
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 14
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VI

Warszawa–Opole 2013

Teksty publikowane w „Pracach Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” poddawane są procedurze recenzyjnej

dr Dorota Anders
dr inż. Tomasz Ciesielczuk
dr hab. inż. Jan Deja
dr hab. inż. Bolesław Dobrowolski
dr hab. inż. Jerzy Duda
dr hab. inż. Marek Gawlicki
dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny
dr hab. inż. Michał A. Glinicki
prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk
dr Elżbieta Janowska-Renkas
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kabza
dr inż. Wojciech Kalinowski
dr inż. Alicja Kolasa-Więcek
dr inż. Anna Król
dr inż. Tomasz Ligus
prof. dr hab. inż. Andrzej Olszyna
dr inż. Alicja Pawełek
dr inż. Jacek Podwórny
prof. dr hab. inż. Janusz Pospolita
dr inż. Krystyna Rajczyk
prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak
dr inż. Grzegorz Siemiątkowski
dr inż. Franciszek Ślądyczek
prof. dr hab. inż. Małgorzata Sopicka-Lizer
dr hab. inż. Jacek Szczerba
dr hab. inż. Adam Witek
dr inż. Małgorzata Wzorek
dr inż. prof. AGH Janusz Zborowski

Na okładce zdjęcie z artykułu Małgorzaty Niziurskiej

„Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” ukazują się w wersji papierowej i elektronicznej (<http://icimb.pl/opole/wydawnictwa>).

Wersją pierwotną jest wersja papierowa

Opracowanie redakcyjne: Maria Szwed, Janina Drozdowska



Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o., Opole, ul. Piastowska 17, tel. 77 4540 123
e-mail: wydawnictwo@is.opole.pl
Nakład: 130 egz. Objętość: 4,80 ark. wyd., 5,75 ark. druk.

JOANNA POLUSZYŃSKA*

Suszenie solarne osadów ściekowych i ich wpływ na zawartość wybranych trwałych zanieczyszczeń organicznych

Słowa kluczowe: trwałe zanieczyszczenia organiczne, osady ściekowe, stabilizacja, suszenie.

Ze względu na wysokie koszty suszenia osadów ściekowych metodami konwencjonalnymi wzrosło zainteresowanie innymi, alternatywnymi metodami suszenia. Suszarnie solarne w klimacie umiarkowanym, także w Polsce, mogą być z powodzeniem stosowane do suszenia osadów ściekowych z małych i średnich oczyszczalni ścieków. Osady ściekowe zawierają trwałe zanieczyszczenia organiczne, takie jak np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), które z punktu widzenia przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych mogą stanowić zagrożenie dla środowiska gruntowo-glebowego. W pracy przedstawiono wyniki badań zawartości wybranych WWA w surowych i wysuszonych solarnie osadach ściekowych. Badania wykazały wpływ suszenia solarne osadów ściekowych na zawartość WWA, których ilość pod wpływem tego procesu uległa zmniejszeniu.

1. Wstęp

W wyniku rozwoju cywilizacyjnego, rozbudowy miast i zwiększonej konsumpcji budowane są coraz liczniej oczyszczalnie ścieków i w rezultacie gwałtownie wzrasta ilość osadów powstających w procesach oczyszczania ścieków. Dane literaturowe z 2012 r. podają, że w Europie wytwarzanych jest każdego roku ok. 9,4 mln Mg suchej masy osadów ściekowych [1]. W Polsce obecnie istnieje ponad 5170 oczyszczalni, które wytwarzają ok. 895 100 Mg osadów rocznie.

Jedną z najpowszechniej spotykanych metod unieszkodliwiania, obok wykorzystania przyrodniczego i termicznej utylizacji osadów ściekowych, jest ich składowanie. Wśród 15 krajów Unii Europejskiej (tzw. starzy członkowie Unii) ponowne wykorzystanie osadów ściekowych wydaje się być dominującym kierunkiem gospodarki osadowej, z czego 53% wytwarzanych osadów ściekowych

* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, j.poluszynska@icimb.pl

użytkowanych jest do celów rolniczych, a ok. 21% poddawana jest procesom utylizacji termicznej [2]. Zgodnie z założeniami Krajowego planu gospodarki odpadami (KPGO) 2014 [3] podstawową metodą unieszkodliwiania osadów ściekowych w dużych aglomeracjach miejskich powinna być instalacja do termicznej utylizacji [4]. Przewiduje się jednak, że do 2018 r. metody termiczne będą w stanie zagwarantować unieszkodliwienie do 60% masy komunalnych osadów ściekowych. Inne metody, takie jak kompostowanie, wykorzystanie rolnicze i przyrodnicze oraz do rekultywacji nadal stanowią będą pozostałe 40% masy komunalnych osadów ściekowych w strukturze ich unieszkodliwiania.

