

Arkadiusz OSTOJSKI  
Politechnika Gdańska

## **ANALIZA ELEMENTARNA I POTENCJAŁ ENERGETYCZNY OSADÓW ŚCIEKOWYCH Z OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W GDAŃSKU, ŁĘBORKU ORAZ SWARZEWIE**

W pracy przedstawiono wyniki analizy elementarnej osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni ścieków w województwie pomorskim. W artykule omówiono również wyniki pomiaru ciepła spalania oraz obliczone wartości opałowe według normy PN-93/Z-15008, uwzględniające zawartość wody i osadów na różnych etapach przeróbki w obu obiektach. Przedstawione wyniki uzyskano na podstawie próbek pobranych od sierpnia 2007 do listopada 2009 r. Prezentowane oczyszczalnie różnią się sposobem prowadzenia gospodarki osadowej – w Gdańsku na oczyszczalni „Wschód” osady przed odwodnieniem poddawane są fermentacji metanowej, w Łęborku osady stabilizowane są tlenowo. Swarzewo po odwodnieniu na prasie kompostuje osad. Zgola inna jest również wielkość obiektów – Gdańsk odprowadza do morza ok. 95000 m<sup>3</sup>/dobę, w Łęborku i Swarzewie przepływ ścieków jest ok. 13-14 razy mniejszy. Pomimo tych różnic, osady charakteryzowały się podobną procentową zawartością pierwiastków. Uzyskane wartości ciepła spalania osadów nadmiernych oraz po fermentacji i stabilizacji tlenowej również znajdowały się na zbliżonym poziomie.

### **1. Wprowadzenie**

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. W zależności od stanu skupienia rozróżnia się paliwo stałe, ciekłe i gazowe, a w zależności od pochodzenia – naturalne, sztuczne i odpadowe [9, 10].

Paliwa stałe charakteryzowane są przez wiele wskaźników, takich jak ciepło spalania [MJ/kg], wartość opałowa [MJ/kg], popielność [%], zawartość siarki [%]. Ciepło spalania to ilość ciepła wydzielona podczas całkowitego spalania

paliwa stałego w bombie kalorymetrycznej w atmosferze tlenu w odniesieniu do temperatury 25°C (według PN-81 G-04513 z 1981 r.). Wartość opałowa to ciepło spalania pomniejszone o ciepło parowania wody, wydzielonej podczas spalania z paliwa i powstałej z wodoru zawartego w paliwie [MJ/kg] (według PN-81 G-04513 z 1981 r.). Wartość opałowa to użyteczny efekt cieplny spalania [1]. Wskaźniki te opracowano głównie na potrzeby spalania węgla oraz jego przetworów.

Ciepło spalania i wartość opałowa paliwa zależą od jego składu chemicznego. Skład pierwiastkowy determinuje kaloryczność paliw. Znając wyniki analizy elementarnej (C, H, N, O, S), można wyznaczyć za pomocą odpowiednich wzorów ciepło spalania paliwa [2, 5].

## 2. Metodyka i wyniki

### Oczyszczalnia ścieków Gdańsk „Wschód”

Początki tej oczyszczalni sięgają lat 70., kiedy to funkcjonowało tylko oczyszczanie mechaniczne. Obecny wygląd oczyszczalni oraz możliwości wysoko efektywnego usuwania zanieczyszczeń organicznych, biogenicznych ze ścieków są wynikiem rozbudowy i modernizacji przeprowadzonej w latach 1997-2000. Gdańsk „Wschód” jest największą oczyszczalnią ścieków w województwie pomorskim, przyjmuje ścieki komunalne z Gdańska (od 2009 r. po wyłączeniu Oczyszczalni Ścieków Zaspą przyjmuje całość ścieków z miasta), Sopotu, Straszyna oraz sąsiadujących gmin: Pruszcza Gdańskiego, Kolbud, Żukowa.

Technologia oczyszczania obejmuje oczyszczenie mechaniczne, biologiczne i przeróbkę osadów. Dobowa przepustowość ścieków wynosi ok. 95000 m<sup>3</sup>/d, które po oczyszczeniu kierowane są rurociągiem o długości 2,5 km w głąb wód Zatoki Gdańskiej.

W skład układu mechanicznego oczyszczania wchodzi 4 kraty mechaniczne, 3 piaskowniki oraz 4 osadniki wstępne. Ścieki oczyszczone mechanicznie są następnie przepompowywane do komory rozdzielczej i dalej kierowane do jednego z sześciu równoległych ciągów oczyszczania biologicznego. Biologiczne oczyszczanie, w którym przebiegają zintegrowane procesy usuwania związków węgla, azotu oraz fosforu, oparte jest na reaktorach systemu MUCT (zmodyfikowanego UCT – *Modified University of Cape Town System*). Każdy z sześciu bioreaktorów składa się z pięciu komór (defosfatacji, denitryfikacji I i II stopnia, nitryfikacji oraz odtleniania), które zapewniają utrzymanie zróżnicowanych warunków tlenowych i hydraulicznych.

