



Skuteczność redukcji emisji rtęci z procesów spalania osadów ściekowych w złożu fluidalnym.

The effectiveness of the low Hg emission originated from the combustion of sludge in fluidized beds.

mgr inż. Jacek NIESLER¹, prof. dr hab. inż. Jan NADZIAKIEWICZ²

1. Jacek Niesler -stypendysta projektu DoktoRIS -Programu stypendialnego na rzecz inowacyjnego Śląska współfinansowanego przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
e-mail: jacek@niesler.pl
2. Jan Nadziakiewicz Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska
e-mail: Jan.Nadziakiewicz@polsl.pl



W KILKU SŁOWACH

W artykule przedstawiono uzasadnienie podjęcia tematu, problematykę transformacji i transportu rtęci w obiegu atmosferycznym, toksyczności rtęci, a także w oparciu o przegląd stosowanych w kraju technologii spalania osadów ściekowych w złożu fluidalnym, mechanizm emisji rtęci z procesów spalania i skuteczność wybranych metod jej redukcji. Określono też zmienność stężenia rtęci w osadach ściekowych województwa śląskiego.

1. Wstęp

Wkrótce, po uruchomieniu największej w Polsce oczyszczalni ścieków wraz z instalacją spalania osadów ściekowych, instalacją reprezentującą najwyższy poziom techniki połączony z najniższym poziomem emisji zanieczyszczeń, zgodnie z obowiązującym w Unii Europejskiej dokumentem „Draft Reference Document in Best Available Techniques for Waste Incineration” zwanym w skrócie BAT¹ w mediach ukazały się zatrważające komunikaty:

- niebezpieczna rtęć dostała się ze ściekami do oczyszczalni Czajka,
- wykrycie szkodliwej substancji na miesiąc unieruchomiło działającą obok spalarnię, a odpady, zawierające także jaja pasożytów, trafiły na wielką hałdę,
- mieszkańcy okolicznych osiedli narzekają na fetor i boją się o swoje zdrowie,
- na hałdzie jest już 30 tysięcy ton odpadów,²
- w stacji termicznej utylizacji osadów ściekowych zadziałały zabezpieczenia systemu



SUMMARY

The article contains the justification for tackling the matter, the problems of Mercury transformation and transport in atmospheric circulation, Mercury toxicity as well as, based on the review of the applied sewage sludge combustion technologies in fluidized beds, the mechanism of Mercury emission from combustion and the effectiveness of the selected method of its reduction. Additionally, the variability of Mercury concentration in wastewater sludge in Silesia has been specified and the improvement of low Hg effectiveness thanks to the applications of the wet method instead of the dry method has been proposed.

monitoringu emisji spalin, spalarnia została automatycznie wyłączona na skutek wykrycia przekroczeń poziomu substancji szkodliwych w osadach,

- czujniki spalarni osadów wskazały, że poziom stężenia rtęci został przekroczony 10-krotnie,
- zaistniała konieczność awaryjnego gromadzenia na placu magazynowym osadów ściekowych.³

Zaistniała sytuacja i brak spalarni osadów ściekowych w województwie śląskim, które pod względem ilości wytworzonych osadów ściekowych plasuje się na drugim miejscu w kraju zaraz po województwie stołecznym, stały się inspiracją do napisania niniejszego artykułu.

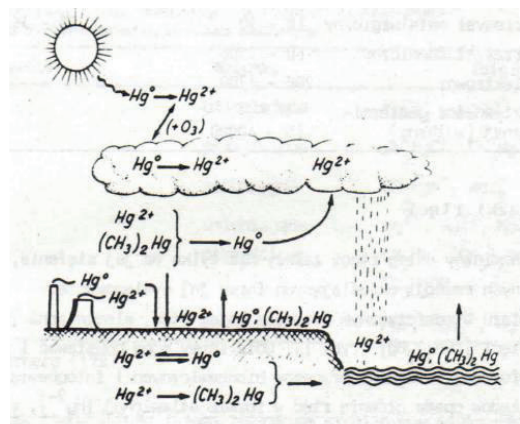
2. Rtęć w środowisku przyrodniczym

Rtęć jest pierwiastkiem silnie rozproszonym w skorupie ziemskiej. Występuje w skałach glebach i wodach.^{4,5,6} Opady atmosferyczne odgry-



wają szczególnie ważną rolę w obiegu atmosferycznym rtęci. Jej stężenia w wodzie deszczowej zależą w dużym stopniu od rozpuszczalności związków i form rtęci rozproszonej w powietrzu. Występowanie rtęci w obiegu atmosferycznym jest związane ze stopniem lotności jej związków i temperaturą otoczenia. Ilość odparowanej rtęci podwaja się przy wzroście temperatury o każde 10°C.⁷ W powietrzu atmosferycznym dominuje lotna rtęć, elementarna Hg^0 oraz dwumetylek rtęci $(CH_3)_2Hg$. Obie formy mogą powstawać i podlegać dalszej transformacji w wyniku procesów biochemicznych i fotochemicznych. Na powierzchnię łądów opada głównie rtęć w formie utlenionej Hg^{2+} .

Formy rtęci występujące w przyrodzie można podzielić na łatwo lotne Hg^0 , $(CH_3)_2Hg$, łatwo rozpuszczalne w wodzie np. Hg^{2+} i trudno rozpuszczalne.⁸ Schemat transportu i transformacji rtęci w obiegu atmosferycznym przedstawia rys.1. Rtęć pochodzenia antropogenicznego emitowana do środowiska w wyniku niewłaściwie przestrzeganych procesów technologicznych w tym spalania węgla, odpadów komunalnych czy osadów ściekowych przedostaje się w znacznym stopniu do powietrza atmosferycznego, a następnie do powierzchniowych poziomów glebi i wód.



