



## Sewage sludge co-combustion in coal-fired boilers

Krzysztof SŁOWIK<sup>1</sup>, Sławomir STELMACH<sup>2</sup>, Ryszard WASIELEWSKI<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa, 41-803 Zabrze, tel.: 32-27-10-041,  
fax: 32-27-10-809, e-mail: sstel@ichpw.zabrze.pl

### Abstract

The recovery of energy through municipal sewage sludge co-combustion with coal in existing power facilities may be one of the rational, low-cost ways of their using. Co-combustion of sewage sludge is currently being conducted in many power plants in Western Europe. At present there is no co-combustion of sewage sludge with coal in power boilers in Poland, which results mainly from the law. Based on the experience of other countries and the preliminary tests carried out in Poland it could be stated that co-combustion of sewage sludge with coal does not cause any significant problems. The publication presents the major issues concerning sewage sludge co-combustion in power production sector, referring both to technical, as well as formal and legal issues.

**Keywords:** co-combustion, coal-fired boilers, sewage sludge

### Streszczenie

#### Współspalanie osadów ściekowych w kotłach węglowych

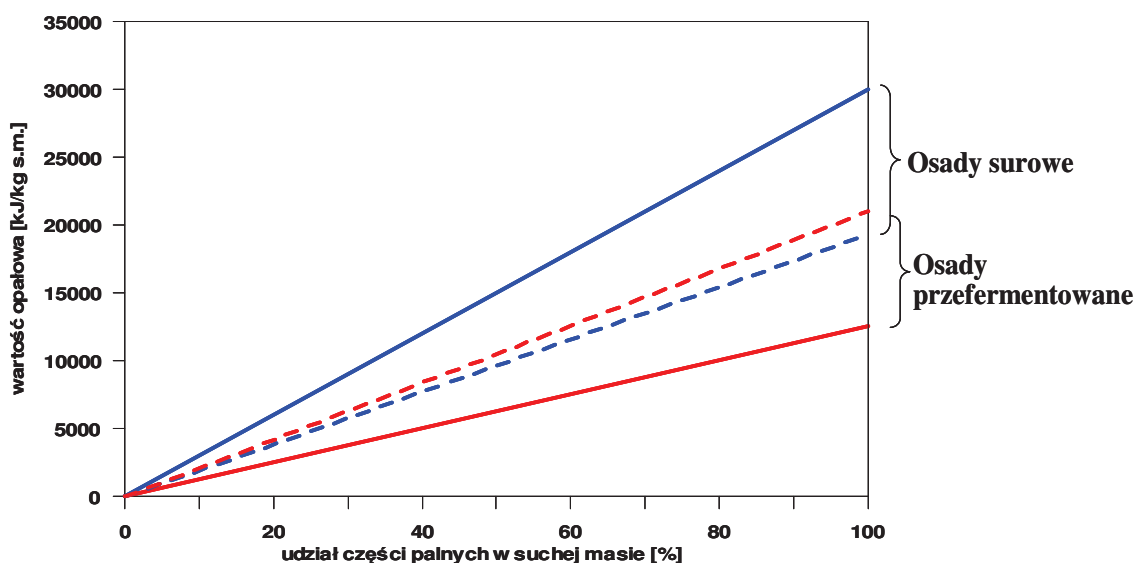
Jednym z racjonalnych, niskonakładowych sposobów wykorzystania komunalnych osadów ściekowych może być odzysk energii na drodze ich współspalania z węglem w istniejących obiektach energetycznych. Współspalanie osadów ściekowych prowadzone jest obecnie w wielu elektrowniach w krajach Europy Zachodniej. W Polsce jak dotychczas nie współspala się osadów ściekowych w kotłach energetycznych, co wynika przede wszystkim z obowiązującego prawa, gdyż w oparciu o doświadczenia innych państw oraz wstępne próby przeprowadzane w kraju można stwierdzić, że od strony technicznej współspalanie nie stwarza istotnych problemów. W publikacji przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące współspalania osadów ściekowych w energetyce, odnosząc się zarówno do kwestii technicznych, jak i formalno-prawnych.

**Słowa kluczowe:** współspalanie, kotły węglowe, osady ściekowe.

### 1. Wstęp

Zagospodarowanie osadów ściekowych jest jednym z najpoważniejszych problemów ekologicznych w kraju, ponieważ możliwości związane z rolniczym wykorzystaniem tych odpadów oraz ich składowaniem są coraz bardziej ograniczone. Dlatego coraz częściej rozważa się możliwość ich energetycznego wykorzystania, co w świetle aktualnych problemów związanych z gospodarką osadami ściekowymi, wydaje się rozwiązaniem jak najbardziej racjonalnym. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami [1] przewiduje, że w roku 2022 w Polsce będzie wytwarzane około 750tys. Mg s. m. komunalnych osadów ściekowych, zatem ich termiczne unieszkodliwianie staje się oczywistą koniecznością.

