

Janusz Dąbrowski • Tomasz Dąbrowski • Tadeusz Piecuch

LABORATORYJNE BADANIA NAD SKUTECZNOŚCIĄ ODSIARCZANIA SPALIN METODĄ WAPNIOWĄ

Janusz Dąbrowski, dr inż. – Politechnika Koszalińska
Tomasz Dąbrowski, dr inż. – Politechnika Koszalińska
Tadeusz Piecuch, prof. dr hab. inż. – Politechnika Koszalińska

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin
e-mail: janusz.dabrowski@tu.koszalin.pl

LABORATORY STUDIES ON THE EFFICIENCY OF FLUE GAS DESULPHURISATION (FGD) USING CALCIUM HYDROXIDE

SUMMARY: Legal restrictions concerning emission of harmful gases into the atmosphere are causing necessity of building installations which reduce concentration of those gases. The paper presents results of experimental research in the laboratory scale on the removal of sulphur dioxide from the flue gas using lime method. This method consists in passing up, with counter flow direction of phases flux, the flue gas stream through a solution of calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$. As a result of this process a waste gypsum is precipitated. Experiments were conducted using a installation designed and made in the Department of Water Sludge Technology and Waste Utilisation of Koszalin University of Technology. During experiments effectiveness of the sulphur oxide (IV) removal was tested using following variable parameters: density of absorbent solution spraying, height of the scrubber, the indicator defying dependencies of volume fluxes of absorptional liquid and treated gas and flue gas temperature. Those parameters were changing in given ranges. Finally examined process was described by a approximation equation. Analysis of changes of process parameters and their impact on emissions of SO_2 , allowed to confirm the fact that the biggest advantage of this method is very high efficiency sulphur dioxide removal from flue gas. During laboratory tests, the maximum efficiency reached was 97%, at the optimal flue gas temperature of about 400 K.

KEY WORDS: Thermal Utilization of Waste, Limestone, Sulphur Dioxide, Flue Gas Desulphurisation

Wstęp

Postęp cywilizacyjny jest przyczyną tego, że obecnie jednym z najważniejszych problemów człowieka jest ochrona środowiska naturalnego. W celu ograniczenia negatywnego wpływu przemysłu na środowisko emisje szkodliwych związków do atmosfery zostały objęte ograniczeniami prawnymi¹. Stąd konieczność budowania instalacji redukujących stężenia gazów spalinowych. Wśród zanieczyszczeń znajdujących się w spalinach wyróżnia się między innymi produkty spalania spowodowane obecnością w paliwach innych substancji – na przykład tlenki siarki².

W przypadku odsiarczania gazów spalinowych najlepszą metodą wiązania występującego w spalinach tlenku siarki (IV) jest metoda polegająca na przepuszczaniu strugi spalin przez roztwór wodorotlenku wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$. W wyniku takiego zadziałania wytraca się gips, niestety – w formie zawiesiny (taka zawiesina jest trudno transportowalna i łatwo zatyka przewody, stwarzając poważne kłopoty eksploatacyjne³). Stechiometryczne zużycie wodorotlenku wapnia do reakcji z tlenkiem siarki (IV) daje relatywnie, minimalną ilość powstałego gipsu odpadowego⁴.

Kontakt gazów odlotowych zawierających zanieczyszczenia gazowe i pyłowe z cieczą zachodzi w aparatach zwanych skrubkami. Różnią się one rozwiązaniami konstrukcyjnymi – różne są powierzchnie kontaktu międzyfazowego gaz-ciecz. Spośród skrubek wyróżnia się aparaty natryskowe, których zastosowanie w technologiach oczyszczania gazów odlotowych jest bardzo wszechstronne. Stosuje się je między innymi w procesach odpylania gazów, absorpcji szkodliwych dla środowiska naturalnego składników gazów odlotowych, wstępnego schładzania i nawilżania gazów odlotowych przed ich oczyszczeniem. Stosowane w instalacjach skrubki natryskowe to przede wszystkim aparaty pionowe o przeciuprądowym lub współprądowym przepływie faz. Rzadziej, ze względu na ograniczenia gabarytowe, stosuje się poziome skrubki natryskowe⁵.