Rys. 1. Schemat transportu i transformacji rtęci w obiegu atmosferycznym.⁶

3. Toksyczność rtęci

Większość metali śladowych odgrywa ważną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu organizmów żywych, spełniając rolę czynników regulujących procesy życiowe. Metale takie zalicza się do pierwiastków niezbędnych. Dla Hg dotychczas nie wykazano biologicznej niezbędności.⁹ Z pośród metali ciężkich ze względu na rozpowszechnienie w środowisku oraz dużą

toksyczność szczególną uwagę zwraca się właśnie na Hg oraz Pb i Cd.¹⁰ Pierwiastki te kumulują się w organizmie człowieka stanowiąc poważny problem, podczas gdy inne metale ciężkie stosunkowo szybko wydalane są z organizmu.⁹ Toksyczne stają się gdy ich poziom osiągnie lub przekroczy stężenie progowe, powodujące objawy porażenia. Każda niekorzystna zmiana miejscowa wywołuje zaburzenia ogólne, dlatego uszkodzenia w obrębie poszczególnych narządów prowadzą do zaburzeń obejmujących cały ustrój.¹¹ Rtęć nawet w niskich stężeniach stanowi zagrożenie dla organizmów żywych, ponieważ nie są znane jakiegokolwiek funkcje metaboliczne tego pierwiastka. Formy organiczne rtęci są zwykle bardziej szkodliwe (nawet 10-cio krotnie) niż nieorganiczne. Stężenie 5 $\mu g/l$ wywołuje już toksyczne efekty w środowisku wodnym.

Głównym, źródłem zanieczyszczenia środowiska rtęcią są procesy spalania. Rtęć po utlenieniu do rtęci dwuwartościowej tworzy związki metylortęciowe CH_3Hg^+ i dimetylorteciowe $(CH_3)_2Hg$. Metylacja rtęci zwiększa możliwości pokonania bariery biologicznej. Następstwem czego jest jej bioakumulacja w organizmach żywych. Do organizmu rtęć dostaje się głównie z żywnością oraz wziewnie poprzez układ oddechowy. Najwyższe stężenie rtęci występuje w nerkach, natomiast najbardziej podatny na uszkodzenia jest mózg, w którym stężenie metylortęci potrafi osiągnąć poziom 5-krotnie wyższy od stężenia we krwi. Opary rtęci toksycznie oddziałują na płuca, powodując ostatecznie niewydolność oddechową, a nawet zgon. Przewlekłe narażenie na małe stężenie par rtęci powoduje uszkodzenie ośrodkowego układu nerwowego z objawami osłabienia, zaburzeniami pamięci, zmiennością nastrojów, bólem głowy i kończyn.¹²

Toksyczne działanie zanieczyszczeń bezpośrednio na organizm człowieka jest trudne do oszacowania. Z danych literaturowych wynika, że dla człowieka oraz kręgowców, z pośród metali ciężkich, najbardziej toksyczna jest rtęć.¹³

4. Termiczne zagospodarowanie osadów ściekowych w Polsce.

W Polsce mamy siedemnaście instalacji termicznego suszenia osadów ściekowych, dwana-



ście suszarni słonecznych i jedenaście spalarni. Rys. 2 przedstawia usytuowanie spalarni osadów ściekowych.

W tab.1 przedstawiono zbiorczą charakterystykę instalacji spalania osadów ściekowych w Polsce¹⁴, w której przez dyspozycyjność pracy instalacji spalania osadów należy rozumieć stosunek łącznej ilości godzin pracy w przyjętym okresie eksploatacji danej instalacji spalania osadów podczas, których osiąga ona nominalną wydajność termicznego przekształcania osadów, realizowanego zgodnie z przepisami, do zaplanowanej w tym okresie ilości godzin eksploatacji tej spalarni. W tab.2 przedstawiono wydajności i typy palenisk poszczególnych krajowych spalarni.



Rys. 2. Spalarnie osadów ściekowych¹⁵

wskaznik	jednostka	wartość/opis
Sumaryczna liczba instalacji	-	11
Sumaryczna wydajność	Mg s.m./rok	ok. 1600 000
Wydajność spalarni osadów	Mg s.m./h	0,2-7,9
s.m. osadów podawanych do paleniska	% s.m.	33-90
Spalanie skratek	-	W dużych spalarniach
Dyspozycyjność	%	30-90
sposób zagospodarowania popiołów/pozostałości z ocz. spalin	-	Składowanie/zestalenie
rodzaj paleniska	-	Rusztowe 4, fluidalne 7
Rodzaj systemu oczyszczania spalin	-	Suchy z zastosowaniem wodorowęglanu sodu

Tabela1 charakterystyka instalacji spalania osadów ściekowych w Polsce.¹⁴

spalarnia osadów	wydajność	typ paleniska
Warszawa Czajka	566 Mg/dobę 30-70 tys Mg s.m./rok 110-170 tys Mg/rok	fluidalny
Kraków Płaszów	64 Mg s.m./dobę 103,3 Mg/rok	fluidalny
Kielce Sitkówka Nowiny	91 Mg/dobę 17,7 Mg s.m./dobę 6 tys Mg s.m./rok	fluidalna
Łódź	264 Mg/dobę	fluidalna
Bydgoszcz Fordon	30 Mg/dobę	fluidalna
Płock	50 tys Mg/rok	fluidalna
Gdańsk	38,7-48,7 Mg s.m. /dobę 12-15,2 tys Mg s.m. /rok	fluidalna
Gdynia Dębogóra	110 Mg/dobę 9 tys Mg s.m./rok	fluidalna
Łomża	1,5 tys Mg s.m./rok	rusztowa
Olsztyn	3 tys Mg s.m./rok	rusztowa
Szczecin	9 tys Mg s.m./rok	rusztowa
Zielona Góra	6,7 tys Mg s.m./rok	rusztowa