Osady ściekowe są produktem ubocznym procesu oczyszczania ścieków. Mogą stanowić znaczący potencjał nawozowy użyźniający glebę [5]. Skład osadów ściekowych jest zmienny i zależy od rodzaju oczyszczanych ścieków, sposobu ich oczyszczania oraz przeróbki. Przed wykorzystaniem przyrodniczym, jak również przed utylizacją termiczną osady ściekowe należy w odpowiedni sposób przygotować [5–9]. Jest to konieczne głównie z uwagi na wysokie uwodnienie osadów ściekowych (ponad 99% w odniesieniu do osadów surowych, 80–55% – osadów odwodnionych), zróżnicowaną zawartość metali ciężkich (największą charakteryzują się osady ściekowe z oczyszczalni zlokalizowanych w silnie uprzemysłowionych miastach), zróżnicowany stopień zagrożenia sanitarnego (największy w przypadku osadów surowych wstępnych, najmniejszy – osadów ustabilizowanych i higienizowanych). Osady ściekowe charakteryzują się również wysoką zawartością związków organicznych (ok. 75% w odniesieniu do osadów surowych, 45–55% – osadów ustabilizowanych) oraz wysoką zawartością związków azotu (2,7% s.m.) i niższą związków fosforu i potasu.

Osady ściekowe mogą być wykorzystywane na cele przyrodnicze po takim ich przetworzeniu (obróbka biologiczna, chemiczna lub termiczna), aby nie stwarzały zagrożenia dla środowiska lub zdrowia ludzi [10]. Te bardzo rygorystyczne kryteria przyrodniczego zagospodarowania osadów oraz problemy z dostępnością do odpowiedniej ilości gruntów pod składowanie skłaniają eksploatatorów oczyszczalni do poszukiwania i stosowania innych technologii unieszkodliwiania osadów ściekowych. Obecnie opracowywane koncepcje końcowej utylizacji osadów ściekowych coraz częściej obejmują procesy suszenia [11].

2. Metody suszenia osadów ściekowych

Dzięki zastosowaniu procesu suszenia osadów ściekowych możemy je przekształcić w produkt ułatwiający ich wykorzystanie przyrodnicze czy utylizację termiczną. Różne metody suszenia pozwalają na uzyskanie osadu o zawartości suchej masy od 50% do powyżej 90%. Obecnie w Polsce stosowanych jest wiele konwencjonalnych instalacji suszenia o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych i parametrach technologicznych, takich jak: suszarnie kontaktowe, konwekcyj-

ne – nisko-, średnio- i wysokotemperaturowe. Koszty realizacji odpowiednich rozwiązań konwencjonalnych są stosunkowo wysokie, dlatego przed przystąpieniem do inwestycji konieczna jest dokładna analiza techniczno-ekonomiczna [12]. Energochłonność procesu suszenia wynika w głównej mierze z wysokiego uwodnienia osadów ściekowych. Największą część energii cieplnej i elektrycznej pochłania odparowanie wody z osadów. Koszt wysuszenia 1 m³ osadu o uwodnieniu 80% do uwodnienia 10% wynosi, według różnych informacji, od 150 do 280 zł [12] lub 100 do 200 zł [13].

Teoretyczne zapotrzebowanie na energię potrzebną do odparowania 1 kg wody wynosi przy normalnym ciśnieniu 627 kWh/Mg. Przy pełnym wysuszeniu osadu (do 90–92%) średnie zapotrzebowanie na energię cieplną, w zależności od rozwiązań konstrukcyjnych i parametrów instalacji, wynosi od 0,6 do 1,2 kWh/kg [12].

Instalacje suszące możemy podzielić, w zależności od temperatury, w jakiej prowadzony jest proces, na:

- niskotemperaturowe (temperatura procesu do 60°C),
- średniotemperaturowe (temperatura procesu 60–130°C),
- wysokotemperaturowe (temperatura procesu do 130–500°C) [13].

