

## **Urządzenie dopalające gazy odlotowe ze spalania biopaliw stałych oraz sposób dopalania gazów odlotowych**

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie dopalające palne frakcje gazów powstające podczas spalania biopaliw stałych w energetycznych kotłach rusztowych górnego spalania małej mocy do 25 kW, jak również sposób dopalania gazów odlotowych. Rozwiązanie przewidziane jest do zastosowania u wylotu komory spalania urządzenia grzewczego.

Energetyczne wykorzystanie biopaliw stałych w rusztowych urządzeniach grzewczych nie sprzyja efektywności energetycznej, jak również związane jest ze znacznymi emisjami, zwłaszcza w pierwszej fazie spalania, bezpośrednio po zasileniu takiego urządzenia paliwem. Spalanie w takich kotłach charakteryzuje się trudnościami eksploatacyjnymi związanymi z okresowym ich fadowaniem oraz właściwościami chemicznymi paliwa, gdzie szczególnie istotna jest wysoka zawartość części lotnych na poziomie około 70%. Odgazowanie biopaliw, a w zasadzie hemicelulozy, która jest w nich zawarta, zaczyna się od 220°C i trwa do 500°C (lignina). Najwięcej części lotnych wydziela się w temperaturze 250-450°C. Natomiast w temperaturze 700°C jej odgazowanie sięga ponad 85%. Najważniejszymi składnikami tych gazów są CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> i H<sub>2</sub>.

W takich urządzeniach przebieg procesu spalania zależy od nadmiaru powietrza. Przy obniżeniu nadmiaru powietrza wzrasta zawartość CO w spalinach i wzrasta zawartość węgla w popiele lotnym i w żużlu, lecz maleje strata kominowa oraz zmniejsza się emisja tlenków azotu. Zbyt duża ilość powietrza powoduje przygasanie płomienia, które również prowadzi do emisji niespalonych węglowodorów. Dlatego spalanie powinno być prowadzone w kierunku określenia takiego nadmiaru powietrza, przy którym kosztem niepełnego i niecałkowitego spalania będzie jak najmniejsza emisja NO<sub>x</sub> oraz zachowany będzie bezpieczny próg temperaturowy w stosunku do temperatury rosznienia spalin.

W małych paleniskach rusztowych ze spalaniem od góry wymagana, wyższą temperaturę spalania można zapewnić również przez częściową izolację cieplną ścian paleniska, która sprawia zmniejszenie emisji CO jedynie przy pracy ciągłej kotła z pominięciem fazy odgazowania występującej przy rozpaleniu. W urządzeniach tych,

oprócz emisji niespalonych węglowodorów, problematyczne jest znaczne tworzenie NO i N<sub>2</sub>O, co również jest czynnikiem determinującym dobór parametrów spalania, by optymalizować je w takich urządzeniach. Badania wskazują, że przy spalaniu paliw pochodzenia biomasowego azot zawarty w paliwie zostaje uwolniony podczas jego odgazowania w ilości nawet 75%, przy czym cząstki te szybko konwertują na NO. Powstają również cząstki N<sub>2</sub>O, które zmieniają się zgodnie z reakcją  $N_2O + H \rightarrow N_2 + OH$ . Prowadzonych jest wiele badań w skali przemysłowej nad wykorzystaniem katalizatorów wykorzystujących takie związki jak V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub> umieszczone na ceramicznych nośnikach glinowych Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i tytanowych TiO<sub>2</sub>, który również ma właściwości utleniające. Rozwiązania takie wymagają dosyć wysokiej temperatury aktywacji (300-400°C), by móc zredukować cząstki NO. Praca takich filtrów przy niższych temperaturach, z dala od paleniska, gdzie pojawiają się znaczne ilości uwęglonych cząstek stałych blokujących filtr, staje się mało efektywna i prowadzi często do powstawania cząstek N<sub>2</sub>O.

Wiele badań poświęconych jest również tworzeniu się spieków i aglomeratów mineralnych blokujących ruszt przy spalaniu biomasy zielnej, dla której popioły, ze względu na dużą zawartość potasu, posiadają niską temperaturę mięknięcia - około 800°C.

Ze zgłoszenia patentowego P.422712 znany jest zespół dopalania spalin do pieca centralnego ogrzewania, który ma postać elementów wytworzonych z betonu zawierającego cement oraz kruszywo odporne na temperaturę od 1500°C do 2000°C i jest osadzony wewnątrz pieca, równoległe do tylnej ścianki pieca. Ma postać kanału z wnętrzem otwartym od dołu oraz od góry. Zespół umieszczony jest ponad wylotem spalin i poniżej wymiennika ciepła.

