



## The energy potential of sewage sludge in the Silesian Voivodeship

Jacek NIESLER<sup>1</sup>, Jan NADZIAKIEWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Stypendysta DoktorIS – programu stypendialnego na rzecz innowacyjnego Śląska, Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice, e-mail: [jacek@niesler.pl](mailto:jacek@niesler.pl)

<sup>2</sup> Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, e-mail: [jan.nadziakiewicz@polsl.pl](mailto:jan.nadziakiewicz@polsl.pl)

### Abstract

From 1 January 2016 the storage of sewage sludge in Poland will be prohibited. Since the amount of produced sewage sludge is expected to increase, special attention should be given to using it for energy-related purposes. The article presents an overview of the amount of sewage sludge produced by sewage treatment plants and its relation to the treatment technology. The energy potential of the sewage sludge incinerated or co-combusted with coal or municipal solid waste in dedicated units was evaluated on the basis of the amount and energy parameters of the sludge from the Silesian Voivodeship. This method of utilization reduces the CO<sub>2</sub> emissions as well as coal consumption for power production.

**Keywords:** sewage sludge, combustion, co-combustion, technology, calorific value

### Streszczenie

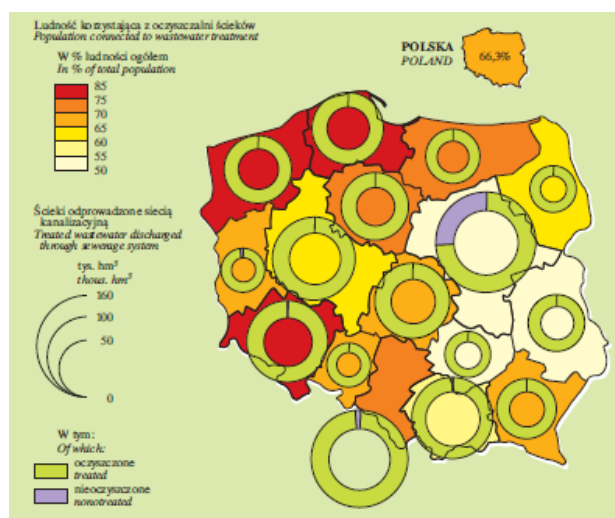
Potencjał energetyczny osadów ściekowych województwa śląskiego.

Od dnia 1.01.2016 ma obowiązywać zakaz składowania osadów ściekowych, a ilość wytworzonych osadów ściekowych będzie się zwiększać dlatego też warto zwrócić uwagę na ich energetyczne wykorzystanie. W artykule przedstawiono zestawienie ilości wytwarzanych osadów przez oczyszczalnie ścieków i ich powiązanie z technologią oczyszczania. W oparciu o dane o ilości i parametrach osadów wytwarzanych w województwie określono potencjał energetyczny osadów spalanych w przeznaczonych do tego celu instalacjach ich spalania lub współspalania z węglem lub z odpadami komunalnymi. Taki sposób utylizacji pozwoli na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery i zmniejszy zużycie węgla do celów energetycznych.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, spalanie, współspalanie, technologia, wartość opałowa

### 1. Stan aktualny i prognoza

W województwie śląskim w 2011 roku odprowadzono siecią kanalizacyjną 146,9 tys. hm<sup>3</sup> ścieków. Pod względem wytworzonych komunalnych osadów ściekowych, śląskie plasuje się na pierwszym miejscu z wynikiem 60,5 tys. Mg s.m. [1]. Ludność korzystającą z oczyszczalni ścieków i stopień oczyszczania ścieków odprowadzonych kanalizacją według województw przedstawia rys. 1.1. W Polsce ilość wytworzonych komunalnych osadów ściekowych będzie się zwiększać wraz ze wzrostem ilości gospodarstw domowych przyłączonych do zbiorczej sieci kanalizacyjnej, liczby oczyszczalni ścieków oraz jakości ich oczyszczenia. KPGO [2] przewidywał, że do 2018 roku 55% osadów będzie spalane, udział wykorzystania osadów w rolnictwie i do rekultywacji zmniejszy się w sumie do 25%, a pozostałe 20% będzie kompostowane.



