

Grzegorz WIELGOSIŃSKI¹, Jacek WIŚNIEWSKI²
Agata TARGASZEWSKA¹, Patrycja ŁECHTAŃSKA¹

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź

e-mail: grzegorz.wielgosinski@p.lodz.pl

² Grupowa Oczyszczalnia Ścieków w Łodzi Sp. z o.o.
ul. Sanitariuszek 66, 91-867 Łódź

Analiza funkcjonowania węzła suszenia osadów ściekowych pochodzących z GOŚ-ŁAM w Łodzi

Powstające w procesie oczyszczania ścieków komunalnych osady pod względem ilościowym stanowią niewielki procent wszystkich odpadów wytwarzanych w gospodarce komunalnej - ich ilość stanowi tylko kilka procent masy powstających odpadów komunalnych. Jednak zagrożenia, jakie ze sobą niosą, nie pozwalają na ich pominięcie przy projektowaniu procesu oczyszczania ścieków. Jednocześnie, wraz ze wzrostem wymagań dotyczących jakości ścieków odprowadzanych do środowiska zwiększa się ilość osadów powstających w procesach oczyszczania ścieków. W ostatnich latach udział termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych gwałtownie wzrósł - wybudowano 10 nowoczesnych spalarni osadów i rozważana jest budowa kolejnych. Ze względu na bardzo wysokie uwodnienie osady przed spalaniem muszą być odpowiednio wysuszone. Energochłonność procesu suszenia zależy w największym stopniu od uwodnienia osadów oraz od rozwiązań technicznych suszarni. W pracy omówiono funkcjonowanie węzła suszenia w nowoczesnej, oddanej do użytku w 2011 roku instalacji termicznego przekształcania osadów ściekowych pochodzących z grupowej oczyszczalni ścieków w Łodzi. Przedstawiono analizę wpływu niektórych parametrów prowadzenia procesu suszenia na wskaźnik zużycia pary niezbędnej do wysuszenia osadu.

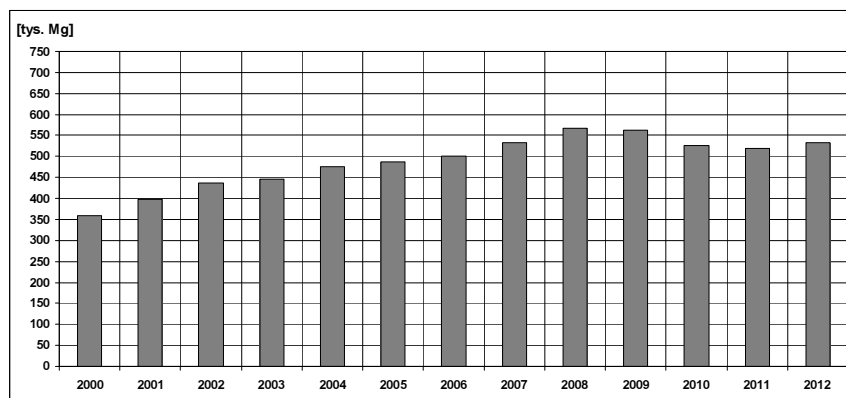
Słowa kluczowe: komunalne osady ściekowe, suszenie, wskaźnik zużycia energii

Wstęp

Komunalne osady ściekowe to odpady pochodzące z oczyszczalni ścieków, powstające w komorach fermentacyjnych oraz w innych instalacjach służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych. Właściwe gospodarowanie osadami ściekowymi jest jednym z kluczowych elementów krajowej gospodarki odpadami, zarówno z tytułu skali wytwarzania, jak i możliwości generowania różnego rodzaju negatywnych skutków związanych z dominacją unieszkodliwiania poprzez składowanie. W warunkach optymalnych zagospodarowanie osadów ściekowych powinno obejmować całą pulę wytworzonych odpadów z ukierunkowaniem na radykalne ograniczenie unieszkodliwiania przez składowanie [1, 2].

Ilość powstających osadów ściekowych zależy od składu ścieków oraz metody ich oczyszczania. W Polsce ogólna ilość komunalnych osadów ściekowych bardzo

szybko wzrasta z uwagi na rozbudowę infrastruktury w zakresie odprowadzania i oczyszczania ścieków komunalnych. Wzrost ilości osadów ściekowych w Polsce w ostatnich latach prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Ilość powstających w Polsce komunalnych osadów ściekowych w latach 2000-2012 wg danych GUS [3]

Fig. 1. The amount of emerging municipal sewage sludge in Poland in the years 2000-2012 according to GUS data [3]

Według Krajowego planu gospodarki odpadami 2014 [4], ilość ta może w 2015 roku wzrosnąć do ok. 662 tys. Mg, a w 2022 roku do aż 746 tys. Mg rocznie.