Z publikacji opisu patentowego nr PL 234400 B1 znany jest zespół płyt dopalania spalin zawierający co najmniej dwie płyty ognioodporne wykonane z betonu, stanowiące akumulator oraz nośnik ciepła. Płyty betonowe są ułożone poziomo. Płyty górne ułożone są nad płytą dolną, w której wykonane jest okno przelotowe. Płyta górna znajduje się ponad płytą dolną i przesłania okno przelotowe. Płyty górne mają długość mniejszą niż płyta dolna i zawierają dolną powierzchnię ukształtowaną w postaci równoległych do siebie garbów i oddzielających je bruzd.

W publikacji zgłoszenia patentowego P.416970 przedstawiono budowę pieca górnego zasypu na paliwo stałe, zawierającego korpus w postaci pionowej ściany przedniej i ściany tylnej, poziomej ściany dolnej i ściany górnej oraz pionowych ścian bocznych. Wnętrze pieca podzielone jest pionową ścianą działową równoległą do ściany tylnej pieca, na komorę paleniskową z górnym zasypem paliwa oraz na komorę wylotową spalin z opłómkami wymiennika ciepła i górnym czopuchem. Według tego rozwiązania co najmniej fragment pionowej ściany działowej stanowi przegroda pionowa z tworzywa stanowiącego akumulator i nośnik ciepła, gdzie pomiędzy dolną poziomą krawędzią tej przegrody pionowej, a skrajną strefą rusztu znajduje się szczelina wylotu spalin do komory wylotowej spalin. Pomędzy przegrodą pionową a tylną ścianą pieca utworzona jest komora dopalania spalin. Obszar pomiędzy skrajną strefą rusztu, a tylną pionową ścianą pieca jest zamknięty przegrodą ukośną z tworzywa stanowiącego nośnik i akumulator ciepła, kierującą spaliny ze strefy paleniska na ruszcie do komory wylotowej spalin. Pomędzy przegrodą pionową a przegrodą ukośną utworzona jest szczelina wlotu spalin do komory dopalania spalin.

Natomiast publikacja opisu PL 227971 B1 dotyczy sposobu jednoczesnego dopalania i oczyszczania gazów wylotowych z pieców, spalarni i instalacji do obróbki termicznej odpadów, w którym zanieczyszczone gazy oczyszczą się wstępnie z pyłów w gorącym cyklonie z nagrzanymi ściankami, gdzie częściowo spala się cząstki stałe. Następnie poprzez komorę podgrzewacza wstępnego gazy wprowadza się do sekcji dopalacza ze złożem z kształtek ceramicznych, nagrzewanym energią mikrofalową, a po opuszczeniu komory dopalacza gazy kieruje się do wymiennika ciepła i wyrzuca na zewnątrz za pomocą wentylatora. Korzystny wariant przewiduje ponadto zaburzanie laminarnego przepływu gazów poprzecznymi względem kierunku przepływu płytkami ceramicznymi. Komorę dopalacza dogrzewa się za pomocą grzałek elektrycznych do temperatury ponad 900°C, korzystnie do temperatury od 1100°C do 1400°C. Natomiast palnik w podgrzewaczu wstępnym włącza się automatycznie, jeśli temperatura nagrzewanych gazów wprowadzanych do podgrzewacza i mierzona za pomocą termopary umieszczonej w przewodzie doprowadzającej gazy nie przekracza 500–600°C. W komorze dopalacza złożo z kształtek ceramicznych nagrzewa się mikrofalami do temperatury 1000°C–1200°C. Dla realizacji ww. sposobu przewidziano urządzenie do

jednoczesnego dopalania i oczyszczania gazów wylotowych zawierające gorący cyklon z nagrzanymi ściankami, częściowo spalający cząstki stałe, połączony z komorą podgrzewacza wstępnego, prowadzącego gazy do sekcji komory dopalacza ze złożem z kształtek ceramicznych, nagrzewanym energią mikrofalową. Wylot komory dopalacza jest połączony z wymiennikiem ciepła oraz z wentylatorem. Komora dopalacza wyposażona jest w sekcję wypełnioną kształtkami ceramicznymi z ceramiki pochłaniającej mikrofałe, korzystnie z ceramiki zawierającej od 15% do 70%, korzystnie co najmniej 20% węgla krzemu. Na ścianach wewnętrznych komory dopalacza umieszczone są grzałki elektryczne usytuowane w płytkach ceramicznych poprzecznych względem kierunku przepływu, które wyposażone są w termopary. Urządzenie obejmuje układ sterujący temperaturą płytek ceramicznych z grzałkami elektrycznymi. Rozwiązanie przewidziane jest do dopalania przede wszystkim pyłów w gazach odlotowych, powstających w wyniku spalania paliwa innego rodzaju i ponadto stanowi konstrukcję umieszczaną poza kotłem.