¹ J. Hehlmann i in., *Aparat hybrydowy ze złożem ziarnistym w instalacji spalania odpadów*, „Annual Set The Environment Protection” 2009 t. 11; R. Krzyżyńska i in., *Bench- and Pilot-scale Investigation of Integrated Removal of Sulphur Dioxide, Nitrogen Oxides and Mercury in a Wet Limestone Scrubber*, „Annual Set The Environment Protection” 2011 t. 13.

² W. Kordylewski i in., *Spalanie i paliwa*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008; A. Kowalewicz, *Podstawy procesów spalania*, Wyd. WNT, Warszawa 2000; T. Piecuch i in., *Analiza pracy spalarni odpadów Szpitala Wojewódzkiego w Koszalinie – spaliny, ścieki, wtórny odpad*, „Annual Set The Environment Protection” 2003 t. 5; T. Piecuch, B. Juraszka, L. Dąbek, *Spalanie i piroliza odpadów oraz ochrona powietrza przed szkodliwymi składnikami spalin*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2002; T. Piecuch, *Zarys metod termicznej utylizacji odpadów*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2006; E. Vainio i in., *The fate of chlorine, sulfur, and potassium during co-combustion of bark, sludge, and solid recovered fuel in an industrial scale BFB boiler*, „Fuel Processing Technology” 2013 t. 105.

³ X. Ma i in., *Use of limestone for SO_2 removal from flue gas in the semidry FGD process with a powder-particle spouted bed*, „Chemical Engineering Science” 2000 t. 55, nr 20; T. Piecuch, *Zarys metod...*, op.cit.

⁴ J. Kuroпка, *Oczyszczanie gazów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000; J. Warych, *Oczyszczanie gazów. Procesy i aparatura*, Wyd. WNT, Warszawa 1998.

⁵ J. Kuroпка, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.; J. Wójcik i in., *Nowoczesne metody monitoringu i sterowania procesem spalania paliw stałych w celu zmniejszenia jego oddziaływania na środowisko naturalne*

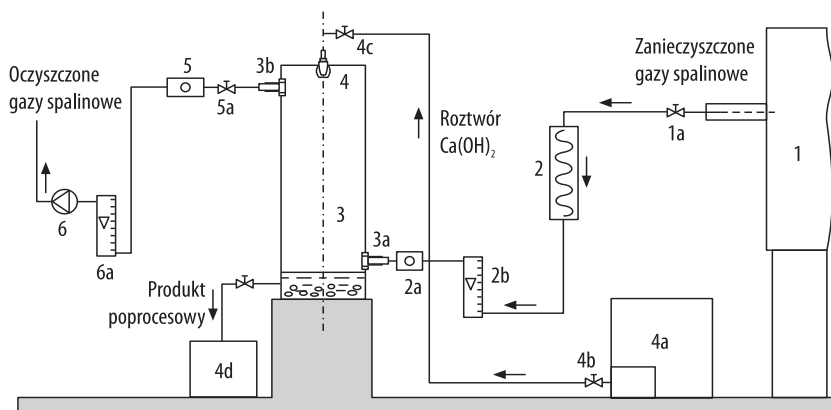
W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych nad skutecznością odsiarczania spalin metodą wapniową. Badania realizowane były przy użyciu instalacji zaprojektowanej w Katedrze Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów Politechniki Koszalińskiej.

Opis stanowiska badawczego

Do przeprowadzenia badań skuteczności usuwania tlenku siarki (IV) SO_2 metodą wapniową służyła instalacja badawcza przedstawiona schematycznie na rysunku 1. W skład instalacji wchodziły układy: absorpcyjny, chłodzenia spalin na wylocie z reaktora pieca, gdyż proces odsiarczania spalin badaną metodą powinien przebiegać w niskich temperaturach⁶, przygotowania i transportu wodnego roztworu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oraz układu pomiarowego stężeń SO_2 w oczyszczonych gazach spalinowych.