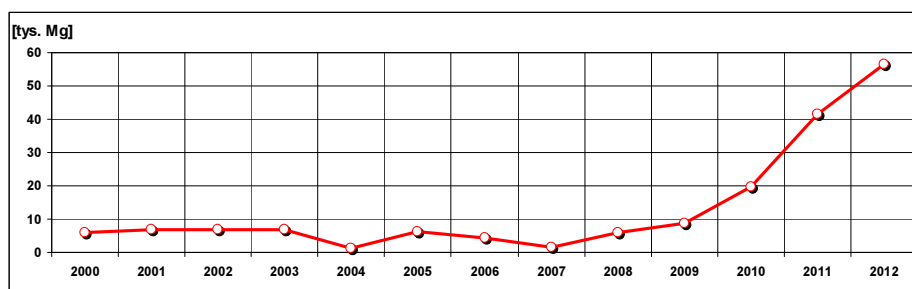
Ważną cechą komunalnych osadów ściekowych jest ich uwodnienie. Osady te składają się głównie z wody. W surowych osadach ściekowych woda stanowi (objętościowo) aż ok. 98÷99%. Przy stosowaniu bardziej zaawansowanych technologii oczyszczania ścieków udział osadu może być nieco większy od 2%. W osadach odwodnionych udział wody udaje się zmniejszyć do ok. 80÷85%, zaś w przypadku zastosowania specjalnych pras filtracyjnych możliwe jest osiągnięcie ok. 75÷70% uwodnienia. I to jest kres możliwości mechanicznego odwadniania osadów ściekowych. Radykalne zmniejszenie uwodnienia osadów ściekowych można uzyskać dopiero po zastosowaniu energochłonnych procesów suszenia termicznego [5-8].

Ze względu na zawartość licznych związków organicznych, a także substancji biogennych komunalne osady ściekowe mogą być cennym źródłem substancji pokarmowych niezbędnych do wzrostu roślin, co wskazuje na możliwość ich przyrodniczego wykorzystania. Biorąc jednak pod uwagę występowanie w osadach metali ciężkich oraz wielu substancji toksycznych (fenole i chlorofenole, pestycydy, heksachlorobenzen, polichlorowane bifenyly, polichlorowane dibenzo-p-dioksyny, polichlorowane dibenzofurany i nitrozoaminy), a także ewentualnych patogenów, które ograniczają wykorzystanie nawozowe osadów ściekowych, najbardziej uzasadnionym sposobem postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi jest wykorzystanie metod termicznych [1, 9].

Z uwagi na swoje właściwości energetyczne osady ściekowe są atrakcyjnym paliwem, zbliżonym do węgla brunatnego. Wartość opałowa wysuszonych osadów ściekowych może sięgać 12÷17 MJ/kg. Jednakże przed poddaniem ich procesom

termicznego przekształcania - głównie spalania - należy najpierw je poddać procesowi suszenia. Suszenie ma głównie na celu zmniejszenie objętości odpadów przez całkowite lub częściowe usunięcie wody, poprawienie wartości opałowej, stabilizację oraz higienizację. Wysuszone osady ściekowe mogą stanowić następnie paliwo, które może być wykorzystywane w energetyce oraz przemyśle cementowym w procesach spalania i współspalania (przy zachowaniu wszystkich formalnych wymagań jak dla spalania lub współspalania odpadów). Podstawową korzyścią z termicznego przekształcania jest możliwość utylizacji komunalnych osadów ściekowych nie nadających się do wykorzystania przyrodniczego.

Ilość przekształcanych termicznie (spalanych) osadów ściekowych w Polsce systematycznie rośnie w miarę oddawania do użytku kolejnych nowoczesnych instalacji. W ostatnich latach wybudowano takie w Warszawie, Krakowie, Łodzi, Gdańsku, Szczecinie (o wydajności $2\div 8$ Mg s.m./h) oraz w Olsztynie, Bydgoszczy, Kielcach, Łomży i Zielonej Górze (wydajność $0,2\div 1,4$ Mg s.m./h), które obok funkcjonującej już 20 lat, ostatnio gruntownie zmodernizowanej instalacji w Gdyni Dębogórze (wydajność ok. 3 Mg s.m./h) stanowią podstawę systemu termicznego przekształcania osadów ściekowych w Polsce [10, 11]. Wzrost ilości spalanych osadów ściekowych w naszym kraju przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Zmiany ilości przetwarzanych termicznie komunalnych osadów ściekowych w Polsce w latach 2000-2012 wg danych GUS [1]

Fig. 2. Changes in the amount of thermally treated municipal sewage sludge in Poland in the years 2000-2012 according to GUS data [1]

Celem niniejszej pracy była analiza funkcjonowania węzła suszenia osadów jednej z najnowszych i największych instalacji termicznego przekształcania osadów ściekowych w Polsce - w Łodzi pod kątem wpływu parametrów eksploatacyjnych instalacji na bardzo istotny z technologicznego punktu widzenia parametr - zużycie energii na odparowanie jednostkowej ilości wody w procesie suszenia.

1. Instalacja

Instalacja termicznego przekształcania osadów ściekowych znajduje się w Łodzi, na terenie Grupowej Oczyszczalni Ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej, przy ul. Sanitariuszek 66. Instalacja została uruchomiona w 2011 roku. Jej dostawcą

była firma Veolia Water Systems. Jest jedną z największych instalacji termicznego przekształcania odpadów ściekowych w Polsce. Jej wydajność wynosi ok. 82 000 Mg osadów ściekowych rocznie (ok. 18 040 Mg s.m.). Podobnej wielkości instalacje znajdują się w Krakowie oraz w Płocku.

