

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243395 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438249**

(22) Data zgłoszenia: **2021.06.24**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.12.27 BUP 52/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.08.21 WUP 34/2023**

(51) MKP:

F23B 80/02 (2006.01)

F23N 5/00 (2006.01)

F23N 5/02 (2006.01)

F24H 9/20 (2022.01)

F16K 11/02 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
BARTOSZ CIUPEK, Poznań, PL
RADOSŁAW JANKOWSKI, Poznań, PL

(74) Pełnomocnik:
Marcin Walkowiak, Dobra, PL

(54) Tytuł:

Układ recyrkulacji spalin dla kotłów grzewczych na paliwa stałe

PL 243395 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ recykulacji spalin dla kotłów grzewczych na paliwa stałe wykorzystujący regulacyjno-pomiarowy zawór trójdrożny do celu redukcji ilości emitowanych przez kotły substancji szkodliwych: głównie tlenku węgla (CO), lotnych związków organicznych (LZO), tlenków azotu (NO_x) oraz sadzy. Korzystnym efektem zastosowania układu według zastrzeżenia jest podniesienie sprawności procesu spalania kotła grzewczego.

Z opisu patentowego EP3789673 znany jest układ recykulacji spalin dla kotłów grzewczych na paliwa stałe, który posiada zamontowany szczelnie na czopuchu kotła grzewczego na paliwa stałe kanał dystrybucji spalin oparty o regulowane klapy zaopatrzone w czujnik do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu, który to kanał łączy się z przewodem kominowym oraz połączony jest ujściem spalin z kanałem spalinowym wprowadzającym recykulowane spaliny do komory spalania nad spalane paliwo. Regulacja przepływu nawrotnego spalin polega na sterowaniu zaworem.

Odmienne od zaprezentowanego rozwiązania wynalazek według przytoczonego opisu nie ujawnia regulowanego zaworu spalin oraz systemu wentylatora w kanale nawrotu spalin, stąd różnicą pomiędzy wynalazkami jest zastosowanie zaworu regulującego strumień masy recykulowanych spalin, pozwalający na modulację pracy systemu recykulacji i dostosowania poziomu recykulacji do aktualnie występujących stężeń masowych substancji szkodliwych w spalinach.

Z opisu patentowego PL181545B1 znany jest sposób i kocioł do spalania, ograniczający emisję tlenków azotu w spalinach z kotła, z wsadem na paliwo stałe, z ruchomym rusztem, który posiada zamontowany szczelnie na czopuchu kotła grzewczego na paliwa stałe trójnik dystrybucji spalin z czujnikiem do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu, który to trójnik łączy się z przewodem kominowym oraz z kanałem nawrotnym spalin, na którego końcu znajduje się wentylator, który połączony jest ujściem spalin z kanałem spalinowym wprowadzającym recykulowane spaliny do komory spalania pod spalane paliwo.

Kluczową różnicą między rozwiązaniem a wynalazkiem jest dostarczanie przez wynalazek recykulowanych spalin powyżej paliwa nie pod spalane paliwo. W przedstawionym wynalazku do regulacji wykorzystuje się regulowany zawór dystrybucji spalin którego kąt rozwarcia, a co za tym idzie precyzyjną ilość spalin recykulowanych ustala się na podstawie pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu w spalinach. W przytoczonym rozwiązaniu dystrybucja odbywa się poprzez trójnik o stałej geometrii kanału, a ilość recykulowanych spalin regulowana jest pracą wentylatora, które pozwalają osiągnąć poziom od 15% do 20% recykulacji spalin odmiennie do zaproponowanego rozwiązania, które pozwala osiągnąć korzystnie poziom od 0% do 70%.

Z opisu patentowego P.386602 znane jest rozwiązanie układu recykulacji powietrza podmuchowego w ciepłowniczym kotle rusztowym zaopatrzone w komorę spalania, przy czym układ zawiera wentylator powietrza pierwotnego, wentylator dopalania spalin oraz kanały recykulacyjne, znanymi tym, że wentylator dopalania spalin jest w układzie zainstalowany szeregowo z wentylatorem powietrza pierwotnego, a kanał tłoczny wentylatora dopalania spalin połączony jest do kanału ssawnego wentylatora powietrza pierwotnego. W tylnej części komory spalania kotła w tylnej części rusztu umieszczone są kanały ssawne wentylatora dopalania spalin. Układ zawiera sekcję oczyszczania spalin, którą tworzą kanały ssawne razem z przegrodami i z kanałami środkowymi oraz wanną odżużlania, przy czym sekcja ta poprzez wylot kanału ssawnego połączona jest z wentylatorem dopalania spalin. Kanały ssawne w sekcji oczyszczania spalin są umieszczone w kierunku prostopadłym do powierzchni lustra wody w wannie odżużlania. Wentylatory zaopatrzone są w napęd elektryczny i przemiennik częstotliwości.