Tabela 2 wydajności krajowych spalarni i typ paleniska

5. Piece fluidalne do spalania osadów ściekowych

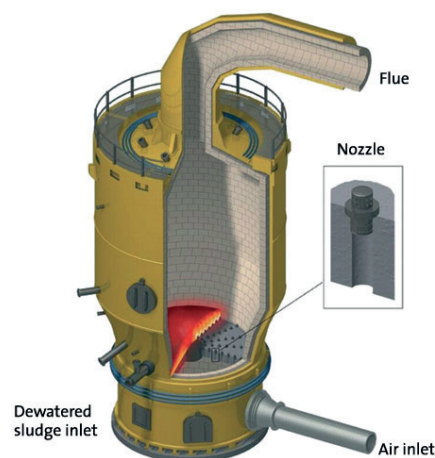
W naszym kraju rozpowszechniła się Technologia Pyrofluid™ firmy Veolia polegająca na termicznym przekształcaniu osadów ściekowych w piecu ze złożem fluidalnym. Wymagany stopień odwodnienia osadów ściekowych dla tej technologii wynosi około 30-35% s.m. w zależności od zawartości materii organicznej, wartość w podanym przedziale dotyczy osadu prefermentowanego, w którym zawartość materii organicznej wynosi ok. 65%. Dla osadów nieprefermentowanych, zawierających powyżej 70% materii organicznej minimalny stopień odwodnienia jest niższy i wynosi ok. 25% s.m. Do pieca może być podawany, jako wsad uzupełniający, osad wysuszony o zawartości 80-90% s.m. pod warunkiem, że nie stanowi on więcej niż około 15-20% nadawy, zaś pozostała część to klasyczny osad odwodniony mechanicznie.

Przykładem zastosowania tej technologii jest Stacja Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych na oczyszczalni Czajka, gdzie doszło do prze-

kroczenia emisji Hg. Proces ten zakłada podsu-
 szenie, spalanie mechanicznie odwodnionych
 własnych osadów ściekowych, o ok. 25% s.m.
 w ilości maksymalnie 24,9 Mg/h (o Wd=12,6
 MJ/kg s.m.) jak i spalanie granulatu wysuszo-
 nych osadów z Oczyszczalni Ścieków Południe,
 o ok. 85% s.m. w ilości maksymalnie 0,83 Mg/h
 (o Wd=14,0 MJ/kg s.m.). Granulat ten, o warto-
 ści opałowej zdecydowanie wyższej od osadu
 mechanicznie odwodnionego, pozwolił na za-
 stosowanie turbiny upustowo-kondensacyjnej
 o mocy generatora 2 MWe z możliwością pracy
 w kogeneracji i jednocześnie wytworzenie ciepła.
 Spalarnia osadów ściekowych na oczyszczalni
 Czajka została zaprojektowana i wybudowana
 w celu utylizacji wszystkich odpadów powstają-
 cych w procesie oczyszczania ścieków: odwod-
 nionych, ustabilizowanych osadów ściekowych,
 skratek w ilości maksymalnie 1,3 Mg/h, piasku
 z piaskowników w ilości maksymalnie 0,84
 Mg/h, oraz tłuszczu w ilości 0,08 Mg/h. Dodatko-
 wo umożliwia przyjmowanie odwodnionych lub
 wysuszonych osadów ściekowych dowożonych
 transportem samochodowym. Paliwa po wstęp-
 nym przygotowaniu jakim jest podsuśnienie od-
 wodnionych osadów ściekowych do poziomu
 około 32% s.m., rozdrobnienie i odseparowanie
 zanieczyszczeń metalicznych ze skratek i piasku,
 są podawane do dwóch pieców fluidalnych. Pro-
 ces zachodzi autotermicznie bez spalania dodat-
 kowych paliw wspomagających. W przypadku
 zastosowania paliw o niższej jakości (np. osadu
 odwodnionego o niskiej wartości opałowej) ist-
 nieje możliwość wspomagania procesu przez
 spalanie biogazu wytwarzanego na oczyszczalni
 lub gazu ziemnego. Odpowiednia temperatura
 panująca w piecu wynosząca minimum 850°C
 oraz dodatek wody amoniakalnej powodują,
 że spaliny opuszczające piec charakteryzują
 się niską zawartością substancji organicznych
 zwłaszcza dioksyn i furanów oraz tlenków azo-
 tu. Energia niesiona przez gorące spaliny jest
 wykorzystywana do wstępnego podgrzania po-
 wietrza fluidyzacyjnego oraz wytworzenia prze-
 grzanej pary o wysokim ciśnieniu. Gorąca para
 służy do napędzania turbogeneratora umoż-
 liwiającego wytworzenie energii elektrycznej
 oraz, po zmniejszeniu ciśnienia, do ogrzewania
 suszarek osadu oraz budynku. Nadmiar energii
 cieplnej może być także przesyłany do głównej

sieci cieplnej oczyszczalni i wykorzystany np.
 do ogrzewania komór fermentacji. Warszawska
 spalarnia osadów jest jednym z największych
 i najbardziej zaawansowanych technologicznie
 tego typu obiektów na świecie.^{16,17}

Poniżej przedstawiono rysunek złoża fluidalnego.