Z reaktorów biologicznych oczyszczone ścieki odprowadzane są do dwóch radialnych osadników wtórnych (łącznie jest ich 12), które pozwalają odseparować ze ścieków osad czynny. Dalej ścieki odpływają kanałem otwartym do ko-

ryta pomiarowego, a następnie zamkniętym kanałem do przepompowni i rurociągiem do Zatoki Gdańskiej. Ścieki oczyszczone trafiają do morza w odległości 2,5 km od brzegu, na głębokości ok. 14,5 m.

Zagęszczony grawitacyjnie osad z dolnej części osadników wtórnych jest częściowo recyrkulowany do pierwszej niedotlenionej komory reaktora biologicznego, a częściowo do mechanicznego zagęszczania osadu (prasy filtracyjne). Następnie trafia do komory mieszania i razem z osadem wstępnym do zamkniętych komór fermentacji (ZKF). Po beztlenowej fermentacji metanowej osad jest odwadniany mechanicznie na wirówkach sedymentacyjnych. Średnia dobową produkcja osadów wynosi ponad 31 Mg s.m.

### **Oczyszczalnia w Lęborku**

Oczyszczalnia w Lęborku wybudowana została w latach 80. jako oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna oparta na technologii wykorzystującej biooaksybloki. Nie spełniała ona obowiązujących norm oczyszczania ścieków wprowadzonych w 2000 r. w zakresie usuwania biogenów. Przystarzała technologia oraz konieczność zwiększenia przepustowości wymusiła przeprowadzenie modernizacji oczyszczalni, która zakończyła się w 2005 r. Obecna oczyszczalnia spełnia najbardziej surowe wymagania unijne dotyczące oczyszczania z nieczystości związków azotu i fosforu. Dziennie oczyszcza ponad 7000 m<sup>3</sup>/dobę ścieków (dopuszczalna przepustowość wynosi ok. 10000 m<sup>3</sup>/dobę). Do lęborskiej oczyszczalni podłączone są okoliczne miejscowości, np. Mosty i częściowo Nowa Wieś Lęborska. W przyszłości planowane jest podłączenie także gminy Cewice.

Ciąg oczyszczania rozpoczyna się kratami, następnie ścieki są przepompowywane przewodem Ø 600 do wieży rozdziału, która pełni rolę komory rozprężnej. Dalej ścieki spływają grawitacyjnie do dwukomorowego napowietrzanego piaskownika z separatorem tłuszczów. Następnie ścieki kierowane są do komory defosfatacji, w której mieszają się z osadem czynnym powrotnym, odpływającym z komory predenitryfikacji. Z komory defosfatacji mieszanina ścieków i osadu czynnego przepływa przez komorę rozdziału, dzielącą ją na trzy strugi zasilające reaktory biologiczne. Zbiornik reaktora podzielony został współśrodkowo na komorę nitryfikacji (tlenową) i komorę denitryfikacji (niedotlenioną). Oczyszczone w reaktorach ścieki spływają grawitacyjnie do osadników wtórnych poprzez kolejną komorę rozdziału, do której może być dawkowany PIX. Sklarowane w osadnikach ścieki odprowadzane są do rzeki Łeby kanałem odpływowym.

Gospodarka osadowa zakłada usuwanie osadu nadmiernego z reaktorów i kierowanie go do komory tlenowej stabilizacji, w której następuje mineralizacja substancji organicznej. Osad kierowany jest do stacji odwadniania i higienizacji. Z dodatkiem polimerów jest on odwadniany w wirówce, a następnie mieszany z wapnem, co zapewnia jego higienizację. Średnia dobową ilość produ-

kowanych osadów w 2008 r. wyniosła ok. 2,7 Mg s.m., które następnie trafiły na składowisko w Czarnówku.