Kluczową różnicą między rozwiązaniem a wynalazkiem jest brak zastosowania zaworu regulującego strumień masy recykulowanych spalin, co wpływa na brak modulacji pracy systemu recykulacji i dostosowania poziomu recykulacji do aktualnie występujących stężeń masowych substancji szkodliwych w spalinach. Ponadto rozwiązanie przedstawione w opisie P.386602 ma zastosowanie wyłącznie w kotłach rusztowych cechujących się inną organizacją procesu spalania oraz znacząco większą mocą niż kotły do których zastosowanie ma zgłaszane rozwiązanie. Rozwiązanie według wynalazku dodatkowo zaopatrzone jest w czujnik zawartości tlenu w spalinach pozwalający w oparciu o sprzężenie zwrotne informacji o zawartości tlenu w spalinach regulować wydatek recykulowanych w kotle grzewczym spalin. Inną różnicą jest zastosowanie w układzie według wynalazku kilku wentylatorów i recykulowanie powietrza podmuchowego w przestrzeni kotła a nie spalin świeżych i ich zawracanie w centrum płomienia powstającego w komorze spalania – co jest podstawowym założeniem wynalazku.

Z opisu patentowego P.418460 znane jest natomiast urządzenie i sposób spalania biomasy umożliwiający spalanie biomasy w tym biomasy pochodzenia rolniczego (Agro) typu słoma w formie rozdrobnionej oraz granulatu poprzez zastosowanie recyrkulacji spalin w kotłach centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej oraz kotłach ciepłowniczych, pozwalając na pracę ciągłą kotła bez częstych przerw na czyszczenie kotła oraz jednocześnie ochronę elementów komory paleniskowej. Układ według tego rozwiązania nie posiada regulacji strumienia masy spalin recyrkulowanych w kotle poprzez informacje o stężeniu substancji szkodliwych w spalinach lub tlenu, a jedynie poprzez pomiar temperatury spalin opuszczających komorę paleniskową. Ponadto celem nadrzędnym rozwiązania przedstawionego w opisie patentowym P.418460 jest zapobieżenie osadzaniu się produktów spalania wewnątrz kotła w odróżnieniu do zgłaszanego rozwiązania gdzie celem jest redukcja ilości emitowanych przez kotły substancji szkodliwych oraz poprawa sprawności procesu spalania w kotłach. Z opisu patentowego wynika, że główną informacją o stopniu recyrkulacji spalin jest temperatura spalin opuszczających komorę paleniskową która powinna mieć wartości niższe od temperatury mięknięcia popiołu dlatego, że głównym celem działania omawianego układu jest ograniczenie ilości osadzających się produktów spalania wewnątrz ścian kotła, co przełożyć się ma na rzadszą konieczność czyszczenia wnętrza kotła. Taki układ może funkcjonować dopiero w przypadku gdy uda się uzyskać podciśnienie w komorze paleniskowej oraz odpowiedni nadmiar powietrza do spalania, co w wielu sytuacjach (np. rozpalenie kotła, gaszenie kotła) jest nieosiągalne i wyklucza jednocześnie zasadność działania układu recyrkulacji spalin według zastrzeżenia przez cały okres działania kotła.

Z opisu patentowego EP2313686 znany jest system pieca z wewnętrzną recyrkulacją spalin. System pieca obejmuje w tym przypadku zbiornik do spalania, z którego końcem wylotowym połączony jest kanał spalin, który połączony jest z wyznaczonym obszarem wewnętrznym. Część systemu pieca stanowi też kanał recyrkulacyjny, który rozciąga się na zewnątrz od kanału spalin i zapewnia przepływ spalin między kanałem spalin a obszarem wewnętrznym zbiornika do spalania. W kanale recyrkulacyjnym jest umieszczone co najmniej częściowo urządzenie przenośnikowe do umożliwienia przepływu jednego lub większej liczby płynów przez kanał recyrkulacyjny do obszaru wewnętrznego zbiornika do spalania w reakcji na polecenia wydawane przez nastawnik. Urządzenie przenośnikowe jest pompą strumieniową parową do przenoszenia płynu takiego jak, między innymi, tlen, para wodna, spaliny lub ich kombinacje do obszaru wewnętrznego wyznaczonego przez zbiornik do spalania.