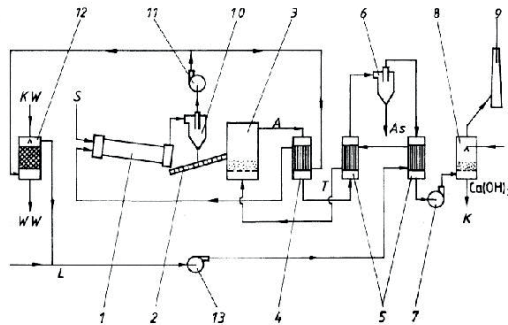
Rys.3 Piec fluidalny do spalania osadów ściekowych.¹⁸

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że technologia wykorzystująca piec fluidalny i wstępne suszenie osadów od lat jest znana i stosowana w naszym kraju. Instalacja taka powstała w Dębogórze zgodnie z projektem i dzięki pracom naukowców z Katedry Technologii i Urzędzeń Zagospodarowania Odpadów w Gliwicach. Jest to pierwsza w naszym kraju spalarnia osadów ściekowych w złożu fluidalnym. Została uruchomiona w 1994 roku i działa z powodzeniem do dziś przechodząc od tego czasu jedynie drobne modernizacje. Schemat spalarni w Dębogórze przedstawiono poniżej. Osady suszone są wstępnie bezprzeponowo parą w suszarce bębnowej (1) ciepłem odzyskiwanym ze spalin, przy czym nadmiar pary z obiegu wykraplany jest w skraplaczu (skruberze) (12). Spalanie odbywa się w temperaturze 850 °C w piecu fluidalnym (3) bez paliwa dodatkowego. Czynnikiem fluidyzującym jest gorące powietrze podgrzane w wymiennikach ciepła (5). Spaliny opuszczające piec po przejściu przez układ wymienników ciepła (4 i 5) i odpyleniu w cyklonie (6), kierowane są do układu mokrego oczyszczania (8). Ze względu na napięty bilans energetyczny możliwy jest odzysk ciepła pary z układu suszenia osadów w suszarce (1). Para ta skraplając się





pozwala na produkcję gorącej wody o temperaturze 70 - 80 °C. Nie skraplające się domieszki gazowe wraz z substancjami zapachowymi zasysane są ze skrubera przez wentylator (13) i kierowane łącznie z powietrzem do pieca. Przy podanej wydajności instalacji można uzyskać 1,5 MW energii cieplnej, wykorzystywanej na terenie oczyszczalni np. do ogrzewania komór fermentacyjnych. Ścieki powstałe w układzie mokrego oczyszczania spalin używane są do zraszania popiołu wywożonego na składowisko. Możliwość realizacji autotermicznego procesu spalania uzależniona jest od wilgotności osadów i zawartości części nieorganicznych w osadach. Dla zapewnienia właściwych parametrów emitowanych spalin zabudowano instalację mokrego ich oczyszczania, przy zastosowaniu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jako czynnika wiążącego związki siarki oraz chloru.



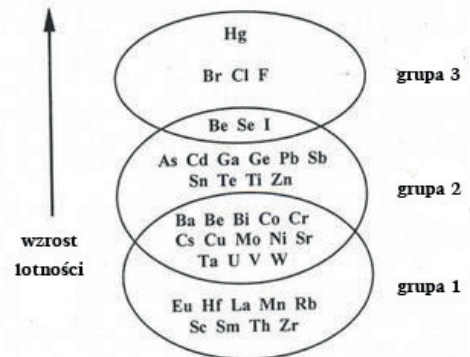
Rys. 4 Schemat instalacji do spalania osadów z oczyszczalni ścieków w Dębogórze k. Gdyni

6. Emisja rtęci ze spalania

W procesie spalania uwalniane są śladowe ilości par metali i chemicznych ich związków. Związki lotnych metali są trujące, a niektóre z nich kancerogenne. Pary metali pochodzą z substancji mineralnej lub substancji organicznej paliwa. Część metali osiada lub pozostaje na elementach konstrukcyjnych pieca, część przechodzi do żużla. Metale i ich związki parują w gorących obszarach komory, a kondensują w zimniejszych obszarach kanałów spalinyowych. Część par kondensuje na powierzchni cząstek popiołów i wraz z nimi jest odprowadzana ze spalinami i łatwo mogą być wychwytywane w urządzeniach odpylających.¹⁹

Emisja metali ciężkich i ich związków jest proporcjonalna do ilości substancji mineralnej

w paliwie (paliwa kopalne, biomasa), zdecydowana większość metali jest wychwytywana w instalacji mokrego odsiarczania spalin, duża część pierwiastków śladowych jest wychwytywana wraz z popiołami w urządzeniach odpylania spalin. W wyniku spalania lub zgazowania w cząstkach znajdujących się w paliwie dochodzi do złożonych przemian, w tym do odgazowania i zwęglania, spiekania stopionych inkluzji oraz odparowania pierwiastków lotnych.



Rys.5 Podział pierwiastków śladowych ze względu na ich zachowanie podczas spalania.²¹

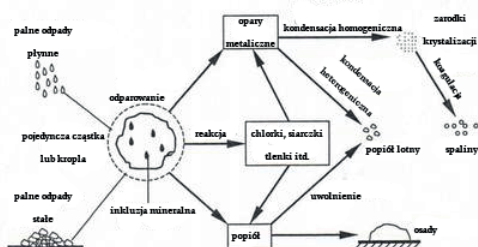
Pierwiastki śladowe zostały podzielone na trzy grupy ze względu na ich zachowanie podczas spalania.²⁰ Pierwiastki należące do grupy 1. koncentrują się w osadzie gruboziarnistym, bądź dzielą się równo między osad gruboziarnisty a drobniejsze cząstki. Pierwiastki z grupy 2. ulatniają się w komorze spalania i kondensują w dalszych częściach instalacji; pierwiastki te koncentrują się w drobnych cząstkach, których system kontroli emisji cząstek może nie wyłapać. Pierwiastki z grupy 3., w której znajduje się Hg, to pierwiastki o największej lotności, które przechodząc przez poszczególne etapy spalania pozostają w fazie gazowej. Podział pierwiastków śladowych ze względu na ich zachowanie podczas spalania lub zgazowania przedstawiony jest na rys.5.²¹ Zazębianie się poszczególnych grup przypisuje się dużej różnorodności warunków spalania, które determinują lotność pierwiastków, zwłaszcza temperaturze.²²