### **Oczyszczalnia w Swarzewie**

Oczyszczalnię w Swarzewie oddano do eksploatacji w 1993 r. Przyjmuje ona ścieki doprowadzane kolektorem ściekowym z miejscowości Puck, Swarzewo, Gnieźdźewo, Osłonino, Władysławowo, Rzucewo, Bładzikowo, Chłapowo, Chałupy. Dodatkowo do oczyszczalni dowożone są ścieki wozami asenizacyjnymi z terenów nieskanalizowanych. Średni dobowy przepływ ścieków wynosi blisko 7000 m<sup>3</sup>/dobę, jednak oczyszczalnia charakteryzuje się dużą sezonową zmiennością przepływu. W sezonie letnim dobowe ilości ścieków wynoszą ok. 12000 m<sup>3</sup>/dobę, w pozostałych miesiącach w roku jest to ok. 5000 m<sup>3</sup>/dobę. Technologia oczyszczania składa się z trzech stopni oczyszczania: mechanicznego (sito i piaskownik), biologicznego i chemicznego.

Etap biologicznego oczyszczania, z wykorzystaniem osadu czynnego, prowadzony jest cyklicznie w sekwencyjnych reaktorach biologicznych (SBR). Zastosowany układ wymusza porcjowe oczyszczanie ścieków, w którym wyróżnia się następujące fazy:

- napełnianie reaktora ściekami surowymi,
- napowietrzanie podczas oczyszczania ścieków,
- sedymentację osadu, w której następuje rozdział osadu czynnego od wody nadosadowej,
- dekantację oczyszczonych ścieków z jednoczesną fazą spustu osadu nadmiernego,
- oczekiwanie reaktora przed napełnieniem.

Chemiczne oczyszczanie ścieków w Swarzewie realizowane jest na podstawie soli żelaznych dodawanych do bioreaktorów w celu usunięcia związków fosforu ze ścieków. Z SBR-ów ścieki oczyszczone pompowane są do trzech stawów połączonych szeregowo śluzami. Ich zadaniem jest doczyszczanie i renaturalizacja ścieków oczyszczonych. Ostatecznie ścieki oczyszczone odprowadzane są do Morza Bałtyckiego rurociągiem o długości 300 m.

Gospodarka osadowa na oczyszczalni związana jest z przeróbką osadu nadmiernego bioreaktorów, oczyszczalnia nie posiada osadnika wstępnego. Po części biologicznej oczyszczania osad nadmierny przepompowywany jest do zagęszczaczy grawitacyjnych. Następnie osad jest mieszany z polielektrolitem i poddawany odwadnianiu mechanicznemu w prasie filtracyjnej. Odwodnione mechanicznie osady są mieszane ze słomą, gałęziami oraz frakcją organiczną z odpadów komunalnych. Całość poddawana jest procesowi kompostowania, realizowanemu na wybetonowanym placu na terenie oczyszczalni. Również powstające skratki po oczyszczaniu mechanicznym są formowane w pryzmy i kompostowane.

### Analiza elementarna osadów

Przeprowadzone analizy w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi pozwoliły określić skład substancji organicznej (zawartość węgla, azotu, fosforu, siarki, tlenu oraz wodoru) osadów z Gdańska (40 serii), Lęborka (ponad 30 serii) oraz Swarzewa (10 serii). Oznaczenia wykonywano zgodnie z normą PN-G-04571 „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 mówi o metodzie makro, stosowano ją do oznaczeń w skali mikro.

Oznaczenia węgla, wodoru, azotu i siarki dokonywano z jednej naważki z wykorzystaniem automatycznego analizatora Vario MICRO Cube firmy Elementar Analysensysteme GmbH. Naważka w naczyniu z folii cynowej wpada do rury reakcyjnej ogrzanej do 1150° i w wyniku egzotermicznej reakcji jest spalana w atmosferze tlenu. Utworzone produkty spalania, po związaniu nadmiaru tlenu, w strumieniu helu przechodzą przez odpowiednie katalizatory i jako produkty spalania w postaci N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> są adsorbowane w specjalnej kolumnie, a następnie – zgodnie z programem – desorbowane w odpowiedniej temperaturze i kierowane do detektora przewodnictwa cieplnego (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) bądź detektora podczerwieni (SO<sub>2</sub>). Dla celów kalibracyjnych wykonywano analizy różnych ilości wzorców (sulfanilamid dla C, H, N, S i kwas benzoowy dla tlenu) w takich samych warunkach, jak analizy. Analizator jest sprzężony z komputerem, który zarówno steruje procesem spalania, jak również wylicza zawartości pierwiastków w analizowanej próbce. Oznaczenia wykonywano dla dwu próbek każdej z substancji.

