

ODPYLANIE SPALIN KOTŁOWYCH Z RÓWNOCZESNYM ODSIARCZANIEM METODĄ MOKRĄ WAPIENNĄ

¹Michał GŁOMBA, ²Jerzy MAZUREK

¹Zakład Naukowo-Dydaktyczny Ochrony Atmosfery
Instytutu Inżynierii ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
²RAFAKO Spółka Akcyjna ul. Łąkowa 33, 47-400 Racibórz
michal.glomba@pwr.wroc.pl, jerzy.mazurek@rafako.com.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono efekty dwustopniowego odpylania spalin emitowanych z kotłów pyłowych – w elektrofiltrze suchym, a następnie w absorberze instalacji odsiarczania spalin według mokrej metody wapiennej. Zwrócono uwagę na wpływ skuteczności odpylania spalin w elektrofiltrze na jakość (skład chemiczny i białość) produktu odsiarczania – gipsu syntetycznego. Od jakości zależy jego przydatność do gospodarczego wykorzystania. Z tego względu należy dążyć do możliwie najskuteczniejszego odpylania spalin w elektrofiltrze, ponieważ daje to gwarancję na otrzymanie gipsu o małym lub znikomym zanieczyszczeniu cząstkami mineralnymi, wnoszonymi wraz ze spalinami w postaci najdrobniejszych cząstek popiołu lotnego do absorbera. Opracowano równanie opisujące zależność odpylania spalin w absorberze IOS od ich prędkości w aparacie, wartości stosunku L/G i pH zawiesiny absorpcyjnej, wysokości strefy zraszania spalin w absorberze, liczby włączonych poziomów zraszania w absorberze, stężenia pyłu w spalinach na wlocie do aparatu, gęstości zawiesiny absorpcyjnej oraz temperatury spalin przed absorberem.

1. Wprowadzenie

Odsiarczanie spalin wg metod mokrych (np. metody wapiennej), poprzedzone jest ich odpylaniem w elektrofiltrze. W tym przypadku, w odróżnieniu od metod suchych i półsuchych, efektywność procesu odsiarczania spalin nie wpływa na skuteczność ich odpylania w elektrofiltrze [1]. W absorberze instalacji odsiarczania spalin (IOS) metodą mokrą wapienną zachodzi, wraz z absorpcją SO₂, HCl i HF, równoczesne ich odpylanie na kroplach rozpylonej cieczy absorpcyjnej, co w znacznym stopniu zwiększa całkowitą skuteczność odpylania spalin przed wyrzutnią kominową.

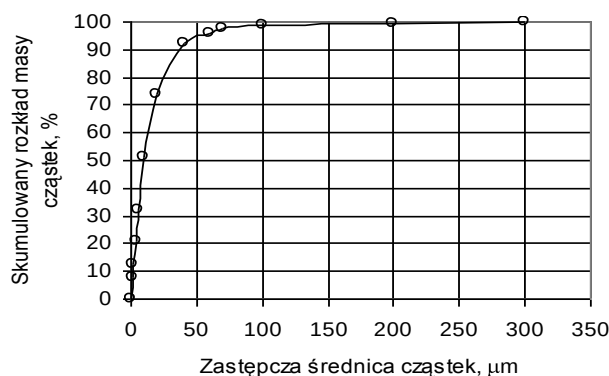
Wydzielone na kroplach cieczy cząstki pyłu gromadzą się w zbiorniku cieczy pod absorberem i w wyniku pobierania tej cieczy do węzła odwadniania gipsu znajdują się w końcowym produkcie odsiarczania spalin, jakim jest gips syntetyczny (rys. 3). W ten sposób gips w mniejszym lub większym stopniu, zależnym od skuteczności odpylania spalin w elektrofiltrze i w absorberze, zostaje zanieczyszczony nierozpuszczalnymi w zawieszynie absorpcyjnej składnikami popiołów lotnych. Wpływa to na jakość gipsu (zawartość zanieczyszczeń stałych i białość gipsu) i przez to syntetyczny gips może znacznie odbiegać swoimi parametrami od wymagań stawianych mu przez jego odbiorcę, który wykorzystuje go w produkcji materiałów budowlanych (np. płyt kartonowo-gipsowych).

W pracy przedstawiono efekty dwustopniowego odpylania spalin w elektrofiltrze i w absorberze IOS w warunkach obiektowych. Scharakteryzowano również wpływ parametrów pracy absorbera na skuteczność odpylania spalin.