Rys. 1.1. Ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków i stopień oczyszczania ścieków odprowadzonych kanalizacją według województw 2011 r. [2].

## 2. Technologia

W gospodarce osadowej wyróżniamy cztery podstawowe procesy będące etapami całego procesu przetwarzania osadów. Są to: odwadnianie, stabilizacja, higienizacja i końcowe zagospodarowanie rozumiane jako proces kończący się odzyskiem lub unieszkodliwieniem.

Skład osadów ściekowych zależy nie tylko od rodzaju oczyszczanych ścieków, ale także od stosowanych procesów ich oczyszczenia. Dominującym składnikiem komunalnych osadów ściekowych jest woda, która występuje w czterech formach:

- wody wolnej, którą można usunąć w procesie sedymentacji lub flotacji,
- wody związanej (koloidalnej), uwięzionej w porach, którą jedynie częściowo można usunąć mechanicznie,
- wody adhezyjnej (kapilarnej), absorbowanej na powierzchni cząstek osadu, którą jedynie częściowo można usunąć mechanicznie,
- wody związanej, wewnątrzkomórkowej, którą jedynie częściowo można usunąć przez kondycjonowanie.

Przy zawartości wody od 88%, woda w osadach ściekowych występuje w postaci wolnej międzycząsteczkowej, przy zawartości wody od 50% do 88% - w postaci koloidalnej i kapilarnej, przy zawartości od 30% do 50% - w postaci higroskopijnej, a przy zawartości do 30% - w postaci biologicznie związanej [3,4,5,7].

Zawartość wody na poziomie od 99,6% dla osadu nadmiernego do 98% w surowych osadach ściekowych [6], kierowanych na oczyszczalnię do procesów przeróbki, uniemożliwia ich energetyczne wykorzystanie. W celu zmniejszenia stopnia uwodnienia stosuje się w oczyszczalniach ścieków cztery podstawowe procesy technologiczne:

1. Zagęszczania, który jest pierwszym procesem jednostkowym przeróbki osadów. W tym procesie na skutek oddzielenia fazy stałej od cieczy osad zmniejsza swoją objętość nie tracąc konsystencji płynnej. W efekcie zagęszczania można uzyskać zmniejszenie uwodnienia do około 90-95%. W procesie tym może być usunięta tylko woda wolna (-wolna pierwotnie) lub uwolniona po procesie kondycjonowania. Zagęszczanie w zależności od sposobu prowadzenia procesu można podzielić na: grawitacyjne, flotacyjne i mechaniczne. W procesie zagęszczania mechanicznego uzyskuje się, w zależności od zastosowanego typu urządzenia, koncentrację suchej masy 5-8 %, w urządzeniach sitowo-bębnowych lub sitowo-taśmowych, 6-10% s.m. w urządzeniach dwutaśmowych z ciśnieniowym wspomaganie procesu, 3-5% s.m. w zagęszczaczach flotacyjnych, 3-7% s.m. w wirówkach, a w zagęszczaczach śrubowych 4-6% s.m. Dla każdego rodzaju osadu efekt zagęszczania uzyskany na urządzeniu mechanicznym będzie 2-3 krotnie lepszy niż na zagęszczaczu grawitacyjnym [7].

2. Kondycjonowania, celem którego jest zmiana struktury i właściwości osadów w stopniu pozwalającym zwiększyć efektywność ich odwodnienia. Zmiana struktury osadów doprowadza m.in. do znacznego osłabienia

sił wiążących wodę z powierzchnią cząstek fazy stałej i łatwiejszego usunięcia wody w procesach mechanicznego odwadniania[8]. Kondycjonowanie osadów ściekowych może być przeprowadzone w różny sposób. Rozpoczyna się przyspieszeniem procesu sedymentacji poprzez flokulację, jest kontynuowane w zagęszczaczu osadów, gdzie po dodaniu odpowiedniego środka pomocniczego przy procesie sedymentacji i flotacji zostanie uzyskana optymalna do odwodnienia zawartość fazy stałej i kończy się przy odwodnieniu osadów. W zależności od wybranego sposobu kondycjonowania przy zastosowaniu tych samych urządzeń do odwodnienia, osiąga się różne efekty końcowe[7].