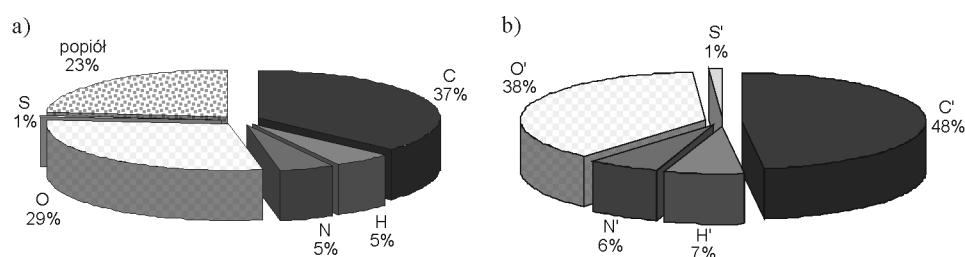
Standardy (w tym przypadku sulfanilamid) umieszcza się co kilkanaście próbek (do 20). Program oblicza tzw. dzienny współczynnik korekcji na podstawie wcześniej wyznaczonej krzywej kalibracyjnej dla każdego z oznaczanych pierwiastków. Analiza jest poprawna, jeśli dzienny współczynnik korekcji zawiera 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. Nie ma możliwości graficznej prezentacji krzywej kalibracyjnej.

Oznaczenia tlenu wykonywano za pomocą automatycznego analizatora EA1108 firmy Carlo Erba. Naważkę ważono w pojemniku wykonanym ze srebrnej folii i wpuszczano do wnętrza pieca grzanego do 1070°C, gdzie próbka uległa pirolizie. Ilościowa przemiana tlenu do tlenku węgla przebiegała w warstwie węgla pokrytego niklem. Gazy kierowane były do kolumny chromatograficznej, a następnie do detektora przewodnictwa cieplnego. Za pomocą programu Eager 200 uzyskano zarówno krzywą kalibracyjną, jak i wyniki analiz. Jak poprzednio, oznaczenia wykonywano dla dwu naważek każdej z substancji.

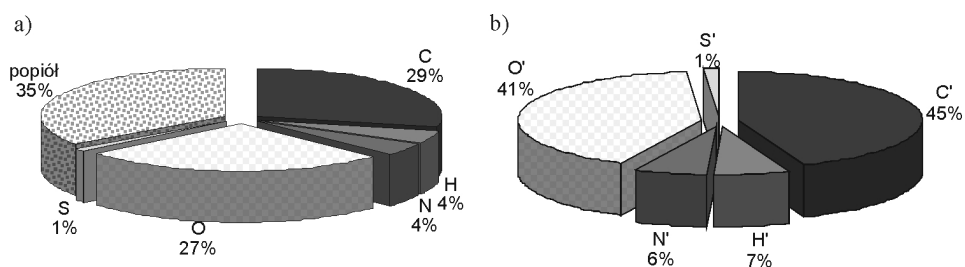
W trakcie oznaczania tlenu co 5, 6 próbka była próbką substancji wzorcowej i stanowiła kontrolę poprawności wykonywanych oznaczeń, a w przypadku analiz C, H, N, S sulfanilamid (jako próbka) był umieszczany co kilkanaście oznaczanych próbek.

## Wyniki

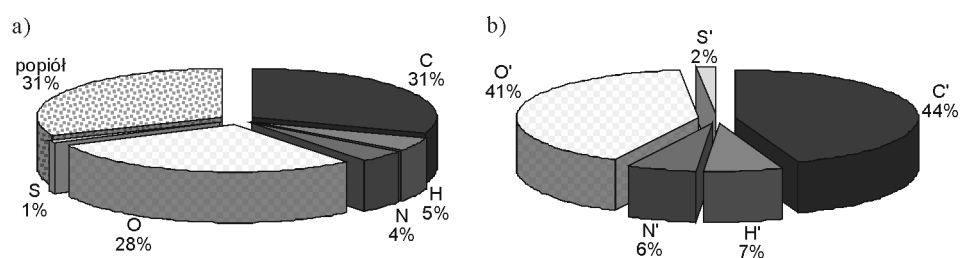
Analizując uzyskane wyniki, można zaobserwować wyraźne różnice w składzie osadów z oczyszczalni w Gdańsku, Lęborku oraz Swarzewie. Dla suchej masy osadów po części biologicznej analiza elementarna wykazała zawartość popiołu 23-29%, C – 30-37%, H – 5%, N – 5%, O – 29-30%, S – 1%.