Metale mogą opuścić instalację spalania na kilka sposobów. W piecu odpady zawierające metale wprowadzane są do komory spalania. Tam część metali toksycznych, razem z innymi związkami nieorganicznymi (np. Si, Al i Ca), może uformować żużel (lub popiół paleniskowy), który usuwany jest u wylotu komory w sta-



nie stałym. Taka inkorporacja metali toksycznych w bryle żużla jest pożądana, ponieważ nie są one wyflukiwalne przez wodę. Znaczna część metali toksycznych może jednak pozostać w fazie gazowej lub odparować, tworząc parę cieczy lub aerozol w komorach spalania lub w dalszych elementach instalacji. Unoszące się cząstki mogą następnie zostać usunięte przez aparaturę do oczyszczania gazów spalinowych. Efektywność tego procesu zależna jest od rodzaju urządzenia i właściwości fizycznych cząstek. Najtrudniej jest usunąć małe cząstki o średnicy od 0.1 do 10 μm . Skład chemiczny popiołu lotnego gromadzącego się w elektrofiltrze znacząco różni się od składu chemicznego żużla czy popiołu paleniskowego, usuwanych w innych częściach instalacji. Zainstalowany za elektrofiltrem skrubler z płynem kaustycznym usuwa gazy kwaśne (np. HCl , SO_2) i niektóre cząstki, których elektrofiltr nie wyłapał. W końcu, część metali ominie wszystkie elementy aparatury do kontroli emisji cząstek i gazów kwaśnych i wydostanie się przez komin. Zachowanie metali toksycznych to więc złożony problem, potencjalnie mający wpływ na wszystkie trzy środowiska – glebowe, wodne i powietrzne. Proces spalania nie niszczy metali, w przeciwieństwie do elementów organicznych. Jednakże środowisko spalania może doprowadzić do przekształcenia metali (zarówno fizycznego, jak i chemicznego) i ich przejścia z jednego środowiska do innego.

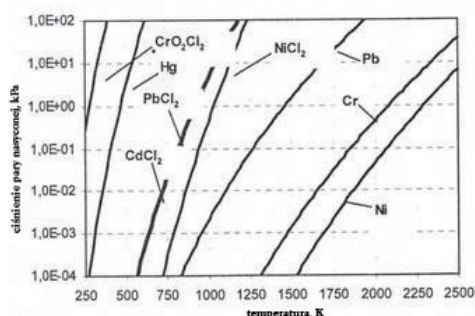
Rys.6. ilustruje mechanizmy kontroli zachowania metali w systemach spalania.²³ Zazwyczaj metale są obecne w odpadach w postaci związków nieorganicznych. Ponieważ środowisko spalania nie wpływa na większość z tych związków, przechodzą one przez instalację spalania niezmienione i znajdowane są w popiele wytworzonym przez jednostkę.



Rys. 6. Powstawanie cząstek i zachowanie metali podczas spalania.²³

Jak pokazano na rys 6, wytworzenie się małych cząstek wzbogaconych o metale toksyczne

jest najbardziej prawdopodobne w przypadku odparowania metali w wysokiej temperaturze, a następnie homo- i heterogenicznej kondensacji pary. Na rys. 7 przedstawiono ciśnienie pary nasyconej wybranych metali i ich związków w zależności od temperatury.²⁴ Ciśnienie pary nasyconej chromu i niklu jest dość niskie nawet w wysokich temperaturach, toteż zazwyczaj nie będą one łatwo odparowywać. Jednakże ciśnienie pary nasyconej CrO_2Cl_2 (w postaci sześciowartościowej) oraz NiCl_2 w temperaturach spalania jest bardzo wysokie, dlatego też łatwo odparowują. W takich warunkach odparować powinny także Cd i Hg . Co do zasady, ciśnienie pary nasyconej chlorków metali jest większe niż czystych metali czy ich tlenków. Dlatego bardzo prawdopodobnym jest, że obecność chloru w spalanych odpadach znacząco zwiększy odparowywanie metali.



Rys. 7 Ciśnienie pary nasyconej w stosunku do temperatury w niektórych związkach metali.³⁰

Wychwytywanie metali przez sorbenty in situ jest jedną z alternatywnych metod kontroli emisji metali toksycznych. Aby ta metoda była skuteczna potrzebne są: odpowiednia temperatura i czas przebywania w piecu oraz dobra styczność stałego sorbentu z metalem. Cechy typowe dla pieców ze złożem fluidalnym – tj. intensywne mieszanie, efektywny kontakt gazu z substancją stałą i ciekłą, wysoka temperatura i współczynnik przepływu masy, duża stabilność termiczna i równomierna dystrybucja ciepła – sprawiają, że jest on idealny do spalania wcześniej odpowiednio przygotowanych odpadów lub osadów ściekowych. Choć badania na piecach ze złożami fluidalnymi są dość intensywne, relatywnie mało pracy poświęcono dotychczas wyłapywaniu metali przez takie jednostki.