Wartość opałowa osadów ściekowych - ze względu na bardzo dużą zawartość wody - jest niestety niska, a jednocześnie zmienna w czasie [2]. Na rysunku 1 przedstawiono dane firmy Lurgi dotyczące wartości opałowej suchych osadów ściekowych przy zmiennym udziale frakcji palnej. Przykładowo, dla 50%-ej zawartości części palnych w suchym osadzie surowym, wartość opałowa suchego osadu może zawierać się w przedziale ~9÷15 tys. kJ/kg s. m. Z powodu wysokiej zawartości wody w osadach odwodnionych mechanicznie przed spaleniem podsusza się je zwykle dla obniżenia zawartości wilgoci. Suszenie osadów ściekowych pozwala na znaczną redukcję ich objętości oraz uzyskanie produktu o zdecydowanie lepszych parametrach użytkowych w porównaniu do materiału wyjściowego.



Rys. 1.1. Zależność wartości opałowej suchych osadów ściekowych od udziału części palnych w suchej masie osadów.

Energię chemiczną osadów ściekowych można odzyskać na drodze ich termicznego przekształcania w procesach spalania, pirolizy lub zgazowania, przy czym jako surowiec stosować można osady ściekowe świeże lub przefermentowane, zarówno bez, jak i z ich wstępną przeróbką (zwykle suszeniem). Celem wstępnej przeróbki osadów jest w tym wypadku poprawa ich własności paliwowych i dostosowanie ich formy fizycznej do możliwości technicznych urządzeń/installacji, w których odzysk energii będzie realizowany.

Jedną z racjonalnych, niskonakładowych alternatyw wykorzystania komunalnych osadów ściekowych jest odzysk energii na drodze ich współspalania z węglem w istniejących obiektach energetycznych. Współspalanie osadów ściekowych prowadzone jest w krajach Europy Zachodniej w wielu elektrowniach – przede wszystkim w Niemczech, ale również na terenie Belgii, Holandii, czy Austrii [3, 4]. Wśród niemieckich elektrowni współpalających osady ściekowe z węglem można wymienić np. elektrownie zlokalizowane w miejscowościach Duisburg, Heilbronn i Weiher (węgiel kamienny) oraz Berrenrath, Boxberg i Lippendorf (węgiel brunatny) [5, 6]. Ogółem w Niemczech współspalanie osadów w energetyce prowadzone jest w osiemnastu elektrowniach opalanych węglem kamiennym i ośmiu – węglem brunatnym [6]. Udział masowy osadów ściekowych w spalanej mieszance węgiel-osady z reguły nie przekracza 10%. Analizując dostępne dane eksploatacyjno- ruchowe w zakresie parametrów energetycznych i emisyjnych można stwierdzić, że nie odnotowano w tych obiektach istotnych odchyłań w funkcjonowaniu instalacji kotłowych w porównaniu do ich eksploatacji z wykorzystaniem samego węgla. Zauważono nieznaczny wzrost wskaźników emisji niektórych substancji gazowych oraz wzrost zawartości metali ciężkich w popiołach lotnych.

W Polsce jak dotychczas nie współspala się osadów ściekowych w kotłach energetycznych, chociaż podejmowane są wstępne próby mające pozwolić na dokonanie technicznej oceny takiego rozwiązania. Jedną z nich były testy współspalania osadów ściekowych z węglem kamiennym przeprowadzone przez pracowników IChPW w Elektrociepłowni Wybrzeże SA w Gdańsku [7].

## 2. Podstawowe wymagania techniczne przy współspalaniu osadów ściekowych.

Najważniejsze wymagania techniczne konieczne do dotrzymania przy współspalaniu z węglem osadów ściekowych, wynikają z obowiązujących przy takiej działalności aktów prawnych. Proces współspalania ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych z węglem kamiennym jest procesem przekształcania termicznego odpadów, a instalacja przemysłowa, w której proces ten zachodzi jest instalacją współspalania odpadów, co rodzi określone konsekwencje prawne. Współspalanie osadów ściekowych musi być prowadzone zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów [8]. Oznacza to, że proces współspalania odpadów powinien być prowadzony w taki sposób, aby temperatura gazów powstających w wyniku spalania, zmierzona w pobliżu wewnętrznej ściany lub w innym reprezentatywnym punkcie komory