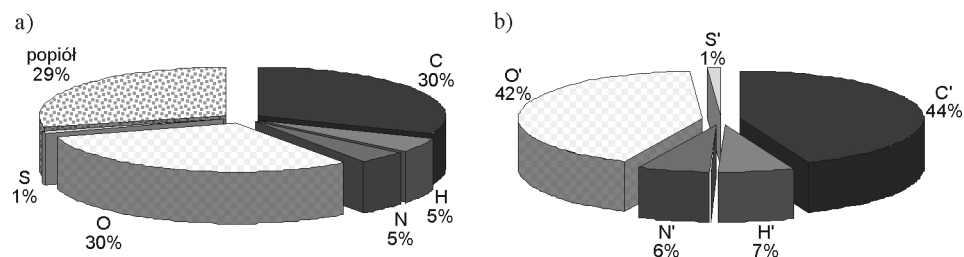
Rys. 1. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach przed fermentacją w Gdańsku: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



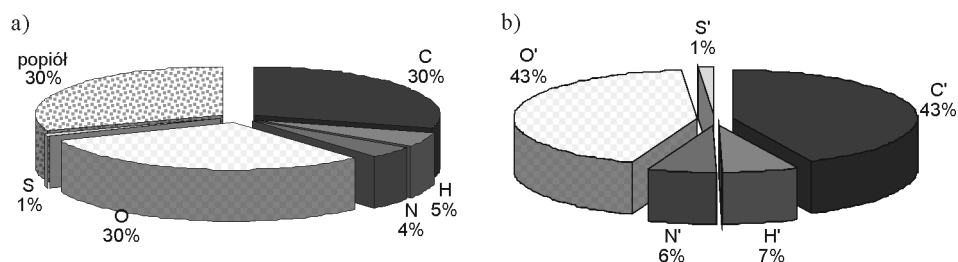
Rys. 2. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach przefermentowanych w Gdańsku: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



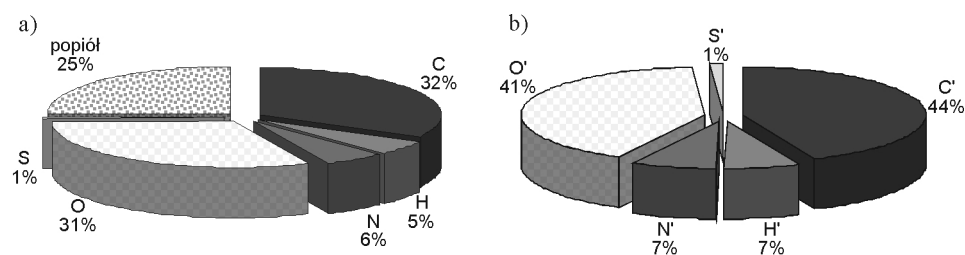
Rys. 3. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach odwodnionych na wirówkach w Gdańsku: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



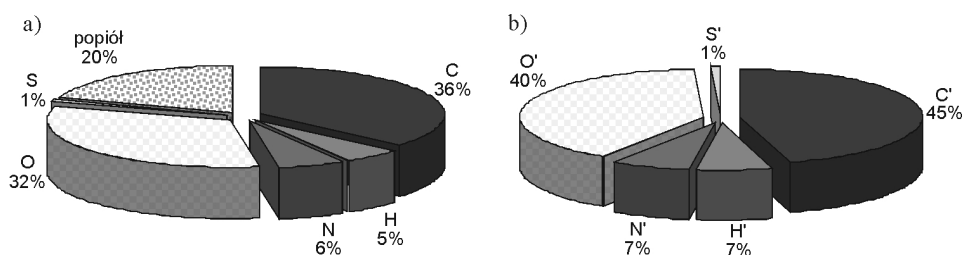
Rys. 4. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach kierowanych do komory stabilizacji tlenowej w Łęborku: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



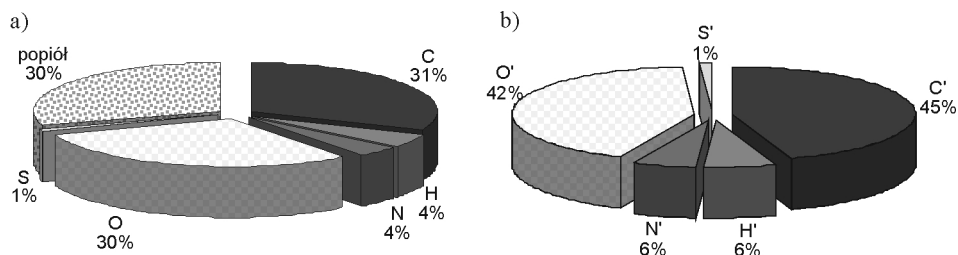
Rys. 5. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach po stabilizacji tlenowej w Łęborku: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



Rys. 6. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach po wirówce w Łęborku: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



Rys. 7. Średnia zawartość C, H, N, O, S w osadach po prasie w Swarzewie: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej



Rys. 8. Średnia zawartość C, H, N, O, S w kompostowanych osadach w Swarzewie: a) w suchej masie osadów, b) w suchej masie organicznej