3. Odwadniania końcowego polegającego na dalszym obniżeniu w nich zawartości wody. Teoretyczna granica usunięcia wody w tym procesie wynosi około 40% s.m. Osad o takiej zawartości suchej masy traci płynność i ma konsystencję mokrej ziemi. Proces ten może być realizowany w warunkach naturalnych na lagunach lub poletkach osadowych, a także mechanicznie przy użyciu wirówek, pras filtracyjnych lub metod elektrokinetycznych.

4. Suszenia, to proces który może być realizowany przez suszarnie słoneczne lub mechaniczne suszarnie termiczne. Temu procesowi poddawane są osady zarówno surowe jak i ustabilizowane. Proces suszenia nie zmienia składu chemicznego osadu, natomiast kaloryczność osadu w wyniku odparowania wody wzrasta.

Na poziom odwodnienia osadów wpływa także stopień ich ustabilizowania. Głównym celem stabilizacji jest redukcja ilości materii organicznej. Najczęściej stosuje się stabilizację beztlenową i tlenową. Nie wszystkie oczyszczalnie jednak stabilizują osad. Zależnie od stopnia ustabilizowania osadów można uzyskać od 20 do 35 % s.m. w osadach odwodnionych.

Beztlenowa stabilizacja osadów zwana też fermentacją metanową, polega na rozkładzie przez bakterie w warunkach beztlenowych, wielocząsteczkowych substancji organicznych zawartych w osadach ściekowych, na związki proste i ustabilizowane, głównie metan i dwutlenek węgla.

Stabilizacja tlenowa jest procesem stosowanym do przeróbki mniejszej ilości osadów ściekowych niż fermentacja metanowa. Zalecana jest do przeróbki osadów miejskich ze znacznym udziałem osadów przemysłowych, niepodatnych na fermentację metanową. Wyróżniamy dwie metody stabilizacji - biologiczną i chemiczną. Stabilizacja biologiczna to proces unieszkodliwiania przy udziale mikroorganizmów w napowietrzanych osadach utrzymywanych w otwartych komorach. Uzyskuje się dzięki temu zmniejszenie ilości związków organicznych i ułatwienie odwodnienia osadu. Natomiast najczęściej stosowaną metodą chemicznej stabilizacji jest wapnowanie z wykorzystaniem wapna palonego lub hydratyzowanego[5,9].

Procesowi odwodnienia osadów towarzyszy też zmniejszenie ich objętości. W tabeli 2.1 przedstawiono krotności redukcji objętości osadów ściekowych w zależności od procesu technologicznego w odniesieniu do osadu surowego.

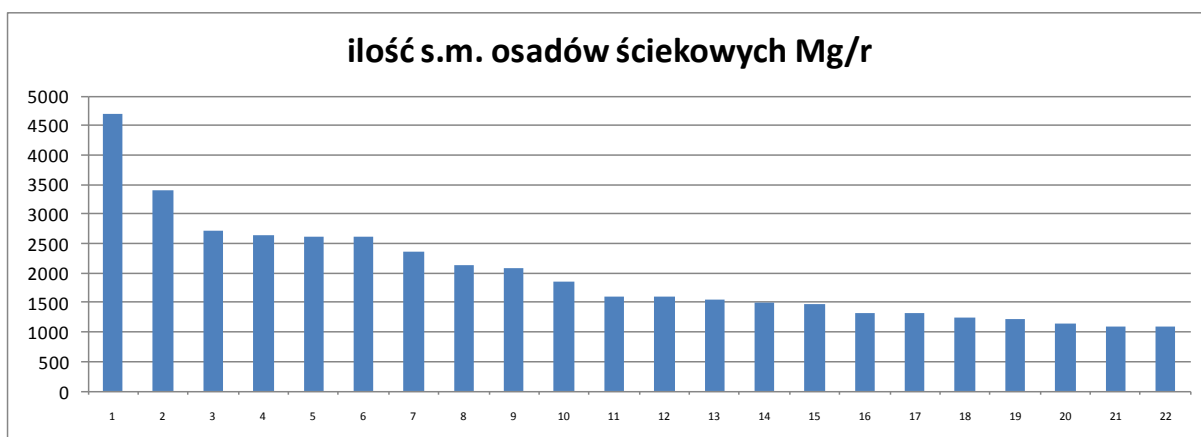
Tabela 2.1. Zmniejszenie objętości osadów ściekowych w zależności od procesu technologicznego [10].