Instalacja pracuje w systemie ciągłym - 24 h/doba. Daje to roczny czas pracy ok. 8000 h/rok. Technologicznie instalację można podzielić na następujące części:

- Magazynowanie osadu
- Suszenie osadu
- Termiczne przekształcanie osadów
- Odzysk ciepła
- Oczyszczanie spalin

Zawartość suchej masy w dostarczanych osadach przed procesem suszenia dla warunków nominalnych wynosi ok. 20÷22%. Dla zapewnienia właściwego wykorzystania mocy cieplnej instalacji termicznego przekształcania osady ściekowe przed procesem spalania muszą zostać poddane procesowi podsuszenia. W tym celu zainstalowane są dwie suszarki tarczowe firmy Atlas-Stord Denmark A/S. Suszarki podsuszają osad do zawartości suchej masy ok. 30÷32%. Wysuszone osady są przekształcane termicznie w dwóch równoległych piecach fluidalnych o łącznej wydajności 159 Mg/doba. Układ oczyszczania spalin dla każdej linii składa się z instalacji: chłodzenia spalin i wykorzystania odebranego ciepła do podgrzewania powietrza fluidyzacyjnego oraz do produkcji pary, odpylenia w cyklonie i dalszego wychłodzenia, chemicznego usunięcia związków kwaśnych i rtęci metodą suchą poprzez wtrysk kwaśnego węgla sodu i węgla aktywnego, końcowego odpylenia na filtrze workowym. Popioły z oczyszczania spalin wywożone są specjalistycznymi samochodami na własne składowisko odpadów.

Suszarki Atlas-Stord Denmark A/S typu TST1242SS-SJ należą do grupy suszarek kontaktowych, w których osad styka się z powierzchnią wymiany energii cieplnej. Energia dostarczana jest do powierzchni grzewczej przy udziale nasyconej pary wodnej, wyprodukowanej w dalszym procesie termicznego przekształcania osadów. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe, charakterystyczne dane suszarek.

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne suszarki firmy Atlas-Stord Denmark A/S

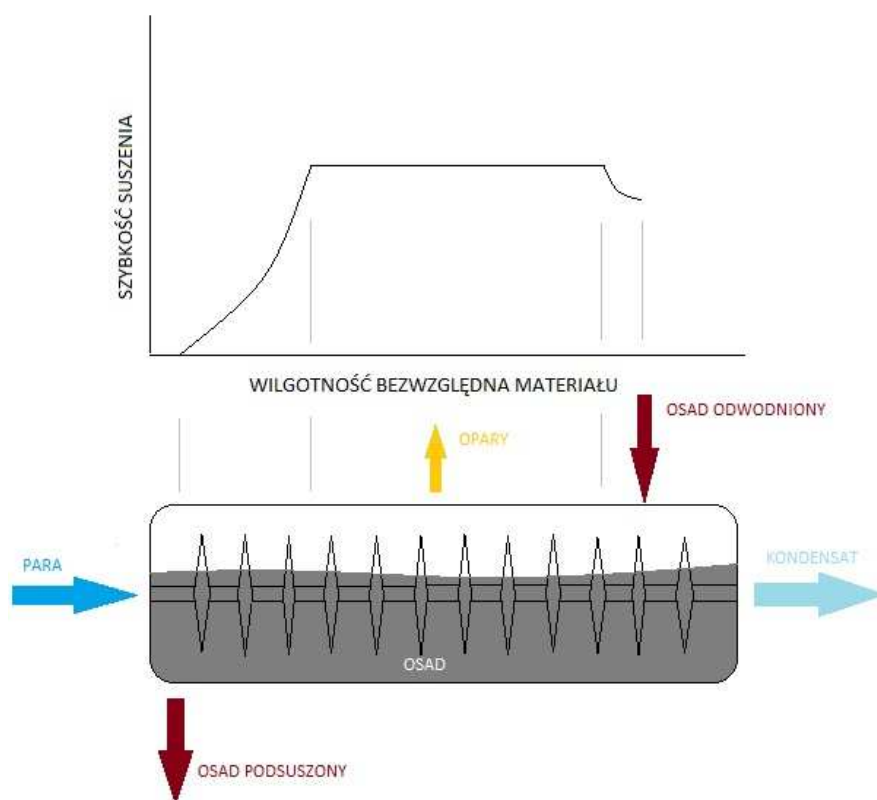
Table 1. Basic technical data of Atlas-Stord Denmark dryer

Ilość osadu na wejściu (wart. nominalna)	5125 kg/h
Zawartość suchej masy na wejściu do suszarki	20÷24%
Zawartość suchej masy na wyjściu z suszarki	30÷34%
Ilość odparowanej wody	1504 kg/h
Powierzchnia wymiany ciepła	92 m ²
Liczba dysków	42 szt.
Czynnik grzewczy	para wodna nasycona
Nadciśnienie pary wodnej	1,0 MPa
Temperatura obliczeniowa	184°C

