



Methods of disposal of sewage sludge

Katarzyna ŚRODA¹, Agnieszka KIJO-KLECZKOWSKA², Henryk OTWINOWSKI³

^{1,2,3} Instytut Maszyn Ciepłych, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska,
al. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa, tel./fax: 0343250507, e-mail: katarzynasroda@imc.pcz.czest.pl;
kijo@imc.pcz.czest.pl; otwinowski@imc.pcz.czest.pl

Abstract

The resulting sludge in sewage treatment plants is a troublesome waste that can be disposed of in various ways. However, the choice depends on many factors including: ecological, economic, technological or technical. Due to the fact that sewage sludge is a waste, none of the methods is not ideal from the standpoint of a friendly operation in relation to the environment. However, you can extract methods which are gaining in importance due to the tightening, the relevant legislation in this regard.

Keywords: combustion, disposal of sewage sludge, utilization methods

Streszczenie

Metody utylizacji osadów ściekowych

Powstające osady w oczyszczalniach ścieków to uciążliwy odpad, który można zutilizować w różnoraki sposób. Jednak na jego wybór wpływa wiele czynników m.in.: aspekty ekologiczne, ekonomiczne, technologiczne czy techniczne. Ze względu na to, że osady ściekowe są odpadem, żadna z metod nie jest idealnym rozwiązaniem z punktu widzenia przyjaznego funkcjonowania w stosunku do środowiska. Mimo to można wyodrębnić sposoby, które zyskują na znaczeniu ze względu na zaostrzające się odpowiednie przepisy prawne w tym zakresie.

Słowa kluczowe: spalanie, unieszkodliwianie osadów ściekowych, metody utylizacji

1. Wstęp

W Polsce obserwuje się stopniowy wzrost ilości komunalnych osadów ściekowych, który wynikać może z intensywnej rozbudowy sieci kanalizacyjnych, czy też budowy nowych oczyszczalni ścieków. Z uwagi na takie działania należy zastanowić się nad dokładną analizą wszystkich możliwości utylizacji tychże odpadów. Wykorzystanie jednego sposobu zagospodarowania osadów ściekowych nie rozwiąże rosnącego problemu z nimi związanego.

Na wybór odpowiedniej metody unieszkodliwiania osadów ściekowych wpływają głównie ich właściwości, wskazujące na celowość danego sposobu, co wielokrotnie podkreślono w pracy [35]. Kierunki zagospodarowania tych odpadów regulują także odpowiednie przepisy prawne. Te unormowania stanowią swoistą selekcję wśród wspomnianych metod skupiając się na aspekcie ekologicznym.

W pracy dokonano przeglądu metod utylizacji osadów ściekowych wyszczególniając zarazem wśród metod termicznych spalanie i współspalanie z paliwami węglowymi, jako nadrzędne procesy ich unieszkodliwiania. Podkreślano tym samym, że wspomniane procesy umożliwiają nie tylko zmniejszenie ilości tych odpadów, ale również całkowitą ich destrukcję przy częściowym, bądź całkowitym odzysku zawartej w nich energii.

2. Sposoby zagospodarowania osadów ściekowych

Na rys. 2.1 przedstawiono metody zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych wraz z ich procentowym udziałem. Według [20] można wyróżnić jeszcze magazynowanie czasowe, które stanowi 11,06 %

sposobów wykorzystania tych odpadów. Spośród wszystkich metod ich unieszkodliwiania największym zainteresowaniem cieszy się przyrodnicze wykorzystanie.

przyrodnicze wykorzystanie 35,59 %	metody termiczne 7,42 %	składowanie 18,53 %	inne 27,40 %
<ul style="list-style-type: none"> • nawożenie użytków rolnych • rekultywacja gruntów bezglebowych • zestalenie roślin z podłożem • produkcja kompostu 	<ul style="list-style-type: none"> • spalanie • współspalanie • procesy alternatywne (mokre utlenianie, piroliza, zgazowanie (czy też ich kombinacje), wityfikacja) 	<ul style="list-style-type: none"> • składowiska jednorodne • składowanie wraz z innymi odpadami • składowiska specjalne 	<ul style="list-style-type: none"> • produkcja biogazu • produkcja mas plastycznych z osadu czynnego • karma dla zwierząt domowych • przerabianie i wykorzystanie tłuszczów • kruszywo lekkie z odpadów • dodatek mineralny do betonu • inne

Rys. 2.1. Metody zagospodarowania osadów ściekowych [1, 9, 16, 18, 19, 20, 27]

Rysunek 2.1 obrazuje możliwości przyrodniczego wykorzystania komunalnych osadów ściekowych [19]. Na wybór odpowiedniego sposobu zagospodarowania wpływa: analiza składu chemicznego osadu, stan sanitarny oraz cechy fizyczne [27].

Nawozowe użytkowanie osadów ściekowych to doskonały sposób zachowania próchnicy w glebie, a także dostarczania składników pokarmowych roślinom. Ten rodzaj ich zagospodarowania zastępuje bądź uzupełnia nawożenie nawozami naturalnymi. Wielkość dawki osadu uzależniona jest od zapotrzebowania roślin na azot, który stanowi w optymalnej ilości najważniejszy składnik plonotwórczy [27, 30].

Rekultywacja gruntów bezglebowych z wykorzystaniem osadów ściekowych ma na celu ukształtowanie szaty roślinnej, której z kolei zadaniem jest ochrona powierzchni przed negatywnym działaniem wody oraz wiatru, a także kształtowanie klimatu lokalnego. Funkcja produkcyjna roślin odgrywa mniejszą rolę na takich terenach [27, 30].

Osady ściekowe używa się również w celu roślinnego utrwalaenia powierzchni gruntu przy pomocy hydrosiewu. Nadrzędne zadanie hydrosiewu – to wprowadzenie nasion roślin w te miejsca, na których dostępność jest ograniczona oraz jest to niemożliwe dla naziemnego sprzętu agrotechnicznego, a także stworzenie odpowiednich warunków dla kiełkowania użytych nasion [30].

Wykorzystanie osadów ściekowych do uprawy roślin z przeznaczeniem do produkcji kompostu stanowi jednorazową, intensywną rekultywację danego gruntu. Wiąże się ona z sukcesywnym nawożeniem wspomnianymi odpadami na wyznaczonej powierzchni przez okres wielu lat [27, 30]. Kompostowanie osadów ściekowych jest procesem częściowo egzotermicznym, przyczyniającym się do okresowego wzrostu temperatury w złożu. Wpływa to pozytywnie na higienizację złoża. Zniszczeniu ulegają: jaja pasożytów zwierzęcych, zarodniki niektórych grzybów oraz bakterii chorobotwórczych, natomiast nasiona chwastów zostają pozbawione zdolności kiełkowania. Powstający kompost jest dobrej jakości nawozem, zawierającym: substancje organiczne, fosfor, azot, potas, a także mikroelementy, wykorzystywanym w gospodarce i środowisku [19].

Osady ściekowe można także przetwarzać w różnoraki sposób (rys.2.1). Wykorzystuje się je do produkcji biogazu, mającego wszechstronne zainteresowanie. Odzyskuje się z osadów tłuszcze, które poddane zostają przeróbce z odpowiednimi dodatkami, otrzymując mydło do prania lub jak w przypadku osadu czynnego – gęste smary i świece. Ponadto osady czynne przetwarza się by uzyskać surowiec do produkcji mas plastycznych, z których otrzymujemy różne przedmioty. Osad ten również można wykorzystać jako karmę uzupełniającą dla zwierząt domowych, bogatą w białko, składniki nawozowe, aminokwasy, związki mineralne,

pierwiastki śladowe oraz witaminy. Osady ściekowe znalazły zastosowanie w wytwarzaniu kruszywa lekkiego z dodatkiem odpadów: pyłów krzemionkowych i drobnych frakcji szkła. Zaletą tego zagospodarowania jest stosowanie ich bez procesu suszenia, w postaci zagęszczonej metodami mechanicznymi. Oprócz tego powstał sposób wykorzystania popiołów po termicznej utylizacji osadów ściekowych, których używa się jako dodatek do zaprawy i betonu [1, 9, 16, 27].

