

2010

Emisja zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z procesu wypalania półproduktów grafitowych w piecu tunelowym

Marek Bogacki

Robert Oleniacz

Marian Mazur

Przemysław Szczygłowski

EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ PYŁOWO-GAZOWYCH Z PROCESU WYPALANIA PÓŁPRODUKTÓW GRAFITOWYCH W PIECU TUNELOWYM

Marek BOGACKI, Robert OLENIACZ, Marian MAZUR, Przemysław SZCZYGLÓWSKI
Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
bogacki@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Ocena emisji zanieczyszczeń powstających z procesu wypalania półproduktów grafitowych w piecu tunelowym jest zagadnieniem istotnym ze względu na rodzaj i ilość emitowanych do powietrza substancji zanieczyszczających. Badaniami objęto emisję takich zanieczyszczeń, jak: CO, NO_x, SO₂, H₂S, CH₄, węglowodory alifatyczne do C₆, benzen oraz jego homologi, pył ogółem, substancje smołowe oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) zawarte w pyłe. Badania wykazały dla większości analizowanych substancji małą zmienność wielkości emisji w funkcji czasu, co w dużej mierze wynika z długiego czasu wypalania półproduktów oraz charakteru krzywej grzania pieca. Stężenia analizowanych substancji w gazach odlotowych w większości przypadków były na niskim poziomie z wyjątkiem benzenu i jego homologów oraz WWA.

1. Wstęp

Technologia produkcji drobnych wyrobów grafitowych polega najogólniej na przygotowaniu masy węglowej opartej głównie na zmielonym kalcynowanym antracycie wymieszanym z lepiszczem smołowym, następnie na uformowaniużądanego kształtu produktu, wypaleniu tak przygotowanych kształtek w piecu tunelowym i w końcu na grafityzacji półproduktów w piecu grafityzacyjnym. Na każdym etapie produkcji dochodzi do emisji szeregu substancji nieorganicznych i organicznych do powietrza [1-6]. Celem badań jakie przeprowadzono w jednym z krajowych zakładów produkujących galanterię grafitową było oszacowanie wielkości emisji do powietrza substancji pochodzących z procesu wypalania uformowanych kształtek węglowych w piecu tunelowym.

2. Charakterystyka obiektu badań

Obiektem badań był 35-komorowy piec tunelowy o zdolności przerobowej około 106 Mg tworzywa węglowego na miesiąc. Wypalanie kształtek węglowych (półproduktów) w tego typu piecu odbywa się w atmosferze redukującej w temperaturze dochodzącej do około 1400 K [7]. Badany piec jest opalany gazem ziemnym. Średnie zużycie gazu wynosi 60 m³/h. We wnętrzu pieca znajduje się 35 wózków ceramicznych (po jednym w każdej komorze). W każdym wózku znajduje się wyprasowana kształtka, wykonana z tworzywa węglowego, zasypana zasypką koksową zmniejszającą upał oraz przeciwdziałającą deformacji kształtek w czasie mięknięcia ich spoiwa. Piec sterowany jest w oparciu o krzywą wypału. W zależności od rodzaju wsadu oraz zastosowanej krzywej wypału w ciągu doby wprowadzanych do pieca i wyprowadzanych z niego jest zwykle 6-8 wózków, tak więc czas trwania wypalania danego wsadu wynosi 105-140 godzin.