2. Skład ziarnowy popiołu lotnego unoszonego z kotłów pyłowych po spalaniu węgla brunatnego

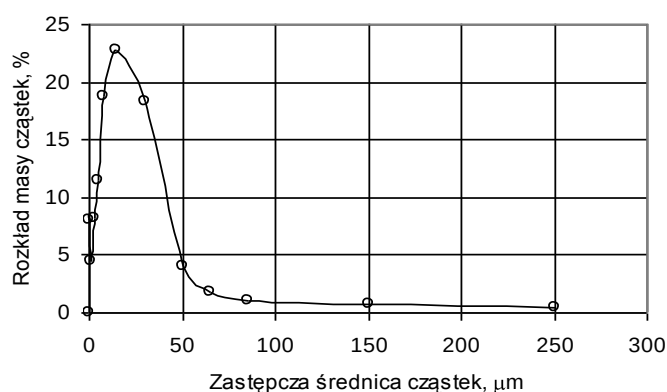
Charakterystykę granulometryczną popiołów powstających po spalaniu węgla brunatnego w kotłach pyłowych przedstawiono na rys. 1 i 2. Na krzywej ziarnowej (rys. 1) można odczytać średnicę medialną (medianę) $d_m = d_{50}$, która dzieli masę cząstek pyłu na dwie połowy. Dla uziarnienia pyłu przedstawionego na rys. 1 średnica medialna $d_m = 10 \mu\text{m}$,

Drugą charakterystyczną średnicą cząstek pyłu jest średnica dominanta (modalna) d_M , odpowiadająca maksimum krzywej na rys. 2, czyli średnica cząstek pyłu, których masa w całym zbiorze jest największa. Dla zbioru cząstek o uziarnieniu podanym na rys. 1 średnica modalna $d_M = 15 \mu\text{m}$.



Rys. 1. Zależność skumulowanego rozkładu masowego cząstek popiołu lotnego od ich średnicy (opracowano na podstawie [2])

Udział masowy cząstek popiołu o średnicy $d_M = 15 \mu\text{m}$ w przedstawionym zbiorze wynosi 22,75%.



Rys. 2. Zależność masowego rozkładu cząstek popiołu od ich zastępczej średnicy (opracowano na podstawie [2])

3. Skład chemiczny lotnych popiołów unoszonych z paleniska pyłowego po spalaniu węgla brunatnego

Skład chemiczny popiołów paleniskowych zależy od rodzaju spalanego węgla, ilości i rodzaju zawartych w nim części niepalnych (mineralnych) oraz parametrów technicznych kotła i zastosowanej techniki spalania. W krajowej literaturze informacje na temat składu chemicznego popiołów ze spalania węgla brunatnego są bardzo rozbieżne. Skład popiołów pochodzących ze spalania węgla brunatnych dostarczanych z największych polskich kopalń podano (według [3]) w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny popiołów pochodzących ze spalania krajowych węgla brunatnych [3]

Symbol chemiczny	Jednostka	Popiół ze spalania węgla brunatnego z kopalni		
		Bełchatów	Turów	Konin
SiO ₂	% mas.	45,38	41-50	30-50
Al ₂ O ₃	% mas.	19,26	25-35	5-9
Fe ₂ O ₃	% mas.	4,95	14-20	4-6
CaO	% mas.	19,78	2-4	25-48
MgO	% mas.	0,73	0,1-1,0	2-4
Na ₂ O	% mas.	0,16	0,1-0,3	ślady
K ₂ O	% mas.	0,32		
SO ₃	% mas.	5,93	0,5-0,7	5-10
Straty prażenia	% mas.	2,28	1-3	2-6

4. Skład chemiczny gipsu syntetycznego

Odsiarczanie spalin kotłowych metodą moką wapienną polega na kontaktowaniu spalin surowych w absorberze z zawiesiną zmielonego wapienia przy utrzymaniu w węźle absorpcji jej wartości pH w zakresie 5,0-5,6. Zachodzi w tym czasie rozpuszczanie w wodzie SO₂ i CaCO₃ oraz reakcja między jonami HSO₃⁻ i Ca²⁺ z wytworzeniem siarczynu wapnia (CaSO₃), który w wyniku napowietrzania zawiesiny absorpcyjnej w rzepiu utlenia się do dwuwodnego siarczynu wapnia (CaSO₄·2H₂O) zwanego gipsem syntetycznym. Najczęściej gips syntetyczny charakteryzuje się składem chemicznym podanym w tabeli 2.