Składuje się osady w przypadku, gdy niemożliwy jest inny rodzaj ich unieszkodliwiania z różnych przyczyn [18]. Wymienione odpady po składowaniu przez okres 3 – 5 lat są zmumifikowane i jak najbardziej bezpieczne pod względem sanitarnym, a co za tym idzie gotowe do przyrodniczego wykorzystania [27]. Wyróżnia się następujące kryteria decydujące o możliwości składowania osadów ściekowych (rys. 1):

- na składowiskach jednorodnych: uwodnienie – poniżej 55 %, wytrzymałość na ścinanie – powyżej 25 kN/m²,
- na wspólnych składowiskach wraz z odpadami komunalnymi: uwodnienie – poniżej 65 %, wytrzymałość na ścinanie – powyżej 10 kN/m²,
- na składowiskach specjalnych: obecność w osadzie substancji toksycznych [18].

Natomiast magazynowanie odpadów to tymczasowe przetrzymywanie czy też gromadzenie odpadów przed ich transportem i dalszym wykorzystaniem [37].

Przed wykorzystaniem metod termicznych należy osad ściekowy poddać odpowiedniej obróbce. W tym celu najczęściej poddaje się je procesowi suszenia. Szczególnie jest to uzasadnione w przypadku, gdy odpady te cechują się wysokim stopniem uwodnienia [35].

3. Spalanie – osady ściekowe paliwem energetycznym

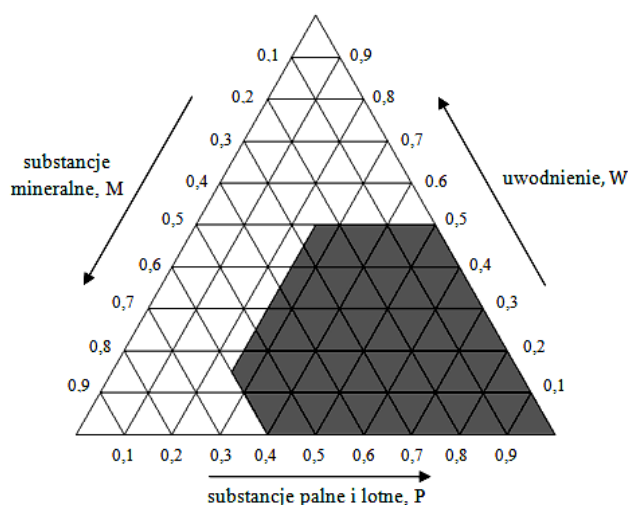
Spalanie osadów ściekowych jest procesem, dzięki któremu uzyskuje się całkowite unieszkodliwienie wspomnianych odpadów. Popiół powstały w wyniku tego procesu stanowi ok. 20%_{s.m.o.}. Spala się także osady zawierające metale ciężkie, ale wówczas popiół traktowany jest jako odpad niebezpieczny i zostaje deponowany na odpowiednim składowisku. Natomiast popiół nie posiadający wspomnianych metali można wykorzystać m.in. jako podsypkę do budowy dróg, bądź do innych celów gospodarczych [7].

Spalać można zarówno osady surowe jak i ustabilizowane. Jednak z uwagi na ciepło spalania korzystniejsze jest wykorzystanie wspomnianego procesu do utylizacji osadów surowych [7]. Na podstawie badań stwierdzono, że ciepło spalania [12]:

- suchego osadu surowego posiadającego 70% substancji lotnych jest równe 16 750 ÷ 17 170 kJ/kg_{s.m.o.},
- osadu czynnego 14 650 ÷ 15 490 kJ/kg_{s.m.o.},
- osadu prefermentowanego mającego 50% substancji palnych ok. 10 470 kJ/kg_{s.m.o.}.

Każdy rodzaj osadów ściekowych ma inną wartość opałową. W sytuacji, gdy jedna trzecia tych odpadów to część niepalna, wówczas wartość opałowa suchego osadu wynosi ok. 14 MJ/kg_{s.m.o.}, natomiast prefermentowanego zazwyczaj przyjmuje wartość o ok. 2 MJ/kg_{s.m.o.} mniejszą niż odpadów przed fermentacją. W przypadku, gdy wartość opałowa związków organicznych w osadach nie jest wystarczająca do odparowania zawartej w nich wody, to można je termicznie utylizować z dodatkowym paliwem (węglem, biogazem, olejem opałowym, słomą). By jednak spalanie tych odpadów mogło przebiegać autotermicznie, powinny one znajdować się w środku powierzchni wyznaczonej przez następujące współrzędne trójkąta Tannera (rys. 3.1):

- uwodnienie $W \leq 50\%$,
- zawartość substancji nieorganicznych $M \leq 60\%$,
- zawartość substancji palnych $P \geq 25\%$ [12].



Rys. 3.1. Trójskładnikowa charakterystyka odpadów w trójkącie Tannera [14]

Autor pracy [14] przedstawia główne fazy termicznego rozkładu odpadów:

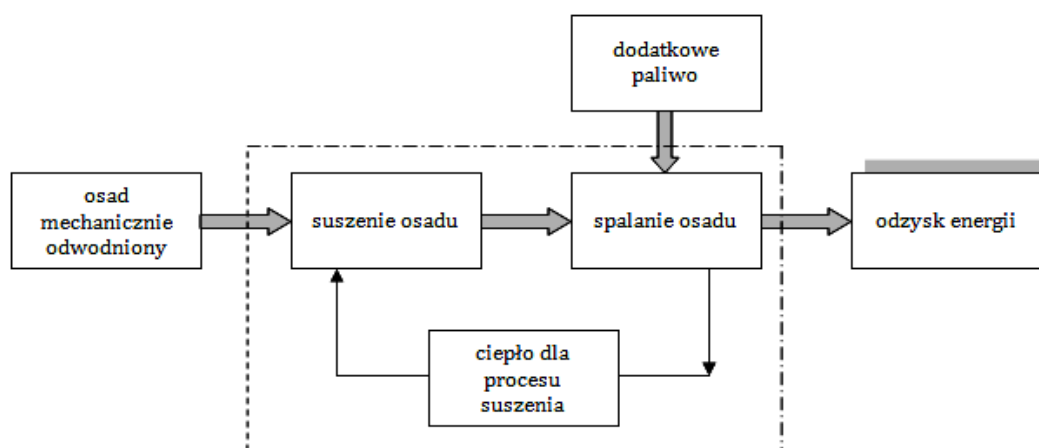
- suszenie – proces endotermiczny,
- przegrzanie materiału oraz rozpoczęcie wytlewania – proces endotermiczny,
- zapłon, a także spalanie części lotnych, jak również gazów wytlewnych – proces egzotermiczny,
- spalanie właściwe, w tym również zgazowanie – proces egzotermiczny,
- wypalanie oraz dopalanie; spalanie resztkowego węgla, który jest związany w koksiku – proces egzotermiczny.

Proces termicznego rozkładu rozpoczyna suszenie, kończy natomiast spalanie, co obrazuje tabela 3.1 [14].

Tabela 3.1. Procesy termicznego rozkładu odpadów [14]

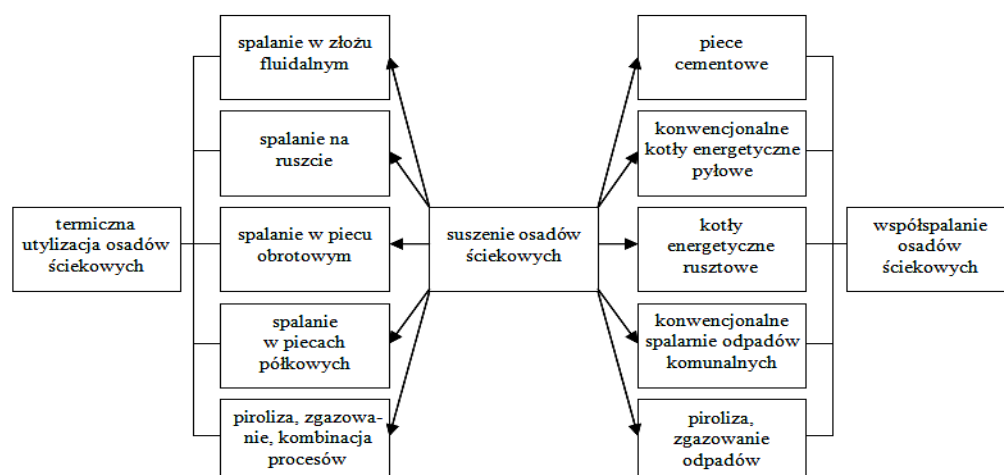
metoda przeróbki	stopień procesowy			
	stopień I	stopień II	stopień III	stopień IV
suszenie	suszenie	-	-	-
wytlewanie	suszenie	wytlewanie (piroliza)	-	-
zgazowanie	suszenie	wytlewanie	zgazowanie	-
spalanie	suszenie	wytlewanie	zgazowanie	spalanie

Często stosowane są rozwiązania, w których łączy się suszarnie oraz spalarnie osadów w jedną linię technologiczną. Ciepło powstałe w procesie spalania wykorzystuje się do przebiegu suszenia osadu. Pracujące w taki sposób suszarnie i spalarnie mogą wykazywać deficyt energetyczny oraz wymagać dodatkowego paliwa [7] (rys. 3.2).