Piec posiada trzy strefy pracy: I – strefa podgrzewania (komory nr 1÷19), II – strefa wypalania (komory nr 20÷28), III – strefa chłodzenia (komory nr 29÷35). Strefa I

podgrzewana jest przy pomocy sześciu palników zainstalowanych w komorach nr 8 (2 sztuki), 12 (2 sztuki) i 15 (2 sztuki). Powietrze do palników podaje wentylator zainstalowany na wysokości komory nr 13. Zainstalowane są dwa wentylatory, w tym jeden rezerwowy. Strefa II (wypalania) ogrzewana jest palnikami zainstalowanymi na komorach nr 20÷28. Powietrze do palników podaje wentylator zainstalowany na wysokości komór nr 30÷31. Strefa III (chłodzenia) obejmuje komory nr 29÷35, w tej strefie następuje studzenie wsadu powietrzem nadmuchiwanym z otoczenia i powietrzem recyrkulacyjnym. Na komorze nr 2 pracuje wentylator odciągu (kominowy) posiadający rezerwę na komorze nr 3. Wybór wentylatora należy do obsługi. Na drzwiach komory nr 1 pracuje wentylator drzwiowy. Przy komorze nr 31 pracuje wentylator chłodzenia podwozi wózków. Gazy odprowadzane z pieca tunelowego posiadają temperaturę w zakresie 520-570 K i po przejściu przez rekuperator częściowo są recyrkulowane do pieca, a częściowo emitowane do powietrza.

3. Metodyka badań

Analizie poddano następujące substancje: tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NO_x), ditlenek siarki (SO₂), siarkowodór (H₂S), metan (CH₄), węglowodory alifatyczne do C₆, benzen i jego homologi (BTEX), pył ogółem, substancje smołowe oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) zawarte w pyle. Mierzone również były parametry termodynamiczne gazów odlotowych niezbędne do określenia ich strumienia.

Przeprowadzono 2 serie pomiarowe, trwające prawie 4 godziny każda i obejmujące okres pomiędzy dwoma kolejnymi wjazdami nowych wózków do pieca tunelowego. W przypadku obydwu serii pomiarowych wsad węglowy przebywający we wszystkich 35 wózkach był identyczny co do rodzaju (90% mas. – tworzywo HCC, 10% mas. – tworzywo Ruba 9001) i łącznej masy (24,35 Mg). Przy założeniu, że średni czas wypalania jednego wózka trwa 120 h, średni strumień masy wypalanych tworzyw przechodzący przez piec wynosił 0,2029 Mg/h. W czasie tych serii pomiarowych zużyto do opalania pieca około 260 m³ gazu ziemnego. Punkt pomiarowy znajdował się na emitorze.

3.1. Parametry gazów odlotowych

W ramach przeprowadzonych badań określono takie podstawowe parametry gazów odlotowych, jak: ciśnienie, temperatura, stopień zawilżenia i gęstość. Pomiary parametrów gazów odlotowych niezbędnych do wyznaczenia ich strumienia objętości realizowane były za pomocą zestawu pomiarowego EMIOTEST 2592 z wykorzystaniem znajomości składu gazów odlotowych określonego za pomocą analizatora spalin typu LANCOM Series II (Land Combustion). Strumień objętości gazów został obliczony w funkcji pola powierzchni przekroju pomiarowego i zmierzonej średniej prędkości gazu w tym przekroju zgodnie z PN-Z-04030-7 [8].

3.2. Podstawowe zanieczyszczenia gazowe

Pomiary stężeń objętościowych podstawowych zanieczyszczeń gazowych, takich jak CO, NO, NO₂, SO₂ i H₂S, przeprowadzono w sposób ciągły przy pomocy automatycznego analizatora spalin typu LANCOM Series II, z zapisem do pamięci co 20 s.

3.3. Węglowodory alifatyczne do C₆

Próbki gazu pobierano do pipet gazowych o pojemności 0,5 dm³. W poszczególnych seriach pomiarowych pobrano odpowiednio 3 (seria I) i 4 (seria II) próbki gazów w równych odstępach czasu. Zawartość węglowodorów alifatycznych C₁-C₆ oznaczono przy pomocy chromatografu gazowego HP5890 z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID).