Gazy spalinowe powstałe po procesie spalania w piecu (1), zanieczyszczone tlenkiem siarki (IV), poprzez zawór (1a), po uprzednim ochłodzeniu do odp-

Rysunek 1
Schemat stanowiska badawczego do procesu odsiarczania spalin metodą wapniową



1 – piec rurowy (1a – zawór regulujący przepływ gazów spalinowych), 2 – układ chłodzący gazy spalinowe (2a – punkt pomiaru temperatury spalin, 2b – rotometr mierzący przepływ ochłodzonych spalin), 3 – skrubler (3a – króciec wlotowy, 3b – króciec wylotowy), 4 – układ rozpylający ciecz absorpcyjną (4a – zbiornik cieczy absorpcyjnej, 4b, 4c – zawory regulujące przepływ cieczy absorpcyjnej, 4d – zbiornik produktu poprocesowego), 5 – miejsce pomiarowe stężeń tlenku siarki (IV) (5a – zawór regulujący przepływ oczyszczonych gazów spalinowych), 6 – pompuka przeponowa (6a – rotometr mierzący przepływ oczyszczonych gazów spalinowych)

Źródło: opracowanie własne.

ne, „Annual Set The Environment Protection” 2011 t. 13; J. Warych, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.

⁶ J. Kuroпка, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.; L. Chiung-Fang i in., *Kinetics...*, op.cit.; J. Warych, *Oczyszczanie gazów. Procesy i aparatura*, Wyd. WNT, Warszawa 1998.

wiedniej temperatury (regulowanej czasem przebywania spalin w układzie chłodzącym (2) i mierzonej za pomocą termopary w punkcie pomiaru tej temperatury (2a)) kontaktowały się w skruberze natryskowym (3) z rozpylonym za pomocą rozpylacza (4) nasyconym (0,17%) wodnym roztworem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ze zbiornika (4a). Przepływ spalin do skrubera króćcem wlotowym (3a) mierzony był przy pomocy rotametu stołowego ROS-06 (2b). Ciecz ze skrubera odpływała grawitacyjnie do zbiornika (4d). Kierunek przepływu faz w skruberze był przeciwwpływowy. Strumień objętości rozpylanej cieczy absorpcyjnej ustalano, korzystając z zaworów (4b, 4c).

Odsiarczone gazy spalinowe, opuszczające skruber jego górnym króćcem wylotowym (3b) poprzez zawór (5a), analizowane były poprzez oznaczanie w nich stężenia SO_2 . W punkcie pomiarowym (5) umieszczana była sonda analizatora spalin mierzącego wartości tych stężeń. Przepływ spalin ze skrubera (3) regulowany pompką przeponową (6) mierzony był przy pomocy rotametu stołowego ROS-06 (6a). Strumień gazów spalinowych wydostający się z reaktora pieca poddawany był analizie przy użyciu analizatora spalin typu MADUR GA-21 plus. Dla możliwości porównywania wyników wszystkie spośród rejestrowanych stężeń szkodliwych gazów spalinowych przeliczano na standardowe warunki umowne spalania przy zawartości 11% O_2 w spalinach.

Metodyka badań

W laboratoryjnych badaniach procesu odsiarczania spalin metodą wapniową jako parametry niezależne (zmiennie) przyjęto: $L_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$, $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ – gęstość zraszania roztworem absorpcyjnym $\text{Ca}(\text{OH})_2$, wynikająca z zależności

$$L_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{\dot{V}_c}{A}, \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1},$$

gdzie:

\dot{V}_c – strumień objętości cieczy absorpcyjnej, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, A – powierzchnia przekroju absorbera, m^2 . Pomiar strumienia objętości cieczy absorpcyjnej (objętościowego natężenia przepływu cieczy absorpcyjnej) regulowano odpowiednimi zaworami w zraszaczu i został wycechowany za pomocą cylindra miarowego i czasomierza. Ilość cieczy zraszającej była odnoszona do powierzchni przekroju kolumny absorbera i ostatecznie oznaczana jako gęstość zraszania $L_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$. W układzie stanowiska badań procesu odsiarczania spalin metodą wapniową instalowano kilka kolumn skrubera o różnych powierzchniach przekroju i gęstość zraszania roztworem absorpcyjnym oznaczano przy stałym strumieniu jego objętości. Wartości tego parametru zmieniano w zakresie: $0,61 \cdot 10^{-4}$ – $2,40 \cdot 10^{-4}$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

