

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 12**

ISSN 1899-3230

**Rok VI**

**Warszawa–Opole 2013**

---

## Ocena możliwości zanieczyszczenia środowiska glebowo-gruntowego wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA) zawartymi w popiołach lotnych pochodzących z kotłów energetycznych

**Słowa kluczowe:** popioły lotne, trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA).

Procesy termicznego przekształcania paliw sprzyjają powstawaniu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), które wraz ze stałymi cząsteczkami mogą przedostawać się do gleb oraz wód podziemnych czy powierzchniowych, powodując ich zanieczyszczenie. Powszechnie wykonuje się badania popiołów lotnych pod kątem zawartości w nich składników nieorganicznych, takich jak: metale ciężkie, chlorki, siarczany. Badania te są wymagane przez polskie ustawodawstwo. Oznaczenia zawartości związków organicznych w popiołach lotnych są wykonywane rzadko. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, należące do tzw. trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO), wykazują właściwości mutagenne i kancerogenne, w szczególności benzo(a)piren, który jest uznawany za najbardziej toksyczny z WWA.

W artykule przedstawiono wyniki analiz zawartości WWA w popiołach lotnych z kotłów pyłowych i kotłów fluidalnych, a także z zielonego bloku, z uwagi na możliwość zanieczyszczenia środowiska gruntowo-glebowego. W badanych próbkach stwierdzono obecność wszystkich związków z analizowanej grupy WWA. Najwyższe stężenia odnotowano w próbce pochodzącej ze spalania biomasy drzewnej. W celu precyzyjnego określenia możliwości zanieczyszczenia gleb i wód podziemnych związkami z grupy WWA konieczne jest wykonanie dodatkowo testów wymywalności, które będą przedmiotem dalszych badań.

---

\* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

## 1. Wstęp

Polski przemysł energetyczny, który w głównej mierze oparty jest na spalaniu węgla, generuje bardzo duże ilości ubocznych produktów spalania (UPS). Zaliczyć do nich należy popioły lotne, żużle, mieszaniny popiołowo-żużłowe, popioły z kotłów fluidalnych oraz produkty odsiarczania spalin [1–2].

Najszerzej wykorzystywane są popioły lotne z procesów spalania paliw kopalnych w energetyce zawodowej, które są stosowane m.in. w produkcji materiałów budowlanych, cementów powszechnego użytku, betonów konstrukcyjnych, betonów komórkowych, hydraulicznych spoiw drogowych oraz do stabilizacji i uzdatniania gruntów w budownictwie drogowym, a także jako spoiwa i materiał podszkawkowy w górnictwie podziemnym [3].

Szybki rozwój cywilizacyjny powoduje zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą. W latach 2007–2035 przewidywany jest 49% wzrost światowego zużycia energii elektrycznej [4]. Sytuacja ta wymaga rozwoju nowych technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (OZE), np. wykorzystanie biomasy. Regulacje prawne wprowadzone w Unii Europejskiej spowodowały szybki rozwój nowych technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Planowane jest zwiększenie udziału energii cieplnej i elektrycznej, która pochodzi z OZE do poziomu 12,5% w 2015 r. [5]. Szacuje się, że energia elektryczna wyprodukowana w Polsce z biomasy stanowiła w 2010 r. ok. 53% całkowitej produkcji energii ze źródeł odnawialnych.

Produkcja materiałów budowlanych umożliwia zagospodarowanie dużych ilości odpadów, w tym również UPS [7–8]. Znaczny udział paliw odnawialnych w procesach współspalania z węglem w kotłach fluidalnych spowodował pogorszenie jakości popiołów. Wymagania dla popiołów lotnych stosowanych jako dodatek do betonu określa norma PN-EN 450-1+A1: 2009 – Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności, zaś w odniesieniu do cementu norma PN-EN 197-1: 2012. Normy te dopuszczają stosowanie popiołu pochodzącego ze współspalania pyłu węglowego z materiałami roślinnymi, takimi jak wióry drzewne, słoma i inne włókna roślinne, a także z drewnem, biomasą z upraw, odpadami zwierzęcymi, osadami z procesów oczyszczania ścieków komunalnych, odpadami papierniczymi, makulaturą, koksem porafinacyjnym, bezpopiołowymi paliwami płynnymi i gazowymi, z pewnymi ograniczeniami odnośnie do zawartości węgla w mieszance paliw i udziału popiołu pochodzącego z materiałów współspalanych [8–9].