lp.	postać osadu	krotność redukcji objętości
1	osad surowy	-
2	osad po zagęszczeniu	X 4
3	osad ustabilizowany po odwodnieniu	X 30
4	osad po wysuszeniu	X 100
5	osad po spaleniu	X 350

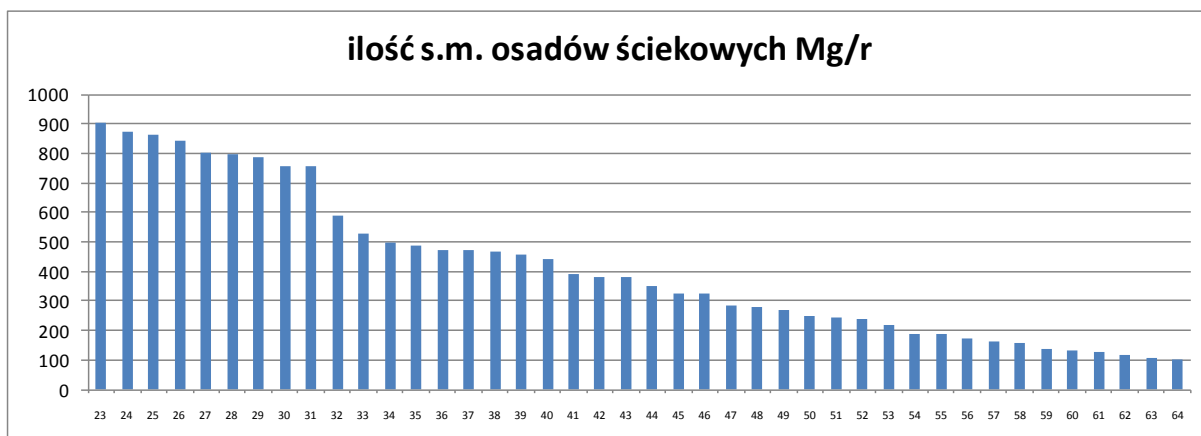
### 3. Ocena ilości i potencjału osadów ściekowych

Celem oceny potencjału energetycznego osadów ściekowych woj. śląskiego przeprowadzono analizę w oparciu o dane pochodzące ze 134 komunalnych oczyszczalni ścieków województwa. Dla 49 oczyszczalni przeprowadzono analizę szczegółową, która obejmowała okres dwóch lat eksploatacji od początku 2011 do końca 2012 roku.