Tabela 2. Skład chemiczny gipsu syntetycznego

Parametr	Zawartość % mas.	Bilans
SiO ₂	2,0	CaCO ₃ = 0,06% CaSO ₃ ·½H ₂ O = 0,97% Ca(OH) ₂ = 0,0% CaSO ₄ ·2H ₂ O = 96,27% CaCl ₂ = 0,01% CaF ₂ = 0,01% Zawartość składników obojętnych (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃): 2,39%
Fe ₂ O ₃	0,0	
Al ₂ O ₃	0,4	
Mn ₃ O ₄	0,0	
TiO ₂	0,02	
CaO	31,5	
MgO	0,22	
SO ₃	44,9	
P ₂ O ₅	0,0	
Na ₂ O	0,01	
K ₂ O	0,05	
Cl ⁻	0,005	
F	0,05	
Strata prażenia w 900 °C	20,0	
Razem	99,1	
Wolne CaO	0,0	
Fluorki rozpuszczalne	0,005	
Siarczyny jako SO ₃	0,48	
Siarczany jako SO ₄	53,15	
Potas rozpuszczalny K ₂ O	0,002	
Węglany jako CO ₂	0,03	
Magnez rozpuszczalny jako MgO	0,013	
Chlorki rozpuszczalne	0,005	
Białość	82 %	

Tworzący się gips syntetyczny jest zanieczyszczony cząstkami mineralnymi, stanowiącymi nierozpuszczalny balast kamienia wapiennego, oraz popiołów lotnych usuwanych ze spalin w absorberze na kroplach rozpylonej cieczy absorpcyjnej. Aby gips ten charakteryzował się parametrami pozwalającymi wykorzystywać go w produkcji materiałów budowlanych (np. płyt kartonowo-gipsowych), jego skład chemiczny powinien spełniać dokładnie określone warunki. Tylko wtedy zakłady produkcji materiałów budowlanych wykazują zainteresowanie jego zakupem.

Uzyskanie ustalonych przez odbiorców i gwarantowanych przez projektanta IOS parametrów gipsu syntetycznego polega na odpyleniu surowych spalin kotłowych w wysoko sprawnych elektrofiltrach ($\eta \geq 99,5\%$) i stosowaniu w procesie odsiarczania spalin wapieni o dużej zawartości CaCO_3 (nie mniej niż 95%) oraz małej zawartości SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 . Znaczenie tego problemu jest bardziej widoczne, jeśli porówna się zawartość tych tlenków w popiołach lotnych (tabele 1 i 4) i w gipsie syntetycznym (tabela 2).

5. System oczyszczania spalin w elektrowni opalanej węglem brunatnym

W dalszej części niniejszej pracy podano informacje dotyczące odpylania i odsiarczania spalin w jednej z krajowych elektrowni spalającej węgiel brunatny. Paliwem gwarancyjnym jest węgiel brunatny o parametrach fizycznych i składzie chemicznym podanych w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry węgla brunatnego spalanego w wybranej elektrowni krajowej

Parametr	Jednostka	Wartość
Wartość opałowa	kJ/kg	8583,0
Wilgotność	% mas. paliwa	53,5
Zawartość popiołu	% mas. paliwa	9,5
Części palne	% mas. paliwa	34,2
Części lotne	% mas. paliwa	21,5
Siarka palna (ogółem)	% mas. paliwa	0,8
Chlor w węglu	% mas. paliwa	0,012
Fluor w węglu	% mas. paliwa	0,01
Ksylity (ogółem)	% mas. paliwa	6,0
Ksylity kruche	% mas. paliwa	5,0
Piasek	% mas. paliwa	1,0
Gęstość usypowa	kg/m ³	750 - 800

Z przeprowadzonych analiz popiołu pobieranego ze spalin za kotłami wynika, że charakteryzuje go skład chemiczny podany w tabeli 4.

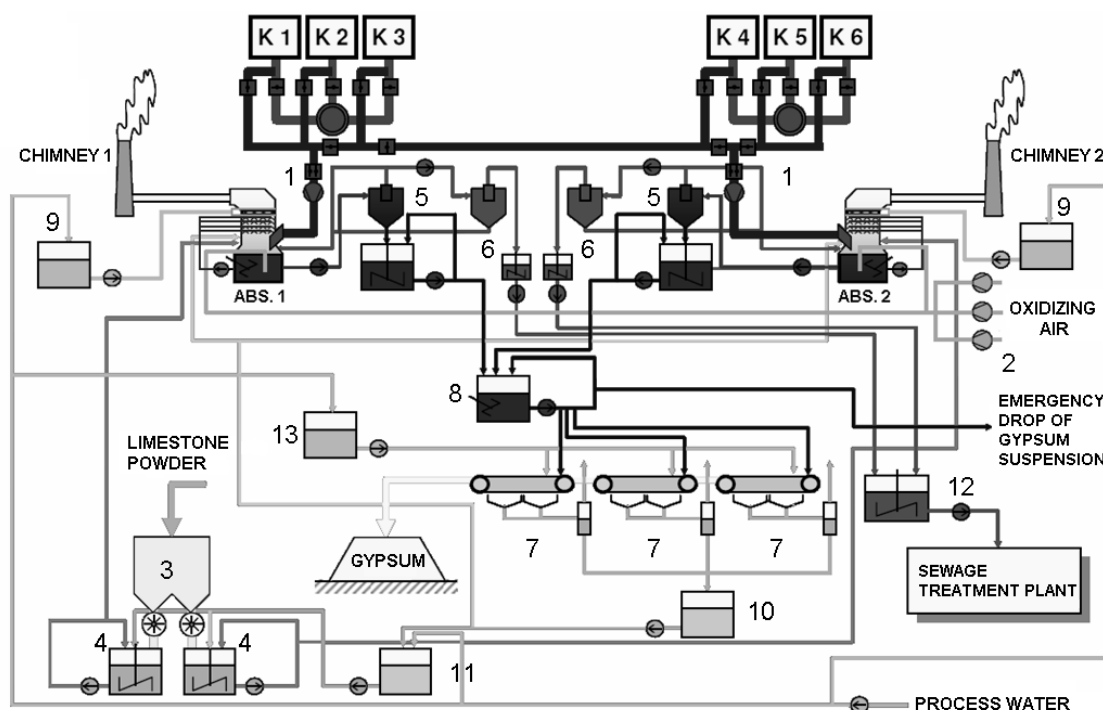
Tabela 4. Skład chemiczny popiołów z krajowej elektrowni