Dla popiołów wykorzystywanych w przemyśle materiałów budowlanych wykonywane są analizy składu chemicznego, ziarnowego i fazowego oraz badania wyciągów wodnych w celu oznaczenia w nich wymytych składników nieorga-

nicznych, takich jak: metale ciężkie, chlorki, siarczany. Rzadko natomiast robi się badania zawartości związków organicznych.

Dla bezpieczeństwa środowiska gruntowo-wodnego bardzo istotny jest stopień wymywalności zanieczyszczeń zawartych w materiałach, które mają z tym środowiskiem bezpośredni lub pośredni kontakt. Powstające w procesach termicznych (spalanie paliw kopalnych oraz biomasy) związki organiczne, należące do tzw. trwałych zanieczyszczeń organicznych (Persistent Organic Pollutants), są obecne w odpadach z tych procesów, tj. w popiołach. Stosowanie materiałów odpadowych w różnych sektorach gospodarki, w tym w drogownictwie, może nieść za sobą niebezpieczeństwo zanieczyszczenia zarówno gruntów, jak i wód, do których zanieczyszczenia te przedostają się w wyniku przenikania w głąb profilu glebowego.

W grupie zanieczyszczeń organicznych szczególne znaczenie ma obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), które należą do tzw. trwałych zanieczyszczeń organicznych, ze względu na swoje właściwości toksyczne, mutagenne i kancerogenne. Związki te powstają w czasie niecałkowitego spalania materii organicznej zarówno w procesach naturalnych, jak i antropogenicznych. Do głównych źródeł antropogenicznych zaliczyć należy procesy spalania różnych materiałów organicznych, np. ciekłych i stałych paliw kopalnych stosowanych powszechnie w celach pędnych oraz w sektorze energetycznym. Z powietrza WWA przedostają się do wód, gleb, a następnie do organizmów żywych. Stężenia WWA w glebach i wodach zależą w głównej mierze od pH i temperatury, a także od obecności innych związków chemicznych, np. substancji powierzchniowo czynnych, czy innych zanieczyszczeń organicznych. Związki te stosunkowo łatwo ulegają rozkładowi pod wpływem promieni UV, działania tlenu dwuatomowego czy ozonu. Zawartość WWA w wodach podziemnych, powierzchniowych oraz glebach limitowana jest poprzez odpowiednie rozporządzenia Ministra Środowiska. W Rozporządzeniu dotyczącym ścieków wprowadzanych do środowiska (Dz.U. z 2009 r. nr 27, poz. 196) podano dopuszczalne wartości dla lotnych węglowodorów aromatycznych BTX (benzen, toluen, ksyleny), węglowodorów ropopochodnych oraz adsorbowanych związków chloroorganicznych AOX. W odniesieniu do WWA nie wyznaczono wartości dopuszczalnych. Jednak ze względu na wielokrotnie potwierdzone rakotwórcze, mutagenne i teratogenne właściwości, należy je zaliczyć do substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, które należy skutecznie eliminować. Do wyjątkowo szkodliwych zalicza się wskaźnikowy benzo(a)piren o udowodnionym działaniu kancerogennym.

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są oznaczane w wodach powierzchniowych i podziemnych jako suma sześciu związków o największej ilości pierścieni w cząsteczce, tj. benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu,

benzo(a)pirenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu, dibenzo(a,h)antracenu, benzo(g,h,i)-perylenu.

Limity WWA, należących do trwałych zanieczyszczeń środowiska, zawarte są również w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 9 września 2002 r., w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. nr 165 poz. 1359) [13]. Rozporządzenie to stanowi, że wymagane jest oznaczenie dziewięciu WWA, tj.: naftalenu, fenantrenu, antracenu, fluorantenu, chryzenu, benzo(a)antracenu, benzo(a)pirenu, benzo(a)fluorantenu, benzo(ghi)-perylenu.

