

Janusz Dąbrowski, Tadeusz Piecuch

BADANIA LABORATORYJNE NAD MOŻLIWOŚCIĄ WSPÓŁSPALANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH WRAZ Z ODPADAMI GUMOWYMI

Streszczenie. W publikacji przedstawiono wyniki badań nad możliwością termicznego przekształcania mieszanek odpadów gumowych z osadami ściekowymi, jako możliwość utylizacji zarówno odpadów, jak i osadów ściekowych.

Zmiany parametrów procesowych, dotyczących zarówno warunków spalania, jak i współspalania osadów ściekowych i odpadów gumowych, i ich wpływ na emisję zanieczyszczeń (SO_2 , NO_x , CO), pozwoliły stwierdzić fakt, wzrost temperatury spalania poprawia jakość spalania, zmniejszając stężenia tlenu węgla(II) ale jednocześnie zwiększa emisję tlenu siarki(IV) oraz tlenków azotu NO_x . Wzrost zawartości tlenu wraz z powietrzem dostarczanym do komory spalania powoduje znaczną obniżkę stężenia tlenu węgla(II) i dużo mniejszą obniżkę tlenu siarki(IV), przy równoczesnym wzroście emisji tlenków azotu NO_x . Zależności te zaobserwowano dla wszystkich badanych materiałów.

Analiza właściwości energetycznych mieszanek osadów ściekowych i odpadów gumowych oraz badań warunków spalania tych mieszanek wykazała, że maksymalna wartość udziału tych osadów w mieszance paliwowej nie powinna przekraczać 10%.

Słowa kluczowe: odpady gumowe, osady ściekowe, termiczna utylizacja, współspalanie.

WPROWADZENIE

Unieszkodliwianie rosnących ilości osadów ściekowych może być realizowane poprzez termiczne przekształcanie, w tym głównie współspalanie [1]. Jednakże, ze względu na niską wartość opałową osadów ściekowych, nie jest możliwe spalanie bez konieczności dodawania ich do paliw [3, 4].

Istotne miejsce wśród odpadów przemysłowych zajmują odpady gumowe. Największym problemem są zużyte opony, których łączny tonaż rocznej produkcji to około 22 mln t, co stanowi 60÷70% światowej produkcji przemysłu gumowego. Guma jest produktem wulkanizacji kauczuku naturalnego lub syntetycznego, polegającego na usieciowaniu za pomocą atomów siarki, tworząc trójwymiarową sieć makrocząsteczek poliizoprenu połączonych atomami siarki. Guma z kauczuku naturalnego otrzymywana jest z dodatkiem 1÷5% siarki wobec przyspieszaczy, ponadto zawiera zmiękczacze, napełniacze, barwniki i inne dodatki [2, 13, 15].

Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów Politechniki Koszalińskiej od wielu lat zajmuje się problematyką termicznej utylizacji odpadów [6÷12]. Badania w Katedrze prowadzone są nad wieloma grupami odpadów, m.in. osadami ściekowymi. Prowadzone są też badania ukierunkowane na proces współspalania osadów ściekowych w mieszankach z innymi rodzajami odpadów.

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki badań nad możliwością termicznego przekształcania mieszanek osadów ściekowych wraz z odpadami gumowymi, przeprowadzonych przy użyciu laboratoryjnej instalacji badawczej.

METODYKA BADAŃ

Materiały użyte do badań

Do badań procesu spalania i współspalania z ww. odpadami gumowymi poddano komunalne osady ściekowe, pobrane z Oczyszczalni Ścieków „Jamno”, która jest obiektem eksploatowanym przez Spółkę z o.o. Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Koszalinie. Przyjmuje ona do oczyszczenia ścieki dopływające z miasta Koszalina, wsi Jamno, Mścice, gminy Świeszyno oraz ścieki dowożone taborem asenizacyjnym. Natomiast, jako materiały odpadowe gumowe użyto zużyte opony samochodowe, które są odpadem wielomateriałowym. Dlatego do badań wyodrębniono wyłącznie warstwę gumy, którą jest naturalny lub sztuczny, wulkanizowany kauczuk. Następnie odpad został rozdrobniony do wielkości miazgi gumowej (około 1 mm).

Uwodnione osady ściekowe charakteryzowały się wysoką zawartością wilgoci (ponad 60%), która mogła wpływać negatywnie na efektywność procesu spalania (wartości opałowe osadów ściekowych maleją wraz ze wzrostem uwodnienia). Dlatego też, osady zostały wysuszone do uzyskania wilgotności około 10% i następnie rozdrobnione do wielkości ziaren około 1 mm, w celu ujednoczenia wielkości ziaren osadów z rozmiarem ziaren materiałów gumowych użytych do badań. Ułatwia to dozowanie i mieszanie osadów z innymi paliwami w procesie współspalania.