Suszarki zostały zaprojektowane do pracy ciągłej. Odwodniony osad, o zawartości suchej masy $22\pm 2\%$, tłoczony jest do urządzenia przy użyciu pompy wporowej. Zamontowane na dyskach tarki powodują przesuwanie się medium w stronę podajnika ślimakowego, umieszczonego na drugim końcu suszarki. Z przeciwnej strony wprowadzana jest para o temperaturze ok. 180°C . Osad odbiera energię cieplną od pary i osusza się. Podczas procesu, na skutek odebrania nadmiaru wody, z osadu powstają opary. Przy użyciu wentylatora wyciągowego, który wytwarza w komorze podciśnienie, opary kierowane są do układu kondensacji i poddawane dalszej obróbce. Układ jest szczelny i nie pozwala na wydostanie się oparów na zewnątrz. Para, oddając swoją energię cieplną do powierzchni dysków, stykając się ze znacznie chłodniejszym osadem, kondensuje się. Specjalnym układem kanałków kondensat odprowadzany jest ze środka wału i zawracany do systemu wody kotłowej. Proces suszenia można wspomagać przez zastosowanie dodatkowej powierzchni wymiany ciepła, a mianowicie płaszcz suszarki. Obejmuje ona dolną część urządzenia, a para doprowadzana jest przez zawory ręczne.

Proces suszenia jest sterowany systemem wizualizacji PCS7 opracowanym przez firmę Siemens. Wpływ na zmianę suchej masy osadu, na wyjściu z suszarki, ma regulacja ciśnienia dopływającej pary. Zadana wartość suchej masy (wartość zadana w sterowniku $15\div 24\%$) przeliczana jest przez system. Następnie do regulatora ciśnienia pary przekazywana jest informacja o zmianie ciśnienia. W przypadku ustawienia niskiej suchej masy ciśnienie pary wzrasta, w przypadku wyższej wartości suchej masy ciśnienie maleje. Czas przetrzymywania osadu w suszarce jest uzależniony od prędkości przenośnika ślimakowego odbierającego osad z suszarki. Układ jest tak skompilowany, aby utrzymać zadaną wagę osadu w suszarce na poziomie ok. 7000 kg.

Rysunek 3 przedstawia, na przykładzie bębna suszarki, przebieg krzywej szybkości suszenia. Jak łatwo zauważyć, pierwszy odcinek jest bardzo krótki. Temperatura osadu jest niższa niż powierzchnia tarczy - układ dąży do równowagi temperatur. Druga część wykresu określa czas przekazywania energii cieplnej i odparowanie wody. Ostatni odcinek można zinterpretować następująco: na osadzie pojawiają się suche miejsca, a tym samym zmienia się powierzchnia wymiany ciepła. Dla zapewnienia ciągłości nadawy do suszarki użyto wporowych pomp śrubowych. Zastosowane pompy pracują w zakresie wydajności od $2,7\text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{\min}) do $5,3\text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{\max}) wg danych producenta ($50\div 100\%$ wydajności nominalnej). Przeprowadzone badania wydajności potwierdzają ww. dane. Suszenie osadów w suszarce powoduje, że wydzielają się opary zawierające parę wodną, a także nieskondensowane gazy. W celu oddzielenia pary wodnej z oparów za suszarką zastosowano system kondensacji pary wodnej. Nieskondensowane gazy kierowane są do pieca fluidalnego w celu ich spalania.



Rys. 3. Schemat suszarki wraz z krzywą szybkości suszenia

Fig. 3. Dryer scheme with a drying rate curve

Każda linia suszenia osadu posiada system kondensacji, który składa się ze skrubera/płuczki gazowej zainstalowanej na rurociągu odciągowym z suszarki, dwóch szeregowo połączonych skraplaczy/kondensatorów, wentylatora odciągowego do gazów nieskondensowanych oraz pompy cyrkulacyjnej kondensatu. Ciepło odzyskiwane w kondensatorach wykorzystywane jest do ogrzewania budynków Instalacji Termicznego Przekształcania Osadów.

2. Charakterystyka osadów

Średnioroczną charakterystykę [12] powstających w GOŚ-ŁAM komunalnych osadów ściekowych przedstawiono w tabeli 2. Ich ilość wynosi ok. 82 000 Mg osadów ściekowych rocznie (ok. 18 040 Mg s.m.).

Tabela 2. Średnioroczna charakterystyka osadów ściekowych z GOŚ-LAM

Table 2. Average annual characteristics of sewage sludge from the GOŚ-LAM

Skład i właściwości komunalnych osadów ściekowych	Jednostka	Średnia wartość ze wszystkich oznaczeń w ciągu roku
pH	–	7,57
Zawartość suchej masy	%	22,15
Zawartość substancji organicznych	% s.m.	59,45
Zawartość azotu ogólnego	% s.m.	4,48
Zawartość azotu amonowego	% s.m.	0,70
Zawartość fosforu ogólnego	% s.m.	2,34
Zawartość wapnia i magnezu	% s.m.	3,10
Ołów	mg/kg s.m.	57,06
Kadm	mg/kg s.m.	5,84
Chrom	mg/kg s.m.	207,55
Miedź	mg/kg s.m.	413,49
Nikiel	mg/kg s.m.	138,92
Rtęć	mg/kg s.m.	3,19
Cynk	mg/kg s.m.	1553,73
Siarka	% s.m.	1,35
Chlor	% s.m.	0,11
Fluor	mg/kg s.m.	254,8
Wilgotność	%	79,37
Ciepło spalania przefermentowanego i mechanicznie odwodnionego osadu	MJ/kg s.m.	11,87
Wartość opałowa przefermentowanego i mechanicznie odwodnionego osadu	MJ/kg s.m.	10,841