Związki z grupy WWA należą do niepolarnych i są w znikomym stopniu rozpuszczalne w wodzie. Ich stopień rozpuszczalności może jednak wzrosnąć przy obecności innych zanieczyszczeń organicznych, np. związków humusowych. Z uwagi na to, że WWA wykazują duże powinowactwo do ciał stałych, mogą adsorbować się na powierzchni ich cząstek, wraz z którymi mogą przemieszczać się na duże odległości. Razem z wodami opadowymi, roztopowymi, czy np. powodziowymi, przenoszone są w głąb profilu glebowego do wód gruntowych, jak również do zbiorników wód powierzchniowych.

Ze względu na to, że popioły lotne z energetyki zawodowej powstałe w procesach spalania paliw mogą zawierać WWA oraz z uwagi na to, iż znajdują one powszechnie zastosowanie w przemyśle materiałów budowlanych, np. w drogownictwie, może istnieć ryzyko zanieczyszczenia tymi związkami gleb, a co za tym idzie również wód powierzchniowych czy podziemnych.

## 2. Materiał i metody badań

W celu określenia możliwości zanieczyszczenia środowiska gruntowo-glebowego związkami z grupy WWA, pochodzącymi z popiołów lotnych wykorzystywanych w drogownictwie, podjęto badania pozwalające ocenić zawartość poszczególnych WWA w popiołach lotnych. W związku z tym wybrano do badań próbki popiołu lotnego wraz z jego frakcjami ze spalania węgla kamiennego oraz jedną próbkę popiołu lotnego pochodzącego ze spalania biomasy drzewnej. Próbki podano analizie na zawartość sumy 16 wielopierścieniowych węglodorów według US-EPA.

### 2.1. Ekstrakcja próbek

Próbki popiołów lotnych o masie 5 g, wysuszone w temperaturze pokojowej, ekstrahowano mieszaniną rozpuszczalników heksan-aceton (4:1, v/v) przez 8 godzin. Następnie ekstrakty zateżano w aparacie Turbo-Vap w atmosferze gazu obojętnego – azotu do objętości ok. 200 µl. Tak przygotowany ekstrakt poddano analizie chromatograficznej.

## 2.2. Analiza chromatograficzna ekstraktów uzyskanych z popiołów lotnych

Analizy chromatograficzne wykonano przy użyciu chromatografu gazowego GC 1000 firmy DANI, przy następujących parametrach pracy chromatografu:

- kolumna chromatograficzna kapilarna o długości 30 m, grubość filmu if – 0,25  $\mu\text{m}$ , średnica ID – 0,25 mm,
- temperatura dozownika – 300°C,
- temperatura detektora FID – 310°C,
- gaz nośny hel – przepływ 1  $\text{cm}^3/\text{min}$ ,
- gazy pomocnicze (ciśnienia):
  - azot – 0,45 bara,
  - powietrze – 1,0 bar,
  - wodór – 0,68 bara.

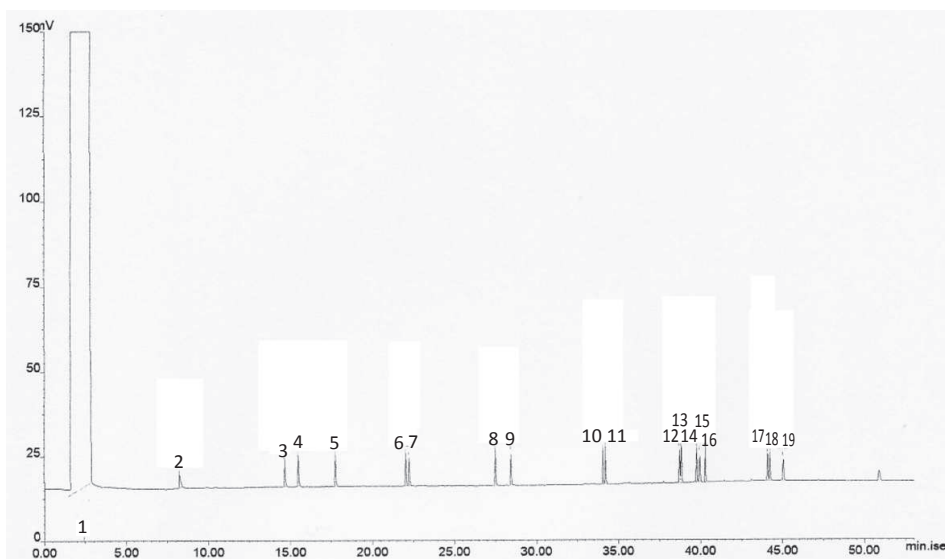
Program temperaturowy:

- temperatura początkowa pieca 100°C utrzymywana przez 3 minuty, następnie podnoszono temperaturę w tempie 5°C na minutę do uzyskania 300°C. Temperatura 300°C utrzymywana była przez 10 minut w celu dodatkowego wygrzania kolumny.