Odpady gumowe (zużyte opony samochodowe) charakteryzują się bardzo wysoką wartością opałową, przewyższającą nawet własności energetyczne węgla kamiennego (paliwa klasycznego). Badany odpad posiadał też znacznie wyższą zawartość części lotnych. Dodatkowo jednak, jak podają autorzy pozycji literaturowych, zauważa się podwyższone wartości siarki i azotu jako pierwiastków paliwowych tych odpadów. Wg Mianowskiego [5] wartości siarki w gumach mogą sięgać nawet wartości 1,2÷1,8%, natomiast wg Skalmowskiego, opony zawierają 1,3÷2,2% S i około 0,2% Cl [14]. Zmniejsza to walory odpadów gumowych jako surowca do spalania lub współspalania energetycznego. Wyjaśnia to fakt, że opony w piecach cementowni stanowią jednak tylko 10÷20% ogółu spalanego paliwa.

Zakres badań

Zakres badań obejmował dwa etapy:

1. badania procesu spalania osadów ściekowych i odpadów gumowych,
2. badania procesu współspalania mieszanek osadów ściekowych i odpadów gumowych w wybranych proporcjach masowych.

W badaniach procesu spalania paliw użytych do badań, jako parametry niezależne (zmienne) przyjęto:

T – temperatura w strefie spalania pieca, K,

λ – współczynnik nadmiaru powietrza, – parametr określany jako iloraz ilości powietrza dostarczona do spalania i ilości powietrza teoretycznie potrzebna do spalania,

m – wskaźnik masy materiału, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ – parametr określający wielkość próbki badanego paliwa jako wsadu do pieca, w odniesieniu do objętości komory spalania tego pieca.

W pierwszej serii badań procesu spalania, parametrami niezależnymi na poziomie stałym zostały przyjęte: $\lambda = 1,8$ oraz $m = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Parametr T został przyjęty jako zmienny parametr niezależny, który zmieniano w zakresie: $873,15 \div 1443,15 \text{K}$, zwiększając go co 100K . W kolejnej serii tych badań, parametrami niezależnymi na poziomie stałym zostały przyjęte: $T = 1273,15 \text{K}$ i $m = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Drugi rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. λ , zmieniano w przedziale: $1,3 \div 2,0$. W trzeciej serii badań procesu spalania, parametrami niezależnymi stałymi na poziomie stałym zostały przyjęte: $T = 1273,15 \text{K}$ i $\lambda = 1,8$. W serii tej zmieniano parametr m , którego wartości wynosiły: $1,2, 2,4$ i $3,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

W badaniach procesu współspalania paliw użytych do badań, jako parametry niezależne (zmienne) przyjęto:

U – udział masowy osadów ściekowych w mieszance paliwowej, %.

λ – współczynnik nadmiaru powietrza,

T – temperatura w strefie spalania pieca, K

W pierwszej serii badań własnych procesu współspalania, jako parametry niezależne na poziomie stałym zostały przyjęte: $\lambda = 1,8$ i $T = 1273,15 \text{K}$. Parametr U został przyjęty jako zmienny parametr niezależny, który zmieniano w zakresie $0 \div 50\%$. Zakres ten został określony po przeprowadzeniu serii badań i analizie właściwości energetycznych mieszanek paliwowych z udziałem osadów ściekowych. Zmiany wartości ciepła spalania w zależności od udziału osadów ściekowych w mieszankach paliwowych użytych do badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zmiany wartości ciepła spalania mieszanki odpadów gumowych i osadów ściekowych w zależności od procentowego udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej**Table 1.** Changes of calorific value of mixtures of waste rubber and sewage sludge depending on percentage share of sewage sludge in the mixture

Udział osadów ściekowych w mieszance U, %	Ciepło spalania Q _s , MJ/kg	Obniżka wartości Q _s ΔQ _s , %
0	31,80	0,00
25	30,52	4,03
40	25,78	18,93
50	21,52	32,33
75	16,34	48,62
100	13,57	57,33

Analiza wyników tego etapu badań pozwala stwierdzić, że wraz ze wzrostem udziału osadów ściekowych w mieszance spadała wartość ciepła spalania mieszanek paliwowych. Spadek w całym zakresie był stały, osiągając ponad 50% przy 100% udziale osadów ściekowych. Analiza tych wyników pozwala również zauważyć, że maksymalny udział osadów ściekowych w mieszance paliwowej nie powinien przekraczać 50%; to pozwala utrzymać wartości Q_s na stosunkowo dużym poziomie około 21 MJ/kg. Dlatego parametr U, zmieniano w zakresie 0÷50%.