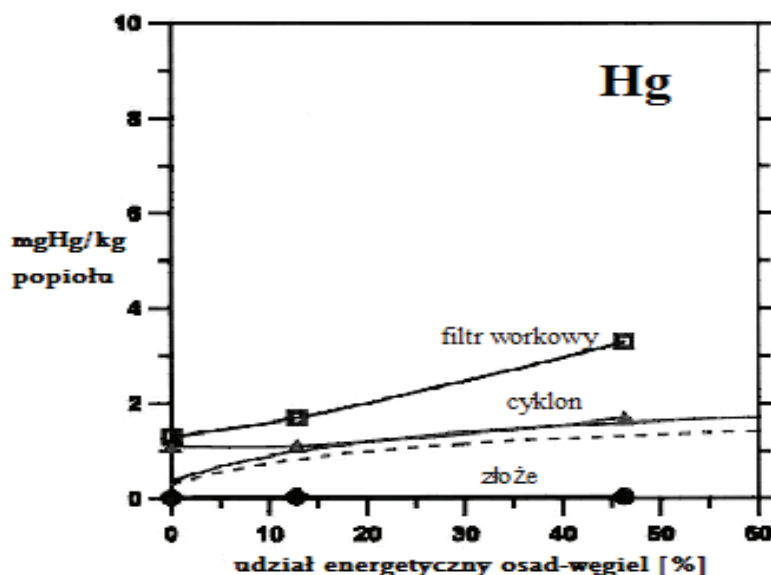
spalania lub dopalania, wynikającym ze specyfikacji technicznej instalacji, po ostatnim doprowadzeniu powietrza, nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach, utrzymywana była przez co najmniej 2 sekundy na poziomie nie niższym niż  $850^{\circ}\text{C}$  - dla odpadów zawierających poniżej 1% związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor (zawartość chloru w komunalnych osadach ściekowych jest niższa niż 1%, wobec tego warunek utrzymania spalin w temperaturze  $>1100^{\circ}\text{C}$  przez co najmniej 2 sekundy, współspalania osadów ściekowych nie dotyczy).

Całkowita zawartość węgla organicznego w żużlach i popiołach paleniskowych nie powinna przekraczać 3% lub udział części palnych w żużlach i popiołach paleniskowych nie powinien przekraczać 5%. Ponadto instalacja współspalania musi być wyposażona w automatyczny system podawania odpadów pozwalający na zatrzymanie ich dozowania podczas:

- rozruchu - do czasu osiągnięcia wymaganej temperatury,
- procesu - w razie nieosiągnięcia wymaganej temperatury lub przekroczenia dopuszczalnych wartości emisji.

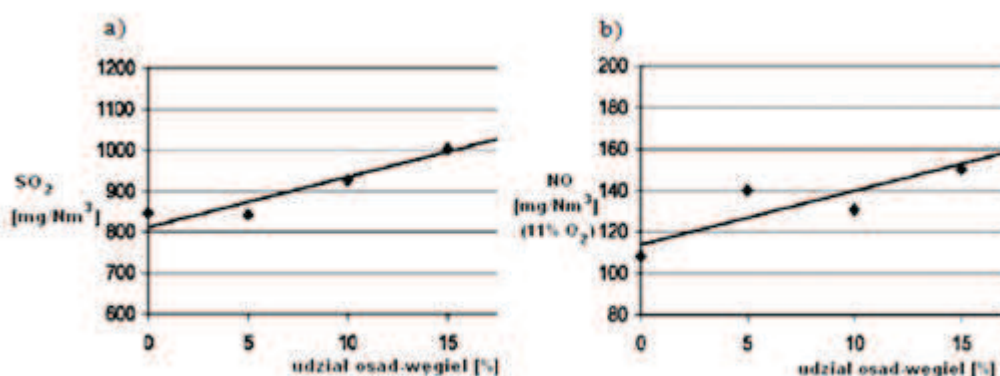
Instalacja powinna posiadać ponadto układ ciągłego pomiaru temperatury, zawartości tlenu oraz ciśnienia gazów spalinowych w komorze spalania lub komorze dopalania.

Na podmiocie współspalającym osady ściekowe z węglem spoczywa obowiązek prowadzenia pomiarów emisji zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody [9]. Zakres i metodyki referencyjne wykonywania ciągłych i okresowych pomiarów emisji do powietrza z instalacji współspalania odpadów zawiera załącznik nr 3 do tego rozporządzenia. Zgodnie z nim ciągle pomiary emisji przy współspalaniu odpadów, a więc i osadów ściekowych, (dotyczy instalacji spalania paliw o łącznej nominalnej mocy cieplnej nie mniejszej niż 100MW) powinny obejmować: pył ogółem,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  (w przeliczeniu na  $\text{NO}_2$ ), CO, HCl, substancje organiczne w postaci gazów i par wyrażone jako całkowity węgiel organiczny, HF,  $\text{O}_2$ , a ponadto prędkość przepływu lub ciśnienie dynamiczne spalin, ich temperaturę, ciśnienie statyczne lub bezwzględne oraz wilgotność bezwzględną lub stopień zawilżenia. Pomiary okresowe powinny obejmować emisję Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, As, Cd, Hg, Tl, Sb, V, Co oraz dioksyny i furany. Dla przykładu, na rysunku 2.1. zaprezentowano, jak może zmieniać się zawartość rtęci w popiele przy współspalaniu osadów ściekowych wraz z rosnącym udziałem osadów w mieszance paliwowej [10].