Rys. 3.2. Schemat odzysku energii z osadów w szeregowym procesie suszenia i spalania [21]

Poprzez instalację spalania odpadów według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 [28] rozumie się instalacje wykorzystywane w celu termicznego przekształcenia odpadów czy też produktów ich wstępnego przetwarzania, z odzyskiem lub też bez odzysku wytwarzanej energii cieplnej. Obejmuje ona następujące procesy: spalanie przez utlenianie, pirolizę, zgazowanie, a także proces plazmowy, przy czym substancje powstające podczas przekształcania są następnie spalane. Na rys. 3.3. podano zakres możliwości wyboru technologii suszenia, spalania oraz współspalania osadów.



Rys. 3.3. Metody suszenia, spalania, współspalania osadów ściekowych [18, 23, 24, 40]

W grupie technologii realizujących bezpośrednio proces spalania osadów ściekowych wyróżniamy [23, 24, 40]:

- a) technologie spalania w złożu fluidalnym – grupa najlepiej technicznie rozwiniętych rozwiązań konstrukcyjnych. Wśród nich przeważnie wykorzystywane są technologie spalania w złożu stacjonarnym, jak również w złożu cyrkulacyjnym czy w złożu wirowym. Technologie te są bardzo dobrze opanowane technicznie, efektywne energetycznie oraz posiadają dużo potwierdzonych aplikacji w energetyce zawodowej opartej na paliwach węglowych. Umożliwiają spalanie osadów odpowiednio odwodnionych mechanicznie, częściowo osuszonych lub w postaci granulatu czy kombinacji osadu odwodnionego wyłącznie mechanicznie i osadu granulowanego.
- Przeważnie do spalania osadów ściekowych wykorzystuje się piece fluidalne. Wynika, to z zalety jaką jest elastyczność pracy (zmniejszenie ilości osadów skutkuje automatycznie obniżeniem ilości dostarczanego powietrza). Poza tym nie stanowią utrudnienia podczas remontów, ponieważ w piecu nie znajdują się żadne części ruchome [1]. Piec ze złożem fluidalnym używany do spalania osadów jest przeważnie pionowy i ma kształt cylindryczny. Posiada ogniotrwałą stalową obudowę oraz złożę piaskowe, a także dysze, którymi dozuje się powietrze w celu podtrzymania spalania. Piece takie mają średnicę $2,7 \div 7,6$ m. Złoże piaskowe

będące w spoczynku ma około 80 cm grubości i znajduje się na ogniotrwałym ruszcie bądź na kopule ceglanej. Natomiast w warstwie, podtrzymującej złożę zamontowane są dysze, przy pomocy których wprowadza się powietrze pod ciśnieniem od 20 do 35 kN/m² [12]. Minimalna temperatura złoża piaskowego przed wstrzyknięciem osadu wynosi ok. 700°C [7]. Podczas spalania fluidalnego tych odpadów piasek utrzymuje się w stanie zwieszonym w komorze spalania. Takie warunki procesu gwarantują odpowiednie dozowanie powietrza, wymieszanie złoża oraz doskonały kontakt między spalonym osadem a powietrzem. W wyniku mechanicznego działania złoża tworzące się aglomeraty popiołu ulegają rozdrobnieniu. Na skutek szybkiego wyrównania temperatury, a także z uwagi na wysoki współczynnik wymiany ciepła spalanie jest intensywne oraz równomierne. Czas przebywania osadu w strefie dopalania jest dość długi i wystarczający do całkowitego wypalenia. Znaczna intensywność spalania sprawia, że wartość opałowa odpadu zostaje całkowicie spożytkowana. Ze względu na autotermiczny przebieg procesu należy do instalacji podawać osady o jak najmniejszej wilgotności [1]. Zazwyczaj jednak zasila się je wspomnianymi odpadami o udziale 35 ÷ 45%_{s.m.o.} [25].

Przykładem tego typu rozwiązania konstrukcyjnego jest spalarnia osadów wykorzystująca piec fluidalny w Gdyńskiej oczyszczalni ścieków „Dębogórze”. Zakład ten cechuje się możliwością spalania 100 ton odpadu na dobę o wilgotności mniejszej od 70% i udziale 50% części organicznych w s.m.o. Osady na początku suszy się bezprzeponowo parą w suszarce bębnowej. Wyszuszone następnie osady ulegają oddzieleniu ze strumienia gazów w cyklonie, a następnie przenośnikiem zostają przetransportowane do pieca.

W piecu fluidalnym spalanie zachodzi w temperaturze 850°C bez żadnego paliwa dodatkowego. Jako czynnika fluidyzującego używa się gorącego powietrza, ogrzanego spalinami w wymienniku ciepła. Spaliny, które opuszczają piec przechodząc przez układ wymienników oraz odpylacz cyklonowy następnie kierowane są do mokrego oczyszczania spalin i dalej do komina [25].

- Kolejnym przykładem instalacji spalania osadów typu fluidalnego jest PYROFLUIDTM. Proces ten opiera się na utrzymaniu materiału inertnego, o wielkości ziaren 0,2 ÷ 5 mm w stanie zawieszenia w komorze spalania. Takie warunki spalania są optymalne ze względu na doskonałe dozowanie powietrza, co służy idealnemu kontaktowi ze spalonym medium, a poza tym wymieszanie złoża. Właśnie ze względu na te czynniki jest to dobre rozwiązanie w przypadku termicznej utylizacji osadów [3, 5, 13]. Piec PYROFLUIDTM złożony jest z dwóch współosiowych cylindrów o odmiennych średnicach, umieszczonych pionowo oraz złączonych ze sobą. W skład takiego pieca wchodzi [3]:

- złożę piaskowe – wysokość fluidyzacji ok. 1,5 m; spalanie zachodzi w temperaturze wynoszącej średnio 750°C,
- komora powietrzna wraz z dnem dyszowym – służąca do sprężania powietrza oraz równomiernego rozpraszania go w złożu,
- komora dopalania – temperatura powyżej 850°C; czas zatrzymania 2s,
- kopuła ewakuacyjna oraz przewód spalin.

Poza tym system posiada dmuchawę fluidyzacyjną, którą wdmuchiwane jest powietrze do komory powietrznej [3]. Przeważnie osad do takiej instalacji jest odwodniony mechanicznie i podsuszony do zawartości 30 ÷ 35%_{s.m.o.} (oczywiście przedział ten uzależniony jest od udziału materii organicznej w odpadzie) [2, 5]. Paliwo dozowane jest podczas rozruchu jak i do komory dopalającej. Wdmuchiwane powietrze stanowi nośnik do podawania paliwa. Gazy i popioły ze spalania zbierane zostają w górnej części pieca, a następnie kierowane do wymienników ciepła; po czym spaliny schłodzone do temperatury 250°C, oczyszcza się metodą moką bądź suchą [3, 5].

Inną metodą fluidyzacyjnego spalania osadów jest proces PYRODYNTM. W urządzeniu tym następuje zarówno podsuszanie jak i spalanie odpadów [3]. W tej technologii część rozgrzanego piasku ze złoża fluidalnego częściowo usuwa się w celu wymieszania z osadami kierowanymi do spalania. Podczas mieszania uwodnionego odpadu i piasku następuje odparowanie wody z pierwszego składnika. Dalej taka mieszanka kierowana zostaje do spalania. Osad ulega utylizacji, natomiast piasek oddzieleniu od popiołu oraz zawróceniu do procesu. Dzięki tak uniwersalnemu rozwiązaniu można spalać osady o 18% zawartości s.m.o. na wlocie do urządzenia. Proces cechuje się znacznym stopniem użycia ciepła oraz brakiem zapachu [3];

- b) technologie spalania w piecach z mechanicznym rusztem ruchomym – rozwiązania technicznie dojrzałe, korzystające z doświadczeń konwencjonalnych instalacji, w których spala się odpady komunalne. Cechują się prostą konstrukcją oraz dobrą efektywnością energetyczną.
- W kotłach rusztowych można spalać osady wysuszone do ok. 90%_{s.m.o.}. W takich kotłach komora spalania zazwyczaj ma trzy punkty dozowania powietrza i ruszt ruchomy chłodzony wodą. Spaliny dopalają się w komorze dopalającej, przy temperaturze powyżej 850°C i czasie zatrzymania 2 s. Ponadto można je oczyszczać przy użyciu metody suchej, półsuchej czy też mokrej, po czym opuszczają instalację przez

komina. Przy pomocy specjalnie pochylego dna popiół oraz żużel paleniskowy usuwa się co jakiś czas z dolnej części pieca. Ciepło powstałe podczas spalania odpadów można użyć w celu zasilenia suszarki osadów. Proces może być autotermiczny przy określonym stosunku wartości kalorycznej tych odpadów i stopnia ich odwodnienia [1].