## 3. Wyniki badań i ich omówienie

### 3.1. Analiza jakościowa

Oceny jakościowej WWA w badanych popiołach i wyciągach wodnych z testów wymywalności dokonano na podstawie porównania względnych czasów retencji 16 wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wzorca kalibracyjnego (ryc. 1) z względnymi czasami retencji pików na chromatogramach z analizowanych próbek.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Chromatogram wzorca mieszaniny 16 WWA wg EPA: 2 – naftalen, 3 – acenaftylen, 4 – acenaften, 5 – fluoren, 6 – fenantren, 7 – antracen, 8 – fluoranten, 9 – piren, 10 – benzo(a)-antracen, 11 – chryzen, 12 – benzo(b)fluoranten, 13-benzo(k)fluoranten, 15 – benzo(a)piren, 17 – indeno(1,2,3-cd)piren, 18-dibenzo(a,h)antracen, 19 – benzo(g,h,i)perylene

### 3.2. Analiza ilościowa

Oceny ilościowej dokonano na podstawie porównania chromatogramów rozwiązań kalibracyjnych mieszaniny 16 WWA z chromatogramami ekstraktów z próbek. Wykonano pięciopunktowe krzywe kalibracyjne dla wszystkich oznaczanych 16 WWA w przedziale stężeń od  $1,0 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  do  $20 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ . Z równań krzywych kalibracyjnych obliczono stężenia WWA w badanych próbkach, uwzględniając objętość ekstraktu, naważkę próbki do ekstrakcji oraz zawartość suchej masy w badanej próbce.



Tabela 1

Wyniki badań zawartości WWA w badanych próbkach popiołów lotnych i frakcji ziarnowych popiołów lotnych [mg/kg s.m.]

Nazwa związku	Popioły lotne i frakcje ziarnowe popiołów lotnych [mg/kg s.m.]					
	popiół z kotła fluidalnego	popiół z kotła fluidalnego < 30 µm	popiół z kotła fluidalnego > 30 µm	popiół z kotła pyłowego (węgiel brunatny)	popiół z kotła pyłowego (węgiel brunatny) < 30 µm	popiół z kotła pyłowego (węgiel brunatny) > 100 µm
Naftalen	5,86	6,13	4,62	7,50	13,82	6,01
Acenaftylen	0,15	0,04	0,07	nie wykryto	0,03	< 0,02
Acenaften	0,20	0,04	nie wykryto	< 0,02	0,13	0,06
Fluoren	3,76	6,53	< 0,02	9,17	9,68	7,35
Fenantren	2,09	3,50	< 0,02	0,06	0,05	0,03
Antracen	0,09	0,12	< 0,02	0,35	0,64	4,36
Fluoranten	< 0,02	< 0,02	< 0,02	nie wykryto	0,03	0,06
Piren	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,04	0,05	0,06
Benzo(a)antracen	nie wykryto	nie wykryto	< 0,02	nie wykryto	nie wykryto	< 0,02
Chryzen	0,04	< 0,02	< 0,02	0,02	nie wykryto	< 0,02
Benzo(b)fluoranten	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	7,02	nie wykryto	nie wykryto
Benzo(k)fluoranten	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	0,04	nie wykryto
Benzo(a)piren	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,09	nie wykryto	< 0,02
Indeno(1,2,3-cd)piren	0,04	< 0,02	< 0,02	0,42	0,69	0,04
Dibenzo(a,h)antracen	< 0,02	0,02	< 0,02	nie wykryto	0,13	< 0,02
Benzo(g,h,i)perylen	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,03	< 0,02

\* 0,02 mg/kg s.m. – granica oznaczalności metody badawczej. Oznacza to, że wykryto obecność danego węglowodoru z grupy WWA, lecz nie można było oznaczyć jego ilości.