3.4. Benzen i jego homologi (BTEX)

Pobór próbek był realizowany metodą aspiracyjną za pomocą aspiratora typu ASP-2 (ZUP ZAM Kęty Sp. z o.o.). W charakterze kolektora zastosowano rurki sorpcyjne z węglem aktywnym, o wypełnieniu 50 mg/100 mg. W każdej serii pomiarowej pobrano 4 próbki gazów przy czasie aspiracji wahającym się od 20 do 35 minut. Oznaczanie zawartości benzenu i jego homologów z nasyceniem łańcuchem bocznym (toluen, etylobenzen, ksyleny) wykonano metodą chromatografii gazowej z wzbogacaniem próbki zgodnie z Polską Normą PN-89/Z-04016.03 [9]. Ekstrakcję prowadzono disiarczkiem węgla.

3.5. Pył ogółem

Pomiar stężenia i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych wykonano metodą grawimetryczną, zgodnie z PN-Z-04030-7 [8], przy pomocy automatycznego pyłomierza grawimetrycznego EMIOTEST 2592. W ramach dwóch 4-godzinnych serii pomiarowych przeprowadzono w sumie 7 pomiarów jednostkowych, trwających od około 60 do 90 minut (3 w pierwszej i 4 w drugiej serii).

3.6. Substancje smołowe

Zawartość substancji smołowych oznaczono w fazie stałej, pobranej na filtrze pyłomierza grawimetrycznego według procedury AEERL/12-9/2/86 [10].

3.7. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)

Oznaczenie zawartości poszczególnych WWA w ekstraktach chlorometanowych próbek pobranych przy pomocy pyłomierza wykonano metodą chromatografii gazowej. Stosowano chromatograf gazowy HP5890 z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID).

4. Wyniki badań

Średnie wyniki pomiarów i obliczeń podstawowych parametrów gazów odlotowych dla obydwu serii pomiarowych przedstawiono w tabeli 1. W tabelach 2-5 zamieszczono z kolei średnie, minimalne i maksymalne wartości stężeń poszczególnych substancji w gazach emitowanych do powietrza z badanego pieca tunelowego oraz średnie wartości emisji do powietrza i wskaźników emisji odniesionych do strumienia masy wsadu węglowego. Stężenia średnie dla poszczególnych serii pomiarowych określono jako średnie arytmetyczne ważone czasem trwania poboru kolejnych próbek.

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów, wartości stężeń poszczególnych substancji w gazach odlotowych (a w konsekwencji też ich emisje do powietrza) ulegały w prawdzie pewnym zmianom, ale zmiany te miały zwykle dosyć ograniczony zakres. Najmniejsza zmienność emisji wystąpiła, w przypadku CO i NO_x, których zawartość w gazach odlotowych

w trakcie obydwu serii pomiarowych oscylowała w zakresie odpowiednio: $330 \pm 100 \text{ mg/m}^3$ i $30 \pm 15 \text{ mg/m}^3$ (w warunkach umownych: $T = 273 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$, gaz suchy).

Tabela 1. Zestawienie uśrednionych wyników pomiaru podstawowych parametrów gazów emitowanych do powietrza z pieca tunelowego

Parametr mierzony/obliczany	Jednostka	I seria	II seria	średnia
Ciśnienie bezwzględne panujące w kominie	hPa	976	988	982
Temperatura gazów odlotowych	K	454	456	455
Stopień zawilżenia gazu	kg/kg	0,032	0,033	0,0325
Gęstość gazu suchego*	kg/m^3	1,290	1,295	1,292
Gęstość gazu wilgotnego*	kg/m^3	1,266	1,270	1,268
Gęstość gazu wilgotnego w warunkach pomiaru	kg/m^3	0,734	0,742	0,738
Prędkość gazu	m/s	2,42	1,95	2,18
Strumień objętości gazu wilgotnego*	m^3/h	1921	1535	1728
Strumień objętości gazu suchego*	m^3/h	1835	1463	1649