Rys. 2.1. Zmiany zawartości rtęci w popiele przy zmiennym udziale energetycznym osadów ściekowych w mieszance paliwowej [10]

Ważną rolę, z punktu widzenia podmiotów prowadzących instalacje współspalania odpadów, odgrywa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji [11]. W rozporządzeniu tym, w rozdziale 3, §16 ustęp 2 zapisano, że jeżeli w instalacji wraz z paliwami spalane są odpady inne niż niebezpieczne w ilości nie większej niż 1% masy tych paliw, to do instalacji tej nie stosuje się przepisów dotyczących niniejszego rozdziału. Oznacza to w praktyce konieczność stosowania dla takich instalacji dotychczas stosowanych standardów emisyjnych dla paliw, jakie w niej spalano. W przypadku przekroczenia 1% masowego udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej, obowiązują znacznie ostrzejsze standardy emisyjne, wyznaczone według tzw. „reguły mieszania” opisanej w załączniku nr 6 do powyższego rozporządzenia. Standardy emisyjne wyznaczone według załącznika nr 6 są trudne do dotrzymania dla wielu istniejących instalacji energetycznych. Jednocześnie zapis dotyczący współspalania odpadów w ilości do 1% udziału absolutnie nie zwalnia z obowiązku zachowania innych przepisów, w tym szczególnie dotyczących czasu przebywania spalin w określonej temperaturze i zawartości części palnych w popiele. Przykładowe dane odnośnie tego, jak współspalanie osadów z węglem może wpływać na wzrost emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  prezentują rysunki 2.2a i 2.2b [2].



Rysunek 2.2. Wzrost emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}$  w funkcji udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej z węglem [2].

Podmiot podejmujący współspalanie osadów ściekowych - obok wymagań emisyjnych i wymagań procesowych - musi się liczyć z wieloma uwarunkowaniami eksploatacyjnymi, wśród których najważniejszymi są szlakowanie powierzchni ogrzewalnych kotła oraz zmiana charakterystyki popiołów, które często stanowią produkt sprzedażny. Biorąc pod uwagę, że zawartość frakcji mineralnej w osadach jest zdecydowanie większa niż w paliwie węglowym, udział popiołów z osadów może mieć istotny wpływ na ilość oraz ogólny skład popiołów ze spalania mieszanki paliwowej węgiel-osady komunalne [12, 13]. Tabela 1 prezentuje zmiany ilości popiołu wydzielanego w cyklonie i filtrze podczas współspalania osadów z węglem przy rosnącym udziale osadów ściekowych w mieszance paliwowej [4].

Tabela 2.1. Zmiany ilości popiołu dla różnych udziałów energetycznych osadów ściekowych w paliwowej mieszance z węglem.

Udział energetyczny (węgiel/osad ściekowy)	Popiół w cyklonie, kg/h	Popiół w filtrze, kg/h	Suma
100/0	0,7	0,05	0,75
85/15	4,6	0,3	4,9
75/25	5,8	0,4	6,2

Zasadniczy wpływ na zachowanie się substancji mineralnej przy spalaniu osadów ściekowych mają metale alkaliczne - Na, K, Ca oraz niemetal - chlor, siarka i fosfor. Sód i potas w wysokich temperaturach spalania odparowują, a w wyższych partiach kotła pyłowego wchodzi w reakcję z innymi składnikami spalin (proces ten przebiega nieco inaczej w złożu fluidalnym), tworząc związki niskotopliwe, które osadzają się na powierzchniach przegrzewaczy. Rodzaj osadów, ich kształt i grubość zależą w dużej mierze od stosunku S/C1

w paliwie. Proces tworzenia się osadów w obecności siarczanów, a zwłaszcza związków chloru, znacznie przyspiesza korozję wysokotemperaturową.

W przypadku podjęcia współspalania osadów ściekowych z węglem należy liczyć się ze zmianą składu chemicznego i wielkości strumienia spalin, a w konsekwencji ze zmianą ich właściwości radiacyjnych (takich jak emisyjność, czy absorpcyjność) oraz zmianą prędkości i lepkości, co ma bezpośredni wpływ na intensywność konwekcyjnej wymiany ciepła. Zmiana ilości i właściwości cząstek stałych unoszonych przez spaliny spowodowana współspalaniem również powoduje zmianę emisyjności spalin, a ponadto zmianę intensywności zanieczyszczania popiołem powierzchni ogrzewalnych. Spalanie paliw o innej niż projektowa charakterystyce może powodować istotne zmiany charakteru i rozmiarów zanieczyszczeń powierzchni ogrzewalnych, co z kolei silnie oddziałuje na ilość ciepła przejętego przez poszczególne powierzchnie. W efekcie następuje zmiana rozkładów temperatur spalin i czynników ogrzewanych w kotle, mogąca spowodować wzrost wymaganych strumieni wody wtryskowej lub niedotrzymanie nominalnych temperatur czynników oraz zmiany temperatury materiału w poszczególnych elementach kotła.