Ze zgłoszenia patentowego P.424340 znany jest zestaw grzewczy zbudowany z zespołu kotła składającego się z 3 sekcji: podgrzewanej prądem elektrycznym komory-paliwowo-gazyfikacyjnej, podgrzewanej komory spalania i płaszczyznowego wymiennika ciepła oraz z zespołu bufora energii cieplnej. Komora spalania znajduje się w dolnej części kanału spalinowego. Obudowana jest od góry termoizolacyjnymi płytami ceramicznymi i przysłonięta do góry deflektorem. Deflektor posiada elementy grzejne zasilane energią elektryczną. Dopalenie podgrzewanego prądem elektrycznym gazu w komorze spalania według tego rozwiązania następuje po dostarczeniu powietrza wtórnego.

Celem wynalazku jest zaproponowanie urządzenia, które mogłoby być montowane w kotle celem wykorzystania powstałego w wyniku dopalania gazów ciepła w wymienniku i podniesienia efektywności spalania. Urządzenie powinno być dostosowane do warunków spalania biopaliw, w szczególności temperatury. Celem urządzenia jest dopalenie przede wszystkim węglowodorów, w tym tlenku węgla oraz redukcji tlenków azotu. Znane urządzenia, ze względu na inne przeznaczenie tj. przeznaczenie do dopalania frakcji gazów odlotowych powstałych ze spalania materiału opałowego innego pochodzenia, które znacząco różni się składem od biopaliw stałych nie nadają się do zastosowania w niniejszym przypadku. Wyklucza to ich konstrukcja, zastosowane

materiały i warunki pracy. Należy zatem opracować urządzenie, które nadawałoby się do zastosowania w kotłach wykorzystujących biopaliwa stałe i dopalałoby węglowodory oraz tlenki azotu, oraz określić warunki pracy tak, by spalanie odbywało się w sposób skuteczny, a nieszkodzący samemu urządzeniu.

Istotą urządzenia dopalającego gazy odlotowe ze spalania biopaliw stałych, w szczególności węglowodory oraz tlenki azotu, przeznaczonego do kotłów rusztowych, zawierającego ceramiczny wkład z grzałką elektryczną jest to, że ceramiczny wkład montowany jest u wylotu komory spalania i przed wymiennikiem ciepła. Jego szerokość i głębokość są wymiarami dostosowane wymiarów przestrzeni pomiędzy komorą spalania a wymiennikiem ciepła. Wysokość ceramicznego wkładu jest nie mniejsza niż szerokość. Ceramiczny wkład ma wykonane przelotowe kanały spalinowe o kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu gazów odlotowych, w których umieszczona jest grzałka elektryczna wykonana jako spirala grzewcza. Ceramiczny wkład posiada wbudowaną sondę pomiaru temperatury ceramicznego wkładu.

Korzystnie, na bocznych ścianach ceramiczny wkład posiada żaroodporną obudowę, która wyposażona jest w kanał doprowadzający powietrze wtórne, przy czym wylot kanału umieszczony jest pod brzegową krawędzią ceramicznego wkładu, a szerokość tego kanału jest równa szerokości ceramicznego wkładu.

Korzystnie, obudowa posiada kanał przewodów, którym bieżą przewody zasilające spiralę grzewczą i przewody sygnałowe sondy pomiaru temperatury.

Korzystnie, łączna powierzchnia przekrojów poprzecznych kanałów spalinowych stanowi od 50% do 75% dolnej powierzchni ceramicznego wkładu, określonej iloczynem jego szerokości i głębokości.

Korzystnie, urządzenie zawiera sterownik monitorujący temperaturę ceramicznego wkładu, temperaturę na ruszcie, temperaturę wody w płaszczu kotła i na podstawie tych sygnałów, zgodnie z zadany algorytmem, reguluje stanem załączenia spirali grzewczej oraz ilością doprowadzanego powietrza wtórnego.

Korzystnie, materiałem ceramicznego wkładu jest spiek mieszanki nośnika ceramicznego z dodatkiem 8-14%  $\text{TiO}_2$ .

Korzystnie, materiałem ceramicznego wkładu jest ceramika na bazie  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Istotą sposobu dopalania gazów odlotowych ze spalania biopaliw stałych, w szczególności węglowodorów oraz tlenków azotu z zastosowaniem powyższego urządzenia jest to, że w czasie rozruchu i pracy kotła sterownik, zgodnie z zadany algorytmem, załącza spiralę grzewczą, gdy temperatura ceramicznego wkładu jest niższa niż  $800^\circ\text{C}$  i wyłącza ją, gdy pomiar temperatury ceramicznego wkładu wskaże wartość większą niż  $800^\circ\text{C}$ .