W zależności od sposobu dostarczania ciepła suszarnie możemy podzielić na:

- konwekcyjne – czynnikiem suszącym jest powietrze lub gazy spalinowe, przepływające bezpośrednio nad materiałem suszonym (suszarnie atmosferyczne). Do tej metody zaliczamy instalacje niskotemperaturowe, które także są suszarniami atmosferycznymi wykorzystującymi do suszenia zimne powietrze w procesie otwartym;
- kontaktowe – osady są suszone ciepłem pobranym przez materiał w wyniku zetknięcia się z ogrzaną powierzchnią stałą bądź też z gorącym olejem lub wysokociśnieniowymi nośnikami ciepła (suszarnie atmosferyczne i próżniowe);
- promieniowe – ciepło dostarczone zostaje poprzez promienniki podczerwieni. Podczas tego procesu usuwana jest wilgoć powierzchniowa lub zawarta wewnątrz materiału na niewielkiej głębokości [13].

Ze względu na wciąż rosnącą masę wytwarzanych osadów ściekowych konieczne jest stosowanie ich termicznej przeróbki, aby zmniejszyć ich masę i ułatwić dalsze ich wykorzystanie [12]. Proces suszenia jest kosztowny i trudny w eksploatacji oraz wymaga wykwalifikowanej obsługi i ciągłej kontroli. Nie jest on obojętny dla środowiska naturalnego, co wiąże się m.in. z powstawaniem odorów, które powinny zostać zatrzymane na tzw. biofiltrach. Suszenie termiczne stwarza także zagrożenie wybuchem pyłów i samozapłonem suszonych osadów [12].

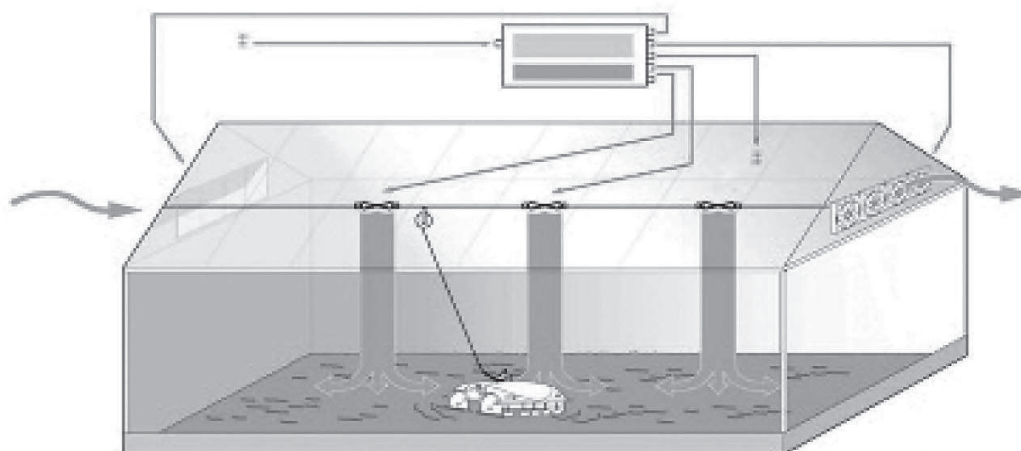
3. Suszarnie solarne

Alternatywą metod konwencjonalnego suszenia może być zastosowanie energii solarnej. Ekonomiczne dane wskazują, iż ok. 30–50% rocznych kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków przeznacza się na samo odwodnienie osadów ściekowych [14]. Szacuje się, że więcej niż 6000 oczyszczalni ścieków wykorzystuje klasyczne poletka do suszenia osadów [14, 6]. Zastosowanie energii słonecznej pozwala na wzrost efektywności suszenia i osiągnięcie nawet powyżej 95% suchej masy, w zależności od warunków klimatycznych i typu osadów [6]. Metoda solarne suszenia osadów ściekowych pozwala w przeciągu 15–25 dni na wzrost zawartości suchej masy osadu, w różnych typach osadów ściekowych, z 20 do 75%, przy zużyciu energii w przedziale od 29 to 44 kWh/Mg odparowanej wody. Dla porównania: przy zastosowaniu konwencjonalnego suszenia zużywa się, według różnych autorów, 70–110 kWh/Mg odparowanej wody [6], od 0,6 do 1,2 kWh/kg odparowanej wody [12].