Alkalia zawarte w paliwie mogą potęgować tworzenie się osadów i korozję powierzchni ogrzewalnych kotła. Powstające osady zmniejszają skuteczność wymiany ciepła, a związana z nimi korozja może spowodować uszkodzenie przegrzewaczy pary, prowadząc do awarii i nieplanowanych przestojów. Sole metali alkalicznych zawarte w popiele lotnym są szczególnie uciążliwe, gdyż powodują zmniejszenie temperatury topnienia popiołu i zwiększenie jego „lepkości”, co powoduje nasilenie się powstawania osadów. Wysokie szybkości korozji wiążą się zaś z występowaniem ciekłych składników na powierzchni rur. Stąd pojawienie się zużłowania (lub jego intensyfikacja w porównaniu do stanu sprzed współspalania) niesie ze sobą ryzyko uszkodzeń ekranów kotła.

Skład chemiczny popiołów z osadów ściekowych pochodzenia komunalnego każe stwierdzić, że spalanie lub współspalanie osadów ściekowych wiąże się zwykle z wystąpieniem (bądź nasileniem) procesów zużłowania i zanieczyszczania powierzchni ogrzewalnych kotła. W celu wstępnej oceny możliwości wystąpienia tych zjawisk niezbędne jest zbadanie charakterystyki popiołu z konkretnych osadów, zarówno pod kątem składu chemicznego (tlenkowego), jak i charakterystycznych temperatur topliwości. Trzeba jednak pamiętać o tym, że dopiero testy ruchowe spalania bądź współspalania osadów ściekowych przeprowadzone na konkretnym obiekcie energetycznym, są w stanie dać wiarygodną odpowiedź w kwestii możliwości wystąpienia oraz poziomu nasilenia tych niekorzystnych zjawisk.

### 3. Osady ściekowe jako biomasa

Możliwość potraktowania osadów ściekowych jako biomasy, ma niezwykle istotne znaczenie dla popularyzacji termicznych metod ich zagospodarowania, w tym również współspalania. Przedstawione w tablicy 3.1. dane wyraźnie wykazują, że osady ściekowe są materiałem biodegradowalnym, a w świetle analizy przytoczonych poniżej aktów prawnych mogą być również uważane za biomasę.

Tabela 3.1. Zmiany składu morfologicznego dla różnych udziałów energetycznych osadów ściekowych w paliwowej mieszance z węglem.

Oznaczenie	komunalny osad ściekowy		
	próbka nr 1	próbka nr 2	próbka nr 3
zaw. frakcji biodegradowalnej $X_B^d$ , %	58,1	70,9	73,4
zaw. frakcji niebiodegradowalnej $X_{NB}^d$ , %	7,7	5,0	4,4
zaw. popiołu $A^d$ , %	34,2	24,1	22,2

W rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010r. (Dz. U. Nr 34, poz. 182, 2010r.) zmieniającym rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, przedstawiono następującą definicję biomasy (dla celów związanych z rozliczaniem energii z odnawialnych źródeł energii - OZE):

*„Biomasa — stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu*

przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, oraz ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 4 rozporządzenia Komisji (WE) nr 687/2008 z dnia 18 lipca 2008 r. ustanawiającego procedury przejęcia zbóż przez agencje płatnicze lub agencje interwencyjne oraz metody analizy do oznaczania jakości zbóż (Dz. Urz. UE L 192 z 19.07.2008, str. 20) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu”.

Zawarta w rozporządzeniu MG definicja biomasy - wskazująca odpady ulegające biodegradacji, jako jedne z jej przedstawicieli - pozwala także zaliczyć do tej grupy wszelkie inne rodzaje odpadów ulegających biodegradacji, takie jak np. komunalne osady ściekowe.

Podstawowym warunkiem odzysku energii zawartej w takich odpadach (zaliczanej do energii z OZE) jest jednak wymóg, aby proces ich termicznego przekształcania odbywał się w spalarniach bądź współspalarniach, zgodnie z przepisami wynikającymi z dyrektywy 2000/76/WE w sprawie spalania odpadów, gdyż procesom tym poddawane są odpady, a nie paliwa konwencjonalne [14, 15].