3. Analiza efektywności pracy suszarek

Dane dotyczące procesu suszenia udostępnione zostały przez GOŚ-LAM. Analizą objęto dwa losowo wybrane miesiące eksploatacji instalacji - styczeń oraz lipiec 2012 roku. Na podstawie zebranych danych obliczone zostały wskaźniki efektywności procesu suszenia, wyrażone jako ilość pary zużytej do odparowania kilograma wody. Przykładowe dane i wyniki analizy dla okresu 8-11 lipca 2012 roku przedstawiono w tabeli 3, natomiast w tabeli 4 pokazano zakres zmienności poszczególnych parametrów pracy suszarek.

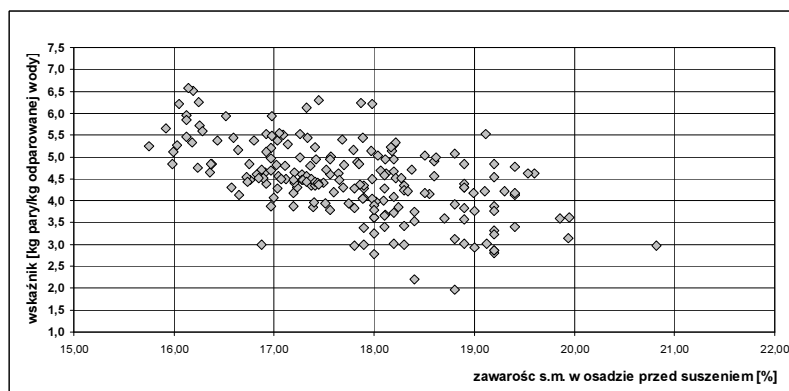
Analizując zebrane dane dotyczące najważniejszych parametrów pracy suszarek, sporządzono wykresy zależności obliczonego wskaźnika zużycia pary (w kg pary na kg odparowanej wody) od wilgotności początkowej osadu (rys. 4), wilgotności końcowej osadu (rys. 5), ilości osadu podawanego do suszenia (rys. 6) oraz ilości odparowanej wody (rys. 7).

Tabela 3. Przykładowe wyniki pracy instalacji w dniach 8-11 lipca 2012 (dane otrzymane z GOŚ-LAM)
 Table 3. Sample results of the installation on 8-11 July 2012 (data obtained from the GOŚ-LAM)

Przepływ pary do suszenia kg/h	Sucha masa za silosem %	Sucha masa za suszarką %	Częstotliwość pracy silnika pompy %	Rzeczywista wydajność pompy m ³ /h	Wielkość dopływu osadu kg/h	Ilość suchej masy za silosem kg/h	Ilość suchej masy za suszarką kg/h	Ilość odparowanej wody kg/h	Wskaźnik zużycia pary kg _{pary} /kg _{odparowanej wody}
2090	17,80	31,80	95	5,04	5035,00	896,23	1601,13	704,90	2,965
2080	18,00	30,20	85	4,51	4505,00	810,90	1360,51	549,61	3,785
1936	18,00	31,10	100	5,30	5300,00	954,00	1648,30	694,30	2,788
1903	17,70	27,00	80	4,24	4240,00	750,48	1144,80	394,32	4,826
1923	17,90	31,40	90	4,77	4770,00	853,83	1497,78	643,95	2,986
2020	18,00	30,20	80	4,24	4240,00	763,20	1280,48	517,28	3,905
2100	17,80	28,70	95	5,04	5035,00	896,23	1445,05	548,82	3,826
2130	18,10	32,00	85	4,51	4505,00	815,41	1441,60	626,20	3,401
1674	18,00	31,90	70	3,71	3710,00	667,80	1183,49	515,69	3,246
1743	17,90	28,00	75	3,98	3975,00	711,53	1113,00	401,48	4,341
1860	18,20	32,70	80	4,24	4240,00	771,68	1386,48	614,80	3,025
1670	18,00	29,60	75	3,98	3975,00	715,50	1176,60	461,10	3,622
1795	18,60	31,00	60	3,18	3180,00	591,48	985,80	394,32	4,552
1839	17,80	29,40	70	3,71	3710,00	660,38	1090,74	430,36	4,273
2212	19,95	32,10	95	5,04	5035,00	1 004,48	1616,24	611,75	3,616
2237	17,60	28,80	90	4,77	4770,00	839,52	1373,76	534,24	4,187
1732	18,40	33,20	100	5,30	5300,00	975,20	1759,60	784,40	2,208
2122	19,20	33,80	85	4,51	4505,00	864,96	1522,69	657,73	3,226
1829	18,60	28,00	75	3,98	3975,00	739,35	1113,00	373,65	4,895
2235	19,40	29,20	90	4,77	4770,00	925,38	1392,84	467,46	4,781
2130	17,90	29,80	100	5,30	5300,00	948,70	1579,40	630,70	3,377
2159	18,90	31,60	90	4,77	4770,00	901,53	1507,32	605,79	3,564
1866	18,30	28,60	100	5,30	5300,00	969,90	1515,80	545,90	3,418
2263	19,20	29,00	90	4,77	4770,00	915,84	1383,30	467,46	4,841