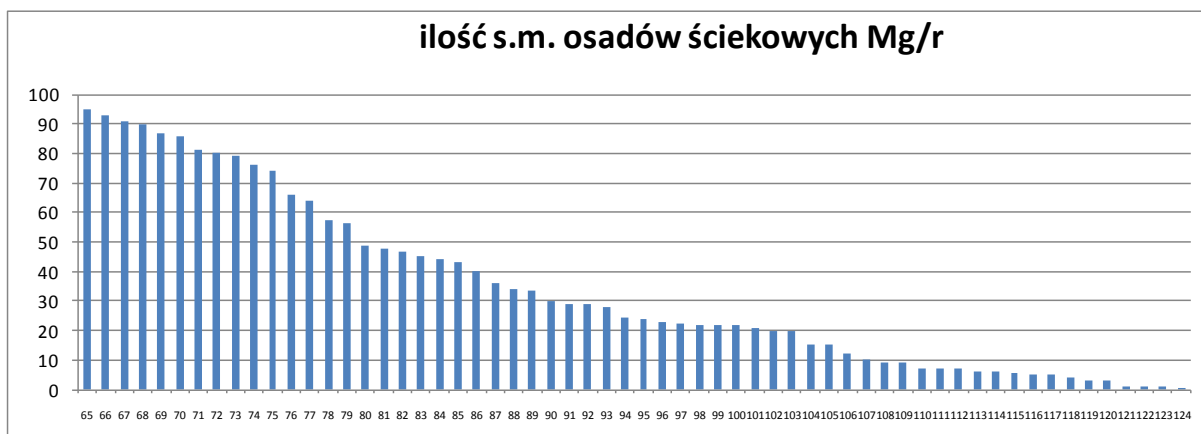
Na rys. 3.1, 3.2 i 3.3 przedstawiono ilość wytworzonej suchej masy osadów we wszystkich 134 oczyszczalniach województwa, z podziałem na oczyszczalnie o wydajności do 100 Mg/r., od 100 do 1000 Mg/r. i od 1000 do 5000 Mg/r.



Rys. 3.1. Ilość wytworzonej suchej masy osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków o wydajności powyżej 1000 Mg/r.



Rys 3.2. Ilość wytworzonej suchej masy osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków o wydajności od 100 do 1000 Mg/r.



Rys 3.3. Ilość wytworzonej suchej masy osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków o wydajności poniżej 100 Mg/r.

W okresie dwunastu pełnych miesięcy, oczyszczalnie o wydajności powyżej 1000 Mg s.m./r. osadów wytworzyły łącznie 43248,2 Mg s.m. osadów, oczyszczalnie o wydajności od 100 do 1000 Mg s.m./r.

wytworzyły 17322,61 Mg s.m. osadów, a oczyszczalnie o wydajności do 100 Mg s.m./r. tylko 2064,98 Mg s.m. osadów ściekowych.

W województwie śląskim 22 oczyszczalnie ścieków wytwarzają ponad 1000 Mg/r. s.m. osadów, a kolejne 42 od 100 do 1000 Mg/r. s.m. osadów. Wśród największych wytwórców osadów ściekowych można wskazać kilka oczyszczalni, wytwarzających najwięcej suchej masy osadów (rys.3.1), dlatego też przy wyborze lokalizacji przyszłej instalacji spalania lub współspalania osadów ściekowych w woj. śląskim należy brać pod uwagę jej położenie na terenie jednej z nich. Ze względu na ilość wytworzonej s.m. osadów, wyszczególnione 64 oczyszczalnie (rys.3.1 i 3.2) to potencjalni dostawcy osadów ściekowych dla przyszłej spalarni.

Tabela 3.1. Wartości % s.m., % sub. org.  $W_d$  w.m. w okresie od początku 2011 do końca 2012 dla danej technologii oczyszczania ścieków w woj. śląskim oraz energii uzyskanej w wyniku spalania osadów wytworzonych w pełnym roku kalendarzowym.