* w warunkach: $T = 273 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$

Tabela 2. Zbiorcze zestawienie wielkości emisji CO , NO_2 , SO_2 i H_2S

Rodzaj substancji	Stężenie [mg/m^3]*					Emisja średnia	
	I seria		II seria		wartość średnia	g/h	kg/Mg wsadu***
	średnia	zakres	średnia	zakres			
CO	341	233-451	312	229-551	327	541	2,67
NO_x^{**}	26,5	19,5-34,6	35,8	21,6-54,0	31,2	50,5	0,249
SO_2	24,2	0-39,1	18,1	0-36,1	21,1	35,4	0,175
H_2S	1,3	0-3,2	0,1	0-1,6	0,7	1,2	0,0059

* w gazie suchym w warunkach: $T = 273 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$,

** NO i NO_2 w przeliczeniu na NO_2

*** wskaźnik emisji odniesiony do masy wsadu węglowego przy założeniu czasu wypalania 120 h

Tabela 3. Zbiorcze zestawienie wielkości emisji węglowodorów alifatycznych

Rodzaj substancji	Stężenie [mg/m^3]*					Emisja średnia	
	I seria		II seria		wartość średnia	g/h	kg/Mg wsadu**
	średnia	zakres	średnia	zakres			
CH_4	8,23	5,52-13,2	11,74	10,9-12,5	10,0	16,1	0,0795
C_2H_4	1,70	1,07-2,73	0,88	0,60-1,13	1,29	2,20	0,0108
C_2H_6	1,61	1,50-1,68	1,61	1,57-1,63	1,61	2,66	0,0131
$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_3\text{H}_6$	0,95	0,86-1,10	0	n.w.	0,47	0,87	0,0043
Suma	12,49	9,14-18,7	14,23	13,1-15,1	13,4	21,9	0,1078

* w gazie suchym w warunkach: $T = 273 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$,

** wskaźnik emisji odniesiony do masy wsadu węglowego przy założeniu czasu wypalania 120 h

Nieco odmiennie zachowywały się stężenia SO_2 . Po wprowadzenia do pieca tunelowego nowego wózka stężenia te nieco rosły, osiągając po 2-3 godzinach po załadunku poziom 20-30 (maksymalnie 40) mg/m^3 . Stężenia H_2S cały czas były bardzo małe lub

występowały poniżej dolnej granicy oznaczalności stosowanej metody pomiarowej, a ewentualne okresowe maksima (rzędu 3 mg/m³) pojawiały się tylko w ciągu pierwszej godziny po wprowadzeniu nowego wózka.

Tabela 4. Zbiorcze zestawienie wielkości emisji benzenu oraz jego homologów

Rodzaj substancji	Stężenie [mg/m ³]*					Emisja średnia	
	I seria		II seria		wartość średnia	g/h	kg/Mg wsadu**
	średnia	zakres	średnia	zakres			
Benzen	7,18	4,31-10,1	3,15	2,84-3,39	5,17	8,90	0,0439
Toluen + etylobenzen	0,75	0,50-1,19	0,27	0,22-0,32	0,51	0,89	0,0044
Ksylene	1,77	0,86-3,16	0,39	0,21-0,66	1,08	1,91	0,0094
Suma BTEX	9,71	5,67-14,46	3,81	3,30-4,25	6,76	11,69	0,0576