- Przykładem wykorzystującym tę technologię jest skojarzony system suszenia oraz spalania osadów BIOCON[®]. Pozwala on na spalanie tych odpadów o zawartości $18 \div 20\%_{s.m.o.}$ na wlocie do urządzenia. Dodatkowe paliwo (biogaz, olej opałowy, gaz ziemny czy trociny itp.) podaje się podczas rozruchu oraz zatrzymania instalacji ze względu na przestrzeganie wartości emisyjności zanieczyszczeń do atmosfery [3]. Osady wysuszone spalane są w procesie BIOCON[®] w kotle rusztowym z rusztem ruchomym, do chłodzenia którego wykorzystywana jest woda. Powietrze do procesu dozuje się w trzech punktach. Popiół ze spalania gromadzony w dolnej części pieca usuwa się okresowo na zewnątrz. Spaliny natomiast kieruje się odpowiednio do komory dopalania (temp. powyżej 850°C ; czas zatrzymania – 2s), wymiennika ciepła, a następnie do oczyszczania za pomocą filtrów. Tak przygotowane trafiają do komina [4];
- c) technologie spalania w piecu obrotowym – osady przeważnie wprowadzane przeciwwprądowo, co służy występnemu ich osuszeniu przed zasadniczym procesem spalania. Obrotowy piec bębnowy, wykonany jest z rury wymiurowanej materiałem ceramicznym, która jest usytuowana z lekkim spadkiem w stosunku do poziomu. Na obrót bębna wpływa zębatka bądź też ślimak. Od strony czołowej pieca umieszczone są palniki rozpalowe oraz podtrzymujące. Piec zasila się osadem od strony wyżej usytuowanego końca. W wyniku obrotowego ruchu bębna oraz jego pochylenia, następuje przesunięcie odpadu ku przeciwnemu końcowi bębna. Po tej stronie pieca znajduje się komora dopalania, a także wylot spalin oraz popiołu [12]. W piecach obrotowych spala się odpady o wysokiej kaloryczności ze względu na duże straty ciepła. Wykorzystuje się je generalnie w przemyśle cementowym [1];
- d) technologie spalania w piecach półkowych o różnych odmianach – połączone zazwyczaj z procesem osuszania osadów (obecnie stosowane rzadko) [1].
W piecach wielkopółkowych placek odpadu dozowany jest do górnej części paleniska, po czym powoli przegarniany do środka. Następnie ze środka placek opuszczany jest do następnego paleniska, w którym zgarniacze przemieszczają go na obrzeża. Kolejno placek spada do trzeciego paleniska oraz znów przesuwany jest na środek. W środkowych paleniskach występują najwyższe temperatury. Tutaj spala się osad i paliwo dodatkowe konieczne do rozgrzania pieca i podtrzymania wspomnianego procesu. Ogrzane wstępnie powietrze wprowadzane jest do najniższego paleniska, po czym wznosi się na skutek podgrzewania przez środkowe paleniska gdzie ma miejsce spalanie. Dalej powietrze oddając ciepło, w celu suszenia dozowanego do górnego paleniska osadu, ulega ochłodzeniu.
Odpad, który podaje się do pieca, powinien zawierać ponad 15% części stałych ze względu na ograniczenia odnośnie pojemności parowania w palenisku. Zazwyczaj zaleca się wykorzystanie paliwa dodatkowego, gdy zasilający osad posiada od 15 do 30% części stałych. Ładunki jednorazowe mokrego placka wynoszą $27 \div 75 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$, przy czym średnio $40 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$ efektywnej powierzchni paleniska [12];
- e) technologie wykorzystujące proces pirolizy bądź zgazowania czy też kombinacje tych procesów – rozwiązania o niewielkiej skali aplikacji przemysłowych oraz wysokim stopniu ryzyka inwestycyjnego. Ważna jest w tym przypadku analiza efektywności energetycznej razem przebiegających procesów (wstępnego osuszania osadów, a także endotermicznego procesu ich przekształcania). Technologie te cechują się koniecznością dostarczenia energii dla realizacji termicznego procesu przemiany tych odpadów. Dlatego też łączny bilans zapotrzebowania energii uwzględniający zapotrzebowanie na ciepło do osuszenia osadów może być ujemny.

Przy wyborze technologii spalania osadów ściekowych powinna decydować tak zwana zasada BAT, określająca wybór technologii odnoszącej się do najwyższego dostępnego poziomu techniki oraz inżynierii i ochrony środowiska [24]. W instalacjach służących generalnie do spalania osadów ściekowych za BAT można uznać technologię ze złożem fluidalnym. Głównie z uwagi na wysoką efektywność spalania, a także niską objętość spalin tworzących się w takich systemach [11]. W tabeli 3.2 podano zakres zastosowań przedstawionych technologii wraz z ich przydatnością do utylizacji odpowiedniej grupy odpadów [22].

Tabela 3.2. Zakres zastosowań współczesnych instalacji termicznego unieszkodliwiania odpadów [22]

rodzaj technologii	rodzaj odpadów			
	komunalne	szpitalne	niebezpieczne	osady ściekowe
z paleniskiem rusztowym	xx	x	x	o
piece obrotowe	x	x	xx	x
z warstwą fluidalną	x	o	x	xx
quasi-pirolityczne	xx	x	x	x

oznaczenia: xx – podstawowego przeznaczenia, x – stosowane, o – nie stosowane

Spalanie jest jednym z najkosztowniejszych sposobów utylizacji osadów ściekowych, mimo to czasem koniecznym do użycia w przypadku, gdy w tych odpadach występuje duża zawartość metali ciężkich bądź nie ma powierzchni do ich składowania. Warunkiem koniecznym tego procesu jest odpowiednie przygotowanie osadu tzn. zagęszczenie go w możliwie jak największym stopniu [27].

Podstawowe różnice pomiędzy osadami a paliwami konwencjonalnymi są następujące [10]:

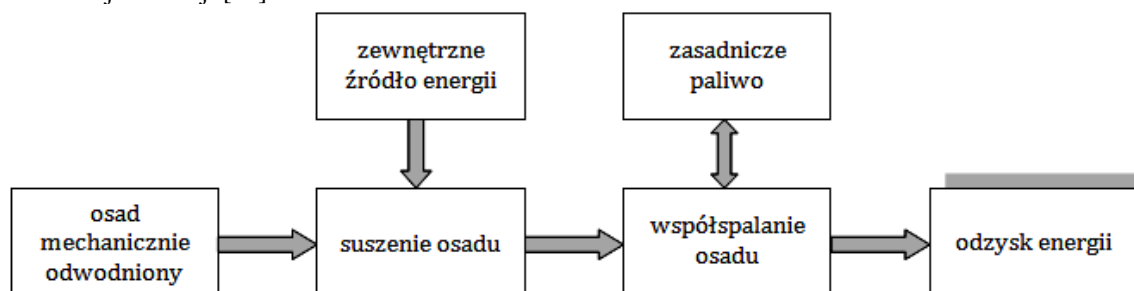
- duża wilgotność oraz zawartość popiołu w osadach,
- niska wartość opałowa,
- znaczna zawartość substancji szkodliwych m.in.: chloru, siarki, metali.

Spalanie osadów nie jest procesem obojętnym dla środowiska, a wynika to z emisji [10]: CO, SO₂, NO_x, pyłu, WWA, dioksyn oraz furanów. Wymagane jest również stosowanie rozbudowanej instalacji oczyszczania spalin. Wynika to z występowania w popiołach skumulowanych ładunków metali ciężkich występujących w osadach [10].