lp.	technologia	% s.m.			% sub.org.			$W_d$ w.m. MJ/kg			Energia średnia GJ/r	Ilość oczyszczalni
		min.	max.	śr.	min.	max.	śr.	min.	max.	śr.		
1	Odwadnianie na prasie + suszarnia słoneczna	17,8	80,0	33,18	42,2	71,7	59,17	-0,22	11,88	2,72	6390	1
2	Stabilizacja beztlenowa + odwadnianie na prasie + higienizacja REMONDIS	58,6	67,1	62,85	14,6	65,9	40,25	0,91	8,77	4,6	4288	1
3	Prasa filtracyjna	19,5	28,0	22,6	59,1	77,3	70,04	0,8	2,94	1,69	10453	3
4	Higienizacja	24,53	41,41	34,63	28,7	81,8	56,44	-0,17	5,97	2,73	1780	1
5	odciek	13,7	42,3	26,62	4	71,1	36,86	-1,81	4,75	0,14	12	2
6	Stabilizacja tlenowa +odwadnianie na prasie	12,65	26,4	18,10	1,81	66,6	52,45	-0,28	2,43	0,51	572	4
7	Stabilizacja tlenowa +odwadnianie na wirówkach	10,4	35,4	16,04	40,5	71,2	60,4	-0,73	3,97	0,18	3247	1
8	Zagęszczanie+ stabilizacja beztlenowa+ poletka osadowe	18,5	42,9	29,5	40,1	56,4	45,6	0,00	3,92	1,33	1350	1
9	Stabilizacja tlenowa	13,0	38,5	19,86	30,4	76,2	57,1	-0,86	3,34	0,62	10678	7
10	Zagęszczanie+ stabilizacja tlenowa+ odwadnianie na prasie	24,95	39,6	32,06	8	70,7	32,44	-1,04	3,19	0,60	7181	1
11	Stabilizacja beztlenowa	3,42	33,2	20,51	33,9	76,4	55,9	-1,71	3,01	0,65	10509	6
12	Stabilizacja beztlenowa + odwadnianie na prasie	11,8	43,8	28,84	26,3	71,1	43,94	-1,27	2,94	0,94	10732	2

13	stabilizacja tlenowa+ stabilizacja beztlenowa+ higienizacja	17,6	27	21,05	58,7	69,8	62,4	0,41	2,42	1,05	5752	2
14	Stabilizacja beztlenowa + odwadnianie na wirówkach	19,4	26,9	22,07	51	67,9	56,36	0,32	2,29	0,93	5255	1
15	Stabilizacja beztlenowa + poletka osadowe	18	30,5	22,93	46,3	56,2	52,87	0,13	2,12	0,88	493	2
16	Stabilizacja beztlenowa + poletka osadowe i laguny	14,7	26,4	19,4	41,9	72,0	63,7	-0,58	2,09	0,83	1252	1
17	Zagęszczanie+ stabilizacja tlenowa+ odwadnianie na wirówkach	18,6	29,7	21,68	42,9	56,2	47,56	-0,11	2,01	0,47	100	1
18	Stabilizacja beztlenowa + odwadnianie na prasach i wirówkach	15,7	23,4	18,8	53,4	62,5	58,77	0,09	1,43	0,55	14706	1
19	Zagęszczanie+ stabilizacja beztlenowa+ odwodnienie na prasie + suszenie termiczne	15,4	23,3	21,12	57,9	62,8	61,2	0,02	1,42	1,01	1028	1
20	Stabilizacja tlenowa + odwadnianie na prasie+ poletka osadowe	15,6	22,9	19,38	41,1	62,9	54,78	-0,51	1,37	0,47	1043	1
21	Stabilizacja beztlenowa + odwadnianie na prasie + higienizacja	11,1	23	17,03	44,7	73,6	57,68	-0,40	1,22	0,25	7892	3
22	Zagęszczanie+ stabilizacja beztlenowa+ odwodnienie na prasie	17,4	23	20,36	42,8	59	51,38	-0,19	1,1	0,46	3928	2
23	Zagęszczanie+ stabilizacja tlenowa+ stabilizacja beztlenowa+ odwodnienie na prasie	12,7	19,3	16,17	51,6	61,4	57,42	-0,54	0,71	0,12	233	1

24	Stabilizacja tlenowa +odwadnianie na prasie+ higienizacja	14,9	17,0	16,12	62,8	68,4	66,5	0,23	0,62	0,42	154	1
25	stabilizacja tlenowa+ odwodnienie w workownikach+ higienizacja	11,6	16,4	16,05	51,0	68,4	50,25	-0,53	0,54	-0,17	0	1
26	Zagęszczanie i odwadnianie w workownikach	0,65	8,52	3,7	25	74,8	55	-2,19	-0,67	-1,7	0	1

W tab. 3.1 przedstawiono wartości procentowe suchej masy, substancji organicznej, a także wartość opałową osadu wilgotnego, wartości minimalne i maksymalne w okresie od początku 2011 do końca 2012, wartość średnią z dwóch pełnych lat dla danej technologii oraz ilość energii możliwej do uzyskania po spaleniu osadów wytworzonych w okresie roku.