\*\* Nie wykryto – oznacza, że nie stwierdzono obecności pików danego związku na chromatogramie analizowanego ekstraktu z próbki w czasach retencji WWA.

Źródło: Opracowanie własne.



Tabela 2

Wyniki badań zawartości WWA w badanych próbkach popiołów lotnych i frakcji ziarnowych popiołów lotnych [mg/kg s.m.]

Nazwa związku	Popioły lotne i frakcje ziarnowe popiołów lotnych [mg/kg s.m.]					
	popiół z kotła pyłowego (węgiel kamienny)	popiół z kotła pyłowego (węgiel kamienny) < 30 µm	popiół z kotła pyłowego (węgiel kamienny) 30–100 µm	popiół z kotła pyłowego (węgiel kamienny) > 100 µm	popiół ze spalania biomasy drzewnej	mieszanka popiołowo-żużlowa
Naftalen	2,27	3,79	3,14	1,40	49,81	1,48
Acenaftylen	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	nie wykryto	< 0,02
Acenaften	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Fluoren	0,06	2,29	1,79	0,04	23,26	0,07
Fenantren	0,07	< 0,02	nie wykryto	< 0,02	0,47	< 0,02
Antracen	0,24	0,33	0,26	0,24	0,90	0,25
Fluoranten	0,04	0,023	< 0,02	< 0,02	0,21	< 0,02
Piren	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,11	< 0,02
Benzo(a)antracen	nie wykryto	< 0,02	nie wykryto	< 0,02	nie wykryto	< 0,02
Chryzen	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,11	nie wykryto
Benzo(b)-fluoranten	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto
Benzo(k)-fluoranten	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto	nie wykryto
Benzo(a)piren	0,07	nie wykryto	< 0,02	nie wykryto	0,54	nie wykryto
Indeno(1,2,3-cd)-piren	0,03	< 0,02	< 0,02	0,02	3,01	0,02
Dibenzo(a,h)-antracen	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	nie wykryto	< 0,02
Benzo(g,h,i)-perylene	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,34	< 0,02

\* 0,02 mg/kg s.m. – granica oznaczalności metody badawczej. Oznacza to, że wykryto obecność danego węglowodoru z grupy WWA, lecz nie można było oznaczyć jego ilości.

\*\* Nie wykryto – oznacza, że nie stwierdzono obecności pików danego związku na chromatogramie analizowanego ekstraktu z próbki w czasach retencji WWA.

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

### 3.3. Omówienie wyników

W badanych próbkach popiołów lotnych stwierdzono obecność wszystkich analizowanych węglowodorów z grupy WWA. Do najczęściej występujących i w najwyższych stężeniach wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych zaliczyć możemy naftalen i fluoren. Są to węglowodory o najmniejszej liczbie pierścieni w cząsteczce. Naftalen zawiera 2 pierścienie aromatyczne, a fluoren – 3. Najwyższe stężenia tych związków zanotowano w próbce popiołu lotnego pochodzącego ze spalania biomasy drzewnej. Stężenie naftalenu dla tej

próbki wynosiło 49,805 mg/kg s.m., natomiast stężenie fluorenu 23,258 mg/kg s.m. W pozostałych popiołach pochodzących ze spalania węgla kamiennego i brunatnego wartości te mieściły się w przedziale od  $< 0,02$  do 13,815 mg/kg s.m. próbki.

Najrzadziej występującymi węglowodorami z grupy WWA były benzo(b)fluoranten oraz benzo(k)fluoranten, których obecność została wykryta w próbce popiołu lotnego pochodzącej ze spalania paliw kopalnych. Trzy związki z grupy WWA o największej liczbie pierścieni w cząsteczce (pięć, sześć pierścieni w cząsteczce) indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracenu, benzo(g,h,i)perylene wykrywane były prawie we wszystkich analizowanych popiołach, jednak z uwagi na ich bardzo niskie stężenia w większości przypadków nie udało się oznaczyć ich ilościowo.