W kolejnej serii tych badań, parametrami niezależnymi na poziomie stałym były: U = 10% i T = 1273,15K. Drugi rozpatrywany parametr zmienny niezależny – λ, zmieniano w przedziale: 1,3÷2,0. W serii trzeciej badań procesu spalania, jako parametry niezależne na poziomie stałym przyjęto: U = 10% i λ = 1,8. W serii tej zmiennym parametrem był parametr T, który zmieniano w zakresie: 1073,15÷1443,15K, zwiększając go co 100K.

Parametrami zależnymi (wynikowymi) w badaniach zarówno procesu spalania jak i współspalania były:

c_{SO_2} – stężenie tlenku siarki(IV), mg · m⁻³,

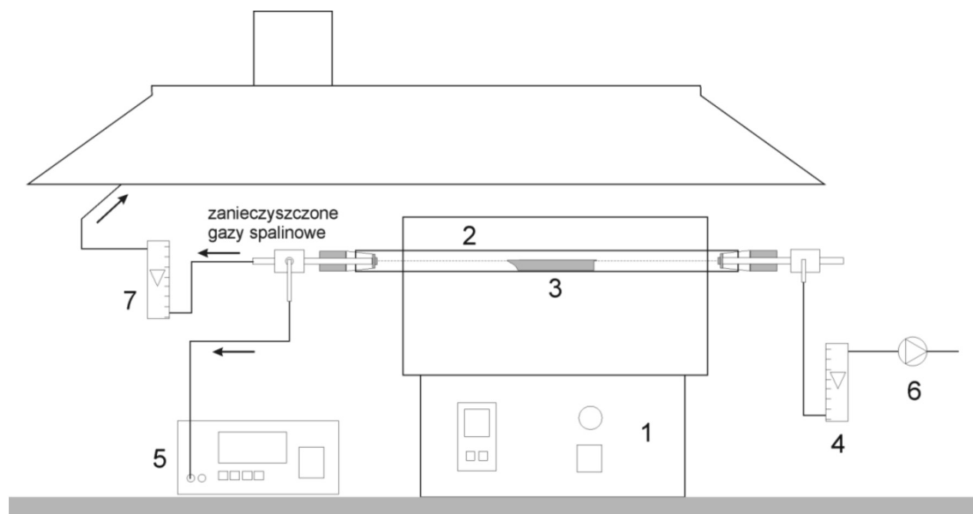
c_{NO_x} – stężenie tlenków azotu, mg · m⁻³,

c_{CO} – stężenie tlenku węgla(II), mg · m⁻³.

Opis stanowiska badawczego

Badania procesu spalania i współspalania poprowadzone zostały w instalacji badawczej przedstawionej schematycznie na rysunku 1. Zasadniczymi elementami instalacji był piec rurowy (1) oraz analizator spalin (5). Piec PRC 20 HM to laboratoryjny jednostrefowy piec rurowy z poziomym układem grzejnym o maksymalnej temperaturze pracy ciągłej równej 1473K. Proces spalania przeprowadzany był w atmosferze powietrza, które doprowadzano do układu pompką przeponową (6)

poprzez rotametr stołowy ROS-06 (4) mierzący natężenie jego przepływu w zakresie $0,5 \div 8,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do procesu spalania odpadów; 1 – piec rurowy, 2 – reaktor, 3 – kuweta ceramiczna, 4, 7 – rotametry stołowe, 5 – analizator spalin, 6 – pompka przepłownowa

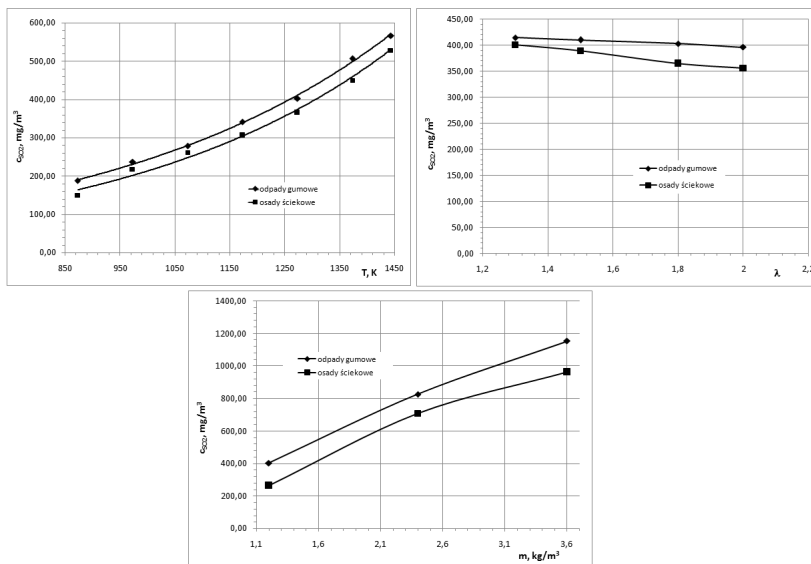
Fig. 1. Diagram of experimental stand for investigations of waste incineration process; 1 – pipe furnace, 2 – reactor, 3 – ceramic dish, 4, 7 – rotameter, 5 – combustion gas analyser, 6 – small diaphragmatic pump