Wśród zalet procesu spalania osadów możemy wyróżnić: zmniejszenie objętości osadów, niewielką wrażliwość na zmienność składu odpadów, minimalizację odorów, możliwość wykorzystania wtórnych produktów ze spalania. Natomiast do wad procesu spalania zaliczamy: wysokie koszty budowy i eksploatacji spalarni, a w przypadku współspalania z paliwami kopalnymi trudności z dotrzymaniem norm emisji [39].

3.1. Współspalanie osadów ściekowych z paliwami węglowymi

Na rys. 3.4 przedstawiono schematycznie przypadek przebiegu procesu suszenia i termicznego przekształcania osadów. Obrazuje on przypadek współspalania osadów, które poddano wcześniej procesowi suszenia w oddzielnej instalacji [21].



Rys. 3.4. Schemat procesu odzysku energii z wstępnie osuszonych osadów [21]

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 [28] instalacja współspalania odpadów to instalacja, która ma za główny cel wytwarzanie energii lub innych produktów, w których wraz z paliwami są spalane odpady w celu odzysku zawartej w nich energii bądź ich unieszkodliwienia. Obejmuje następujące procesy: spalanie, pirolizę, zgazowanie oraz proces plazmowy, przy czym substancje powstające podczas przekształcania są następnie współspalane z paliwami. Wśród technologii współspalania osadów ściekowych z różnymi rodzajami paliw, wyróżniamy [17, 24]:

- współspalanie z odpadami mechanicznymi w spalarniach – możliwe w przypadku uzasadnionego ekonomicznie transportu mechanicznie odwodnionych osadów ściekowych. Warunkiem jest wyższa wartość opałowa współspalanych odpadów komunalnych w celu kompensacji części energii niezbędnej do wstępnego osuszenia osadów.

- współspalanie osadów ściekowych w piecach obrotowych w przemyśle cementowym – (warunki: temp. procesu $>1450-1800^{\circ}\text{C}$, czas przebywania gazów $4 \div 10\text{s}$) to sposób zagospodarowania osadów, który zapewnia całkowitą destrukcję materii organicznej oraz bezpieczeństwo dla środowiska [27].
Ogólne zalety współspalania osadów ściekowych w piecach cementowych to [27]:
 - brak znaczącego wpływu na emisję zanieczyszczeń z pieca cementowego, dozowanych paliw odpadowych; pomimo tego, że spalaniu można poddać odpady zarówno stałe jak i ciekłe,
 - proces przebiega w środowisku silnie alkalicznym, co sprzyja wiązaniu chemicznemu kwaśnych składników gazów spalinowych, powstałych w czasie spalania odpadów (HF, HCl, SO₂, Cl itp.),
 - niepalne części paliw odpadowych jak również metale ciężkie zostają wbudowywane w strukturę wypalanego klinkieru, przyczynia się to do zmniejszenia ich emisji,
 - znaczna bezwładność cieplna wyklucza awaryjną oraz niekontrolowaną emisję zanieczyszczeń, np. w wyniku chwilowego zaniku płomienia;
- współspalanie osadów w energetycznych kotłach pyłowych – umożliwia współspalanie osuszonego i uwodnionego osadu. Technologię tę doskonale opanowały elektrownie zawodowe w Niemczech, a uzyskane efekty pozwalają optymistycznie rozważać jej zastosowanie w warunkach polskich.

Z doświadczeń dotyczących współspalania osadów ściekowych wynika, że najlepszą instalacją do spalania odpadów komunalnych to spalarnia rusztowa z rusztem posuwisto-zwrotnym bądź walcowym. W przypadku spalarni fluidalnej konieczne jest dokładne rozdrobnienie odpadów komunalnych, co znacznie podnosi koszty inwestycyjne, a razem eksploatacyjne [27].

Możliwe jest współspalanie osadów ściekowych z następującymi paliwami węglowymi:

a) **węglem**

Dopuszczalny udział osadu w mieszance paliwowej należy ustalić eksperymentalnie. Według jednych specjalistów w kotłowniach węglowych wspomniany odpad może zastąpić $3 \div 5\%$ węgla. Natomiast firma Lurgi uważa, że możliwe jest by osad ściekowy zastąpił nawet do 10% paliwa podstawowego. Doświadczenia tej firmy wskazują możliwość spalania odpadów w kotłach na węgiel kamienny jak i brunatny. Ograniczeniem jednak w pierwszym przypadku jest konieczność wysuszenia osadu do ok. 90%_{s.m.o.}, natomiast w drugim można je tylko wstępnie odwodnić – udział 25%_{s.m.o.} [25].

Autorzy pracy [38] podają, że rozwiązania światowe nie wykorzystują procesu współspalania osadów wraz z węglem w stacjonarnej warstwie fluidalnej, ponieważ wynika to z segregacji wybranych czynników w warstwie oraz zakłóceń prawidłowego przebiegu procesu. Wymienione zjawiska, mają miejsce także przy spalaniu z interną warstwą fluidalną, narzucają konieczność odpowiedniego doświadczenia w celu poprawnego prowadzenia procesu.

Natomiast zgodnie z [38] przeprowadzone testy współspalania osadów ściekowych z węglem potwierdzają możliwość realizacji tego procesu w paleniskach kotłów z rusztem mechanicznym. Badania wykazały, że mimo wzrostu zawartości poszczególnych metali w żużlach oraz popiołach uzyskanych ze spalania mieszanek, żaden z analizowanych metali nie przekroczył wartości dopuszczalnych przewidzianych dla tych odpadów. Badania, które zostały przeprowadzone w czasie spalania omawianej mieszanki wykazały wzrost emisji analizowanych metali, pyłów, SO₂, NO_x. Dlatego należy współspalać dane paliwa w instalacjach posiadających wysokosprawne instalacje odpylania, odsiarczania spalin bądź wykorzystać węgle z małą zawartością siarki, w przypadku kotłów nie posiadających urządzeń odsiarczania spalin. W celu ograniczenia emisji NO_x należy każdorazowo wykonywać badania umożliwiające dobranie optymalnych parametrów procesu. Testy współspalania takiej mieszanki były prowadzone na kotle ORS – 16 z rusztem mechanicznym, posiadającym baterie multicyklonów. Sprawność instalacji odpylania była na poziomie średnio 95%. Badania obejmowały zakres spalania kilku mieszanek osadów oraz węgla, przy czym udział odpadu wynosił od 10 do maksymalnie 30% masy całego paliwa. Wykorzystany w testach osad posiadał średnio od 10 do 70% wilgoci. W tabeli 3.3 zestawiano niektóre parametry spalanego węgla i osadu.

W tabeli 3.3 zestawiono wybrane parametry spalanych w trakcie wspomnianych badań osadów oraz węgla. Spalane odpady w odniesieniu do węgla posiadały:

- mniejszy średnio o połowę udział pierwiastka węgla,
- wyższy udział wodoru o ok. 30%,
- wyższy udział azotu – ponad 3 razy,
- dwukrotnie wyższy udział siarki,

- mniejszy udział chloru,
- niższą wartość opałową,
- w odniesieniu do metali: Al, Co, Se – porównywalne ilości; As, Ni, V – mniejsze; Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Pb, Sn, Zn – większe ilości.

Tabela 3.3. Wyniki analiz składu elementarnego i innych własności osadów użytych do testów [38]

pozycja	jednostka	osad I	osad II	węgiel I	węgiel II
skład elementarny					
zawartość:					
węgla c	% _{s.m.o.}	29,84	30,80	61,37	57,60
wodoru h	% _{s.m.o.}	4,66	4,28	3,84	3,54
azotu n	% _{s.m.o.}	3,91	3,56	1,22	1,11
siarki s	% _{s.m.o.}	1,83	1,09	0,98	0,88
chloru Cl	% _{s.m.o.}	0,079	0,070	0,273	0,308
wartość opałowa	kJ/kg	10900	10700	20200	19400
wilgotność	%	10,34	15,38	11,11	11,54
części palne	% _{s.m.o.}	61,48	58,04	81,21	74,16
części niepalne	% _{s.m.o.}	38,517	41,965	18,79	25,84
Al	ppm	27 406 – 28 571		28 835 – 29 645	
As	µg/kg	6,2 – 15,3		37,6 – 48,0	
Cd	ppm	1,36 – 1,50		0,58 – 0,62	
Co	ppm	10,9 – 13,9		13,7 – 14,9	
Cr	ppm	106,2 – 120,3		35,4 – 39,1	
Cu	ppm	160,5 – 168,9		38,6 – 45,3	
Fe	ppm	23 586 – 25 144		9 499 – 10 967	
Hg	ppm	1,99 – 2,38		0,16 – 1,29	
Mg	ppm	4 519 – 5 697		2 824 – 3 970	
Mn	ppm	479 – 489		108 – 138	
Ni	ppm	21,5 – 24,7		30,5 – 33,3	
Pb	ppm	45,9 – 49,5		17,7 – 19,6	
Se	ppm	1,2 – 1,3		0,9 – 1,3	
Sn	ppm	23,1 – 27,1		1,7 – 1,9	
V	ppm	34,1 – 36,4		123,5 – 125,6	
Zn	ppm	2 432 – 2 837		51,0 – 70	
* s.m.o. – sucha masa osadu					

Autorzy pracy [38] zaznaczają, że prowadzone badania dowiodły, że spalanie mieszanki o 30% udziale osadów ściekowych mających 72% wilgotności doprowadza do wygaszenia kotła.