Związek chemiczny	Jednostka	Wartość średnia	Zakres wartości
SiO_2	% mas.	33,5	12 - 78
Fe_2O_3	% mas.	9,30	6,5 - 10,9
Al_2O_3	% mas.	5,80	1,1 - 5,8
CaO	% mas.	21,80	8,7-35
MgO	% mas.	2,10	1,4 - 7,7
SO_3	% mas.	26,9	2,5 - 33
K_2O	% mas.	0,16	0,04 - 0,3
Na_2O	% mas.	0,10	0,09 - 0,17
P_2O_5	% mas.	0,12	0,04 - 0,13
Mn_3O_4	% mas.	0,18	0,07 - 0,24

Spaliny te oczyszcza się w instalacji, której schemat podano na rys. 3. Odpylanie spalin surowych zachodzi w elektrofiltrach suchych wielopolowych typu HKE, a odsiarczanie spalin odciąganych z kotłów nr 1-4 w instalacji IOS z dwoma absorberami. Parametry pracy IOS podano w tabeli 5.

Tabela 5. Parametry techniczne (projektowe) IOS (dot. elektrowni krajowej)

Parametr techniczny	Jednostka	Wartość
Ilość bloków	szt.	4
Moc bloków	MW _e	4×200
Liczba absorberów	szt.	2
Strumień objętości spalin surowych	m ³ /h wilg.	2×2100000
Temperatura spalin przed IOS	°C	180
Temperatura spalin za IOS	°C	65
Stężenie SO ₂ w spalinach surowych	mg/m ³ _n	4000 (max.
Skuteczność odsiarczania spalin	such.	6170)
Stężenie popiołu w spalinach surowych	%	> 96,7
Skuteczność odpylania spalin w elektrofiltrze	g/m ³ _n wilg.	40
Stężenie pyłu w spalinach przed IOS	%	99
Skuteczność odpylania spalin w absorberze	mg/m ³ _n wilg	400
Zużycie sorbentu (CaCO ₃)	%	Brak danych
Zużycie wody	Mg/h	22,2
Strumień masy produktu odsiarczania spalin (gipsu)	m ³ /h	374
Dyspozycyjność IOS	Mg/h	19,1
	%	> 97



Rys. 3. Schemat instalacji odpylania i odsiarczania spalin kotłowych:

1 – wentylator ciągu spalin kotłowych, 2 - dmuchawa powietrza utleniającego siarczyny, 3 - silos zmielonego kamienia wapiennego, 4 – zbiornik zawiesziny wodnej sorbentu, 5 – hydrocyklon zagęszczania zawiesziny gipsu, 6 – hydrocyklon wydzielania ścieków, 7 – taśmowy filtr próżniowy, 8 – zbiornik zawiesziny gipsu, 9 – zbiornik wody procesowej, 10 – zbiornik filtratu, 11 – zbiornik wody do przygotowania świeżej zawiesziny sorbentu, 12 –

zbiornik ścieków surowych, 13 - zbiornik wody do płukania placka filtracyjnego i taśmowych filtrów próżniowych, K1...K6 – numery kotłów, ABS.1 i ABS.2 – absorbery IOS

6. Odpylanie spalin w elektrofiltrze

Na skuteczność odpylania spalin w absorberze IOS i stopień zanieczyszczenia produktu ich odsiarczania (syntetycznego gipsu) duży wpływ, oprócz zawartości składników mineralnych w popiołach i ich składu chemicznego, ma skuteczność procesu odpylania w elektrofiltrze. W celu przedstawienia efektu suchego odpylania spalin w elektrofiltrze przyjęto, że średnie stężenie pyłu w spalinach za kotłem wynosi ok. $40 \text{ g/m}^3_{\text{n}}$ spalin wilgotnych (wartość średnia dla kotłów pyłowych).