Najbardziej toksycznym z WWA, uznany za wskaźnikowy, czyli benzo(a)piren (pięć pierścieni w cząsteczce) w czterech próbkach na 12 badanych nie był wykrywalny, a w pięciu udało się stwierdzić jego obecność bez możliwości oznaczenia ilościowego z uwagi na bardzo niskie stężenia, poniżej granicy oznaczalności metody 0,02 mg/kg s.m. próbki. W dwóch próbkach stężenie benzo(a)pirenu wynosiło kolejno 0,067 mg/kg i 0,087 mg/kg s.m., a w jednej 0,541 mg/kg s.m. To najwyższe stężenie odnotowano dla próbki popiołu pochodzącej ze spalania biomasy drzewnej.

Najwięcej różnych WWA i najwyższe stężenia tych związków stwierdzono w próbce pyłu pochodzącej ze spalania biomasy, co związane jest z charakterem tego paliwa alternatywnego. Wyniki wskazują, że pod względem zawartości WWA popiół ten znacznie różni się od pozostałych badanych próbek popiołu lotnego ze spalania paliw kopalnych.

Zawartość WWA przedostająca się do gleb ma szczególne znaczenie ze względu na to, że w wyniku sorpcji związki z grupy WWA mogą być pobierane z powierzchni liści oraz z gleby przez korzenie i bulwy. Za pośrednictwem wód powierzchniowych i/lub podziemnych związki te mogą przedostawać się do organizmów zwierzęcych, poprzez pokarmy roślinne spożywane przez zwierzęta [11–12].

Jak wspomniano wcześniej dopuszczalne limity dla WWA w glebach i wodach podziemnych oraz powierzchniowych regulują stosowne rozporządzenia. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 września 2002 r., w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi reguluje dopuszczalne zawartości dziewięciu WWA w glebach, a mianowicie: naftalenu, fenantrenu, antracenu, fluorantenu, chryzenu, benzo(a)antracenu, benzo(a)pirenu, benzo(a)fluorantenu, benzo(ghi)perylene [13]. Dopuszczalne zawartości WWA w wodach powierzchniowych i podziemnych regulują kolejno Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części

wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [14] oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych [15].

Omawiane związki w różnym stopniu wymywane są przez wody z cząstek stałych. Głównym czynnikiem determinującym rozpuszczalność jest masa molowa WWA. Małe cząsteczki są lepiej rozpuszczalne w wodzie. Jeśli w trakcie przemian cząsteczka WWA uzyska atomy tlenu lub azotu, staje się lepiej rozpuszczalna. W tabeli 3 przedstawiono rozpuszczalność niektórych WWA w wodzie i współczynnik podziału gleba/woda będący wskaźnikiem możliwości wymywania WWA z gleby.

T a b e l a 3

*Rozpuszczalność w wodzie niektórych węglowodorów z grupy WWA*

Węglowodór	Masa molowa [g/mol]	Rozpuszczalność w wodzie [mg/dm <sup>3</sup> ]	Współczynnik podziału gleba/woda
Naftalen	128,16	31,7	1 300
Antracen	178,23	0,073	26 000
Piren	202,26	0,135	63 000
Benzo(a)piren	252,30	0,0038	282 185
Dibenzo(a,h)antracen	278,35	0,00249	1 668 800

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Oznaczone zawartości WWA w badanych próbkach pokazują, że związki te powszechnie występują w popiołach lotnych, głównie zaś w tych pochodzących ze spalania czy współspalania biomasy, w tym przypadku spalania biomasy drzewnej. Dlatego bardzo istotne jest monitorowanie zawartości WWA w popiołach lotnych wykorzystywanych w przemyśle materiałów budowlanych z uwagi na możliwość migracji tych związków wraz z wodami opadowymi czy roztopowymi w głąb profilu glebowego, aż do wód podziemnych. Na podstawie uzyskanych wyników trudno jest określić, bez dodatkowych badań, jaki wpływ na środowisko gruntowo-wodne mają oznaczone w próbkach stężenia tych związków. Popioły stanowią bowiem składnik materiałów budowlanych poddawanych działaniu różnych warunków środowiska, w tym opadom atmosferycznym, które mogą powodować wymywanie obecnych w materiale związków, w tym WWA. Koniecznym zatem jest również zbadanie stopnia wymywalności poszczególnych węglowodorów, zarówno z popiołów, jak i z powstałych na bazie popiołów lotnych materiałów budowlanych, który pozwoli dokładniej ocenić możliwości wpływu zastosowania popiołów, np. w drogownictwie, na wzrost zanieczyszczenia tymi związkami zarówno gruntów, jak i wód podziemnych czy powierzchniowych\*.