Z kolei, w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008r. (Dz. U. Nr 183, poz. 1142, 2008r.) w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji przedstawiono następującą definicję biomasy:

*„Biomasa jest niekopalny materiał organiczny ulegający biodegradacji, pochodzący z roślin, zwierząt i mikroorganizmów, a także produkty, produkty uboczne, pozostałości i odpady z działalności w rolnictwie, leśnictwie i z pokrewnych kategorii działalności przemysłowej, niekopalne i ulegające biodegradacji frakcje organiczne odpadów przemysłowych i komunalnych, w tym gazy i płyny odzyskiwane w procesie rozkładu niekopalnego i ulegającego biodegradacji materiału organicznego; wykaz materiałów uznawanych za biomasę jest określony w części F załącznika nr 1 do rozporządzenia; wskaźnik emisji biomasy wynosi zero [Mg CO<sub>2</sub>/TJ lub Mg lub m<sup>3</sup>]”.*

W części F załącznika nr 1 do wymienionego powyżej rozporządzenia, zawierającej wykaz materiałów uznawanych za biomasę neutralną pod względem CO<sub>2</sub> wymieniono (w grupie 2) osady ściekowe:

*„Grupa 2: Odpady biomasy, produkty i produkty uboczne z biomasy między innymi: odpady przemysłowe drewna, w tym odpady z obróbki i przetwórstwa drewna, wytwarzanie przedmiotów i konstrukcji drewnianych oraz powstające przy wytwarzaniu materiałów drewnopochodnych, drewno użytkowe, w tym produkty i materiały drewniane oraz użytkowe produkty finalne i półprodukty przetwórstwa drzewnego, odpady na bazie drewna z przemysłu celulozowego, drzewne i drewnopochodne odpady przemysłu papierniczego, np. ług czarny, surowy olej talowy, olej talowy oraz olej smołowy z produkcji celulozy, pozostałości z leśnictwa, lignina z przetwarzania roślin zawierających lignocelulozę, mączka zwierzęca, rybna i spożywcza, tłuszcze, oleje i łój zwierzęcy, rybne i spożywcze, pierwotne (biomasowe) pozostałości przy produkcji żywności i napojów, oleje i tłuszcze jadalne; nawóz zwierzęcy, pozostałości roślin uprawnych, **osady ściekowe**, biogaz wytwarzany podczas procesów gnilnych, fermentacji lub gazyfikacji biomasy, szlam portowy i inne szlamy i osady wodne, gaz składowiskowy; węgiel drzewny”.*

Przedstawione akty prawne nie pozostawiają wątpliwości, że obecnie osady ściekowe mogą być już uznawane za biomasę dla celów związanych z rozliczaniem energii z odnawialnych źródeł energii i uwzględniane w systemie handlu uprawnieniami do emisji.

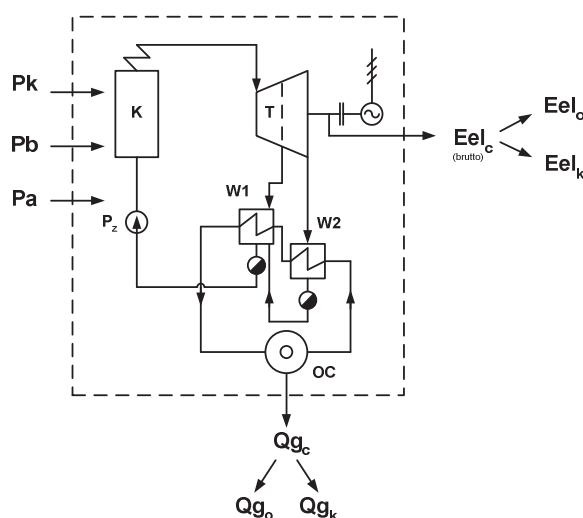
#### 4. Bilansowanie i certyfikowanie energii wytwarzanej z osadów ściekowych

Możliwość zaliczenia odpowiedniej części energii elektrycznej (lub/i ciepła) wytwarzanej w procesie współspalania paliw podstawowych (konwencjonalnych) i „paliwa alternatywnego” (w tym przypadku osadów ściekowych lub paliwa wyprodukowanego na ich bazie) wymaga spełnienia określonych wymagań technologicznych, organizacyjnych i formalnych w tym zakresie [16].

Przykładowo, projekt poszczególnych urządzeń ciągów podawania „paliwa alternatywnego” wytwarzanego na bazie osadów ściekowych powinien uwzględniać wymogi rozliczeniowe dla instalacji i procedur energii produkowanej z OZE [16, 17]. Po przeprowadzeniu testów energetyczno-emisyjnych dla współspalania „paliwa alternatywnego” należy opracować tzw. dokumentację uwierzytelniającą, która jest przedkładana następnie do Urzędu Regulacji Energetyki, jako załącznik do wniosku o zmianę warunków koncesji na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła.