Z kolei w kotle pyłowym OP-230 przeprowadzono pierwsze w Polsce przemysłowe testy współspalania osuszonych komunalnych osadów ściekowych wraz z węglem kamiennym. Miało to miejsce w Elektrowni Wybrzeże, znajdującej się w Gdańsku, przy współpracy IChPW (Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla) w Zabrze. W tej instalacji współspalano osady pochodzące z Oczyszczalni Ścieków „Gdańsk - Wschód”. By wykorzystać osad osuszono go do zawartości wilgotności poniżej 10%. Testy energetyczno – emisyjne prowadzone były, jako porównawcze dla spalania węgla i mieszanki paliwowej, w której udział wysuszonych osadów ściekowych wynosił 1%, przy zbliżonym obciążeniu kotła. Pomiary były prowadzone przez czas sześciu godzin w określonych warunkach stanu pracy kotła. Pomiary obejmowały wyznaczenie rozkładu temperatury w różnych strefach komory paleniskowej kotła, a także określenie wszystkich oznaczeń emisyjnych (z wyjątkiem dioksan i furanów), koniecznych dla współspalania odpadów [31, 34]. W tabeli 3.4 przedstawiono właściwości fizykochemiczne składników mieszanki paliwowej wykorzystanej do badań.

Tabela 3.4. Właściwości fizykochemiczne składników mieszanki paliwowej [34]

parametr	symbol	jednostka	składnik mieszanki		mieszanka z udziałem 1% m/m osadu ściekowego
			węgiel kamienny	osad ściekowy	
analiza techniczna					
wilgość całkowita	W_t^r	%	9,8	7,4	9,8
wilgość analityczna	W^a	%	4,4	6,8	4,4
popiół	A^a	%	17,1	34,3	17,3
zawartość części lotnych	V^a	%	32,85	47,8	33,0
zawartość części lotnych	V^{daf}	%	41,88	82,4	42,3
ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	25511	13094	25380
wartość opałowa	Q_i^a	kJ/kg	24477	11946	24330
analiza elementarna					
węgiel	C^a	%	64,1	31,3	63,8
wodór	H^a	%	4,52	4,49	4,52
siarka całkowita	S_t^a	%	0,45	1,25	0,46
siarka popiołowa	S_A^a	%	0,19	0,32	0,19
siarka palna	S_C^a	%	0,26	0,93	0,27
azot	N^a	%	1,40	4,49	1,43
chlor	Cl^a	%	0,045	0,089	0,045

Wykorzystane osady cechują się w stosunku do węgla kamiennego:

- wyższą zawartością popiołu,
- wysoką zawartością części lotnych,
- prawie dwukrotnie niższą wartością opałową,
- wyższą zawartością chloru.

Z porównania zestawionych właściwości węgla i mieszanki paliwowej (z 1% udziałem osadów) wynika, że nie różnią się one diametralnie. Zaobserwować można przy tym jednak wzrost zawartości popiołu, siarki oraz azotu, części lotnych, a także minimalny spadek zawartości węgla i wartości opałowej. Sprawność energetyczna brutto kotła przy współspalaniu wspomnianej mieszanki spadła z 92, 48% do 92,00% [31], a więc sprawność kotła spadła minimalnie.

Na podstawie niemieckich doświadczeń ze współspalania węgla z osadami można wysunąć wniosek, że przy zachowaniu udziału do 5% osadów w masie spalanej paliwa [32]:

- nie ma problemów z przekraczaniem norm emisji metali ciężkich oraz węglowodorów, gdy proces prowadzi się w kotłach, które posiadają wysoko sprawne instalacje odpylania (idealnie z odsiarczaniem spalin),
- również nie występują przekroczenia dopuszczalnych wskaźników emisji furanów czy dioksyn,
- udział produktów spalania tych odpadów w żużlu, a także popiołach nie wpływa na możliwości ich wykorzystania,
- emisja pyłów zależy od zawartości frakcji pylistej w suchych osadach;

b) miałem węglowym

Autorzy pracy [6] przedstawiają możliwość współspalania osadów ściekowych z miałem węglowym. W tym celu posłużono się piecem jednostrefowym, rurowym PRC 20HM. Jest to piec laboratoryjny z poziomym układem grzejnym, którego maksymalna temperatura pracy ciągłej wynosi 1200°C z dokładnością jej regulacji $\pm 5^\circ\text{C}$. Badaniom poddano miał węglowy wraz z osadem pochodzącym z zakładu przetwórstwa ryb. W tabeli 3.5 przedstawiono charakterystykę materiałów użytych do badań.

Tabela 3.5. Charakterystyka materiałów użytych do badań [6]

parametr	osady ściekowe		miał węglowy
	zawartość wilgoci, A^a , %	osady uwodnione	
	osady wysuszone	10,63	8,10
zawartość części lotnych, V^a , %	29,34		35,72
zawartość części mineralnych, %	60,03		56,18
ciepło spalania, Q_s , MJ/kg	17,79 ÷ 18,34		25,33 ÷ 26,02

Na podstawie tabeli 3.5 można stwierdzić, że osady ściekowe cechowały się znacznym udziałem wilgoci (powyżej 60%) mogącej ujemnie wpływać na efektywność spalania. Dlatego osady wysuszone do uzyskania 90%_{s.m.o.} po czym rozdrobniono do wielkości ziaren 1 ÷ 2 mm. Rozdrabnianie miało na celu ujednoczenie wielkości ziaren osadów i mialu węglowego. Operacje te ułatwiły zarówno dozowanie jak i mieszanie tych odpadów z miałem [6]. W pierwszym etapie badań przeprowadzono pomiar ciepła spalania danej mieszanki przy pomocy kalorymetru. W tabeli 3.6 zebrano zmiany analizowanego parametru w zależności od udziału osadów w mieszance paliwowej.

Tabela 3.6. Zmiany wartości energetycznych w zależności od procentowego udziału osadów ściekowych w mieszance mialowo – osadowej [6]

udział osadów ściekowych w mieszance mialowo - osadowej U_o , %	ciepło spalania Q_s , MJ/kg	Procentowy spadek ΔQ_s w stosunku do Q_s samych osadów ściekowych, %
0	25,95	0,0
1	25,90	0,2
2	25,67	1,1
5	25,54	1,6
10	25,10	3,3
15	23,24	10,4
30	20,12	22,5
50	19,54	24,7
80	19,02	26,7
100	17,85	31,2

Przeprowadzona analiza właściwości energetycznych osadów oraz mialu pokazała różnice pomiędzy nimi. Na przykład ciepło spalania przy wilgotności około 10% dla mialu wynosiło ok. 26 MJ/kg, podczas gdy dla osadu ok. 18 MJ/kg. Ponadto zauważono nieznaczne zmiany wspomnianego parametru dla wzrostu udziału tych osadów w przedziale 0 ÷ 10%. Procentowy spadek wartości Q_s był na poziomie średnio 2%. Następnie zaobserwowano gwałtowny spadek właściwości energetycznych mieszanki mialowo – osadowej powyżej 30% przy zawartości osadów 100% [6]. Spalanie prowadzono w temperaturze w zakresie 900 ÷ 930°C oraz średnim współczynnikiem nadmiaru powietrza równym 5,77%. Procesowi poddawano próbkę mieszanki o masie 0,1 g [6]. Badania pozwoliły na stwierdzenie, że dodatek osadów w ilości do 5% masy omawianej mieszanki nie wpływa w znacznym stopniu na wskaźniki zanieczyszczenia gazów spalinowych [6];

c) mulem węglowym

Prace [8, 26] przedstawiają sposób wspólnego zagospodarowania osadów ściekowych wraz z mulami węglowymi. Opiera się on na wytworzeniu granulatów. Aby je uzyskać należy oba odpady wymieszać oraz doprowadzić do plastycznej masy mającej odpowiednią wilgotność. W tabeli 3.7 przedstawiono charakterystykę osadów ściekowych w odniesieniu do innych paliw [26]