W przeliczeniu na suchą masę organiczną wartości te przedstawiają się następująco: C' – 44-48%, H' – 7%, N' – 6%, O' – 38-42%, S' – 1% (rys. 1-8.). Wyższe wartości węgla zaobserwowano w Gdańsku, wyższe zaś pozostałe parametry charakterystyczne są dla Łęborka. Osady w kolejnym etapie przeróbki, czyli po fermentacji w Gdańsku oraz stabilizacji tlenowej w Łęborku, wykazują wyższą mineralizację osadów z Gdańska – 35% popiołu w s.m. (Łębork 30%). Zawartość węgla jest na zbliżonym poziomie, natomiast osady z Łęborka mają minimalnie wyższą zawartość tlenu, co wprost wynika ze stosowanej technologii. Finalnie skład suchej masy organicznej odwodnionych osadów wszystkich trzech oczyszczalni nie wykazuje różnic: C – 45%, H – 7%, N – 7%, O – 41%, S – 1%. Sucha masa osadów ze Swarzewa wykazuje zaledwie 20% mineralizację, Gdańsk – 31% popiołu, a Łębork – 25% popiołu. Przeciętna substancja organiczna osadu zmieszanego (60% osad wstępny, 40% osad nadmierny) z niemieckich aglomeracji miejskich [8] składa się z: C – 50%, O – 38%, H – 7%, N – 4%, S – 1%, Cl ≤ 0,2%, F ≤ 0,01%. Porównując wyniki uzyskane w Gdańsku, Łęborku oraz Swarzewie z danymi literaturowymi, zauważa się niższą zawartość węgla (45%) oraz wyższą zawartość tlenu (41%), jednak różnice te są niewielkie. Większą różnicę w zawartości węgla można zauważyć, 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% [7].

### Ciepło spalania i wartość opałowa osadów ściekowych

Oznaczenia potencjału energetycznego osadów ściekowych z oczyszczalni województwa pomorskiego wykonano za pomocą kalorymetru automatycznego KL-10, produkcji PPHU Precyzja z Bydgoszczy. Urządzenie przeznaczone jest do pomiaru ciepła spalania paliw stałych, takich jak torf, węgiel kamienny, węgiel brunatny, brykiety węgla kamiennego, brykiety węgla brunatnego, koks, półkoks, oraz niewybuchowych palnych substancji organicznych. Pomiar polega na całkowitym spalaniu próbki paliwa w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w łaźni wodnej i na pomiarze przyrostu



temperatury wody w łaźni. Ciepło spalania paliwa obliczane jest w sposób automatyczny i przedstawiane na cyfrowym wyświetlaczu kalorymetru.

Bomba kalorymetryczna wykonana jest ze stali kwasoodpornej. Zamknięcie następuje za pomocą pierścieniowej zakrętki samouszczelniającej. Odpowiednie rozwiązanie zamknięcia bomby pozwala na dokręcenie zakrętki ręką bez użycia klucza. Samouszczelnienie bomby następuje pod wpływem ciśnienia wewnętrznego. W głowicy bomby kalorymetrycznej znajdują się dwa zawory samoczynne zwrotne – wlotowy i wylotowy, oraz elektroda.

Naczynie kalorymetryczne umieszczone jest w płaszczu kalorymetru na podstawie izolującej. Pojemność naczynia kalorymetrycznego wynosi ok. 4 dm<sup>3</sup>. Zadaniem płaszcza kalorymetrycznego (termostatu wodnego) jest ochrona naczynia kalorymetrycznego przed zewnętrznymi wpływami cieplnymi. Pojemność płaszcza kalorymetrycznego wynosi ok. 16 dm<sup>3</sup>. Kalorymetr działa na zasadzie pomiaru charakterystycznych wartości temperatury bilansu cieplnego, które to przetworzone na wartość cyfrową przechowywane są w pamięci układu. Pomiar przyrostu temperatury dokonywany jest za pomocą czujnika termistorowego. Po dokonaniu rejestracji wszystkich parametrów niezbędnych do wyznaczenia ciepła spalania kalorymetr dokonuje w sposób automatyczny obliczenia bilansu cieplnego.