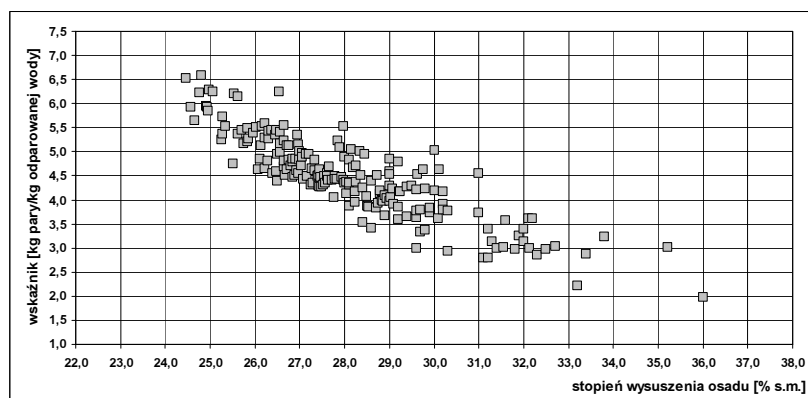
Tabela 4. Analiza wyników pracy instalacji w 2012 roku
 Table 4. The analysis of the results of the installation in 2012

Przepływ pary do suszenia kg/h	Sucha masa za silosem %	Sucha masa za suszarką %	Częstotliwość pracy silnika pompy %	Rzeczywista wydajność pompy m ³ /h	Wielkość dopływu osadu kg/h	Ilość suchej masy za silosem kg/h	Ilość suchej masy za suszarką kg/h	Ilość wody odparowanej kg/h	Wskaźnik zużycia pary kg _{pary} /kg _{odparowanej wody}	Warunki pracy instalacji
1800	18,80	36,00	100	5,30	5300,00	996,40	1908,00	911,60	1,975	minimalny wskaźnik
1664	16,14	24,81	55	2,92	2915,00	470,48	723,21	252,73	6,584	maksymalny wskaźnik
1296	19,54	30,11	50	2,65	2650,00	517,81	797,92	280,11	4,627	minimalna ilość pary
2329	18,10	29,50	90	4,77	4770,00	863,37	1407,15	543,78	4,283	maksymalna ilość pary
1296	19,54	30,11	50	2,65	2650,00	517,81	797,92	280,11	4,627	minimalny dopływ osadu
2289	17,90	28,50	100	5,30	5300,00	948,70	1510,50	561,80	4,074	maksymalny dopływ osadu
1850	15,75	25,26	70	3,71	3710,00	584,33	937,15	352,82	5,243	maksymalne uwodnienie osadów
1845	20,82	32,50	100	5,30	5300,00	1103,46	1722,50	619,04	2,980	minimalne uwodnienie osadów
1716	16,19	24,47	60	3,18	3180,00	514,84	778,15	263,30	6,517	najniższe wysuszenie osadów
1800	18,80	36,00	100	5,30	5300,00	996,40	1908,00	911,60	1,975	najwyższe wysuszenie osadów
1664	16,14	24,81	55	2,92	2915,00	470,48	723,21	252,73	6,584	minimalna ilość odparowanej wody
1800	18,80	36,00	100	5,30	5300,00	996,40	1908,00	911,60	1,975	maksymalna ilość odparowanej wody
1929	17,76	28,16	81	4,30	4296,20	765,69	1214,73	449,04	4,472	wartości średnie



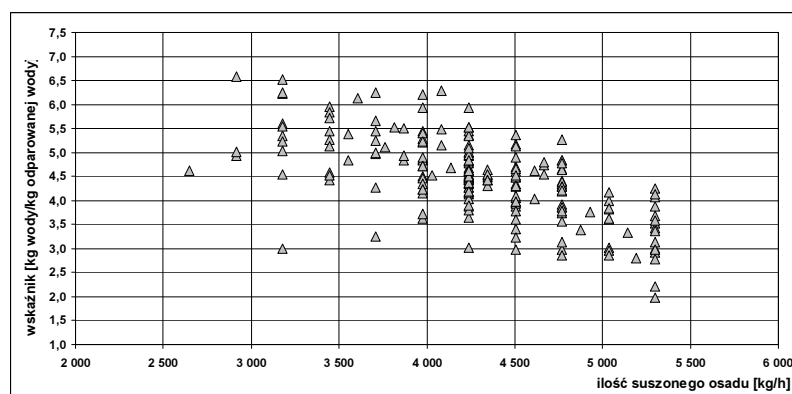
Rys. 4. Zależność wskaźnika zużycia pary od zawartości suchej masy w osadzie poddawanym suszeniu

Fig. 4. Dependence of steam consumption factor on the content of dry matter in the sludge being dried