Tabela 3.7. Charakterystyka osadów ściekowych w porównaniu z innymi paliwami [26]

oznaczenie	osad ściekowy	odpadowy mul węglowy	węgiel kamienny	węgiel brunatny	drewno odpadowe
wartość opałowa [MJ/kg]	8 ÷ 21,5	8 ÷ 16	25 ÷ 30	8 ÷ 16	13
popiół [%]	30	30 ÷ 60	5,3	10 ÷ 20	0,8
węgiel [%]	50	31	88	66	50,7
wodór [%]	6	3,7	6	5	5,9
siarka [%]	1,0	1 ÷ 1,5	0,8	0,7 ÷ 7	0,04

Do badań wykorzystano osady ściekowe z Częstochowskiej Oczyszczalni Ścieków, natomiasy muły węglowe z KWK „Janina”. Analizowane osady zostały pobrane po procesie fermentacji oraz odwodnieniu na prasach mechanicznych, po czym poddano je analizie technicznej, co przedstawiono w tabeli 3.8 [26].

Tabela 3.8. Właściwości badanych osadów [26]

oznaczony parametr	osady ściekowe z Częstochowy
pH	6,6
wilgotność [%]	75,2
sucha masa [%]	24,8
związki organiczne [% wag.]	57,5
związki nieorganiczne [% wag.]	42,5
wartość opałowa [kJ/kg _{s.m.o.}]	10998
zawartość C [% wag.]	32
zawartość H [% wag.]	3,6
zawartość N [% wag.]	1,8
zawartość S [% wag.]	1,0
* _{s.m.o.} – sucha masa osadu	

Odpadowe muły węglowe do badań zostały pobrane wprost z produkcji po filtracji. Parametry technologiczne analizowanego mułu przedstawiono w tabeli 3.9 [26].

Tabela 3.9. Analiza techniczna odpadowego mułu węglowego [26]

oznaczenie	zawartość [%]
wilgotność higroskopijna	5,25
popiół w stanie analitycznym	60,72
siarka całkowita	1,05
węgiel pierwiastkowy	23,30
związki lotne	9,17
węglany CO ₂	0,51

Skład mieszanki granulatu sporządzono dla różnych proporcji osadu i mułu, co przedstawiono w tabeli 3.10 [26].

Tabela 3.10. Skład mieszanek do sporządzenia granulatów [8, 26]

skład mieszanki
100% odpadowego mułu węglowego
75% odpadowego mułu węglowego, 25% osadu ściekowego
50% odpadowego mułu węglowego, 50% osadu ściekowego
25% odpadowego mułu węglowego, 75% osadu ściekowego
100% osadu ściekowego

Tak przyrządzone mieszanki pozostawiono na 24 ÷ 28 h, w warunkach powietrzno – suchych celem ujednoczenia zawartości wilgoci. Następnie po sezonowaniu mieszanki zgranulowano, po czym przeprowadzone zostały badania ich wytrzymałości mechanicznej. Okazało się, że wzrasta ona wraz z udziałem odpadowego mułu. Na podstawie uzyskanych wyników wybrano skład mieszanki 50% osadu/50% mułu i poddano analizie. W tabeli 3.11 zestawiono analizowane parametry [26].

Tabela 3.11. Parametry wytworzonych granulatów [26]

oznaczony parametr	granulat mułowo- osadowy 50/50
wartość opałowa [MJ/kg]	9,8
zawartość siarki [%]	1,0
zawartość wilgoci [%]	5,1
zawartość popiołu [%]	39

Otrzymany granulat, wytworzony z dwóch odpadów nadaje się do termicznej utylizacji, warunkuje to wartość opałowa zbliżona do węgla brunatnych. Paliwo uzyskane z mułu węglowego i osadów ściekowych wykazuje wytrzymałość mechaniczną, co jest niezbędne w przypadku operacji załadunku, transportu czy dozowania.

Ponadto można je spalać w warunkach autotermicznych, co wynika z wartości opałowej mieszanki. Ograniczeniem w tym przypadku może być jedynie emisja metali ciężkich [8];

– **biomasą**

W przypadku osadów ściekowych suszenie jest podstawowym czynnikiem warunkującym użycie ich jako paliwa. Uzyskać można w ten sposób produkt w postaci granulowanej o zawartości 90%_{s.m.o.}. Tak przygotowany osad można współspalać, sporządzając mieszaninę z odpadami drewna, słomy żytniej oraz rzepakowej czy kory sosnowej w różnych proporcjach masowych lub objętościowych [33]. Współspalając mieszkankę biomasy z wysuszonym osadem ściekowym można uzyskać poprawę wskaźników energetycznych. Istnieje możliwość poddania procesowi zgazowania takiego paliwa węglowego, co uatrakcyjnia go biorąc pod uwagę opłacalność oraz efektywność spalania [33].

Kora sosnowa, jako przykład biomasy, którą można współspalać z wspomnianymi osadami, posiada wartość opałową na poziomie 18,5 ÷ 20 MJ/kg, zawartość popiołu 1 ÷ 3%_{s.m.o.} i wilgotność 55 ÷ 65%. Część kory w czasie obróbki drewna zostaje przekształcona w trociny. Kora zanim zostanie podana do kotła z podajnikiem ślimakowym jest poddawana zrębkowaniu przy użyciu rębaka z górnym zasypem. Priorytetowe składniki chemiczne kory to celuloza oraz lignina [33].

Autorzy pracy [33] podają, że badania współspalania kory sosnowej wraz z wysuszonym osadem o 90%_{s.m.o.} wykonano dla następujących udziałów procentowych paliwa:

- 10% suchego osadu ściekowego oraz 90% kory sosnowej,
- 40% suchego osadu ściekowego oraz 60% kory sosnowej.

Dla powyższych proporcji wyznaczono parametry: ciepło spalania, wartość opałową, gęstość zawartość popiołu, a także wilgotność, co przedstawiono w tabeli 3.12.

Tabela 3.12. Analiza techniczna paliwa z biomasy [33]

nazwa paliwa	gęstość, kg/m ³	wilgotność, %	zawartość popiołu, %	ciepło spalania kJ/kg	wartość opałowa, kJ/kg
kora sosnowa	1062,83	7,95	4,56	19080,00	17835,00
wysuszony osad ściekowy	1129,92	10,90	30,20	13350,00	12401,00
kora sosnowa 90% i 10% wysuszonego osadu ściekowego	1021,00	6,974	7,85	17916,00	16741,00
kora sosnowa 60% i 40% wysuszonego osadu ściekowego	1106,38	7,242	14,93	16574,00	15453,00

Przeprowadzone badania wskazują na możliwość wykorzystania do współspalania omawianej mieszanki kory sosnowej i osadów w proporcji 20 ÷ 40%. Natomiast przy proporcjach większych proces ten jest niekorzystny, ze względu na zbyt niską wartość opałową wspomnianej mieszaniny [33]. Współspalanie przedstawionych paliw jest możliwe, ale gdy wilgotność kory sosnowej wynosi do 25%, natomiast osadu średnio do 10% [33].

Inną możliwością współspalania osadów (o uwodnieniu ok. 80%) z biomasą jest instalacja SFH, która znalazła zastosowanie w oczyszczalni ścieków w Niepołomicach. Składa się ona z komory spalania (podawanie paliwa automatyczne za pomocą dozownika, paliwo zapala się w temp. co najmniej 850°C, czas przebywania gazów we wspomnianej temp. – 2s, poziom tlenu w spalinach ok. 6%), rekuperatora (który podgrzewa powietrze do temperaturę 400°C, by złożo uzyskało temperaturę 850°C), komory dopalania, wymiennika ciepła (czynnik grzewczy – woda o temp. 95°C), systemu oczyszczania spalin oraz sterowania i automatyki [29].