Rozwiązanie według wynalazku pozwala poprawić efektywność spalania oraz jednocześnie zmniejszyć ilość szkodliwych składników w gazach odlotowych, głównie takich jak  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  $\text{NO}_x$ . Urządzenie dopalające według wynalazku stanowi element dodatkowy wyposażenia kotła rusztowego górnego spalania na biopaliwa stałe w kotłach, które nie były wyposażone fabrycznie przez producenta w taki element, jak również może być zamontowane w kotle fabrycznie.

Przedmiot wynalazku pokazany został w przykładzie wykonania na załączonym rysunku, na którym:

Fig.1 przedstawia urządzenie dopalające w widoku z góry,

Fig.2 przedstawia urządzenie dopalające – w widoku w przekroju wzdłużnym,

Fig.3 przedstawia urządzenie dopalające w widoku perspektywicznym,

Fig.4 przedstawia lokalizację urządzenia dopalającego w kotle.

Urządzenie zawiera ceramiczny wkład 1 z grzałką elektryczną 2. Ceramiczny wkład 1 montowany jest u wylotu komory spalania 3 i przed wymiennikiem ciepła 4. Na Fig.4 przedstawiono rozmieszczenie urządzenia w rusztowym kotle centralnego ogrzewania z nadmuchem powietrza pod rusztem. Tylną ścianę 5 kotła stanowi płaszcz wodny. W górnej części kotła znajduje się labiryntowy wymiennik ciepła 4. Od przodu pokazane są otwory: popielnikowy, zasypowy i techniczny umożliwiające czyszczenie wymiennika


ciepła 4 z popiołów lotnych. Ceramiczny wkład znajduje się w obudowie 6, która zamocowana jest do tylnej ściany 5 kotła

Ceramiczny wkład 1 ma szerokość  $s$  i głębokość  $g$ , które są wymiarami dostosowanymi do wymiarów przestrzeni 7 pomiędzy komorą spalania 3 a wymiennikiem ciepła 4. Wysokość  $w$  wkładu 1 jest taka, jak szerokość  $s$ . Ceramiczny wkład 1 ma wykonane przelotowe kanały spalinowe 8 o kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu gazów odlotowych. Wskazana budowa ceramicznego wkładu 1 powoduje, że jedyną drogą ujścia gazów spalinowych z komory spalania 3 w stronę przewodu kominowego jest przez kanały spalinowe 8. W kanałach spalinowych 8 umieszczona jest grzałka elektryczna 2 wykonana jako spirala grzewcza, spirala przeprowadzona jest przez każdy kanał spalinowy 8. Kanały spalinowe 8 mają w niniejszym wykonaniu przekrój sześciokątów foremnych o krawędzi długości 10 mm i rozmieszczone są tak, że tworzą strukturę plastra miodu. Nie ograniczając, kanały spalinowe mogą mieć również inny kształt przekroju poprzecznego, np. okrągły, kwadratowy, itp. Obudowa 6 wyposażona jest w kanał 9 doprowadzający powietrze wtórne. Wylot 10 kanału 9 umieszczony jest pod brzegową krawędzią ceramicznego wkładu 1, a szerokość tego kanału 9 jest równa szerokości  $s$  ceramicznego wkładu 1. Obudowa 6 posiada ponadto kanał 11 przewodów, którym biegą przewody zasilające grzałkę elektryczną 2 i przewody sygnałowe sondy 12 pomiaru temperatury  $T$  ceramicznego wkładu 1. Łączna powierzchnia przekrojów poprzecznych kanałów spalinowych 8 stanowi od ok. 70% dolnej powierzchni ceramicznego wkładu 1, określonej iloczynem jego szerokości  $s$  i głębokości  $g$ . Urządzenie zawiera sterownik 13 monitorujący temperaturę  $T$  ceramicznego wkładu 1, temperaturę na ruszcie, temperaturę wody w płaszczu kotła i na podstawie tych sygnałów, zgodnie z zadanym algorytmem, reguluje stanem załączenia grzałki elektrycznej 2 oraz ilością doprowadzanego powietrza wtórnego. Materiałem ceramicznego wkładu 1 jest spiek mieszanek nośnika ceramicznego z dodatkiem ok. 10%  $TiO_2$ . W innym wariantcie przewidziano wykonanie ceramicznego wkładu 1 z ceramiki na bazie  $Al_2O_3$ .

Sposób dopalania gazów odlotowych powstałych ze spalania biopaliw stałych w kotłach rusztowych, w szczególności węglowodorów oraz tlenków azotu z zastosowaniem urządzenia według wynalazku polega na tym, że w czasie rozruchu i pracy kotła

sterownik 13, zgodnie z zadany m algorytmem, za łącza grzałk  elektryczną 2, gdy temperatura T ceramicznego wkładu 1 jest niższa niż 800 C i wy łącza ją, gdy pomiar temperatury T ceramicznego wkładu 1 wskaże wartośc większą niż 800 C.

REKTOR

  
prof. dr hab. Krzysztof Kowalczyk