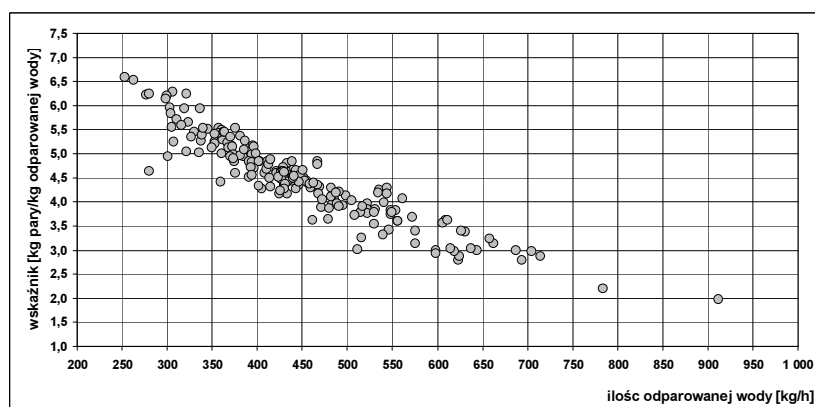
Rys. 5. Zależność wskaźnika zużycia pary od zawartości suchej masy w osadzie po suszeniu

Fig. 5. Dependence of steam consumption factor on the content of dry matter in the sludge after drying



Rys. 6. Zależność wskaźnika zużycia pary od ilości osadu poddawanego suszeniu

Fig. 6. Dependence of steam consumption factor on amount of sludge being dried



Rys. 7. Zależność wskaźnika zużycia pary od ilości odparowanej wody

Fig. 7. Dependence of steam consumption factor on amount of evaporated water

Analiza wyników obliczeń wskaźnika zużycia pary przedstawionych na rysunkach 4-7 prowadzi do stwierdzenia, że w każdym przypadku istnieje zależność wskaźnika zużycia pary odniesionego do ilości odparowanej wody od analizowanych parametrów: wilgotności początkowej osadu (zawartości substancji stałej w osadzie), wilgotności końcowej osadu (zawartości substancji stałej w osadzie), ilości osadu podawanego do suszenia (rys. 6) oraz ilości odparowanej wody. Jest to zależność malejąca, co oznacza, że minimalizację wskaźnika zużycia pary można osiągnąć przez suszenie osadów o mniejszej zawartości wilgoci, suszenie w celu osiągnięcia wyższej zawartości suchej masy w osadzie kierowanym do spalania oraz w przypadku pracy suszarki pod wysokim obciążeniem.

Podsumowanie

Wielkość wskaźnika zużycia pary rozumianego jako stosunek ilości kilogramów pary niezbędnej do odparowania jednego kilograma wody z osadów ściekowych podczas ich suszenia jest wartością zmienną. Zależy ona od ilości doprowadzanego do suszarki osadu oraz jego wilgotności. W analizowanych okresach uzyskano obliczony wskaźnik zużycia pary w suszarkach w zakresie $1,9 \div 6,6$ kg pary na kg odparowanej wody. Uwzględniając entalpię stosowanej pary nasyconej ($p = 1,0$ MPa, $t = 184^\circ\text{C}$), wynoszącą 2777 kJ/kg, można oszacować, że współczynnik efektywności wykorzystania ciepła w suszarkach wynosi ok. $1,4 \div 5,1$ kWh/kg odparowanej wody.

Analiza funkcjonowania suszarek przeprowadzona dla dwóch dowolnie wybranych miesięcy wskazała na dość wysokie zużycie energii do suszenia osadów. Uzyskany wskaźnik energochłonności, wynoszący $1,4 \div 5,1$ kWh/kg ($1,9 \div 6,6$ kg_{pary}/kg_{odparowanej wody}), jest znacznie wyższy od wartości podawanej w ofertach dostawców technologii suszenia. Przykładowo w ofertach złożonych podczas przygotowania do postępowania przetargowego na dostawę instalacji spalania

osadów ściekowych wraz z ich podsuszaniem dla GOŚ-ŁAM [13] wskaźnik ten wyniósł $0,78 \div 0,89 \text{ kWh/kg}_{\text{odparowanej wody}}$. Co prawda, wskaźnik ten był obliczony dla suszenia osadów od początkowych 20% zawartości suchej masy aż do 90% końcowej zawartości suchej masy, a nie suszenia w zakresie $20 \div 24\%$ s.m. do $30 \div 34\%$ s.m. Oznaczałoby to jednak, że bardziej opłacalne pod względem ekonomii suszenia byłoby uzyskiwanie w jego następstwie bardziej wysuszonych osadów. Jednakże sumaryczna ilość ciepła potrzeba do wysuszenia byłaby wtedy znacznie większa, a dodatkowo operowanie osadami o niskiej wilgotności (np. ok. 10%) niesie za sobą poważne zagrożenia wybuchowe, co potwierdziły doświadczenia eksploatacyjne innych suszarni [14-16]. Wyznaczony wskaźnik zużycia energii (pary) w suszarkach jest także trudny do porównania. Brak jest danych o podobnym wskaźniku uzyskiwanym w innych instalacjach w Polsce, zaś publikacje zagraniczne [17-20], pomimo analizowania efektywności energetycznej procesu suszenia osadów, również nie podają tak wyznaczonego wskaźnika. Wydaje się więc, że za odniesienie należy tu przyjąć wskaźnik deklarowany przez oferentów na etapie przetargowym. Oznacza to jednak dokładną analizę warunków i parametrów pracy instalacji suszenia, gdyż widać, że pracuje ona w warunkach dalekich od optymalnych.