Wartość opałową osadu uwodnionego obliczono wg wzoru:

$$W_{d,w.m.} = W_{d,s.m.} \times (1 - w) - 2,45 \times w \left[ \frac{MJ}{kg \text{ w.m.}} \right] \quad (3.1)$$

gdzie:

$W_{d,w.m.}$  - wartość opałowa osadu wilgotnego [MJ/kg w.m.].

$w$  - uwodnienie osadu [kg wilgoci/kg wilgotnego osadu].

$W_{d,s.m.}$  - wartość opałowa osadów w odniesieniu do suchej masy, obliczona proporcjonalnie do zawartości substancji organicznej.

Analizując dane z tab. 3.1 należy stwierdzić, że:

1. procesy technologiczne oczyszczalni ścieków komunalnych determinują wartość opałową osadu wilgotnego, w okresie od początku 2011 do końca 2012 roku, uzyskano znaczne wahania zarówno poziomu % s.m., % substancji organicznej, co w konsekwencji wpłynęło na zmienność wartości opałowej,
2. uzyskane w badanym okresie wartości maksymalne parametrów, odbiegające znacząco od wartości średnich wskazują na duże możliwości optymalizacji procesów technologicznych śląskich oczyszczalni ścieków,
3. obiecująco na tle wszystkich technologii województwa wypadają instalacje poz. 1 i 2 tabeli 3.1. gdzie można uzyskać najwyższe wartości opałowe osadu wilgotnego, jest to technologia: odwadniania na prasie i suszenia słonecznego, a także wyszczególniona technologia firmy Remondis, wykorzystująca stabilizację beztlenową, odwadnianie na prasie i higienizację, znacząco odbiegająca od tych samych technologii w oczyszczalniach zarządzanych przez spółki miejskie (zastanawiające jest uzyskanie słabych wyników przez technologie suszenia termicznego - poz. 19),
4. ze względu na znaczną zmienność parametrów energetycznych osadów z oczyszczalni komunalnych, nawet w obrębie tej samej technologii, konieczne jest wykonanie optymalizacji ich spalania w oparciu o rzeczywiste wskaźniki.

Ministerstwo Gospodarki przesłało 31 grudnia 2013 roku do Komitetu Rady Ministrów najnowszy projekt ustawy o OZE -wersję 4.1 [11]. Zgodnie z projektem osady ściekowe wytworzone na oczyszczalniach ścieków są biomasą, a energia wytworzona z tej biomasy to OZE. Dotychczasowe mechanizmy wsparcia, zakup rządowy i świadectwa pochodzenia dla przedsiębiorców wytwarzających energię elektryczną z OZE zostały utrzymane. Cena zakupu energii elektrycznej z OZE stanowi równowartość średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym, ogłoszonej przez URE. Oprócz przychodów uzyskanych ze sprzedaży energii elektrycznej wyprodukowanej z OZE, dodatkowym źródłem przychodów jest zbycie świadectw pochodzenia (zielonych certyfikatów) z tytułu wyprodukowanej z OZE energii elektrycznej.

#### 4. Współspalanie osadów ściekowych

Spalanie komunalnych osadów ściekowych z odpadami komunalnymi lub węglem w różnych kombinacjach jest obiecującym i ekonomicznym sposobem utylizacji [12,13].