W suszarniach tarczowych, bębnowych i fluidalnych woda odparowuje w temperaturze powyżej 100°C, natomiast w suszarniach słonecznych, przy udziale promieni słonecznych, proces ten zachodzi w niższych temperaturach, pod wpływem tzw. efektu cieplarnianego. Promieniowanie słoneczne w niewielkiej części zostaje odbite od powierzchni suszarni, jednak jego większość dociera do złoża suszonych osadów i powoduje ich ogrzanie. Promieniowanie własne osadów jest emitowane za pośrednictwem fal o większej długości (promieniowanie podczerwone), a następnie jego część odbijana jest od pokrycia suszarni, co powoduje wzrost temperatury w jej wnętrzu. Efekt cieplarniany poprzez wyzwalamie znacznej ilości energii intensyfikuje proces odparowywania wody [15]. Podczas suszenia solarne i napowietrzania osadów rozwijają się bakterie aerobowe, dzięki którym emitowane zapachy przypominają zapach kompostu. Stąd też w tej technologii suszenia osadów emitowane zapachy nie są uciążliwe dla otoczenia [18].

Dzięki zastosowaniu dodatkowych systemów grzewczych i kontrolowanej emisji suszenie solarne w perspektywie kolejnych lat będzie bardziej uniwersalnym procesem. W Europie, od roku 1994, z powodzeniem instalowane są automatyczne suszarnie solarne bazujące na technologii szklarniowej [7]. Od niedawna kilka nowych instalacji powstało w Australii oraz Stanach Zjednoczonych. Jednymi z najbardziej popularnych i znanych technologii z zastosowaniem ciepła słonecznego są następujące systemy suszenia: Thermo-System® Parksona, WendeWolf® oraz Kult® Hubera [7–8, 17]. Przykładowy schemat instalacji Thermo-System® pokazany jest na rycinie 1. W tej technologii promienie słoneczne ogrzewają górną warstwę osadu, powodując wzrost ciśnienia pary wodnej w jego wnętrzu. Efektem jest wypieranie cząsteczek wody ze struktury osadu i ich odparowywanie do otoczenia. Proces ten przebiega w sposób naturalny o każdej porze dnia

i nocy i w każdej porze roku. Pod działaniem skumulowanych promieni słońca suszenie może przebiegać znacznie szybciej.



Ryc. 1. Schemat suszarni osadów ściekowych THERMO-SYSTEM® [17]

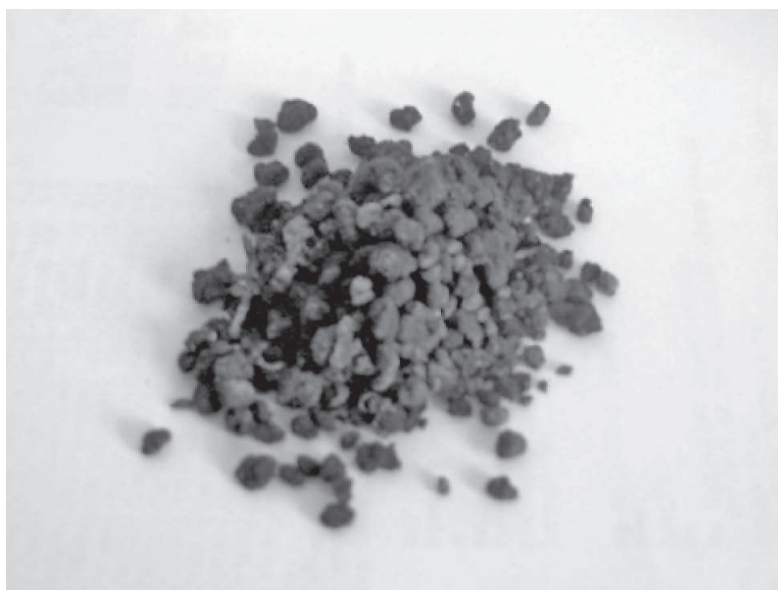
4. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w osadach ściekowych