Strumień gazów spalinowych wydostający się z reaktora pieca, którego natężenie przepływu mierzył rotametr stołowy ROS-06 (7), poddawany był analizie za pomocą analizatora spalin typu MADUR GA-21 *plus* (5). Dla ułatwienia orientacji i możliwości porównywania wyników wszystkie stężenia zanieczyszczeń gazów spalinowych przeliczano na standardowe warunki umowne spalania przy zawartości 11% O_2 w spalinach.

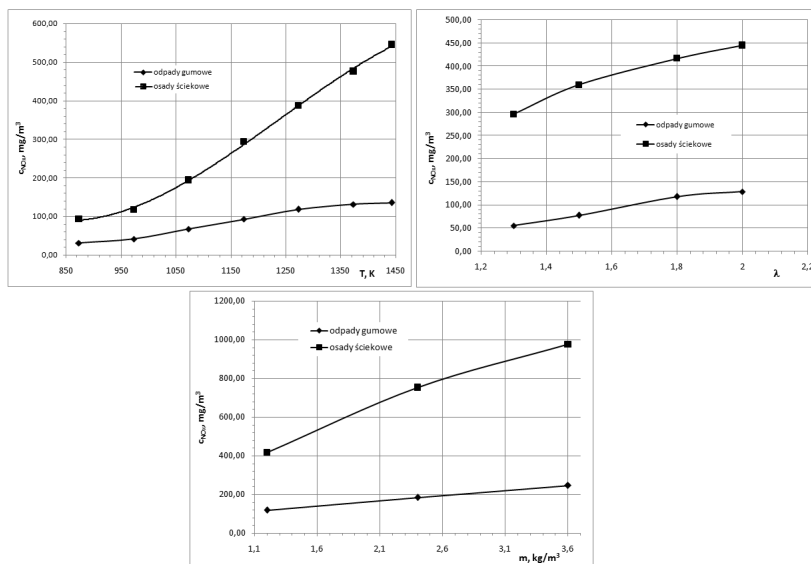
OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Proces spalania odpadów gumowych i osadów ściekowych

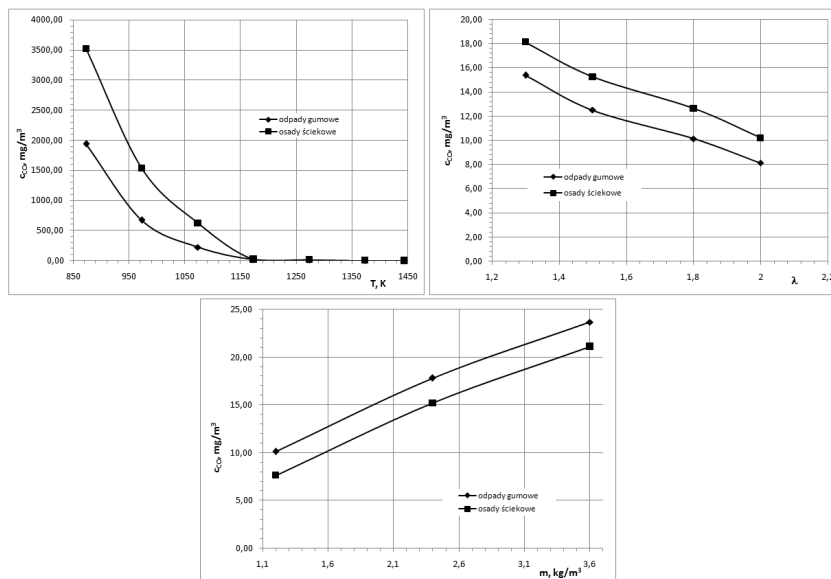
Na rysunkach 2, 3 i 4 pokazano wpływ temperatury w strefie spalania, współczynnika nadmiaru powietrza oraz wskaźnika masy materiału na stężenia gazów spalinowych powstających w procesie spalania odpadów gumowych i osadów ściekowych.