* w gazie suchym w warunkach: T = 273 K, p = 101,3 kPa,

** wskaźnik emisji odniesiony do masy wsadu węglowego przy założeniu czasu wypalania 120 h

Tabela 5. Zbiorcze zestawienie wielkości emisji pyłu, substancji smołowych i WWA

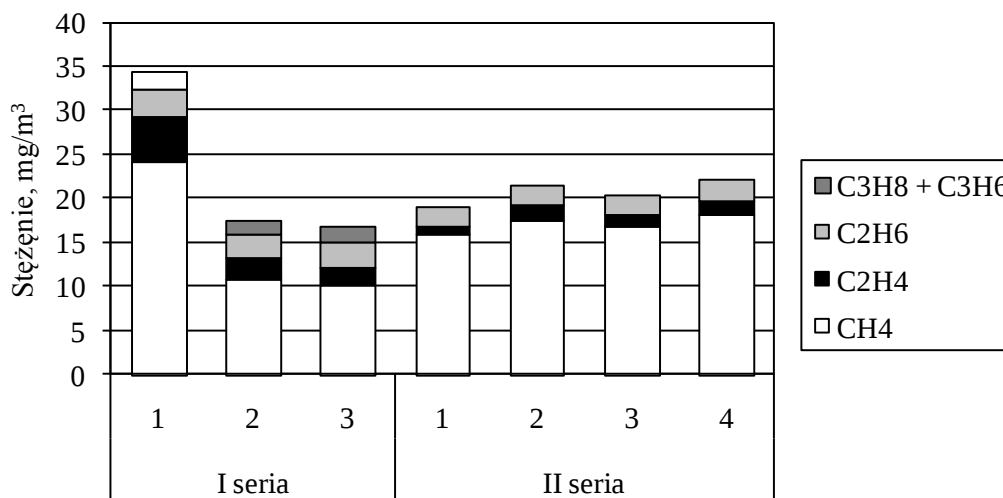
Rodzaj substancji	Stężenie [mg/m ³]*					Emisja średnia	
	I seria		II seria		wartość średnia	g/h	kg/Mg wsadu**
	średnia	zakres	średnia	zakres			
Pył ogółem	48,2	28,4-64,0	56,6	39,5-80,4	52,42	85,7	422,2
Substancje smołowe	19,5	7,2-25,8	23,2	18,2-32,8	21,38	34,9	172,1
Suma WWA	7,56	2,55-12,0	9,47	6,16-13,5	8,51	13,9	68,3
w tym:							
Naftalen	0,001	0-0,006	0	n.w.	0,0005	0,009	0,005
Acenaftylen	-	n.w.	-	n.w.	-	-	-
Acenaften	-	n.w.	-	n.w.	-	-	-
Fluoren	-	n.w.	-	n.w.	-	-	-
Fenantren	0,282	0,048-0,481	0,533	0,227-0,857	0,407	0,649	3,20
Antracen	0,138	0,065-0,198	0,083	0,052-0,142	0,111	0,188	0,92
Fluoranten	1,528	0,279-2,57	2,752	1,06-4,25	2,140	3,415	16,8
Piren	0,800	0,144-1,33	1,342	0,570-2,13	1,071	1,716	8,45
Benzo(a)antracen	0,645	0,205-1,02	0,731	0,540-1,05	0,688	1,127	5,56
Chryzen	1,724	0,503-2,81	1,800	1,49-2,12	1,762	2,898	14,3
Benzo(b)fluoranten	1,197	0,607-1,79	1,093	0,820-1,49	1,145	1,898	9,36
Benzo(k)fluoranten	0,432	0,234-0,627	0,415	0,343-0,605	0,424	0,701	3,45
Benzo(a)piren	0,306	0,155-0,454	0,286	0,247-0,421	0,296	0,490	2,41
Indeno(1,2,3-cd)piren	0,209	0,125-0,290	0,176	0,131-0,266	0,192	0,320	1,58
Dibenzo(a,h)antracen	0,144	0,081-0,202	0,133	0,089-0,182	0,139	0,230	1,13
Benzo(g,h)perylene	0,149	0,088-0,207	0,123	0,064-0,186	0,136	0,227	1,12