## Wyniki

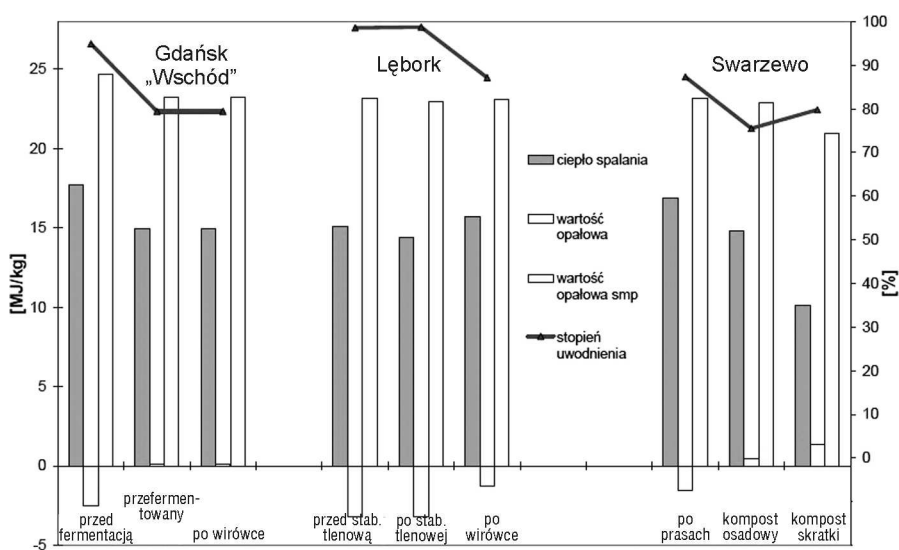
W odniesieniu do odpadów (osadów) w kraju brak jest jednoznacznie sprecyzowanych kryteriów, podczas gdy zgodnie z przyjętą wcześniej definicją za paliwo można uznać praktycznie każdą substancję cechującą się zdolnością spalania [2, 4]. Wartość opałowa samej suchej masy palnej osadów ściekowych z analizowanych oczyszczalni wynosiła 21-24,5 MJ/kg i jest prawie taka sama, jak ciepło spalania węgla kamiennego. Jednak wartość opałowa osadów ściekowych, czyli użyteczny efekt cieplny, zależy od udziału procentowego palnych składników w osadzie i od ich składu chemicznego oraz wilgotności. Wysoka zawartość wody w osadzie w analizowanych próbkach – 80% i więcej powoduje, że wartość opałowa jest bliska 0.

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; po odjęciu energii potrzebnej na odparowanie wody wartość opałowa osadów spada do ok. 9 MJ/kg. Wartość opałowa osadu przefermentowanego jest niższa od osadu świeżego nieprzefermentowanego o ok. 2 MJ/kg [6]. 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 zrębków drzewnych. Źródła austriackie podają, że osad ściekowy zawierający 50% substancji orga-

nicznej 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 [6].

Uzyskane w wyniku badań laboratoryjnych wartości ciepła spalania osadów (rys. 9.) kształtowały się na poziomie 15-18 MJ/kg, a zmienność tego parametru odpowiadała zastosowanym procesom przeróbki. Fermentacja metanowa w Gdańsku spowodowała obniżenie ciepła spalania o ok. 3 MJ/kg, w porównaniu z osadami nieprzefermentowanymi – 18 MJ/kg, a stabilizacja tlenowa w Łęborku jedynie o 1 MJ/kg.

Uzyskane wartości ciepła spalania zgodne są z przedstawionymi danymi literaturowymi, chociaż procesy fermentacji i stabilizacji mogłyby przebiegać bardziej efektywnie i jeszcze bardziej obniżać wartość ciepła spalania. W przypadku Gdańska możliwe byłoby uzyskanie większej ilości biogazu. Aby jednak takie działanie było celowe, musiałoby również się wiązać z jego zagospodarowaniem. W Łęborku wyższy stopień stabilizacji mógłby jedynie spowodować lepsze jego odwadnianie. Należy też zaznaczyć, że ciepło spalania osadów przed stabilizacją tlenową w Łęborku jest niższe w porównaniu z nieprzefermentowanymi osadami z Gdańska i Swarzewa.



Rys. 9. Średnie ciepło spalania, wartość opałowa, uwodnienie osadów oraz wartość opałowa suchej masy palnej w Gdańsku, Łęborku oraz Swarzewie

### 3. Wnioski

1. Odnosząc uzyskane wyniki analizy elementarnej osadów do danych literaturowych, zauważa się niższą zawartość węgla, co może być wynikiem wyższej mineralizacji, zarówno w procesie fermentacji, jak i stabilizacji tlenowej, lub tylko cechą indywidualną tych oczyszczalni.
2. Osady są dobrym nośnikiem energii. Średnie ciepło spalania osadów wynosiło 15 MJ/kg dla osadów przefermentowanych z Gdańska. Osady z oczyszczalni w Łęborku po stabilizacji tlenowej uzyskują podobne ciepło spalania – 14,6 MJ/kg. Mają one jednak wyższe uwodnienie i niższą wartość opałową. Osady ze Swarzewa po odwodnieniu na prasie miały również ciepło spalania na poziomie 15 MJ/kg.
3. Analizując całościowy bilans energetyczny gospodarki osadowej w Gdańsku, możliwe wydaje się uzyskanie większej ilości biogazu w procesie fermentacji. Obniżyłoby to oczywiście ciepło spalania, ale z zastosowaniem agregatów prądotwórczych pozwoliłoby wytworzyć energię elektryczną.