H_{skr} m – wysokość skrubera, którego zmienność wynikała z tego, że w układzie stanowiska badawczego zmieniano kolumny skrubera o różnych wysokościach (w przypadku badań ze zmiennym parametrem gęstości zraszania dodatkowo zmieniano powierzchnie przekroju tych kolumn). Opisywany parametr zmieniano w zakresie: 0,12–0,28 m.

$L/G, \text{dm}^3/\text{m}^3$ – wskaźnik ilustrujący zależności strumieni objętościowych cieczy (L) absorpcyjnej, dm^3 i gazu (G) oczyszczanego, m^3 . Jest to parametr często spotykany w literaturze opisującej przepływy strumieni cieczy i gazu

(ich przenikania)⁷; spotyka się też formułę $\frac{\dot{V}_L}{\dot{V}_G}$ ⁸. Wartości tego parametru zmieniano w zakresie: 2,2–2,9 dm^3/m^3 .

T_s, K – temperatura spalin mierzona w punkcie wlotu zanieczyszczonych gazów spalinowych do skrubera natryskowego. Parametr ten zmieniano w zakresie: 398,15–413,15 K.

Natomiast parametrem zależnym (wynikowym) w tych badaniach była $\eta_{\text{SO}_2}, \%$ – skuteczność usuwania tlenku siarki (IV) SO_2 , wynikająca z zależności:

$$\eta = \frac{C_{\text{SO}_2}^0 - C_{\text{SO}_2}}{C_{\text{SO}_2}^0} \cdot 100\%$$

gdzie:

$C_{\text{SO}_2}^0, C_{\text{SO}_2}$ – oznaczają odpowiednio stężenie SO_2 w gazach spalinowych na wlocie do absorbera i w ostatnim punkcie pomiarowym (w gazach opuszczających skrubler).

Badania oczyszczania spalin ww. metodą prowadzono przy następujących, stałych parametrach spalania klasycznego paliwa (węgiel kamienny): temperatura w strefie spalania pieca $T = 1373,15 \text{ K}$, współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda = 1,8$, wskaźnik masy materiału (paliwa) $m = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Próby spalano w piecu PRC 20 HM. Jest to laboratoryjny jednostrefowy piec rurowy z poziomym układem grzejnym o maksymalnej temperaturze pracy ciągłej równej 1473 K. Proces spalania przeprowadzany był w atmosferze powietrza, które doprowadzono do układu pompką przeponową poprzez rotametr stołowy ROS-06 mierzący natężenie przepływu powietrza w zakresie 0,5–8,5 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Stałe wartości temperatury w strefie spalania pieca, współczynnika nadmiaru powietrza i masy próby określono na podstawie wcześniejszych badań procesu spalania różnych paliw (między innymi odpadów, osadów ściekowych i miazgu węglowego przy zastosowaniu tego samego stanowiska) i analiz wpływu zmian tych parametrów na stężenie tlenku siarki (IV) w gazach spalinowych⁹. Badania spalania węgla kamiennego prowadzono przy zmianie temperatury spalania w zakresie 873,15–1443,15 K oraz wobec wystarczającej ilości powietrza w ko-

⁷ Porównaj między innymi: B. Dou i in., *Prediction of SO_2 removal efficiency for wet Flue Gas Desulfurization*, „Energy Conversion and Management” 2009 t.50, nr 10; J. Kuroпка, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.; H.G., Nygaard i in., *Full-scale measurements of SO_2 gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber*, „Fuel” 2004 t. 83, nr 9.

⁸ J. Warych, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.