Obok zanieczyszczeń metalami ciężkimi oraz patogenami osady ściekowe zanieczyszczone są również związkami z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Różne metody przetwarzania osadów ściekowych mają przygotować WWA do wykorzystania przyrodniczego bądź rolniczego, lub do utylizacji termicznej. Przetworzenie osadów ściekowych w celu ich rolniczego wykorzystania ma głównie na celu ich zhygienizowanie, czyli pozbycie się mikroorganizmów i patogenów chorobotwórczych. W związku z tym osady ściekowe mogą być suszone, stabilizowane wapnem palonym czy np. kompostowane. Stosowanie osadów ściekowych na cele przyrodnicze ograniczone jest dodatkowo – zarówno w Polsce, jak i w pozostałych krajach unii Europejskiej – zawartością metali ciężkich, a w niektórych krajach Unii także zawartością wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, należących do tzw. trwałych zanieczyszczeń organicznych. Komisja Europejska zaproponowała w 2001 r. zmianę Dyrektywy 1986/278/EEC (trzeci projekt zmiany dyrektywy), uwzględniającą wartość dopuszczalną sumy jedenastu WWA, w tym: acenaften, fenantren, fluoren, fluoranten, piren, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, benzo(g,h,i)perylen, indeno(1,2,3-cd)piren, w ilości 6 mg/kg suchej masy osadu [18]. Niektóre kraje Unii Europejskiej wprowadziły jeszcze niższe dopuszczalne zawartości WWA. W Szwecji i Danii granica została ustalona na 3 mg/kg s.m., a we Francji 1,5–4 mg/kg s.m., w zależności od przeznaczenia osadu [19]. W ramach prac badawczych prowadzono analizy nad wpływem różnych metod stabilizacji osadów ściekowych na zawartość w nich

WWA. Badaniami objęto również wpływ procesu suszenia solarnego na zmiany zawartości tych związków w komunalnych osadach ściekowych.

5. Materiał i metody badań

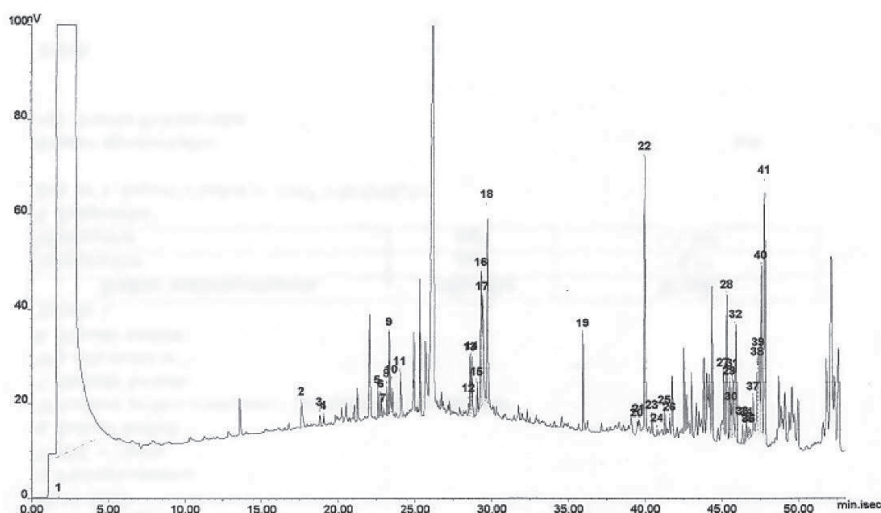
Materiał do badań stanowiły próbki osadu wstępnie odwodnionego (ok. 85%) przed poddaniem procesowi suszenia solarnego oraz próbki osadu wysuszone energią słoneczną w technologii IST-Anlagenbau GmbH. Na rycinie 2 przedstawiono osad ściekowy poddany procesowi suszenia solarnego.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Osad ściekowy suszony solarnie

Do badań zawartości WWA w osadach ściekowych zastosowano własną metodę analityczną, opracowaną w Laboratorium Pomiarów Przemysłowych i Środowiska Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu. Powietrznie suche próbki osadu ściekowego (suszone w temperaturze 20°C) zmielono i przesiano przez sito o średnicy $\varnothing = 1$ mm. Tak przygotowane próbki osadów odważono (ok. 5 g) i poddano ekstrakcji w aparacie FexIka[®] mieszaniną rozpuszczalników heksan:aceton 4:1 v/v (10 cykli). Następnie próbki zateżono w atmosferze azotu do objętości 0,5 cm³ i poddano procesowi oczyszczania na kolumnkach SPE, wypełnionych żelazem krzemionkowym, według metodyki opracowanej w laboratorium. Oczyszczone i zateżone ekstrakty z osadów ściekowych poddano analizie na chromatografii gazowej z detektorem jonizacji płomieniowej (FID) według opracowanego własnego programu temperaturowego. Na rycinie 3 przedstawiono przykładowy chromatogram analizowanej próbki osadu ściekowego suszonego solarnie.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Chromatogram próbki osadu ściekowego suszonego solarne

Związki z grupy WWA (16 związków według EPA – Environmental Protection Agency) w badanych próbkach osadów ściekowych zidentyfikowano na podstawie czasów retencji, a stężenia obliczono na podstawie równań kalibracyjnych sporządzonych krzywych kalibracyjnych.