### Literatura

1. Grabowski Z., Oleszkiewicz J.: Spalanie osadów, mat. Międzynarodowego Seminarium Szkoleniowego „Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów”, Wydaw. LEM, Kraków 1998.
2. Kowalik P.: Polskie doświadczenia dotyczące termicznej utylizacji i energetycznego wykorzystania osadów ściekowych, mat. V Konferencji Naukowo-Technicznej „Gospodarka odpadami komunalnymi”, Koszalin–Kołobrzeg maj 1997.
3. Kowalik P.: Technologia termicznej utylizacji osadów ściekowych, mat. Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowe technologie w uzdatnianiu wody, oczyszczaniu ścieków i gospodarce osadowej”, pod red. J.B. Bienia, Częstochowa–Ustroń luty 1997, s. 187-194.
4. Kowalik P., Ostojki A., Cytawa S.: Efekty pracy urządzeń grzewczych wykorzystujących osady ściekowe jako paliwo w budynku biurowo-administracyjnym w oczyszczalni ścieków w Swarzewie, Ciepłownictwo w Polsce i na Świecie, nr 11/12, 2000, s. 204-206.
5. Ostojki A., Kowalik P.: Ciepło spalania i wartość opałowa osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków w Gdyni Dębogórze oraz Swarzewie, II Międzynarodowa i XIII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna. „Nowe spojrzenie na osady ściekowe. Odnawialne źródła energii”, cz. 2, Częstochowa 3-5 lutego 2003, s. 432-445.
6. Schubering A.: Kompleksowe rozwiązanie problemu odwadniania szlamu aż do uzyskania suchego granulatu, Sympozjum Naukowo-Techniczne „Nowoczesne Technologie Ochrony Środowiska z Austrii”, Warszawa (praca niepublikowana).
7. Simonsen N., Bisgaard C., Nielsen B.: Characterisation of sludge as fuel and improved sludge incineration system, 10<sup>th</sup> EWPCA Symposium „Sludge treatment and reuse” IFAT '96, Krueger A/S Technical Division, Denmark, Munich (manuscript).

8. Sükriü S.: Termiczne unieszkodliwianie osadów. Korrespondenz Abwasser 1998 (45), nr 10, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, marzec 1999, załącznik 1-8.
9. Wandrasz J.W.: Energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych i osadów ściekowych, IV Konferencja „Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska”, Szczyrk 7-9 października 1996, t. I, ODKT RS NOT, Warszawa 1996, s. 97-108.
10. Wandrasz J.W., Wandrasz A.J.: Paliwa formowalne. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych, Wydaw. Seidel-Przywecki, Warszawa 2006.

*Publikacja przedstawia wyniki uzyskane w ramach projektu badawczego nr PL0085 pt. „Nowe metody redukcji emisji zanieczyszczeń i wykorzystania produktów ubocznych oczyszczalni ścieków”, który uzyskał wsparcie udzielone przez Islandię, Liechtenstein, Norwegię ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz dofinansowanie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*



## **ELEMENTARY ANALYSIS AND ANERGETIC POTENTIAL OF THE WASTEWATER SLUDGES FROM THE GDANSK, LEBORK AND SWARZEWO WASTEWATER TREATMENT PLANTS**

### **Abstract**

The paper aims to show the results of the elementary analysis of the sewage sludges from wastewater treatment plants in Gdansk, Leborg and Swarzewo as well as measurements of the heat of combustion and the calculated calorific values according to regulation PN-93/Z-15008, taking into account water content and the composition of sewage sludge at different utilization stages. The results presented in this paper are based on the analysis of the samples collected between August 2007 and November 2009. The wastewater treatment plants differ as far as sludge treatment and capacity are concerned. In Gdansk, the sludge undergoes methane digestion before dewatering, whereas in Leborg, the sludge is stabilized aerobically. In Swarzewo after dewatering sludge are composted. The Gdansk plant discharges 95000 m<sup>3</sup> per day to the sea, the Leborg and Swarzewo plant's capacity is thirteen - fourteen times smaller. In spite of these differences, all sludges were characterized by a similar percentage of elements. The values of the heat of combustion of excessive sludges and of those after digestion and aerobic stabilization were comparable.

*Złożono w Oficynie Wydawniczej w lipcu 2011 r.*