⁹ J. Dąbrowski, T. Piecuch, *Mathematical Description of Combustion Process of Selected Groups of Waste*, „Annual Set The Environment Protection” 2011 t. 13; T. Piecuch, J. Dąbrowski, T. Dąbrowski, *Laboratory Investigations on Possibility of Thermal Utilisation of Post-production Waste Polyester*, „Annual Set The Environment Protection” 2009 t. 11.

morze spalania (współczynnik nadmiaru powietrza wynosił 1,3-2,0). Dodatkowo zmieniano masę próby – wskaźnik masy materiału wynosił: 1,2-3,6. Wzrost temperatury spalania powodował wzrost stężenia ditlenku siarki w gazach spalinowych, natomiast analiza zmian wartości stężeń tlenu siarki (IV) w zależności od wartości współczynnika nadmiaru powietrza (przy stałych wartościach temperatury w komorze spalania i stałej masie wsadu paliwa do tej komory), wskazywała jednoznacznie nieznaczny spadek stężeń tlenu siarki (IV).

Ostatecznie zaobserwowano (przy temperaturze w strefie spalania pieca $T = 1373,15 \text{ K}$, współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda = 1,8$ i wskaźniku masy paliwa $m = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) średnią wartość stężenia SO_2 wynoszącą $C_{\text{SO}_2}^0 = 125 \text{ mg/m}^3$ i przy takim stężeniu ditlenku siarki w gazach spalinowych na wlocie do absorbera realizowano laboratoryjne badania procesu odsiarczania spalin metodą wapniową.

Opis i analiza wyników badań

Przykładowe wyniki badań wpływu gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym, wysokości skrubera, temperatury spalin, ilorazu L/G na skuteczność odsiarczania spalin metodą wapniową pokazano na rysunku 2. Otrzymane wyniki opracowano metodą estymacji nieliniowej quasi-Newtona z zastosowaniem aplikacji STATISTICA 10. Ostateczne równanie aproksymacyjne opisujące ten proces przyjęło następującą postać:

$$\eta_{\text{SO}_2}(L_{\text{Ca(OH)}_2}, H_{\text{skr}}, L/G, T_s) = 167,8 + 8,9 \cdot \ln(0,4 \cdot 10^{-4} + L) + 15,4 \cdot \ln(0,5 + H_{\text{skr}}) + 2,9 \cdot \ln(-1,9 + L/G) + 4,2 \cdot \ln(-387,7 + T_s), \quad (1)$$

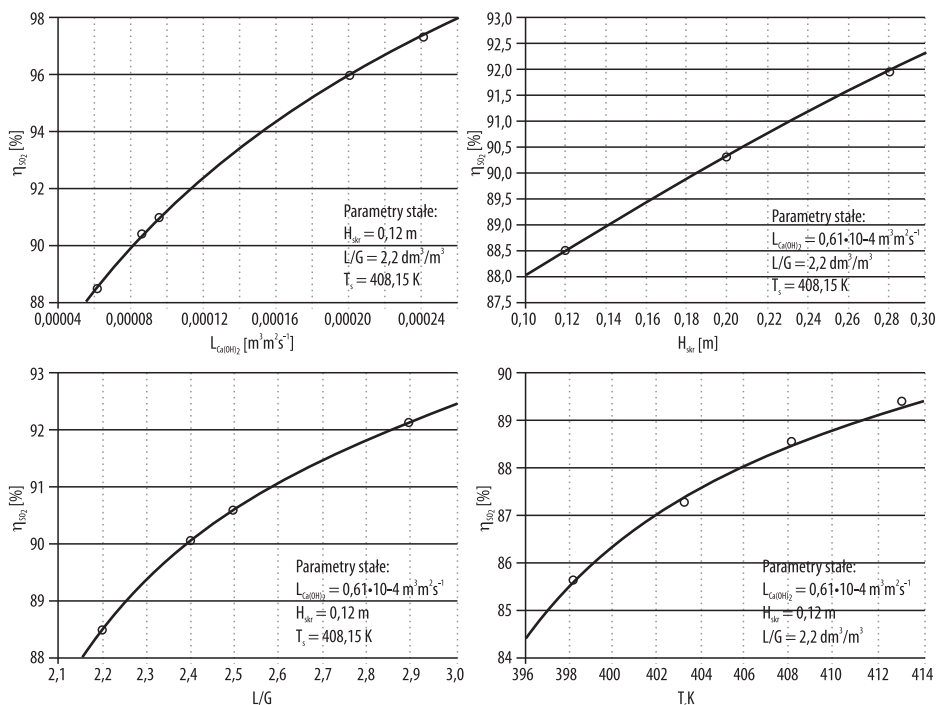
gdzie:

- η_{SO_2} – skuteczność usuwania tlenu siarki (IV), %
- $L_{\text{Ca(OH)}_2}$ – gęstość zraszania roztworem absorpcyjnym, $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,
- H_{skr} – wysokość skrubera, m – wielkość niezależna,
- L/G – iloraz natężenia przepływu roztworu absorpcyjnego i natężenia przepływu spalin, dm^3/m^3 ,
- T_s – temperatura spalin, K.

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów: $L_{\text{Ca(OH)}_2} \in 6,1e^{-5} - 2,4e^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$; $H_{\text{skr}} \in 0,12 - 0,28 \text{ m}$; $L/G \in 2,2 - 2,9$; $T_s \in 398,15 - 413,15 \text{ K}$. Równanie poddano weryfikacji poprzez uzyskanie zależności między zmierzoną i obliczoną skutecznością odsiarczania spalin. Współczynnik przeprowadzonej regresji wielorakiej wyniósł $R = 0,912$.

Analiza wyników wpływu zmian gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym na skuteczność usuwania tlenu siarki (IV) w badanym procesie odsiarczania spalin wskazuje, że wraz ze wzrostem gęstości zraszania obniża się wartość stężenia SO_2 w spalinach opuszczających absorber (wzrasta skuteczność ich oczyszczania z tlenu siarki (IV)). Badania przeprowadzono przy stałej wysokości skrubera i przepływu gazów spalinowych oraz ich stałej temperaturze. Dla wartości gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym $L_{\text{Ca(OH)}_2}$ wynoszącym

Rysunek 2
Wpływ zmian gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym, wysokości skrubera, temperatury spalin, ilorazu L/G na skuteczność odsiarczania spalin metodą wapieniową



Źródło: opracowanie własne.

$0,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ określono skuteczność odsiarczania równą około 89%, podczas gdy 4-krotny wzrost wartości tego parametru zwiększa skuteczność odsiarczania do ponad 97%. Zwiększenie skuteczności oczyszczania gazów spalinyowych z tlenku siarki (IV) powodowane jest wzrostem powierzchni kontaktu fazy gazowej i stałej (w absorberach natryskowych jest ona proporcjonalna do gęstości zraszania). Na podstawie kształtu krzywej przedstawionej na rysunku 2 można przypuszczać, że dalsze zwiększenie gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym $L_{Ca(OH)_2}$ może poprawić skuteczności odsiarczania, ale w bardzo małym stopniu (maksymalnie do 98% skuteczności). Potwierdzają to literaturowe spostrzeżenia na temat bardzo wysokiej skuteczności odsiarczania metody wapieniowej¹⁰.

Analiza wyników badań wpływu zmian wysokości skrubera na skuteczność usuwania tlenku siarki (IV) w procesie odsiarczania spalin metodą wapieniową wykazała, że wraz z wydłużaniem drogi kontaktu zanieczyszczonych gazów spalinyowych z cieczą absorpcyjną rosła wartość skuteczności oczyszczania spalin z

¹⁰ B. Dou i in., *Prediction...*, op.cit.; J. Hehlmann i in., *Aparat hybrydowy ze złożem ziarnistym w instalacji spalania odpadów*, „Annual Set The Environment Protection” 2009 t. 11; J. Kuroпка, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.; J. Warych, *Oczyszczanie gazów...*, op. cit.

ditlenku siarki. Prawie 2,5-krotne zwiększenie wysokości absorbera powodowało wzrost skuteczności z około 89% do około 92%. Liniowy charakter krzywej zależności przedstawionych na rysunku 2 wskazuje na to, że w badanym zakresie zmian H_{skr} skuteczność usuwania tlenku siarki (IV) ze spalin jest stała i dalsze zwiększanie wysokości skrubera natryskowego może poprawić efekt oczyszczania spalin. Badania przeprowadzono przy stałej gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym i przepływu gazów spalinowych oraz ich stałej temperaturze.