* w gazie suchym w warunkach: T = 273 K, p = 101,3 kPa,

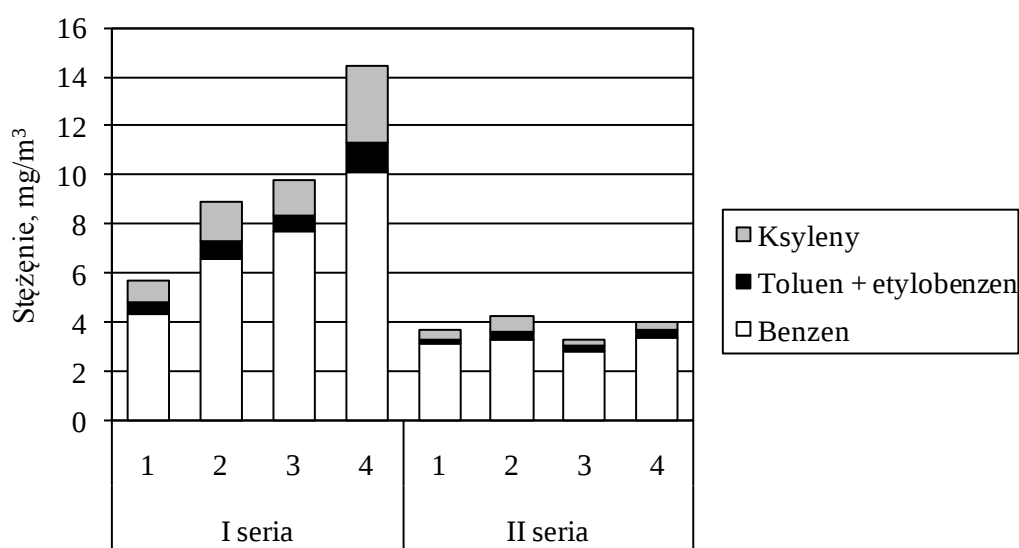
** wskaźnik emisji odniesiony do masy wsadu węglowego przy założeniu czasu wypalania 120 h

Analiza zmienności stężeń pozostałych mierzonych substancji nie wykazała istnienia żadnych wyraźnych trendów. Stężenia te zmieniały się w sposób nieprzewidywalny, oscylując wokół obliczonej wartości średniej. Przykładowe zmienności stężeń węglowodorów

alifatycznych, BTEX oraz pyłu ogółem i substancji smołowych w gazach odlotowych w trakcie poszczególnych serii pomiarowych przedstawiono na rys. 1-3.



Rys. 1. Zmienność stężeń węglowodorów alifatycznych do C₆ w gazach odlotowych z pieca tunelowego otrzymana dla obydwu serii pomiarowych (T = 273 K, p = 101,3 kPa, gaz suchy)

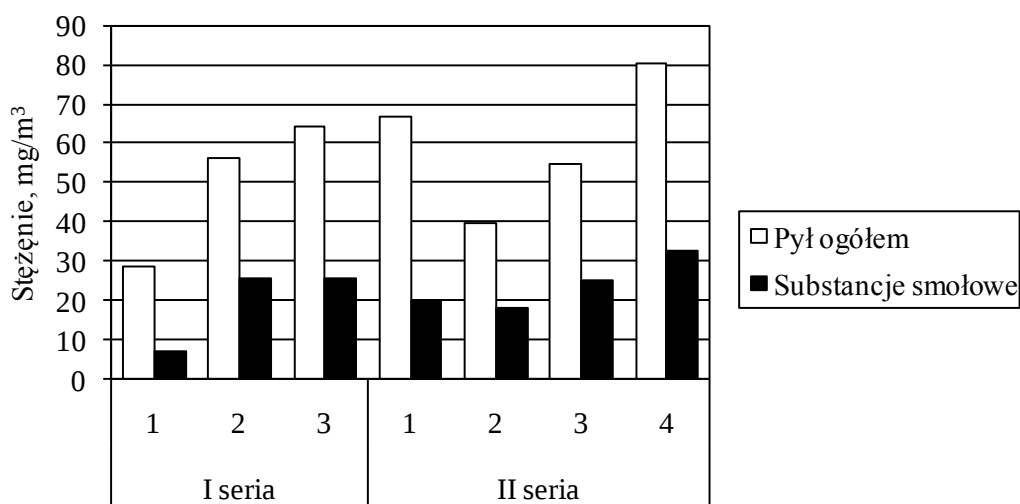


Rys. 2. Zmienność stężeń BTEX w gazach odlotowych z pieca tunelowego otrzymana dla obydwu serii pomiarowych (T = 273 K, p = 101,3 kPa, gaz suchy)