Rys. 2. Wpływ temperatury w strefie spalania T , współczynnika nadmiaru powietrza λ oraz wskaźnika masy materiału m na stężenie tlenku siarki(IV) w procesie spalania badanych materiałów
Fig. 2. Effect of temperature in the combustion zone T , the excess air number λ and material weight indicator m on the concentration of sulfur oxide (IV) in the incineration process of tested materials



Rys. 3. Wpływ zmian temperatury w strefie spalania T , współczynnika nadmiaru powietrza λ oraz wskaźnika masy materiału m na stężenie tlenków azotu NO_x w procesie spalania badanych materiałów
Fig. 3. Effect of temperature in the combustion zone T , the excess air number λ and material weight indicator m on the concentration of nitrogen oxides NO_x in the incineration process of tested materials



Rys. 4. Wpływ zmian temperatury w strefie spalania T , współczynnika nadmiaru powietrza λ oraz wskaźnika masy materiału m na stężenie tlenku węgla(II) w procesie spalania badanych materiałów

Fig. 4. Effect of temperature in the combustion zone T , the excess air number λ and material weight indicator m on the concentration of carbon oxide (II) in the incineration process of tested materials

Analiza wyników badań wpływu temperatury w strefie spalania na stężenie analizowanych gazów, potwierdza przewidywanie, że wzrost temperatury spalania powoduje wzrost stężenia ditlenku siarki i sumy tlenków azotu NO_x , jednocześnie obniża wartości stężenia CO w procesie spalania zarówno osadów ściekowych, jak i odpadów gumowych.

Analiza zmian wartości stężeń gazów spalinowych w zależności od wartości współczynnika nadmiaru powietrza, wskazuje jednoznacznie, że w procesie spalania zarówno osadów ściekowych, jak i odpadów gumowych, następował spadek stężeń tlenku siarki(IV) i tlenku węgla(II) oraz wzrost tlenków azotu.

Zaobserwowano stosunkowo wysokie wartości stężeń tlenku siarki(IV) w spalinach (w najwyższej temperaturze – 1443,15K powyżej $500 mg \cdot m^{-3}$) w procesie spalania zarówno odpadów gumowych, jak i osadów ściekowych, gdyż materiały te charakteryzują się dużą zawartością siarki paliwowej. W przypadku odpadów gumowych stężenie SO_2 osiągało, w całym zakresie zmian temperatury spalania, wartości nieznacznie większe, gdyż zawartość siarki paliwowej w zużytych oponach jest większa niż w przypadku osadów ściekowych.

Produktem bezpośredniej reakcji syntezy tlenu zawartego w dostarczonym do komory spalania powietrzu z azotem zawartym w paliwie jest tlenek azotu(II) powstający w procesach wysokotemperaturowych. Reakcja powstawania tlenku azo

tu(IV) przebiega wyłącznie w niższych temperaturach w obecności powietrza (do około 372,15K) [2, 3, 11, 12]. Dlatego też w warunkach prowadzenia badań (873,15÷1443,15K) udział reakcji utleniania NO do NO₂ był znikomy. Zależności stężeń NO_x od temperatury spalania i ilości tlenu dostarczanego do komory pieca w procesie spalania badanych materiałów pozwalają stwierdzić wzrost tlenków azotu, a wpływ tych parametrów był dużo większy w przypadku procesu spalania osadów ściekowych.

Ponieważ ilość paliwowych tlenków azotu, które powstają podczas reakcji z tlenem azotu związanego chemicznie z paliwem, zależy od zawartości azotu w materiale oraz stężenia tlenu dostarczanego do procesu spalania, największy udział w wysokich wartościach c_{NOx} w procesie spalania osadów ściekowych miały właśnie tlenki paliwowe (zarówno ze względu na ilość azotu elementarnego w osadach ściekowych, jak i ze względu na stosunkowo wysoki współczynnik nadmiaru powietrza ($\lambda = 1,8$)).

Na wzrost NO_x w procesie spalania odpadów gumowych miały wyłącznie termiczne tlenki azotu, gdyż ich ilość zależy głównie od temperatury spalania oraz – w mniejszym stopniu – od stężenia tlenu w strefie spalania.