Literatura

- [1] Fytli D., Zabaniotou A., Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008, 12, 116-140.
- [2] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grossen A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14, 4, 375-384.
- [3] Główny Urząd Statystyczny, *Rocznik Ochrona Środowiska*, Warszawa, GUS 2001-2013.
- [4] *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2010.
- [5] Bień J.B., *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [6] Fukas-Płonka Ł., Suszenie osadów ściekowych, *Materiały seminarium szkoleniowego „Nowe technologie w przeróbce osadów ściekowych”*, Zakład Wodociągów i Kanalizacji, Politechnika Śląska, Brenna 2007.
- [7] Fukas-Płonka Ł., Janik M., Plusy i minusy suszenia osadów ściekowych, *Forum Eksploatatora* 2008, 5, 25-27.
- [8] Lowe P., Developments in the thermal drying of sewage sludge, *Water and Environment Journal* 1995, 9, 3, 306-316.
- [9] Zarzycki R., Wielgościński G., *Problemy zagospodarowania osadów ściekowych*, [w:] *Gospodarka komunalna w miastach*, praca zbiorowa pod red. R. Zarzyckiego, PAN, Łódź 2001.
- [10] Niesler J., Nadziakiewicz J., Ocena możliwości współspalania odpadów komunalnych i osadów ściekowych w aglomeracji śląskiej, *Piece Przemysłowe & Kotły* 2013, 15, IX-X, 29-41.
- [11] Pająk T., Suszenie i spalanie osadów w Polsce i krajach UE, VI Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa *Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych*, Warszawa 2012.
- [12] Błaszczak K., Krzyśko-Lupicka T., Przegląd metod badania osadów ściekowych stosowanych w Polsce, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 1, 117-133.
- [13] Wolak A., Pająk T., Wielgościński G., *Analiza techniczno-ekonomiczna wybranych wariantów zagospodarowania osadów ściekowych Grupowej Oczyszczalni Ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej*, PROCHEM S.A., Warszawa 2002.

- [14] Wolff A., Bałazińska M., Ochrona przed zagrożeniem wybuchem, Przegląd Komunalny 2013, 10(3).
- [15] Fernandez-Anez N., Garcia-Tarrent J., Medic-Pejic L., Flammability properties of thermally dried sewage sludge, Fuel 2014, 134, 636-643.
- [16] Medic-Pejic L., Fernandez-Anez N., Montenegro M.L., Garcia-Tarrent J., Ramirez-Gómez A., Characterization of spontaneous combustion tendency of dried sewage sludge, 10th International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions (X ISHPMIE), Bergen, Norway 10-14.06.2014.
- [17] Chu C.P., Lee D.J., Chang C.Y., Energy demand in sludge dewatering, Water Research 2005, 39, 1858-1868.
- [18] Mills N., Pearce P., Farrow J., Thorpe R.B., Kirkby N.F., Environmental & economic life cycle assessment of current & future sewage sludge to energy technologies, Waste Management 2014, 34, 185-195.
- [19] Lundin M., Olofsson M., Pettersson G.J., Zetterlund H., Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options, Resources, Conservation and Recycling 2004, 41, 4, 255-278.
- [20] Zhu F., Zhang Z., Jiang H., Zhao L., The study of sewage sludge thermo-drying efficiency, Procedia Environmental Sciences 2012, 16, 363-367.

The Analysis of the Functioning of the Drying of Sewage Sludge from the GOŚ-ŁAM in Łódź

Sludge emerging in the process of wastewater treatment represents in quantitative terms a small percentage of the total waste generated in the municipal economy - its quantity is only a few percent of the weight of municipal waste generated. But the threats it brings do not allow to skip them by the design process of the wastewater treatment plant. Simultaneously, with the increase of the requirements for the quality of wastewater discharged into the environment there increases the amount of sludge produced in wastewater treatment plants. In recent years, the share of thermal treatment of municipal sewage sludge increased sharply - 10 modern sewage sludge plants were built and it is considered to build further. Due to the very high hydration, settlement must be properly dried before combustion. Energy consumption of the drying process depends greatly on the hydration of sludge and drying technologies. The paper discusses the operation of the drying in a modern and completed in 2011 installation of thermal treatment of sewage sludge from Group Wastewater Treatment Plant in Lodz. The analysis of the effects of certain process parameters on the drying rate of steam consumption required to dry the sludge. It was found that the rate of steam consumption per unit of vaporized water depends on raw sludge hydration, solid matter content after drying, amount of dried sludge and amount of vaporized water. In any case, the bigger was the analyzed parameter, the lower was the rate of steam consumption.

Keywords: municipal sewage sludge, drying, the rate of energy consumption