Na podstawie analizy danych literaturowych ustalono i przyjęto do dalszych rozważań, że skład frakcyjny pyłu w spalinach przed elektrofiltrem i przedziałowa (frakcyjna) skuteczność odpylania w elektrofiltrze przyjmują wartości podane w tabeli 6 oraz na rys. 1 i 2. Na podstawie tych danych obliczono stężenia frakcyjne, skuteczność całkowitą odpylania spalin w elektrofiltrze (ok. 99%) oraz stężenie całkowite pyłu (ok. $400 \text{ mg/m}^3_{\text{n}}$ wilg.) w spalinach kierowanych do IOS (tabela 6).

Jest oczywiste, że otrzymane wyniki są wartościami średnimi i od nich, w różnych fazach obciążenia kotła oraz zmiany charakterystyki spalane go węgla, uwidaczniają się większe lub mniejsze odstępstwa.

Tabela 6. Frakcyjna i całkowita skuteczność odpylania spalin w elektrofiltrze

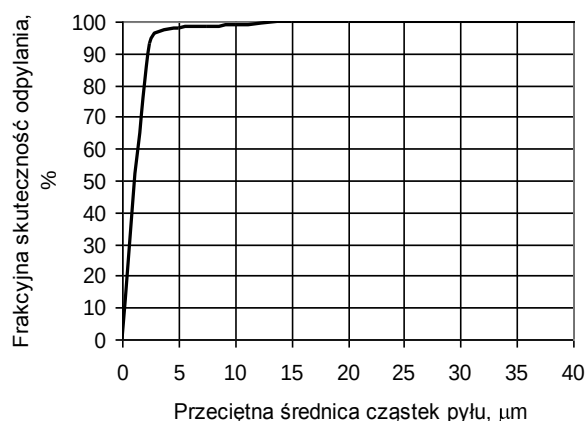
Nr frakcji, i	Średnica przeciętna, d_i (μm)	Udział masowy frakcji pyłu w zbiorze, x_i	Stężenie frakcyjne pyłu na wlocie (g/m^3_{n} wilg.)	Frakcyjna skuteczność odpylania, η_i	$x_i \cdot \eta_i$	Stężenie frakcyjne pyłu na wylocie (g/m^3_{n} wilg.)
1	0,45	0,0800	3,2	0,9300	0,0744	0,2240
2	1,45	0,0450	1,8	0,9800	0,0441	0,0360
3	3	0,0825	3,3	0,9860	0,0813	0,0462
4	5	0,1150	4,6	0,9890	0,1137	0,0506
5	8	0,1875	7,5	0,9975	0,1870	0,0187
6	15	0,2275	9,1	0,9985	0,2272	0,0137
7	30	0,1825	7,3	0,9995	0,1824	0,0036
8	50	0,0400	1,6	1,0000	0,0400	0,0000
9	65	0,0175	0,7	1,0000	0,0175	0,0000
10	85	0,0100	0,4	1,0000	0,0100	0,0000
11	150	0,0075	0,3	1,0000	0,0075	0,0000
12	250	0,0050	0,2	1,0000	0,0050	0,0000
		1,0000	40,0		0,9902	0,3928

Największy udział w pyłach występujących w spalinach kierowanych do absorbera IOS mają cząstki najmniejszych rozmiarów (cząstki o średnicach poniżej $1,45 \mu\text{m}$ – tabela 6 frakcje nr 1 i 2 stanowią ponad 66% pyłu za elektrofiltrem), które z uwagi na mały efekt inercyjnego wydzielania na powierzchni kropel i niewiele znaczący efekt zaczepienia w warunkach rozpylania w absorberze cieczy na krople o dużych średnicach (średnica Sautera kropel w absorberze IOS jest większa od 2 mm) trudno ze spalin usunąć [4-6]. Trzeci mechanizm, umożliwiający usuwanie cząstek pyłu ze spalin kotłowych w skruberach, zwany mechanizmem dyfuzyjnym (opartym na dyfuzyjnych ruchach Browna oraz termo- i dyfuzjoforezie), jest istotny dla cząstek bardzo małych rozmiarów – poniżej $0,5 \mu\text{m}$ [7].

W przypadku odpylania spalin w skruberze natryskowym IOS ten mechanizm dla usuwania cząstek najliczniej występujących w spalinach przed IOS (tabela 6, frakcja nr 1,

$C_p = 0,224 \text{ g/m}^3$ sp. wilg.) może mieć istotne znaczenie. W teorii i praktyce duże znaczenie ma kondensacja pary wodnej na cząstkach aerozolowych. Prowadzi ona do zwiększenia rozmiarów cząstek submikronowych, wskutek czego zwiększa się skuteczność ich wydzielania ze spalin [7].