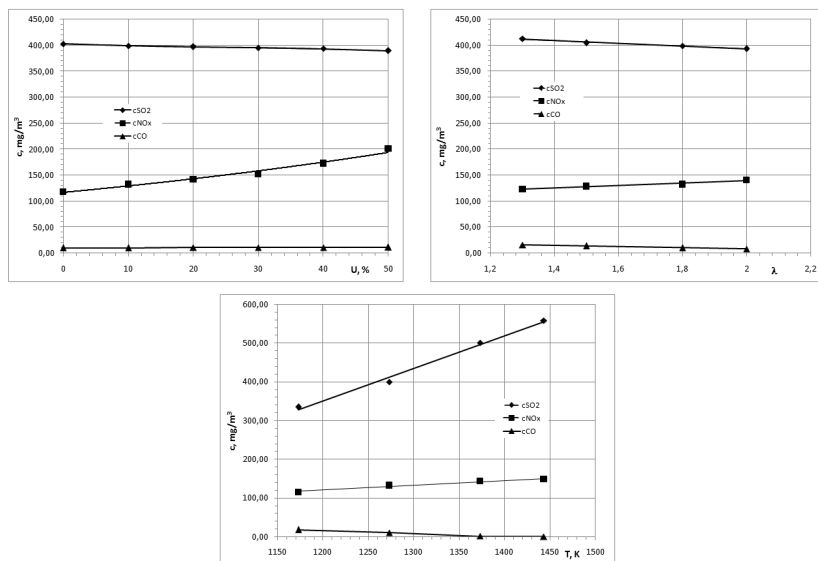
Proces tworzenia tlenku węgla(II) jest pośrednim etapem utleniania do tlenku węgla(IV) (węgiel C, jako pierwiastek zawarty w paliwie spalając się, przechodzi przez stadium CO, który powstaje w bardzo szybkich procesach spalania, podczas gdy, utleniany jest do tlenku węgla(IV) stosunkowo wolniej) [2÷4]. Jednakże, im wyższa temperatura tym jest większa prędkość utleniania CO. Stąd w analizie wyników badań wpływu temperatury procesu spalania na stężenia tlenku węgla(II), przy stałym dopływie powietrza do komory spalania, obserwuje się spadek c_{CO} przy wzroście temperatury w komorze spalania pieca.

Jak wykazała analiza wyników, w przypadku procesu spalania badanych materiałów, charakter krzywej przebiegu zmian c_{CO} jest w badanym zakresie temperaturowym bardzo podobny. Najwyższe wartości stężeń tlenku węgla(II) (około 2000 mg · m⁻³ w przypadku spalania odpadów gumowych i nawet ponad 3500,00 mg · m⁻³ w procesie spalania osadów, osiągnięto przy najniższych wartościach temperatury spalania (873, 15K). Następnie zaobserwowano gwałtowny spadek wartości c_{CO} dla ww. paliw osiągając dla temperatury 1173K bardzo niskie wartości (około 20,00 mg · m⁻³). Wynikiem procesu spalania tych paliw w temperaturach powyżej 1373,15K było stężenie tlenku węgla(II) bliskie wartości zerowej.

Wzrost masy wsadu badanych paliw do komory pieca powodował stały w całym zakresie zmian, wzrost stężeń analizowanych gazów spalinowych. I w tym wypadku, podobnie jak w poprzednich analizach zmian stężeń tlenku siarki(IV) i tlenków azotu, istotny wpływ na wielkość tych stężeń ma zawartość siarki paliwowej w badanym materiale. Stąd znacznie większe wartości stężeń tlenku siarki(IV) w przypadku procesu spalania badanych osadów ściekowych.

Proces współspalania odpadów gumowych i osadów ściekowych

Na rysunkach 5 pokazano wpływ udziału masowego osadów ściekowych w mieszance paliwowej, współczynnika nadmiaru powietrza oraz temperatury spalania na stężenia analizowanych gazów spalinowych powstających w procesie współspalania odpadów gumowych i osadów ściekowych.



Rys. 5. Wpływ zmian udziału masowego osadów ściekowych w mieszance paliwowej U , współczynnika nadmiaru powietrza λ oraz temperatury w strefie spalania pieca T na stężenie gazów spalinowych w procesie współspalania odpadów gumowych i osadów ściekowych

Fig. 5. Effect of changes of the mass fraction of sewage sludge in the fuel mixture U , the excess air number λ and the temperature in combustion zone of the furnace T on concentrations of flue gases in the process of co-incineration of rubber waste and sewage sludge

Analiza wyników badań wpływu udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej na stężenie analizowanych gazów spalinowych powstałych w procesie spalania tych mieszanek w temperaturze 1273,15K i przy współczynniku $\lambda = 1,8$, pozwala stwierdzić, że wzrost udziału osadów ściekowych powoduje wzrost stężenia tlenków azotu i minimalny wzrost tlenku węgla(II) oraz spadek wartości stężenia tlenku siarki(IV) w badanym zakresie zmian parametru U . Związane jest to z wielkością stężeń tych gazów badanych w procesie spalania poszczególnych składników mieszanek paliwowych przy ww. stałych parametrach.