Wpływ ilorazu L/G, a więc zależności objętościowych przepływów cieczy absorpcyjnej i gazów spalinowych (im mniejszy przepływ spalin, tym większy iloraz L/G), sprowadzał się do zależności wpływu strumienia spalin na skuteczność odsiarczania. Badania przeprowadzono przy stałej gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym i wysokości skrubera natryskowego oraz stałej temperaturze gazów spalinowych. Analiza tych wyników wskazuje na wzrost efektywności oczyszczania gazów spalinowych tlenku siarki (IV) wraz ze wzrostem ilorazu L/G. Im wolniejszy jest przepływ gazów spalinowych, tym dłuższy czas kontaktu fazy ciekłej i gazowej, a co za tym idzie, możliwość zwiększenia ilości cząsteczek gazu dyfundujących do cieczy absorpcyjnej. Kształt krzywej pozwala przepuszczać, że dalsze zmniejszanie przepływu gazów spalinowych może tylko w niewielkim stopniu poprawić skuteczność odsiarczania spalin (prawdopodobnie do około 93% skuteczności).

Na stan równowagi w układzie absorpcyjnym gaz–ciecz dodatkowo ma wpływ temperatura procesu, regulowana temperaturą gazów spalinowych. Badania wpływu temperatury spalin T_s przeprowadzono przy stałej gęstości zraszania roztworem cieczy absorpcyjnej i wysokości skrubera natryskowego oraz stałym ilorazie L/G. Na podstawie analizy wyników można stwierdzić niewielki wzrost skuteczności odsiarczania – z wartości około 86% przy temperaturze spalin równej 398,15 K do stosunkowo niskiej wartości około 89% skuteczności odsiarczania przy temperaturze 413,15 K. Logarytmiczny charakter krzywej pozwala sądzić, że dalszy wzrost temperatury spalin nie spowoduje istotnej zmiany skuteczności procesu oczyszczania tych spalin z tlenku siarki (IV). Optymalną temperaturą procesu odsiarczania w przypadku metody wapniowej wydaje się temperatura spalin około 410,15 K.

W przypadku takich warunków temperaturowych dalszego wzrostu skuteczności odsiarczania spalin należy szukać w możliwościach zmian gęstości zraszania roztworem absorpcyjnym, gdyż właśnie ten parametr ma największy wpływ na polepszenie usuwania SO_2 z gazów spalinowych.

Wnioski

Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły możliwość uzyskania wysokiej skuteczności procesu odsiarczania spalin metodą wapniową. Wzrost wartości gęstości zraszania roztworem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w badanym przedziale powodował zwiększenie skuteczności procesu do wysokiej wartości 97%, podczas gdy wzrost tej skuteczności do wartości 93% był wynikiem zwiększenia wysokości skrubera oraz zmniejszenia przepływu gazów spalinowych w badanym zakresie.

Optymalną temperaturą procesu odsiarczania metodą wapniową w przypadku opisanej w pracy instalacji jest temperatura spalin około 400 K.

Proces odsiarczania spalin metodą wapniową można opisać równaniem analityczno-empirycznym, które może znaleźć zastosowanie przy projektowaniu instalacji oczyszczania gazów spalinowych w typowych węzłach technologicznych spalarni odpadów komunalnych.

Badania laboratoryjne z zastosowaniem zaproponowanej instalacji powinny być kontynuowane w zakresie możliwości zmian parametrów charakteryzujących roztwór absorpcyjny (na przykład gęstość, wartość pH).