Emitowane do powietrza pyły zawierały 25-46% mas. (średnio 39% mas.) substancji smołowych, natomiast zawartość WWA w smole wynosiła 18-55% mas. (średnio 38% mas.). Spośród wszystkich oznaczonych substancji zaliczanych do WWA, największy udział miały fluoranten i chryzen.

Uzyskana zmienność wartości stężeń rozpatrywanych substancji lub grup substancji w gazach emitowanych z procesu wypalania półproduktów grafitowych w piecu tunelowym mieści się w zakresie podanym dla tego typu procesu w dokumencie referencyjnym BAT [6]. Zakres ten zależy m.in. od rodzaju zastosowanego sposobu oczyszczania gazów odlotowych.

W przypadku różnych systemów oczyszczania wahają się one w bardzo szerokim przedziale i dla pyłu ogółem, SO_2 , NO_x , sumy węglowodorów, benzenu i sumy 16 WWA wynoszą one odpowiednio (w warunkach odniesienia: $T = 273 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$): $1\text{-}90 \text{ mg/m}^3$, $2\text{-}150 \text{ mg/m}^3$, $10\text{-}40 \text{ mg/m}^3$ (a w przypadku dopalania termicznego $50\text{-}250 \text{ mg/m}^3$), $1\text{-}250 \text{ mg/m}^3$, $0,1\text{-}11 \text{ mg/m}^3$ i $0,002\text{-}19,45 \text{ mg/m}^3$ [6]. W sytuacji braku systemu oczyszczania gazów odlotowych (w przypadku badanego pieca tunelowego stosowano jedynie częściową ich recyrkulację), nie dziwi utrzymywanie się stężeń niektórych substancji w pobliżu górnej granicy przedziału określonego w dokumencie [6].



Rys. 3. Zmienność stężeń pyłu ogółem i substancji smołowych w gazach odlotowych z pieca tunelowego otrzymana dla obydwu serii pomiarowych ($T = 273 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$, gaz suchy)

Odnosząc się z kolei do emisji BTEX i WWA z dużych pieców kręgowych, opalanych gazem ziemnym, stosowanych do wypalania wyrobów węglowych, z których gazy odlotowe były oczyszczane w dwustopniowym elektrofiltrze z chłodnicą rurową oraz w filtrach koksowych [1, 5], można stwierdzić, że wartości stężeń tych substancji uzyskane dla gazów emitowanych z pieca tunelowego są podobne, zwłaszcza w przypadku BTEX, lub co najwyżej o jeden rząd wielkości wyższe, zwłaszcza w przypadku WWA, niż w przypadku instalacji wyposażonych w wysokosprawny układ oczyszczania gazów odlotowych. Emisje te można uznać za stosunkowo wysokie.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań i analiz wyciągnięto następujące wnioski:

1. Emisja zanieczyszczeń z procesu wypalania półproduktów węglowych może być zróżnicowana m.in. w zależności od rodzaju stosowanego pieca (i technologii wypalania) i systemu oczyszczania gazów odlotowych oraz rodzaju wypalanego tworzywa i spoiwa.
2. W przypadku stosowania pieca tunelowego z w miarę ustabilizowanym (pod względem masy i składu) wsadem węglowym oraz nakładania się na siebie emisji pochodzącej z różnych faz procesu wypalania poszczególnych partii materiału wsadowego (regularnie wprowadzanych/wyprowadzanych do/z pieca), obserwowana jest stosunkowo mała zmienność stężeń substancji zanieczyszczających w gazach odlotowych z tego procesu.
3. Wprowadzanie do pieca tunelowego kolejnych wózków z wsadem do wypalania z reguły nie powoduje istotnej zmiany w ilościach emitowanych substancji, z wyjątkiem SO_2 i

H₂S, w przypadku których wielkość emisji w znacznym stopniu jest kształtowana przez procesy zachodzące na początku procesu technologicznego (podczas fazy rozgrzewania).