Można oczekiwać, że w sposób analogiczny jak dla systemu certyfikacji współspalania biomasy, konieczne będzie wykonywanie pomiarów masy osadów ściekowych dostarczonych do procesu spalania. W praktyce wykluczy to możliwość oparcia się na pomiarach ilości paliw dostarczanych do jednostki wytwórczej metodą pośrednią, np. na podstawie obliczeń. Z dotychczasowej praktyki ruchowej instalacji współspalania wynika również, że URE wymaga bezpośredniego pomiaru masy strumieni wszystkich paliw, wykluczając pomiary masy po zmieszaniu paliwa konwencjonalnego i biomasy.

Obowiązek poboru próbek do badania właściwości fizykochemicznych i pomiaru masy poszczególnych paliw w tym samym miejscu i czasie stworzy konieczność dokonywania poboru próbek węgla i osadów ściekowych np. z taśmociągów, we wszystkich punktach, w których zainstalowane zostaną wagi. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej będzie się odbywało z określoną częstotliwością, z uśrednionej próby. Propozycję procedury bilansowania energii zaliczanej do OZE przedstawiono na rysunku 4.1.



Rysunek 4.1. Schemat proponowanej procedury bilansowania energii zaliczanej do OZE i pochodzącej ze współspalania paliw: konwencjonalnego ( $P_k$ ), biomasowego ( $P_b$ ) i alternatywnego ( $P_a$ ).

$K$  - kocioł,  $T$  - turbina,  $W1$ ,  $W2$  – wymienniki ciepła,  $OC$  – odbiornik ciepła,  $P_z$  – pompa zasilająca,  $E_{elc}$  – energia elektryczna całkowita,  $E_{elo}$  – energia elektryczna odnawialna,  $E_{elk}$  – energia elektryczna konwencjonalna,  $Q_{gc}$  – ciepło grzejne całkowite,  $Q_{go}$  – ciepło grzejne odnawialne,  $Q_{gk}$  – ciepło grzejne konwencjonalne.

Badania właściwości fizykochemicznych osadów ściekowych lub paliw alternatywnych wyprodukowanych na ich bazie powinno wykonywać laboratorium (najkorzystniej akredytowane) według uwierzytelnionych procedur badawczych. Korzystne byłoby rejestrowanie laboratoriów wykonujących badania właściwości tego typu „paliw alternatywnych” dla celów energetycznych w wyznaczonym do tego celu organie administracji państwowej. W celu uzyskania wiarygodności bilansowania i rozliczania ilości wyprodukowanej energii odnawialnej oraz porównywalności wyników badań właściwości „paliw alternatywnych” na bazie osadów ściekowych, niezbędne jest wprowadzenie ujednoczonych procedur analitycznych. Proponuje się przekazywanie opracowanych procedur badawczych dla „paliw alternatywnych” za pośrednictwem sieci laboratoriów nadzorowanych (np. stworzonej przez IChPW Sieci Laboratoriów Nadzorowanych „LABIOMEN”).

Proponuje się, aby udział energii pochodzącej z paliwa biomasowego oraz frakcji biomasy paliwa alternatywnego był wyznaczany zgodnie z algorytmem przyjętym dla energii odnawialnej ze współspalania biomasy [3].

Dla określenia strumienia energii chemicznej związanego z frakcją biomasy zawartą w paliwie alternatywnym niezbędna jest znajomość jej udziału masowego ( $M_{Pa}$ )<sub>b</sub> oraz wartości opałowej wydzielonej frakcji biomasy ( $Wd_{Pa}$ )<sub>b</sub>:

$$E_{el_o} = \frac{M_{pb}Wd_{pb} + (M_{pa})_b(Wd_{pa})_b}{M_{pb}Wd_{pb} + M_{pk}Wd_{pk} + M_{pa}Wd_{pa}} \times E_{el_c} \quad (4.1)$$

Oznaczenia:

$E_{elo}$	– energia elektryczna odnawialna,
$M_{pb}$	– ilość paliwa biomasowego,
$M_{pk}$	– ilość paliwa konwencjonalnego,
$M_{pa}$	– ilość paliwa alternatywnego,
$(M_{pa})_b$	– ilość frakcji biomasowej w paliwie alternatywnym,
$Wd_{pb}$	– wartość opałowa paliwa biomasowego,
$Wd_{pk}$	– wartość opałowa paliwa konwencjonalnego,
$(Wd_{pa})_b$	– wartość opałowa frakcji biomasowej w paliwie alternatywnym.