Zależność frakcyjnej skuteczności odpylania spalin w elektrofiltrze przedstawiono na rys. 6. Cząstki o średnicy $3 \mu\text{m}$ są w elektrofiltrze usuwane ze skutecznością 98,6%, a o średnicy $5 \mu\text{m}$ ze skutecznością 98,9%.



Rys. 6. Zależność frakcyjnej skuteczności odpylania od przeciętnej średnicy cząstek pyłu

Jak widać, do absorbera IOS przedostają się cząstki o rozmiarach do $30 \mu\text{m}$, a zatem takie cząstki, które nawet w procesach mokrego odpylania trudno jest z gazów odlotowych usunąć.

7. Odpylanie spalin w skruberze natryskowym

Do analizy efektów odpylania spalin odprowadzanych z 4 bloków wyposażonych w kotły OP-650b, najpierw w elektrofiltrach, a następnie w 2 absorberach IOS wykorzystano 17298 wyników pomiarów stężenia pyłów w spalinach przed i za 2 absorberami IOS, które stanowią wartość uśrednioną dla 10 minut. Podczas prowadzenia pomiarów stężenia pyłów parametry pracy absorberów zmieniały się w zakresach podanych w tabeli 8.

Tabela 8. Maksymalne i minimalne parametry pracy IOS

Wartość	w_{sp}	T_{1sp}	H	n	L/G	pH	C_{1p}	ρ_{zaw}
	m/s	$^{\circ}\text{C}$	m	szt.	dm^3/m^3	-	mg/m^3	kg/m^3
Max.	4,77	192,3	18,99	4	50,43	10,31	679,8	1138,7
Min.	0,707	132,1	15,90	2	10,88	3,40	22,1	1000,4

W zależności od zaistniałych parametrów pracy IOS i liczby poziomów zraszania spalin w absorberach, uzyskano skuteczność odpylania w zakresie 89,78-99,85%. W niektórych sytuacjach była ona większa od uzyskiwanych w elektrofiltrach przed IOS. Obala to wiarygodność informacji podawanych w podręcznikach i publikacjach naukowych, w których podkreśla się, iż skrubery natryskowe zapewniają skuteczność odpylania nie większą niż 90%.

Zależność skuteczności odpylania od stężenia pyłu w spalinach kierowanych do skrubera przedstawiono na rys. 7, a od prędkości spalin w skruberze na rys. 8. Można

zauważyć, że wraz ze zwiększaniem stężenia pyłu w spalinach przed absorberem zwiększa się skuteczność ich odpylania. Prawdopodobnie wynika to z nasilania się wraz ze zwiększaniem stężenia pyłu efektu koagulacji najmniejszych cząstek. Z przebiegu zależności przedstawionych na rys. 7 i 8 można wnioskować, że wraz ze zwiększaniem prędkości spalin w absorberze zmniejsza się skuteczność ich odpylania.

Przebieg zależności na rys. 8 sugeruje, że istotny wpływ na skuteczność odpylania ma wartość pH rozpylanej w absorberze zawiesiny absorpcyjnej (na którą wpływ ma stężenie zawiesiny, a od której zależy jej gęstość i lepkość-parametry decydujące o stopniu rozpylenia zawiesiny).