Wielkości c_{SO_2} w procesie spalania samych osadów ściekowych w porównaniu z odpadami gumowymi w tych samych warunkach są mniejsze, co było przyczyną spadku stężenia tlenku siarki(IV) w gazach spalinowych powstałych w procesie spalania mieszanek tych materiałów.

Udział osadów ściekowych w mieszance paliwowej powoduje dużo mniejsze zmiany stężeń tlenu węgla(II) niż miało to miejsce w przypadku SO_2 i NO_x . Wzrost parametru U w pełnym zakresie badań (0÷50%) powodował nieprzekraczające 14% zmiany stężeń CO, podczas gdy analizując 10% wzrost udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej zaobserwowano niewielkie (około 2%) zmiany tych stężeń.

Ze względu na wysoką wartość temperatury procesu spalania tych mieszanek (1273K) jako stałego parametru niezależnego badań, wartości stężeń tlenu węgla(II) powstającego w spalin w wyniku tego procesu były stosunkowo niskie i nieprzekraczające wartości $11 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Na podstawie wyników badań zmian wartości stężeń gazów spalinowych w zależności od wartości współczynnika nadmiaru powietrza (przy stałym, 10% udziale osadów ściekowych), można stwierdzić obniżkę wartości c_{SO_2} i c_{CO} oraz wzrost wartości stężeń NO_x (potwierdza to zależność jaką zaobserwowano w przypadku spalania składników badanych mieszanek). Zaobserwowano również wzrost stężeń NO_x w przypadku zmian w badanym zakresie temperatury spalania mieszanek paliwowych, przy stałym współczynniku $\lambda = 1,8$ i 10% udziale osadów ściekowych w tych mieszankach.

Analizując wpływ temperatury w strefie spalania na stężenie SO_2 powstałego w procesie współspalania mieszanek badanych paliw, przy 10% zawartości osadów ściekowych w tej mieszance, stwierdzono dużo większy wzrost stężenia ditlenku siarki w gazach spalinowych w badanym zakresie temperatury spalania. Potwierdza to wyniki spalania składników tych mieszanek (wzrost temperatury spalania powoduje wzrost stężenia ditlenku siarki w gazach spalinowych, a jej wpływ jest dużo większy niż wpływ współczynnika nadmiaru powietrza).

Porównując wyniki badań wpływu temperatury procesu spalania i współczynnika nadmiaru powietrza na zmiany stężeń CO w procesach spalania badanych odpadów gumowych i ich mieszanki z 10% dodatkiem osadów ściekowych, stwierdzono podobne przebiegi krzywych charakteryzujących te zmiany w badanych zakresach. Biorąc dodatkowo pod uwagę około 7% spadek stężenia CO w przypadku 10% udziału osadów w mieszance, można sądzić, że dodatek osadów ściekowych nie zmienia w znacznym stopniu wskaźnika c_{CO} .

Analiza właściwości energetycznych badanych mieszanin wykazała, że wysoka wartość ciepła spalania badanych odpadów gumowych pozwala na udział suchej masy osadów ściekowych w mieszance paliwowej nawet do 40%, ale tylko przy kilkuprocentowym wzroście tego parametru następuje nieznaczny wzrost, już i tak wysokich stężeń badanych gazów spalinowych, stąd maksymalna wartość udziału tych osadów w mieszance paliwowej nie powinna przekraczać 10%.

WNIOSKI

1. Zmiany parametrów procesowych, dotyczących zarówno warunków spalania, jak i współspalania osadów ściekowych i badanych odpadów gumowych i ich wpływ na emisję zanieczyszczeń (SO_2 , NO_x , CO), pozwoliły stwierdzić fakt, iż wzrost wartości tych parametrów, z jednej strony polepsza jakość procesu termicznego przekształcania badanych materiałów, obniżając wartości stężeń niektórych zanieczyszczeń, lecz jednocześnie, powodując wzrost innych zanieczyszczeń, jakość procesu termicznego przekształcania pogarsza.
2. Wzrost temperatury spalania, jako parametru zmiennego niezależnego poprawia jakość spalania, zmniejszając stężenia tlenu węgla(II) ale jednocześnie zwiększa emisję tlenu siarki(IV) oraz tlenków azotu NO_x . Wzrost zawartości tlenu wraz z powietrzem dostarczanym do komory spalania powodował znaczną obniżkę stężenia tlenu węgla(II) i dużo mniejszą obniżkę tlenu siarki(IV), przy równoczesnym wzroście emisji tlenków azotu NO_x . Zależności te zaobserwowano dla wszystkich badanych materiałów.
3. Analiza właściwości energetycznych mieszanek osadów ściekowych i odpadów gumowych oraz badań warunków spalania tych mieszanek wykazała, że maksymalna wartość udziału tych osadów w mieszance paliwowej nie powinna przekraczać 10%.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy.