## 5. Podsumowanie

Współspalanie osadów ściekowych z węglem kamiennym lub brunatnym w istniejących obiektach energetycznych jest atrakcyjnym wariantem ich zagospodarowania, cechującym się koniecznością poniesienia relatywnie niskich nakładów inwestycyjnych na uruchomienie procesu. Współspalanie osadów ściekowych z węglem w odpowiednio dobranych proporcjach (konieczne testy ruchowe) nie stwarza nadmiernych zagrożeń środowiskowych wynikających z podwyższenia emisji zanieczyszczeń, a może nawet mieć pozytywny efekt zarówno na emisję z kotła, jak i jego parametry operacyjne [6]. Zaliczenie energii wytwarzanej z udziałem osadów ściekowych do energii odnawialnej – przy obecnym stanie regulacji prawnych – jest możliwe, wymaga jednak stosowania jasnych i precyzyjnych zasad określania i ewidencjonowania ilości energii wytworzonej na bazie biodegradowalnej frakcji tych odpadów. Przeszkodą w upowszechnieniu się współspalania osadów ściekowych w energetyce może być jednak fakt, iż proces ten jest procesem przekształcania termicznego odpadów, a instalacja przemysłowa, w której jest on realizowany jest instalacją współspalania odpadów, co rodzi określone konsekwencje prawne, techniczne i kosztowe. Poważną barierą stanowić może również coraz intensywniejszy rozwój dedykowanych instalacji spalania osadów, które już w roku 2012 powinny umożliwiać w naszym kraju spalanie blisko 160 tys. Mg s. m. osadów ściekowych [18].

Trzeba pamiętać, iż proces współspalania osadów ściekowych w kotłach węglowych powinien być realizowany tylko w instalacjach kotłowych umożliwiających dotrzymanie formalnych wymagań technicznych odnośnie współspalania odpadów. Szczególnie trudny do dotrzymania jest warunek zapewnienia minimalnego czasu 2s przebywania spalin w obszarze temperatury powyżej 850°C w konstrukcjach kotłowych do tego celu specjalnie nie przygotowanych. Z kolei przekroczenie 1% udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej, przy aktualnej konfiguracji układów oczyszczania spalin w większości instalacji krajowej energetyki, może powodować problemy z dotrzymaniem legislacyjnych wymagań w zakresie standardów emisyjnych dla współspalania odpadów.

## Literatura

1. Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie "Krajowego planu gospodarki odpadami 2014" (M.P. Nr 101, poz. 1183).
2. Nadziakiewicz J., Kozioł M.: Co-ombustion of sludge with coal. *Applied Energy*, 75 (2003) 239-248.
3. Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge. Scientific and technical sub-component report, European Commission, 23 October, 2001.
4. Werther J., Ogada T.: Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25 (1999) 55÷116.
5. Richers U., Scheurer W., Seifert H., Hein K.R.G.: Present Status and Perspectives of Co-combustion in German Power Plants, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2002.
6. Werther J.: Potentials of biomass co-combustion In coal fired boilers. *Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion* (Editors: G.Yue, H.Zhang, Ch. Zhao, Z. Luo), Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.



7. Stelmach S., Zuwała J., Wasielewski R., Hrycko P.: Analiza energetyczno-emisyjna współspalania komunalnych osadów ściekowych na przykładzie testów przemysłowych kotła pyłowego OP-230 w Elektrociepłowni „Wybrzeże” - Gdańsk, Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce, Praca zbior. pod red. M. Ściążko, J. Zuwała, M. Pronobis, Wyd. IChPW Zabrze, 2007, s. 295÷309.
8. Dz. U. z 2002 r., Nr 37, poz. 339 wraz z późn. zm.
9. Dz.U. 2008 nr 206 poz. 1291.
10. Amand L.-E., Leckner B.: Metal emissions from co-combustion of sewage sludge and coal/wood in fluidized bed. Fuel 83 (2004) 1803–1821.
11. Dz.U. 2011 nr 95 poz. 558.
12. Pająk T.: „Wybrane zagadnienia spalania i współspalania komunalnych osadów ściekowych”, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1, 2007, s. 26-29.
13. Pronobis M.: Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations, Biomass&Bioenergy, 28, 2005, s. 375-383.
14. Pająk T.: Odpady jako biomasa i odnawialne źródło energii w świetle obowiązującego prawa, Czysta Energia, 11, 2008, s. 10-11.
15. Stelmach S., Wasielewski R.: Formalno-prawne uwarunkowania odzysku energii ze współspalania komunalnych osadów ściekowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 9, 2008, s. 59-68.
16. Przewodnik metodyczny: Procedury bilansowania i rozliczania energii wytwarzanej w procesach współspalania, Praca zbior. pod red. M. Ściążko, J. Zuwała, A. Sobolewski, Wyd. Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie, Warszawa, 2007.
17. Wasielewski R., Sobolewski A.: Współspalanie komunalnych osadów ściekowych z węglem, Nowa Energia, 2, 2009, s. 8-12.
18. Pająk T.: Osady ściekowe jako odpady palne oraz składnik paliwa alternatywnego. V Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych”. 14-16 września 2011, Kielce.