzyskania suchego granulatu*. Sympozjum Naukowo-Techniczne "Nowoczesne Technologie Ochrony Środowiska z Austrii", Warszawa (maszynopis powielany).
- Simonsen N., Bisgaard C., Nielsen B. (1996). *Characterisation of sludge as fuel and improved sludge incineration system*. In: 10th EWPCA Symposium "Sludge Treatment and Reuse" IFAT '96. Krueger A/S Technical Division. Denmark. Munich (manuscript).
- Skawińska, A., & Kuklis, I. (2014). Ocena przydatności energetycznej komunalnych osadów ściekowych w oparciu o analizę parametrów fizykochemicznych. *Przegląd Górniczy*, 12, 74-77.



- Stasta, P., Boran, J., Bemar, L., Stehlik, P., Oral, J. (2006). Thermal processing of sewage sludge. *Thermal Engineering*, 26, 1420-1426.
- Sükrü, Solmaz (1998). Termiczne unieszkodliwianie osadów. Korrespondenz Abwasser 1998 (45)10. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 3/1999, załącznik 1-8.
- Wandrasz, J.W. (1996). *Energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych i osadów ściekowych*. IV Konferencja „Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska”. Szczyrk 7-9 X 1996, Warszawa, ODKT RS NOT: Tom I: 97-108.
- Wandrasz, J.W., Wandrasz, A.J. (2006). *Paliwa formowalne. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych*. Warszawa 2006, Wydawnictwo "Seidel-Przywecki" Sp. z o.o.
- Węglarczyk, S. (2010). *Statystyka w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków
- Zabielska-Adamska, K. (2015). Produkt spalania komunalnych osadów ściekowych jako grunt antropogeniczny. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 1286-1305.
- Zielona oczyszczalnia*. Materiał edukacyjny przygotowany w ramach projektu 2013. Gdańska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjną Sp. z o.o. i Saur Neptun Gdańsk S.A.

Importance of Energy Potential of Sewage Sludge in Terms of Closed Circuit Management – the “Wschód” WWTP Case Study

Abstract

In the article the higher heating values (HHV), lower heating values (LHV) and elemental composition of sewage sludge at subsequent stages of processing in wastewater treatment plant (WWTP) “Wschód” in Gdańsk are presented. Sewage sludge is a valuable source of energy. The average value of the HHV of sewage sludge in the sewage treatment plant in Gdańsk is 14-15 MJ/kg for digested sludge and 17.5 MJ/kg for non-fermented sludge. However, high humidity, which reduces their heating value, hinders effective energy recovery from the sludge. Despite the high humidity (about 70%), the sediments are successfully burned in the fluidized bed in the sewage thermal treatment plants (ITPO). Burning at 850-870° takes place autothermally. Adequate processing, consisting of biogas production and methane utilization within Electricity and Heat production system, drying, combustion in a fluidized furnace and, finally, heat recovery from the exhaust gases, creates an opportunity of achieving full balance of energy produced and consumed. In WWTP “Wschód” in Gdańsk the energy balance is in-



complete yet. It is necessary to supplement the electric energy or/and to decrease energy consumption in sewage treatment processes.

The largest energy contribution is obtained from the biogas power plant and thanks to the biogas generated from sediments, it is possible to recognize them as a very efficient source of energy. The calorific value of this fuel in Gdansk is 21.34 MJ/Nm^3 . The amount of thermal energy produced (SPE and ITPO) is much higher than the needs of the treatment plant. The net electricity production in the SPE system, after deducting the energy consumed by the ITPO installation, accounts for about 68% of the total energy consumption at the sewage treatment plant.

The installation of thermal conversion of sewage sludge which is working in Gdańsk meets the objectives of European Parliament Directive (IPPC DIRECTIVE 2008/1/EC) regarding integrated prevention and pollution control. The mono-combustion plant allows for utilization of the total amount of produced sludge. Despite of high water content in the sludge, which decreases its energetic potential, the combustion process does not require additional fuel (apart from the start-up phase or stanby conditions). At present there is no alternative for thermal sewage sludge utilization, especially at large WWTPs. However, the problem of final disposal of combustion ashes remains unsolved. This is an important issue in the context of the postulate of closed cycle management that was accepted in 2015.

Streszczenie

W artykule przedstawiono ciepło spalania, wartość opałową oraz skład pierwiastkowy osadów ściekowych na kolejnych etapach przeróbki w oczyszczalni ścieków "Wschód" w Gdańsku. Osad ściekowy jest cennym źródłem energii. Średnia wartość ciepła spalania (HHV) osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków w Gdańsku wynosi 14-15 MJ/kg dla osadów przefermentowanych i 17,5 MJ/kg dla osadów przed fermentacją. Niestety wysoka ich wilgotność, obniża wartość opałową i utrudnia skuteczne odzyskiwanie energii z osadów. Pomimo około 70% wilgotności, osady są spalane w złożu fluidalnym w instalacji ITPO w oczyszczalni. Termiczna utylizacja przebiega w temperaturze 850-870° odbywa się autotermicznie. Gospodarka osadowa, obejmująca fermentację w ZKF wraz z produkcją biogazu i wykorzystanie metanu w systemie produkcji energii elektrycznej i ciepła, suszenie, spalanie w piecu fluidalnym i ostatecznie, odzyskiwanie ciepła z gazów spalinowych, generuje dodatni bilans energetyczny. Stwarza to możliwość wykorzystania energii elektrycznej oraz cieplnej w procesach oczyszczania ścieków i pełnego zamknięcia bilansu produkowanej i zużywanej energii w całej oczyszczalni. W oczyszczalni ścieków "Wschód" w Gdańsku obieg energetyczny nie jest jeszcze zamknięty. Ko-

nieczne jest intensyfikacja produkcji energii elektrycznej lub/i zmniejszenie jej zużycia w procesach oczyszczania ścieków.

Najwięcej energii pozyskiwane jest z elektrowni biogazowej. Wartość opałowa biogazu z osadów w Gdańsku wynosi 21,34 MJ/Nm³. Pozwala to uznać osady ściekowe za bardzo wydajne źródło energii. Ilość wytworzonej energii cieplnej (SPE i ITPO) jest znacznie wyższa niż potrzeby oczyszczalni. Produkcja energii elektrycznej netto w systemie SPE, po odjęciu energii zużytej przez instalację ITPO, zapewnia około 68% całkowitego zużycia energii w oczyszczalni ścieków.

Instalacja termicznej konwersji osadów ściekowych, która działa w Gdańsku, spełnia wymagania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego (IPPC DYREKTYWA 2008/1/WE) o zintegrowanym zapobieganiu zanieczyszczeniom i ich kontroli. Monospalarnia pozwala na wykorzystanie całej ilości wytworzonego osadu. Pomimo dużej zawartości wody w osadzie, co zmniejsza jego potencjał energetyczny, proces spalania nie wymaga dodatkowego paliwa (poza fazą rozruchu lub stanem utrzymywania gotowości). Obecnie nie ma alternatywy dla termicznego wykorzystania osadów ściekowych, zwłaszcza w dużych oczyszczalniach ścieków. Problem ostatecznego usuwania popiołów paleniskowych pozostaje jednak nierozwiązany. Jest to ważna kwestia w kontekście postulatu zarządzania zamkniętym cyklem, przyjętego w 2015 roku.

Słowa kluczowe:

osady ściekowe, biogaz, energia cieplna, energia elektryczna, skład pierwiastkowy, ciepło spalania, wartość opałowa

Keywords:

sewage sludge, biogas, heat, electricity, elemental composition, higher heating value (HHV), lower heating value (LHV)