Jak podaje źródło [15] firma FUWI-GAZ z Elbląga do zasilania dwóch kotłów c.o. wykorzystuje paliwo na bazie: osadu 40%, suchego mialu węglowego 20% oraz zrębków drewnianych 40%. Wartość opałowa takiej mieszanki przyjmuje wartość ok. 12 MJ/kg.

4. Podsumowanie

Każdy z przedstawionych w artykule sposobów unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych posiada wady i zalety. Oprócz wspomnianych cech również ich właściwości oraz odpowiednie uregulowania prawne decydują o tym, która z metod utylizacji osadów ściekowych znajdzie odpowiednie zastosowanie.

Kierując się możliwością przyrodniczego wykorzystania tych odpadów należy zwrócić uwagę na występujące w nich związki biogenne i substancje organiczne, a także aspekty ekonomiczne. Ograniczeniem dla tej metody jest jednak niewielki stan wiedzy dotyczący zawartości mikrozanieczyszczeń oraz organizmów patogennych, w osadach ściekowych, a co za tym idzie ich wpływ na organizmy żywe.

Metody termiczne z kolei zapewniają znaczną redukcję materiału wejściowego, a przy tym możliwość wykorzystania wtórnych produktów oraz co istotne - minimalizację nieprzyjemnych zapachów pochodzących z tych odpadów. Wadą jest jednak koszt związany z budową i eksploatacją odpowiedniej instalacji, a także problemy z dotrzymaniem norm emisji (w przypadku współspalania).

Składowanie jest tanią metodą wykorzystania osadów ściekowych, lecz nie rozwiązuje problemu związanego ze wzrastającą ilością tych odpadów na składowiskach.

Odnosząc się do krajowego planu gospodarki odpadami 2014 [36], należy się spodziewać w przyszłości:

- zmniejszenia ilości kierowanych osadów ściekowych do składowania,
- zwiększenia ilości kierowanych osadów ściekowych do przetwarzania przed wprowadzaniem do środowiska, a także przekształcania metodami termicznymi,
- wykorzystania jak tylko jest to możliwe substancji biogennej, wchodzących w skład wspomnianych odpadów, uwzględniając przy tym wymogi odnoszące się do bezpieczeństwa środowiskowego, sanitarnego i chemicznego.

Literatura

1. Bień J.B., Osady ściekowe – teoria i praktyka. Wyd. II poprawione i uzupełnione. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
2. Chodur M., Aspekty energetyczne spalania osadów ściekowych. *Wodociągi – Kanalizacja*, 5, 2009, s. 76-77.
3. Chodur M., Doświadczenia Vivendi Water w zakresie termicznych procesów przeróbki osadów ściekowych. Artykuł promocyjny Vivendi Water Systems Polska. *EkoTechnika*, 3, 2002, s. 35-36.
4. Chodur M., System BioCon – ekonomiczny proces suszenia i spalania osadów ściekowych. *EkoTechnika*, 4, 2002, s. 38-39.
5. Chodur M., Zalecenia dyrektywy UE: spalanie osadów z oczyszczalni ścieków w piecu ze złożem fluidalnym. *EkoTechnika*, 3, 2004, s. 40-42.
6. Dąbrowski J., Dąbrowski T., Rytłewska A., Piecuch T., Badania laboratoryjne nad możliwością współspalania miału węglowego i osadów ściekowych pochodzących z przetwórstwa ryb. *Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Seria: Inżynieria Środowiska Politechnika Koszalińska*, 23, 2007, s. 305-320.
7. Fieducik J., Gawroński A., Suszenie i spalanie osadów ściekowych jako metoda ich utylizacji na przykładzie spalarni w Olsztynie. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska z.57, 271*, 2010, s. 147-154.
8. Girczys J., Rećko K., Możliwość wspólnego zagospodarowania osadów ściekowych z odpadowymi mułami węglowymi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 1, tom 4, 2001, s. 107-116.
9. Góralczyk S., Kukielska D., Kruszywo lekkie z odpadów. *Przegląd Komunalny*, 11, 2009, s. 52-55.
10. Górski M., Zabawa S., Zarządzanie gospodarką odpadami: techniczno-organizacyjno-prawne aspekty gospodarki odpadami. *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*, Poznań 2008.
11. Gromiec M. J., Koć J., Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych po 2013r. *Wodociągi – Kanalizacja*, 9, 2009, s. 24-25.
12. Heidrich Z., Witkowski A., Urządzenia do oczyszczania ścieków. Projektowe przykłady obliczeń. Wydanie II, Wydawnictwo „Seidel – Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa 2010.
13. http://www.veoliawaterst.pl/vwst-poland/ressources/files/1/7638,VWS_flyer_Pyrofluid.pdf
14. Kempa E.S., *Gospodarka odpadami miejskimi*. Arkady, Warszawa 1983.

15. Korczak-Niedzielska M., Gromiec M.J., Porównanie wybranych metod unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, tom 3, 1-2, 2000, s.73-82.
16. Kosior-Kazberuk M., Nowe dodatki mineralne do betonu. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 2, 1, 2011, s. 47-55.
17. Malej J., Odpady i osady ściekowe. Charakterystyka, unieszkodliwianie, zagospodarowanie. Wydawnictwo Politechniki koszalińskiej, Koszalin 2004.
18. Miksch K., Sikora J., *Biotechnologia ścieków*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
19. Niemiec W., Sobolewska P., Jasiński T., Wybrane możliwości przyrodniczego zagospodarowania osadów ściekowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z.42, 240, 2007, s. 63-72.
20. *Ochrona Środowiska 2000-2010*. Główny Urząd Statystyczny. Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa 2000-2010.
21. Pająk T., Komunalne osady ściekowe jako biomasa w świetle prawa i praktyk krajów UE. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, tom 11, 3, 2008, s. 287-300.
22. Pająk T., Metody termicznego unieszkodliwiania odpadów. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 2, 1998, s. 53-56.
23. Pająk T., Spalanie i współspalanie osadów ściekowych- podstawowe uwarunkowania. *Przegląd Komunalny*, 1, 2003, s. 35-38.
24. Pająk T., Wielgosiński G., Współczesne technologie suszenia i spalania osadów ściekowych – kryteria i uwarunkowania wyboru technologii. II Międzynarodowa i XIII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna n.t. Nowe spojrzenie na osady ściekowe, Odnawialne źródła energii, 3-5 luty, Częstochowa 2003, s. 491-500.
25. *Poradnik gospodarowania odpadami: Podręcznik dla specjalistów i referentów ds. Ochrony Środowiska: Stan prawny na 1 kwietnia 2006*. Pod redakcją K. Skalmowskiego, Tom 4, Wydawnictwo Verlag Dashofer, Warszawa 2006.
26. Rećko K., Termiczna utylizacja osadów ściekowych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, Vol.2, 2005, s.17-24.
27. Rosik – Dulewska C., *Podstawy gospodarki odpadami*. PWN, Warszawa 2008.
28. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji.
29. Schmidt M., Współspalanie osadów ściekowych w złożu fluidalnym. *Czysta Energia*, 10, 2005, s. 24-25.
30. Siuta J., Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. *Przegląd Komunalny*, 1, 2002, s. 38-40.
31. Stelmach S., Wasielewski R., Zuwała J., Sobolewski A., Komunalne osady ściekowe jako paliwo odnawialne – droga do współspalania w energetyce zawodowej. *Czysta Energia*, 11, 2006, s. 28-29.
32. Szczygieł J., Energia z osadów ściekowych. *Czysta Energia*, 11, 2004, s. 34-35.
33. Szymczak M., Chalamoński M., Spalanie wysuszonego osadu ściekowego wymieszanego z korą sosnową. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 42/2, 2011, s. 58-60, 64.
34. Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., *Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce*. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechniki Śląskiej, Zabrze - Gliwice 2007.
35. Środa Katarzyna, Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H., Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna*, 28, 2012, s.67-81.
36. Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014” (Monitor Polski Nr 101, Poz. 1183).
37. Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001r. (Dz.U. Nr 62, Poz. 628 z póź. zm.).

38. Wandrasz J.W., Koziół M., Landrat M., Ścierański W., Wandrasz A.J., Możliwości współspalania osadów z oczyszczalni ścieków z węglem w kotłach rusztowych. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 8, 2000, s. 10-15.
 39. Wielgosiński G., Spalanie, współspalanie i suszenie osadów ściekowych. *Przegląd Komunalny*, 1, 2002, s. 44-47.
 40. Wielgosiński G., Kozłowska B., Sewage sludge energy recycling. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, Vol.12, 9, 2005, s. 937-951.
-