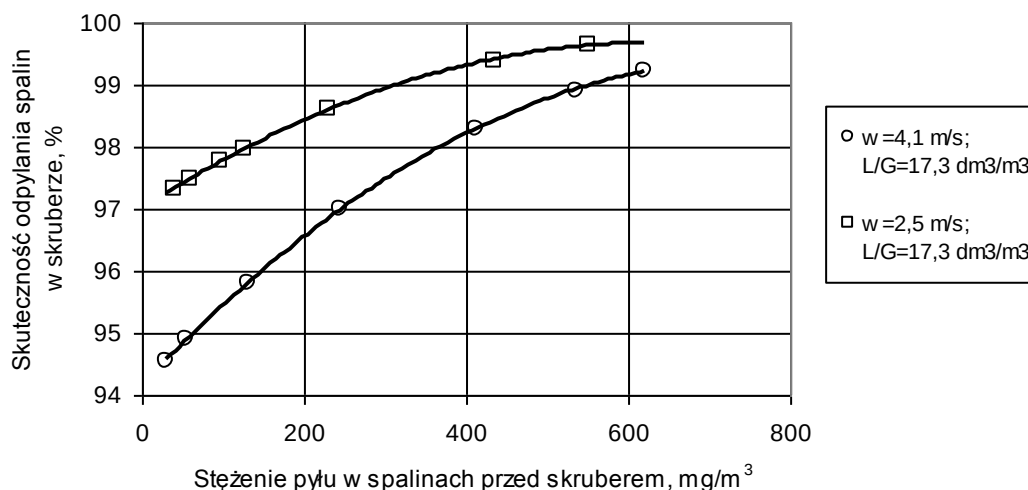
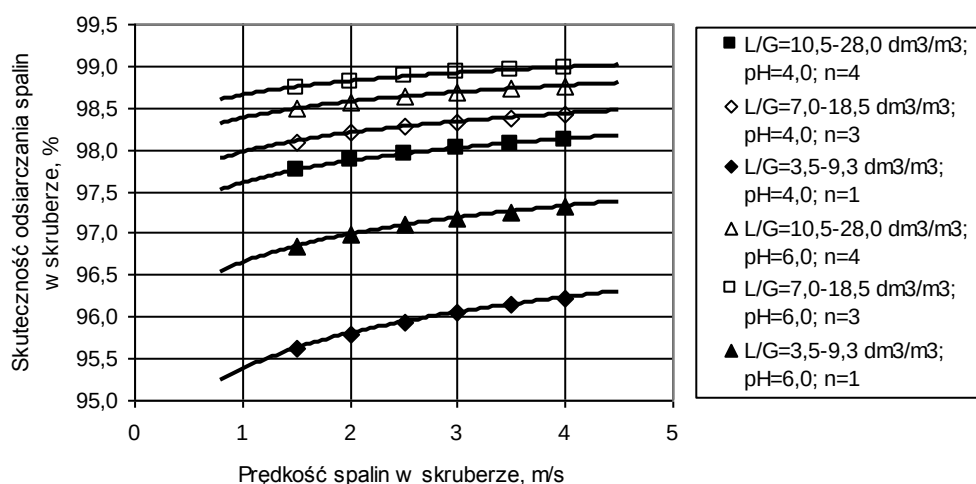


Fig. 7. Zależność skuteczności odpylania od stężenia pyłu w spalinach kierowanych do skrubera

Przebieg zależności skuteczności odpylania spalin w skruberze (rys. 7) zależy od stężenia pyłu w spalinach i prędkości spalin.



Rys. 8. Zależność skuteczności odpylania spalin od ich prędkości w skruberze

Z przebiegu zależności na rys. 8 można wnioskować, że istotny wpływ na skuteczność odpylania, oprócz prędkości spalin w , stosunku L/G i ilości uruchomionych poziomów zraszania w skruberze n , ma wartość pH rozpylanej w absorberze zawiesiny absorpcyjnej, co

może sugerować, a nawet potwierdzać fakt, że wartość pH zawiesiny absorpcyjnej wpływa na rozpuszczanie w niej cząstek pyłu.

Na podstawie wielokrotnej regresji danych otrzymano opisujące skuteczność odpylania spalin w absorberze równanie korelacyjne w postaci

$$\eta_{odp} = 1 - e^{\left[(-1) \cdot w_{sp}^p \cdot (L/G)^q \cdot H^r \cdot n_{p.z}^s \cdot e^{(A \cdot pH + B \cdot C_{1p} + C \cdot \rho_{zaw} + D \cdot T_{2sp})} \right]}$$

gdzie: w_{sp} – prędkość spalin wilgotnych na wylocie z absorbera w warunkach rzeczywistych, m/s,

L/G – stosunek strumienia objętości rozpylanej w absorberze zawiesiny absorpcyjnej do strumienia objętości spalin wilgotnych na wylocie z absorbera (ang.: *liquid to gas ratio*), dm^3/m^3 ,

H – wysokość strefy zraszania spalin w absorberze, m,

$n_{p.z}$ – ilość pracujących poziomów zraszania w absorberze,

pH – wartość pH rozpylanej w absorberze zawiesiny absorpcyjnej,

C_{1p} – stężenie pyłu w spalinach na wlocie do absorbera odniesione do warunków normalnych, mg/m_n^3 wilg.,

ρ_{zaw} – gęstość zawiesiny absorpcyjnej, kg/m^3 ,

T – temperatura spalin przed absorberem, $^{\circ}\text{C}$,

A, B, C, D – stałe,

p, q, r, s – wykładniki potęg.

Ze zrozumiałych względów (zachowanie tajemnicy handlowej, wyniki badań stanowią własność RAFAKO S.A.), występujące w równaniu współczynniki regresji nie mogą być podane.

Maksymalne odchylenie obliczonej skuteczności odpylania od zmierzonej wynosi +2,86 i – 2,37%, a średnie: +0,92 i -0,75%. Świadczy to o bardzo dobrym dopasowaniu równania regresji do rzeczywistych (zmierzonych) skuteczności odpylania spalin w absorberze IOS.