\* Badania zostały sfinansowane w ramach projektu INITECH ZPB/61/65832/IT2/10.

## Literatura

- [1] Rosik-Dulewska C., Karwaczyńska U., Ciesielczuk T., *Możliwości wykorzystania odpadów organicznych i mineralnych z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska*, „Rocznik Ochrona Środowiska” 2011, t. 13, s. 361–376.
- [2] Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A., *Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2005, z. 1, s. 23–42.
- [3] Hycnar J., Weryfikacja popiołów ze spalania węgla, Ecocoal Consulting Center Katowice, EUROCOALASH, Energetyka-Nauka-Przemysł, s. 48, www.energetyka.eu (8.01.2009).
- [4] Kopczyński M., *Toryfikacja wierzby energetycznej*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2012, nr 2, s. 39.
- [5] Kruczek S., Skrzypczak G., Muraszkowski R., *Spalanie i współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi*, „Czysta Energia” 2007, nr 6, s. 32–35.
- [6] Giergiczny Z., Gawlicki M., *Racjonalne wykorzystanie popiołu lotnego w betonie*, „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2004, nr 4, s. 35–39.
- [7] Giergiczny E., *Popiół lotny ze współspalania jako dodatek do cementu i betonu w aspekcie wymagań normowych i środowiskowych*, [w:] *Popioły z energetyki, Międzydroje, 17–20 października 2007 r.*, red. T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2007], s. 42–53.
- [8] Kosior-Kazberuk M., *Nowe dodatki mineralne do betonu*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2011, nr 2, s. 47.
- [9] Kosior-Kazberuk M., Lelusz M., *Ocena popiołu pochodzącego z jednoczesnego spalania biomasy i węgla jako składnika kompozytów cementowych*, „Materiały Ceramiczne” 2010, nr 2, s. 166–170.
- [10] Siebielska I., Sidełko R., *Wpływ czasu trwania fazy gorącej kompostowania na usuwanie WWA*, [w:] *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, t. 1, red. J. Ozonek, M. Pawłowska, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2009, s. 281–287.
- [11] Kuna P., *Zanieczyszczenia wybranych komponentów środowiska przez wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) w Dąbrowie Górniczej*, „Nauka, Przyroda, Technologie” 2011, z. 4, s. 1–9.
- [12] Nawrot J., Rybak T., *Jakość wód powierzchniowych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia w województwie podkarpackim wg badań wykonanych w latach 2007–2011*, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów 2012, s. 1–21.
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby, Dz.U. z 2002 r. nr 165, poz. 1359.
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz.U. z 2011 r. nr 258, poz. 1550.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych, Dz.U. z 2008 r. nr 143, poz. 896.

*JOANNA POLUSZYŃSKA*

ASSESSMENT OF CONTAMINATION POSSIBILITY OF SOIL  
BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHS) CONTAINED  
IN THE FLY ASH FROM POWER BOILERS

**Keywords:** fly ash, persistent organic pollutants (POPs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

The thermal processes such as combustion contribute to the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs. The PAHs can enter the soil and groundwater or surface water, together with solid particles, causing contamination. Generally inorganic components, such as heavy metals, chlorides, sulfates in fly ash are determined. These tests are required by Polish law. Determine of the organic compounds in the fly ash are performed rarely. Belonging to the Persistent Organic Pollutants (POPs) PAHs, have a mutagenic and carcinogenic properties, in particular benzo(a)pyrene, which is considered the most toxic PAHs.

This paper presents the results of analyzes of PAHs in fly ash due to the possibility of contamination of the ground soil. In all tested samples of ash the all compounds from the group of all 16 PAHs (US-EPA) were determined. The highest concentrations were in the sample originating from the combustion of woody biomass. In order to precise determine the possibility of contamination of soil and groundwater from the group of PAH compounds is necessary to perform additional tests, leaching, which will be the subject of further research.