4. Spośród analizowanych substancji, szczególnie istotna pod względem wielkości wydaje się być emisja WWA oraz benzenu i jego homologów (BTEX).
5. Wyprowadzone wskaźniki emisji (będące również wskaźnikami unosu z uwagi na brak systemu oczyszczania gazów odlotowych) mogą być wykorzystane do szacowania średniego unosu i emisji substancji do powietrza z procesu wypalania drobnych półwyrobów grafitowych w piecu tunelowym. Należy jednak zdawać sobie sprawę z faktu, że wielkość emisji z tego typu procesu technologicznego jest zdeterminowana dużą ilością parametrów, z których najważniejsze to: skład i masa mieszanki węglowej, forma wypalanych kształtek, krzywa grzania pieca (dopasowana do wymienionych parametrów) oraz skuteczność działania ewentualnego systemu oczyszczania gazów odlotowych.

Literatura

1. Mazur M., Szczygłowski P., Oleniacz R., Bogacki M.: Emisja BTX towarzysząca produkcji wyrobów węglowych i grafitowych. W: Ochrona powietrza w teorii i praktyce (red. J. Koniecznyński, R. Zarzycki), str. 249-256. Wyd. IPIŚ PAN w Zabrzu, Zabrze 2004.
2. Mazur M., Oleniacz R., Bogacki M., Szczygłowski P.: Emisja zanieczyszczeń z pieca Achesona do grafityzacji wyrobów drobnych. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, 2006, tom 11, z. 2, 145-159.
3. Mazur M., Bogacki M., Oleniacz R., Szczygłowski P.: Air pollutant emissions from process of mixing materials used for manufacturing small products from carbon and graphite. Environment Protection Engineering, 2008, vol. 34, nr 4, 119-127.
4. Bogacki M., Oleniacz R., Mazur M.: Evaluation of gas emissions from graphitizing of carbon products. In: Environmental Engineering III (ed. L. Pawłowski, M.R. Dudzińska, A. Pawłowski), CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London 2010.
5. Mazur M., Oleniacz R., Bogacki M., Szczygłowski P.: Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during the production of carbon and graphite electrodes. In: Environmental Engineering III (ed. L. Pawłowski, M.R. Dudzińska, A. Pawłowski), CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London 2010.
6. European Commission: IPPC Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, Draft July 2009 (<http://eippcb.jrc.es/reference>).
7. Pilch J.: Piece ceramiczne i szklarskie. AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2001.
8. PN-Z-0404030-7: 1994. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Pomiar stężenia i strumienia masy pyłu metodą grawimetryczną.
9. PN-89/Z-04016.03. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości benzenu i jego homologów z nasyconym łańcuchem bocznym. Oznaczanie benzenu, toluenu, etylobenzenu, (m+p)-ksylenu, izopropylobenzenu i o-ksylenu w powietrzu atmosferycznym (emisja) metodą chromatografii gazowej z wzbogacaniem próbki.
10. Procedura AEERL/12-9/2/86 „Standardowy tok postępowania przy grawimetrycznej analizie ekstraktów organicznych” na podstawie: Haris J.C. i inni, Laboratory Evaluation. Level 1 Organic Analysis Procedure EPA-600/S7-82-048, NTIS PB 82-239, pp 30-36, March 1982 oraz Lentzen D.E., Wagoner D.E. Estes E.D. Gutknecht W.F., IERL-RTP Procedures Manual: Level I Environment Assessments (Second Edition). EPA 6000/7-78/201, NTIS No PB293-795, pp. 140-142, October 1978.