Ho i in.^{25,26} przeprowadzili eksperymenty w laboratoryjnym złożu fluidalnym 76.2 mm,



Spis literatury

1. Top inwestycje - Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Warszawa 2015
2. <http://tvnwarszawa.tvn24.pl/informacje,news,trujacarterec-sparalizowala-pracę-spalarni-w-czajce,87935.html>, 08.2015
3. http://www.nch.pl/gazeta/WWW_NCH_PDF/Nch_2%28110%292013_www.pdf, 08.2015
4. A. Kabata –Pendias, H. Pendias Trace elements in soils and plants, CRC Press Inc. Boca Raton Florida 1992
5. L. Friberg D. Vostal Mercury in the environment, CRC Press Inc. Cleveland, Ohio 1974
6. O.Lindqvist, H. Rodhee Atmospheric mercury – a review 1985
7. S.Mitra 86Mercury in the Ekosystem .Trans Tech Pub. 1986
8. A. Kabata-Pendias Biogeochemia rtęci w różnych środowiskach Rtgę w środowisku problemy Ekologiczne i metodyczne Zeszyty Naukowe PAN nr 4 Ossolineum 1992
9. J. Piotrowski Podstawy toksykologii Wydawnictwo Naukowo Techniczne Warszawa 2008
10. A. Kabata –Pendias, H. Pendias Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1979
11. M. Piontek Rozwój biologicznych metod oceny stopnia toksyczności trucizn w środowisku wodnym Zeszyty Naukowe Politechniki Zielonogórskiej nr 111, Inżynieria Środowiska 5 1997
12. W. Seńczuk Toksykologia współczesna Wyd. PZWL Warszawa 2006
13. M. Piątek, Z. Fedyczak, K. Łuszczynska, H. Lechów, Toksyczność Cu, Zn oraz Cd, Hg i Pb dla człowieka, kręgowców i organizmów wodnych, Uniwersytet Zielonogórski Zeszyty Naukowe Nr 155, Inżynieria Środowiska Nr 35 2014
14. J.Bień, M.Górski, M.Gromiec, M.Kasprzyk i inni Ekspertyza, która będzie stanowić materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2014-2020, Politechnika Częstochowska 2014
15. C. Jędrzejewski, Krajowe monospalarnie osadowe – przegląd aktualnej sytuacji. VIII Konferencja: „Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych”. Abrys

używając różnych sorbentów, takich jak wapień, bentonit i tlenek glinu. Sztucznie zanieczyszczone rtęcią materiały testowe zostały spalone w złożu razem z poszczególnymi sorbentami w różnych warunkach spalania. Efektywność wychwytu metali mierzona była na podstawie zaobserwowanej koncentracji rtęci w wyjściowym materiale testowym, świeżym sorbencie i popiele paleniskowym. Rezultaty wskazują, że wydajność wychwytu rtęci waha się między 20 a 90% w zależności od właściwości fizycznych sorbentu i parametrów spalania. Większa wydajność wychwytywania kojarzona jest z optymalną temperaturą złoża, mniejszą wielkością cząstek i wyższą prędkością fluidyzacji.

Dla porównania w tabeli 3 przedstawiono skuteczność wybranych metod redukcji emisji Hg z procesów spalania paliw.

Metoda redukcji emisji rtęci	Stopień redukcji
	[%]
Elektrofiltr ESP	10-60
Filtr tkaninowy FF	10-70
ESP + metoda mokra	60-85
FF+ metoda sucha	50-75
FF + metoda półsucha	55-80
FF + metoda mokra	65-90
FF + metoda mokra + SNCR	90-99
Wtrysk pylistego węgla aktywnego	50-90
Adsorpcja na stałym złożu węgla aktywnego	80-95
Dodatek bromku wapnia	70-90
Wtrysk TMT 15	80-99

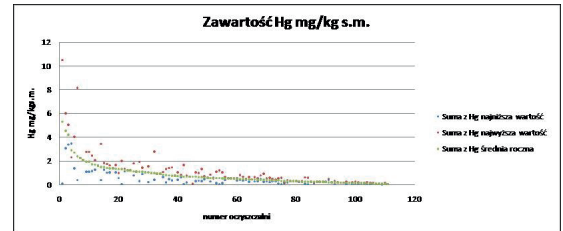
Tab. 3 skuteczność wybranych technologii redukcji emisji rtęci.²⁸

W nowo powstałych w naszym kraju spalarniach osadów ściekowych przekroczenie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich miało wpływ na dyspozycyjność instalacji.^{14,27}

7. Zawartość rtęci w osadach ściekowych województwa śląskiego

Na rys. 8 przedstawiono minimalną, maksymalną i średnią zawartość Hg w osadach ściekowych woj. śląskiego uzyskaną na przestrzeni pełnego roku. Na wykresie widać nie tylko duże wahania zawartości Hg w osadach na przestrzeni roku ale też w wielu przypadkach kilkukrotne

przekroczenie średniej rocznej zawartości Hg notowanej na danej oczyszczalni.

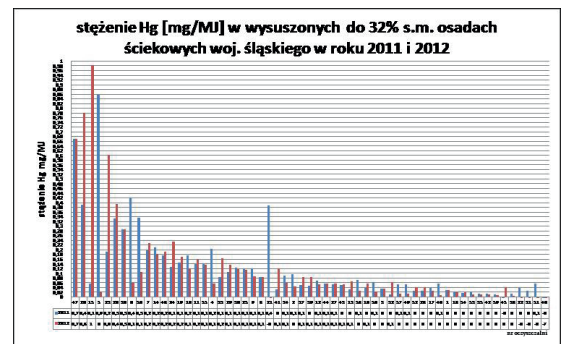


Rys.8 zawartość Hg w osadach ściekowych woj. śląskiego Na oczyszczalni ścieków Czajka w Warszawie osady ściekowe są suszone do poziomu około 32% s.m. Wartość opałową osadów ściekowych województwa śląskiego wysuszonych do takiego poziomu przedstawiono na rys.9. Osady ściekowe z trzech oczyszczalni uzyskały wartość opałową poniżej zera co uniemożliwia ich użycie do spalania w złożu fluidalnym bez zastosowanie dodatkowego źródła energii.