8. Wnioski

Odpylanie spalin kotłowych w krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach nie wyposażonych w instalacje półsuchego lub mokrego odsiarczania spalin prowadzi się tylko w elektrofiltrach (jeden stopień odpylania). Jeśli spaliny kotłowe odsiarcza się metodą półsuchą, spaliny odpyla się najpierw w elektrofiltrach, a następnie w filtrze workowym, umieszczonych za reaktorem procesowym odsiarczania (występują 2 stopnie odpylania suchego), a w przypadku stosowania mokrych metod odsiarczania spaliny odpyla się najpierw w elektrofiltrze, a następnie w absorberze IOS (w 1. stopniu odpylanie suche, w 2. stopniu odpylanie mokre).

W wielu obiektach energoelektrycznych stosowane elektrofiltry są wyeksploatowane i przestarzałej konstrukcji, dlatego charakteryzują się małą skutecznością. Należy je modernizować lub wymieniać na nowe o dużej skuteczności odpylania. W przypadku dwustopniowego odpylania spalin – najpierw w elektrofiltrze a następnie w absorberze IOS, uzyskuje się dużą całkowitą skuteczność odpylania nawet wtedy, gdy elektrofiltr pracuje z małą skutecznością (np. 90%). Wtedy do absorbera IOS przedostaje się duży ładunek pyłu o małych cząstkach, zawierających substancje mineralne w postaci tlenków, przede wszystkim SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 i CaO .

W warunkach kwaśnego odczynu zawiesiny absorpcyjnej w rzepiu rozpuszcza się tylko CaO , natomiast pozostałe tlenki migrują w następujących po sobie procesach odwadniania

gipsu syntetycznego do produktu końcowego- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o zawartości wilgoci do 10%, powodując w mniejszym lub większym stopniu jego zanieczyszczenie. W krańcowym przypadku mogą nadać mu cechy odpadu, a nie produktu nadającego się do gospodarczego wykorzystania.

Mimo, że w składzie granulometrycznym pyłów występujących w spalinach kierowanych do IOS dominują cząstki submikronowe (tabela 6, frakcja nr 1), w absorberze są one wydzielane ze spalin z dużą skutecznością (93%). Dzieje się to nie w wyniku działania siły inercji cząstek zmierzających do kropeł cieczy (jest ona istotna dla cząstek o rozmiarach większych od $1\ \mu\text{m}$) i nie w wyniku działania efektu zaczepienia cząstek na kropłach, lecz w wyniku dyfuzyjnego wydzielania cząstek na pojedynczych kropłach wskutek dyfuzyjnych ruchów Browna, termo- i dyfuzjoforezy oraz kondensacji pary wodnej na cząstkach aerozolowych, prowadzącej do zwiększenia ich rozmiarów (cząstki aerozolowe są zarodkami kondensacji) [7].

Kondensacja pary wodnej w absorberze IOS zachodzi w wyniku odprowadzenia ciepła z układu aerozolowego oraz konwersji energii wewnętrznej układu w inną postać energii, czyli: rozprężenia adiabatycznego spalin w absorberze w wyniku zmniejszenia prędkości spalin w absorberze przez zwiększenie przekroju przepływowego po wlocie spalin do absorbera oraz zmniejszenia w absorberze strumienia objętości spalin w wyniku adiabatycznego ich schłodzenia podczas kontaktu z cieczą absorpcyjną.

Opracowane równanie korelacyjne pozwala z dużą dokładnością określać skuteczność odpylania spalin w absorberze IOS dla wielu parametrów zmiennych występujących podczas procesu odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną

Literatura

1. Antes T., Nycz R.: Wpływ instalacji odsiarczania spalin na pracę instalacji odpylających. Mat. konf.: Technologie odsiarczania spalin. Słok k. Bełchatowa, 10-11 marca 2005.
2. Kurowski J., Laudyn D., Przekwas M.: Energetyka a ochrona środowiska. Wyd. II zmienione i rozszerzone, WNT, Warszawa 1993.
3. Ratajczak T., Gawel A. i in.: Charakterystyka popiołów lotnych ze spalania niektórych węgla kamiennych i brunatnych. W: Masy popiołowo-mineralne i ich wykorzystanie w górnictwie węglowym. Polskie Towarzystwo Mineralogiczne, Prace Specjalne, 1999, z. 13.
4. Friedlander S.K.: Smoke, Dust and Haze. Fundamentals of Aerosol Behavior. London. J. Wiley 1977.
5. Lancaster B.W., Strauss W.: Condensation Effect in Scrubber. Air Pollution Control. Part 1, Ed. W. Strauss, N.Y. J. Wiley and Sons 1971.
6. Shaw D.T.: Fundamentals of Aerosol Science. Ed. Shaw D.T., New York, J. Wiley, 1978
7. Goldsmith P., May F.G.: Aerosol Science. Part VII, ed. C.N. Davies. Academic Press, New York 1966.