6. Omówienie wyników badań

W oczyszczalni ścieków stosującej metodę suszenia solarne oznaczono następujące WWA: fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten oraz benzo(a)piren, który jest traktowany jako wskaźnikowy węglowodór z uwagi na swoje właściwości kancerogenne. Ten ostatni związek oznaczono w trzech przypadkach jedynie w próbkach niewysuszonego osadu ściekowego, a w jednym przypadku również w osadzie ściekowym poddanym procesowi suszenia solarne (tab. 1).

Tabela 1

Wyniki badań jakościowych WWA w próbkach osadów z oczyszczalni ścieków stosującej metodę suszenia solarne

Rodzaj osadu	Obecność poszczególnych WWA w badanych próbkach															
	naftalen	acenaftylen	acenaftien	fluoren	fenantren	antracen	fluoranten	piren	benzo(a)antracen	chryzen	benzo(b)fluoranten	benzo(k)fluoranten	benzo(a)piren	indeno(1,2,3-cd)piren	dibenzo(a,h)antracen	benzo(g,h,i)perylene
Surowy 1					✓	✓					✓	✓	✓			
Suszony solarnie 1					✓	✓					✓	✓				
Surowy 2					✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
Suszony solarnie 2						✓	✓	✓				✓				
Surowy 3					✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
Suszony solarnie 3					✓	✓					✓	✓	✓			
Surowy 4					✓	✓					✓	✓	✓			
Suszony solarnie 4					✓	✓					✓	✓				

Źródło: Badania własne.

Próbki osadów niesuszonych i suszonych solarnie różniły się stężeniami oznaczonych WWA. Tak jak się spodziewano, w badanych próbkach osadu suszonego oznaczono niższe zawartości poszczególnych WWA bądź też nie zostały one w nich w ogóle oznaczone (tab. 2). Najwyższe stężenia oznaczono dla węglowodorów o trzech pierścieniach w cząsteczce – fenantrenu i antracenu. Ich stężenia w badanych próbkach osadu surowego wynosiły od 0,901 do 3,653 mg/kg s.m. osadu dla fenantrenu oraz od 1,069 do 4,098 mg/kg s.m. osadu dla antracenu.

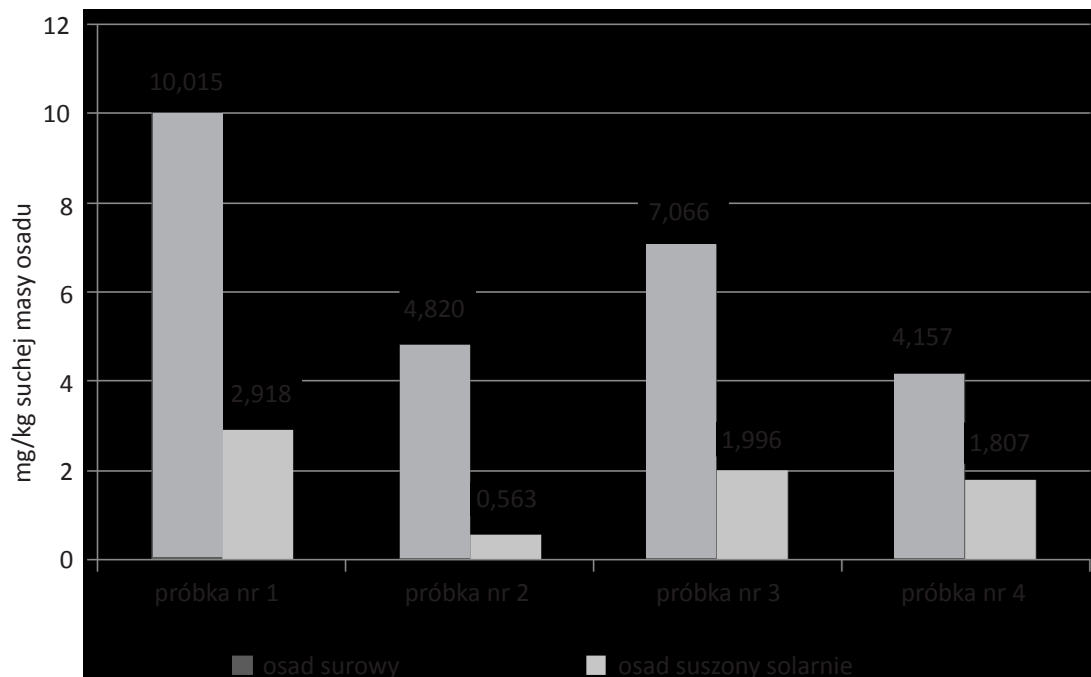
Tabela 2

Wyniki badań ilościowych WWA w próbkach osadów z oczyszczalni ścieków stosującej metodę suszenia solarne