Rys. 9 Wartość opałową osadów ściekowych województwa śląskiego wysuszonych do poziomu 32% s.m.

Na rys. 10 przedstawiono stężenie rtęci osadów ściekowych woj. śląskiego wytworzonych w latach 2011 i 2012 po wysuszeniu do poziomu 32% s.m. Kolorem niebieskim zaznaczono wartości otrzymane w roku 2011, a kolorem brązowym w roku 2012. Celem porównania otrzymanych danych do obliczeń przyjęto jako bazę średnioroczne wartości uwodnienia i średnioroczne zawartości substancji organicznej uzyskiwane na danej oczyszczalni w danym roku.



Rys.10. Stężenie rtęci osadów ściekowych woj. śląskiego wytworzonych w latach 2011 i 2012 po wysuszeniu do poziomu 32% s.m.

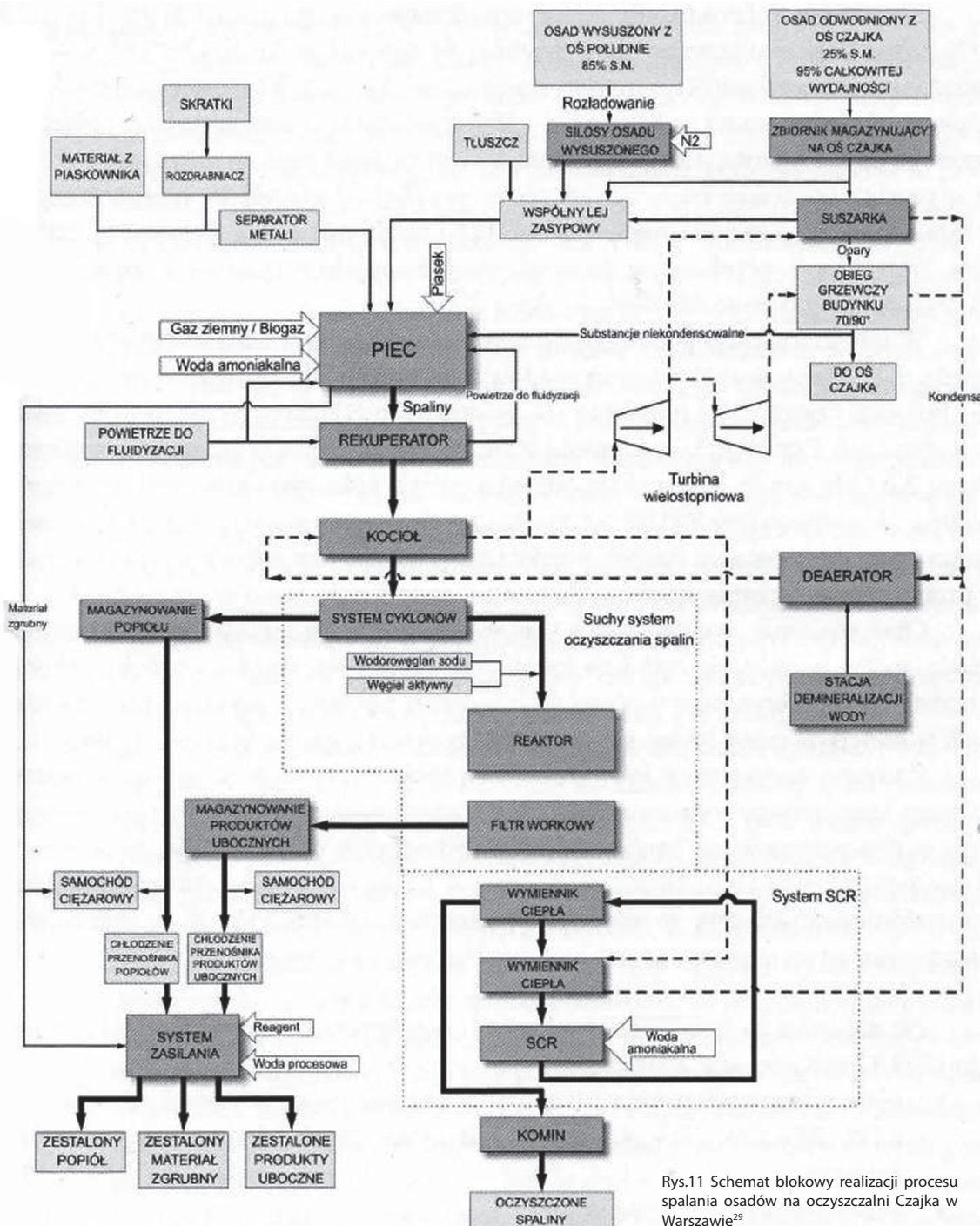


Analizując powyższe dane należy stwierdzić, że porównując jedynie wartości średnioroczne stężenia rtęci mg/MJ, w wytworzonych w latach 2011 i 2012 wysuszonych do poziomu 32% s.m. osadach ściekowych województwa śląskiego, dla większości oczyszczalni ścieków województwa śląskiego uzyskuje się dużą ich zmienność. Jedynie dla kilku oczyszczalni województwa śląskiego z pośród 59 oczyszczalni, które podano analizie, uzyskano wyniki porównywalne.