BIBLIOGRAFIA

1. Bień J.B., Wystalska K.: Przekształcanie osadów ściekowych w procesach termicznych. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. Warszawa 2009.
2. Jasiewicz M.: Sposoby granulowania i recyklingu zużytych opon. Kompleksowe zarządzanie gospodarką odpadami. Praca zbiorowa pod red. T. Marcinkowskiego. Wydawnictwo PZITS Oddz. Wielkopolski. Poznań 2009.
3. Kordylewski W. i inni: Spalanie i paliwa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2008.
4. Kowalewicz A.: Podstawy procesów spalania. WNT. Warszawa 2000.
5. Mianowski A., Radko T., Koszorek A.: Współspalanie miazgi węglowej i zużytych opon. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2007.
6. Piecuch T., Dąbrowski J., Dąbrowski T.: Badania laboratoryjne nad możliwością termicznej utylizacji poprodukcyjnych odpadów poliestrowych. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 11, Rok 2009, Część 1; 2009.
7. Piecuch T., Dąbrowski J., Dąbrowski T.: Laboratory Investigations and Preliminary Project of Installation for Utilization of Waste from Polyester Forming. Polish Journal of Environmental Studies, Volume 5: Series of Monographs; HARD, 2009.

8. Piecuch T., Dąbrowski T., Dąbrowski J., Lubierski M., Juraszka B., Kościerzyńska-Siekán G., Jantos K.: Analiza pracy spalarni odpadów Szpitala Wojewódzkiego w Koszalinie – spaliny, ścieki, wtórny odpad. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 5. Rok 2003. Wydawnictwo Śródkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska. Koszalin 2003.
9. Piecuch T., Dąbrowski T., Dąbrowski J., Winiecki M.: Badania laboratoryjne nad możliwością współspalania miazgu węglowego wraz z osadami ściekowymi i odpadami poliestrowymi. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 11, nr 2, 2008.
10. Piecuch T., Juraszka B., Dąbek L.: Spalanie i piroliza odpadów oraz ochrona powietrza przed szkodliwymi składnikami spalin. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2002.
11. Piecuch T.: Termiczna utylizacja odpadów i ochrona powietrza przed szkodliwymi składnikami spalin. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 1998.
12. Piecuch T.: Zarys metod termicznej utylizacji odpadów. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2006.
13. Rodzyńkiewicz-Rudzińska J.: Guma. Poradnik Inżyniera i Technika. Wydawnictwo-Naukowo Techniczne. Warszawa 1981.
14. Skalmowski K.: Poradnik gospodarowania odpadami. Wyd. Verlag-Dashöfer, Warszawa, 2007.
15. Sobiecki M.: Rozwój systemu gospodarki odpadami po oponach samochodowych w Polsce. Kompleksowe zarządzanie gospodarką odpadami. Praca zbiorowa pod red. T. Marcinkowskiego. Wydawnictwo PZITS Oddz. Wielkopolski. Poznań 2009.

LABORATORY INVESTIGATIONS ON POSSIBILITY OF CO-INCINERATION OF SEWAGE SLUDGE AND WASTE RUBBER

Abstract. The paper presents results of investigations on possibility of thermal conversion of mixtures of rubber waste and sewage sludge as a possible utilisation of both: waste and sewage sludge. Changes of process parameters, concerning both the incineration conditions, as well as the co-incineration of sewage sludge and waste rubber, and their influence on the emission of pollutants (SO_2 , NO_x , CO), proved that the increase of incineration temperature improves the quality of combustion, reducing concentration of carbon monoxide (II), but it causes increase of emissions of sulfur oxide (IV) and nitrogen oxides NO_x . The increase of oxygen content along with the supplied air to incineration chamber results in a significant reduction of carbon monoxide (II) concentration and a much smaller reduction of sulfur oxide (IV) concentration, with simultaneous increase of emission of nitrogen oxides NO_x . These relationships were observed for all tested materials. Analysis of energetic properties of mixtures of sewage sludge and waste rubber and tests of incineration conditions of those mixtures showed, that maximum share of sewage sludge in mixtures should not exceed 10%.

Keywords: rubber waste, sewage sludge, thermal utilization, co-incineration.