Rodzaj osadu	Zawartość WWA [mg/kg s.m. osadu]															
	naftalen	acenaftylen	acenaften	fluoren	fenantren	antracen	fluoranten	piren	benzo(a)antracen	chryzen	benzo(b)fluoranten	benzo(k)fluoranten	benzo(a)piren	indeno(1,2,3-cd)piren	dibenzo(a,h)antracen	benzo(g,h,i)perylene
Surowy 1	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	3,653	4,098	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,945	1,053	0,266	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Suszony solarnie 1	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,656	0,944	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,296	0,022	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Surowy 2	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,901	1,278	0,308	0,525	< 0,02	< 0,02	0,492	0,563	0,753	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Suszony solarnie 2	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,222	0,049	0,192	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,100	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Surowy 3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	2,100	2,438	0,198	0,256	< 0,02	< 0,02	0,740	0,506	0,828	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Suszony solarnie 3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,002	0,761	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,136	0,097	0,103	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Surowy 4	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,070	1,069	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,868	0,739	0,411	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Suszony solarnie 4	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,897	0,345	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,294	0,271	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02

Źródło: Badania własne.

Zmniejszenie zawartości WWA w próbkach osadu ściekowego poddanych procesowi suszenia solarnego było znaczące i wynosiło kolejno: dla próbki nr 1 – o 71%, dla próbki nr 2 – o 88%, dla próbki nr 3 – o 72% i dla próbki nr 4 – o 57% (ryc. 4).



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Zmiany zawartości sumy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w próbkach osadu ściekowego poddanych suszeniu solarnemu

7. Podsumowanie

W krajach Unii Europejskiej i poza nią pracuje już ponad 100 suszarni słonecznych [20]. Powstały w procesie suszenia granulaty o wielkości ziaren 1–2 cm ma trzykrotnie mniejszą objętość. Dzięki właściwościom hydrofobowym granulaty może być składowany na powietrzu, bez niebezpieczeństwa rozpląnięcia się na deszczu. Osady ściekowe suszone solarnie są mocno zhygienizowane, a dodatkowo struktura ich granulatu umożliwia ich bezpośrednie zagospodarowanie przyrodnicze [21]. Uzyskane wyniki badań wskazują, że suszenie solarne dodatkowo powoduje obniżenie zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, których zawartość w osadach dopuszczonych do wykorzystania przyrodniczego w części krajów Unii Europejskiej jest regulowana.

Redukcja sumy oznaczanych 16 WWA, w stosunku do wartości oznaczonej w osadach wstępnie odwodnionych do ok. 85%, mieściła się w granicach od 57 do 88%. Największe znaczenie ma zmniejszenie zawartości benzo(a)pirenu, który jest uznany za węglowódor wskaźnikowy, ze względu na swoje właści-

wości kancerogenne. Z wyjątkiem jednej próbki nie oznaczono go w próbkach osadu ściekowego suszonego solarnie, pomimo iż stwierdzono jego obecność w próbkach osadu odwodnionego. Oznaczone zawartości badanych związków z grupy WWA w żadnej próbce osadu suszonego nie przekroczyły granicznej wartości proponowanej przez Komisję Europejską [18] – 6 mg/kg s.m. osadu, choć w próbkach pierwotnych, niewysuszonych, wartość ta była przekroczona dla próbek nr 1 i 3.