W oparciu o dane z tabeli 2.1 i 3.1 oraz mając na uwadze nadchodzące zmiany, a w szczególności zakaz składowania osadów ściekowych od początku 2016 roku, planowane zaostrzenie wymagań emisyjnych dla kotłów współpalających węgiel z osadami ściekowymi, prognozę wzrostu ilości wytworzonych osadów ściekowych i konieczność redukcji składowania komunalnych odpadów zmieszanych, technologia współspalania komunalnych osadów ściekowych z odpadami komunalnymi o znacząco lepszych od osadów parametrach energetycznych, zapewniająca odzysk energii, a przede wszystkim gwarantująca maksymalną redukcję objętości po spalaniu jest, dla oczyszczalni ścieków technologią mogącą generować przychody z tytułu odbioru odpadów komunalnych, osadów ściekowych od firm zewnętrznych i wytworzenia energii elektrycznej, a także w razie zaistnienia zapotrzebowania - energii cieplnej.

#### 5. Wnioski

1. Dla zmniejszenia kosztów ekonomicznych i ekologicznych procesu termicznej utylizacji osadów ściekowych, należy ograniczyć do minimum odległość ich transportu, ze względu na duży udział wody w ich składzie, dlatego też optymalnej lokalizacji dla instalacji spalania lub współspalania osadów ściekowych w woj. śląskim należy poszukiwać w pobliżu lub na terenie oczyszczalni, w której wytwarza się najwięcej suchej masy osadów.
2. W woj. śląskim, komunalne oczyszczalnie ścieków w okresie rocznym zanotowały znaczne wahania poziomu % s.m., % subst.org. i wartości opałowej, wahania te dotyczyły też oczyszczalni realizujących te same procesy technologiczne.
3. Mając na uwadze zakaz składowania osadów ściekowych od 2016 roku oraz znaczną ilość wytwarzanych na tym terenie odpadów komunalnych, technologia współspalania komunalnych osadów ściekowych z odpadami komunalnymi wydaje się najlepsza dla oczyszczalni ścieków województwa śląskiego.
4. Procesy technologiczne oczyszczalni ścieków komunalnych determinują wartość opałową osadu wilgotnego.
5. Uzyskane w badanym okresie wartości maksymalne parametrów, odbiegające znacząco od wartości średnich, wskazują na duże możliwości optymalizacji procesów technologicznych śląskich oczyszczalni ścieków.
6. Ze względu na znaczną zmienność parametrów energetycznych osadów z oczyszczalni komunalnych, nawet w obrębie tej samej technologii, konieczne jest wykonanie optymalizacji ich spalania bądź współspalania w oparciu o rzeczywiste wskaźniki.
7. Ze względu na duże różnice w ilości i właściwościach osadów wytwarzanych w różnych oczyszczalniach, lokalizacja przyszłej instalacji ich termicznej utylizacji musi zostać określona przy uwzględnieniu i optymalizacji różnych wielkości.

#### Literatura

1. Ochrona Środowiska 2012 rocznik statystyczny GUS
2. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2010,2014
3. Oleszkiewicz J.: Gospodarka osadami ściekowymi Poradnik decydenta, LEM s.c. Kraków 1998
4. Rosik – Dulewska Cz.: Podstawy gospodarki odpadami, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2010
5. Podedworna J., Umiejewska K.: Technologia osadów ściekowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa 2008
6. Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H.D.: Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse Metcalf & Eddy 4 th edition Mc Graw-Hill Inc. New York 2003
7. Bień J.B., Wystalska K.: Osady ściekowe teoria i praktyka, Wydawnictwo Pol. Częstochowskiej 2011
8. Malina J.F.: The Effect of Temperature on High- Rate Digestion of Activated Sludge Proc. 16 th Purdue Ind. Waste Conf. Purdue University. Lafayette 1962



9. Cywiński I., Gdula S., Kempa E., Kurbiel J., Płoszański H.: Oczyszczanie ścieków miejskich, Arkady Warszawa 1972
  10. Wójtowicz A., Jędrzejewski C., Bieniowski M., Darul H.: Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej, wydawnictwo Margrafen s.c.2013
  11. Projekt ustawy o OZE wersja 4.1
  12. Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S.: Procesy termiczne utylizacji odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2012
  13. Nadziakiewicz J.: Możliwości technologiczne równoczesnego spalania odpadów komunalnych i osadów ściekowych, Paliwa z odpadów wyzwania XXI wieku KTiUZO Gliwice 2013
-