Zmienność ta jest oczywiście jeszcze bardziej widoczna gdy porówna się wartości maksymalne i minimalne uzyskane na danych oczyszczalniach ścieków. Przy tak dużej zmienności stężenia rtęci w osadach ściekowych na wejściu do instalacji spalania należy szczególną uwagę skupić na właściwym doborze elementów systemu oczyszczania spalin.

8. Analiza systemu oczyszczania spalin

Sp. z o.o. Opole, 2014
 16. M. Chodur - Aplikacje pieca fluidalnego do utylizacji wszelkiego typu odpadów powstających na komunalnej i przemysłowej oczyszczalni ścieków, Piece Przemysłowe VII/VIII 2013 Axis Media s.c.
 17. J. Niesler, J. Nadziakiewicz Ocena możliwości współspalania odpadów komunalnych i osadów ściekowych w aglomeracji śląskiej. Piece Przemysłowe IX/X 2013 Axis Media s.c.
 18. Materiały Veolia Water System GmbH Piec fluidalny do spalania osadów ściekowych
 19. Joachim Koziół Niskoemisyjne techniki spalania odpadów Materiały dydaktyczne słuchaczy studiów podyplomowych Gospodarka Odpadami 2015
 20. Adam Luckos Emissions of toxic metals from incineration systems Paliwa z odpadów tom III
 21. L.B. Clarke The fate of trace elements during coal combustion and gasification an overview fuel 72 (6) 1993
 22. L.B. Clarke, L.L. Sloss. Trace elements IEACR/49, IEA Coal Research London 1992
 23. M. Naville A.F. Sarofim The stratified composition of inorganic submicron particles produced during coal combustion 19th Symp. On Combustion, The combustion Institute Pittsburgh 1982
 24. W.P. Linak J.O.L. Wendt Toxic metal emissions from incineration mechanisms and control Progr. Energy Combust. Sci. 19 1993
 25. T.C. Ho, J.M. Chen, S. Shukla, J.R. Hopper, Metal capture during fluidized bed incineration of solid waste AIChE Symp. Ser 86(276) 1990
 26. T.C. Ho, L. Tan, C. Chen, J.R. Hopper, Characteristic of metal capture during fluidized bed incineration AIChE Symp. Ser 87(281) 1991
 27. T. Pająk, J. Niesler Sukcesy i porażki zagospodarowania krajowych komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi. Archiwum Gospodarki Odpadami Vol 16 Nr 3 2014
 28. G. Wielgosiński Rteć istotne problemy w ochronie środowiska, Konferencja Pol-Emis 2014, Politechnika Łódzka
 29. T. Pająk Zagospodarowanie osadów ściekowych metodami termicznymi UTH Wydawnictwo Radom 2013



Rys.11 Schemat blokowy realizacji procesu spalania osadów na oczyszczalni Czajka w Warszawie²⁹



Na rys.11 przedstawiono schemat blokowy realizacji procesu spalania osadów na oczyszczalni Czajka w Warszawie. Zastosowano tu system oczyszczania spalin z zastosowaniem metody suchej. System ten składa się z następujących podsystemów: cyklonu, reaktora do którego wprowadza się wodorowęglan sodu i węgiel aktywny, filtru workowego i katalitycznego układu redukcji tlenków azotu (SCR) wraz z alternatywnym układem niekatalitycznej redukcji tlenków azotu (SNCR). Układ niekatalitycznej redukcji tlenków azotu zostaje uruchomiony przy wyłączeniu układu SCR.²⁹

Sprawność całego układu szeregowego odpylenia przedstawia wzór

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n)$$

η – sprawność całego układu

$\eta_{1,2,n}$ - sprawność jednego podsystemu odpylenia

Analizując dane przedstawione w tab. 3 me-

toda mokra skuteczniej niż sucha zmniejsza emisję rtęci i w połączeniu szeregowym z poszczególnymi elementami instalacji odpylenia, dla którego sprawność oblicza się według wzoru podanego powyżej, daje ostatecznie lepszy efekt końcowy.

9. Podsumowanie

1. Wsuszenie osadów ściekowych województwa śląskiego jedynie do poziomu 32% s.m. przed spalaniem w złożu fluidalnym jest niewystarczające dla osadów ściekowych z co najmniej trzech oczyszczalni województwa
2. Metoda mokra skuteczniej niż sucha zmniejsza emisję rtęci i w połączeniu szeregowym z poszczególnymi elementami instalacji odpylenia daje ostatecznie lepszy efekt końcowy.
3. Dla większości oczyszczalni ścieków województwa śląskiego uzyskuje się dużą zmienność wartości średniej stężenia rtęci wyrażoną zarówno w mg/kg s.m. jak i mg/MJ. Jedynie dla kilku oczyszczalni województwa śląskiego z spośród 59 oczyszczalni, które poddano analizie, uzyskano wyniki porównywalne. Zmienność ta jest oczywiście jeszcze bardziej widoczna gdy porówna się wartości maksymalne i minimalne uzyskane na danych oczyszczalniach ścieków.
4. Projektując dla województwa śląskiego instalację spalania osadów, przy tak dużej zmienności stężenia rtęci jaką obserwujemy w osadach ściekowych wytworzonych na jego terenie i mając na uwadze bardzo dużą szkodliwość rtęci i jej związków dla organizmu człowieka, należy tak dobrać poszczególne elementy systemu oczyszczania spalin aby w efekcie uzyskać jak najwyższą sprawność jej redukcji, a nie jedynie spełnienie standardów emisyjnych dla wąskiej grupy osadów ściekowych jak to miało miejsce w kilku zaprojektowanych i wybudowanych w Polsce spalarniach osadów ściekowych.

APGAZ



- INDUSTRIAL GAS FURNACES,
- LADLE PREHEATING UNITS,
- INCINERATORS AND THERMAL OXIDIZERS.