Literatura

- [1] Sakrabani R., *Re-evaluating the value of sewage sludge*, NSRIeZine, Sewage Sludge, Cranfield University, Cranfield 2012.
- [2] Kelessidis A., Stasinakis A.S., *Comparative study of the method used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries*, „Waste Management” 2012, Vol. 32, s. 1186–1195.
- [3] Krajowy plan gospodarki odpadami 2014, M.P. z 2010 r. nr 101, poz. 1183.
- [4] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., *Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2011, t. 14, nr 4, s. 375–384.
- [5] Mehrdadi N., Joshi S.G., Nasrabadi T., Hoveidi H., *Application of solar energy for drying of sludge from pharmaceutical industrial waste water and probable reuse*, „International Journal of Environmental Research” 2007, No. 1, s. 42–48.
- [6] Horn S., Barr K., McLellan J., Bux M., *Accelerated air-drying of sewage sludge using a climate-controlled solar drying hall*, http://www.localgovernment.qld.gov.au/Docs/local_govt/grants_subsidies/funding/awtt/solar_drying_hall_project_results_pt2.pdf (12.06.2012).
- [7] Mangat S., McTaggart M., Marx J., Baker S., Luboschik U., *Introduction of solar drying technology to Trinidad and Tobago*, WEFTEC 2009, s. 3869–3878, www.wendewolf.com/download.php?filename...pdf (10.09.2013).
- [8] Nathan S., Clarke B., *SolarMix – innovation in drying technology*, www.wendewolf.com (10.03.2010).
- [9] Poluszyńska J., Bożym M., Sławińska I., Narolska J. i in., *Wpływ różnych metod stabilizacji osadów ściekowych na zawartość wybranych związków organicznych*. Prace statutowe ICiMB O/IMPiŚ 9/324/S/2009.
- [10] *Określenie kryteriów stosowania osadów ściekowych poza rolnictwem*, Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, Częstochowa 2004.
- [11] Waluga P., Barbusiński K., *Unieszkodliwianie osadów ściekowych w procesach suszenia i współspalania*, Centrum Informacji Ekologicznej, http://ekologia-info.eu/index.php?lang=1&menu=1&menu_select=7&podmenu_select=135# (10.09.2013).
- [12] Fukas-Płonka Ł., Janik M., *Plusy i minusy suszenia osadów ściekowych*, „Forum Eksploatatora” 2008, nr 5, s. 25–27.
- [13] Fukas-Płonka Ł., *Plusy i minusy suszenia osadów ściekowych*, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, http://www.osady.pl/artykuly/plusy_minusy_suszenia_osadow.pdf (10.09.2013).

- [14] Mehrdadi N., Joshi S.G., Nasrabadi T., Hoveidi H., *Application of solar energy for drying of sludge from pharmaceutical industrial waste water and probable reuse*, „International Journal of Environmental Research” 2007, No. 1, s. 42–48.
- [15] Słoneczne suszarnie osadów ściekowych. „Ogólne problemy suszenia osadów”, <http://suszarnie.itc.pw.edu.pl/> (20.06.2012).
- [16] Trojanowska K., *Technologie solarne w utylizacji osadów komunalnych – czyli to o czym powinieneś wiedzieć*, „Forum Eksploatatora” 2006, nr 6, s. 58–59.
- [17] Materiały informacyjne firmy Parkson, www.parkson.com (20.06.2012).
- [18] Langenkamp H., Part P., Erhardt W., Pruess A., *Organic Contaminants in Sewage Sludge for Agricultural Use. Report European Commission, Joint Research Centre, Soil and Waste Unit*, 2005, http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/presentations/11_pruess.pdf (20.06.2012).
- [19] Vácha R., Vysloužilová M., Horváthová V., Čechmánková J., *Recommended maximum contents of persistent organic pollutants in sewage sludge for application on agricultural soils*, Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague, „Plant Soil and Environment” 2006, No. 8, s. 362–367.
- [20] Trojanowska K., *Innowacyjna technologia SchlammFIT® – czyli efektywne i proste rozwiązanie problemu przeróbki osadów w mniejszych oczyszczalniach ścieków*, „Forum Eksploatatora” 2008, nr 3, s. 22–23.
- [21] Technologie solarne w suszeniu osadów ściekowych – czyli jak efektywnie i tanio rozwiązać problem zagospodarowania osadów, www.ingmina.pl (20.06.2012).

JOANNA POLUSZYŃSKA

SOLAR DRYING OF SEWAGE SLUDGE AND ITS INFLUENCE
ON THE CONTENT OF SELECTED PERSISTENT
ORGANIC POLLUTANTS

Keywords: persistent organic pollutants (POPs), sewage sludge, stabilization, drying.

Due to the high costs resulting from the use of conventional methods of sewage sludge drying interest in using other alternative drying methods has increased. Solar dryers in moderate climates, also in Poland can be successfully used for sludge drying of small and medium-sized wastewater treatment plants. Sewage sludge contains persistent organic pollutants such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which for the agricultural utilization of sewage sludge may be dangerous for the soil and the soil environment. This paper presents the results of selected PAH concentration in dried and not dried by solar energy sewage sludge. Studies have shown what is the effect of solar drying of sewage sludge on the PAH concentration under the influence of solar drying.