Z opisu patentowego US4674464A znany jest zawór recyrkulacyjny, w którym przewidziano specjalną powierzchnię gniazda zaworowego w obudowie, a obudowę połączono po stronie członu uruchamiającego z blokiem silnika spalinowego, który mocowany jest przez izolację.

Opis patentowy DE112008003498 natomiast ujawnia zawór recyrkulacji spalin, w którym w obudowie zaworu jest zarazem wpuszczony pierścień gniazda zaworowego. Obudowa zaworu jest dwuczęściowa i kombinowana z blokiem silnika spalinowego, w którym osadzone jest urządzenie uruchamiające.

Znane z opisu P.423553 rozwiązanie przedstawia kocioł na paliwa stałe w którego komorze z wymiennikiem ciepła w kształcie ekranowanych pionowych rur wznoszących i węzownicy poziomej umieszczonych w komorze spalania i odzysku ciepła przed wlotem spalin do czopucha kotła i emitora zastosowano recyrkulację części strumienia spalin z nawrotem do komory spalania.

W publikacji: „Wpływ recyrkulacji spalin na proces spalania biomasy” autorstwa: M. Polák, P. Neuberger, K. Rutkowski, opublikowanego w czasopiśmie Inżynieria Rolnicza, 7 (95)/2007 przedstawiono badania nad sprawdzeniem zasadności stosowania recyrkulacji spalin w kotłach w trakcie spalania biomasy. Do realizacji badań wykorzystano autorskie stanowisko badawcze zaopatrzone w komorę recyrkulacyjną wyposażoną w przepustnice powietrza zewnętrznego oraz przepustnicę gazów spalinowych do kotła połączoną z wentylatorem. Z zrealizowanych badań wynika, że najkorzystniejsze parametry pracy dla wymienionego układu osiągnięto przy recyrkulacji $r = 0,3$ ze współczynnikiem nadmiaru powietrza równym $\lambda = 1,3-1,4$ przy spalaniu pelletu drzewnego, zaś $\lambda = 1,5-1,6$ w przypadku spalania ziaren żyta.

W publikacji: „Wpływ recyrkulacji zewnętrznej spalin na proces spalania węgla w złożu stacjonarnym w kotle komorowym małej mocy” autorstwa: K. Kubic, R. Mnich, opublikowanego w czasopiśmie Gospodarka Paliwami i Energia, tom nr 1 rocznik 2004 przedstawiono wyniki badań wpływu recyrkulacji zewnętrznej na proces spalania węgla w złożu stacjonarnym, w kotle komorowym z ręcznym okresowym załadunkiem paliwa. Badania wykazały, że zastosowanie recyrkulacji spalin w zakresie do 20% wpływa na obniżenie wskaźników emisji tlenku węgla (CO), tlenków azotu (NO_x), zanieczyszczeń organicznych (TOC), i pyłu. Zwiększenie udziału recyrkulowanych spalin powyżej 20%, w tej konstrukcji kotła

powoduje wzrost strat niecałkowitego i niezupełnego spalania i w konsekwencji spadek jego sprawności energetycznej.

Postawionym do realizacji zadaniem technicznym jest rozwiązanie problemu związanego z emisją związków szkodliwych takich jak tlenki azotu, tlenek węgla czy lotne związki organiczne oraz sadza w kotłach grzewczych. Głównym celem zadania jest ograniczenie emisji niniejszych związków w szczególności emisji tlenków azotu w wymienionych urządzeniach przy jednoczesnej poprawie efektywności energetycznej kotłów, co przekłada się na zmniejszenie negatywnego oddziaływania kotłów na środowisko i człowieka.

Recyrkulacji spalin w celu ograniczenia emisji związków szkodliwych, w szczególności ograniczenia emisji NO_x, jest rozwiązaniem znanym w układach energetycznych, często określane jest akronimem FGR (z angielskiego *Flue Gas Recirculation*). Rozwiązania takie są powszechnie stosowane w dużych kotłach energetycznych lub w piecach przemysłowych. Tego typu rozwiązania stosowane są w układach, w których zarówno moc jak i proces spalania jest diametralnie różny od układów, w których zastosowanie znajdzie wynalazek.

Innym ze znanych rozwiązań jest układ o akronimie EGR (z angielskiego *Exhaust Gas Recirculation*), który jest stosowany w przemyśle motoryzacyjnym w silnikach spalinowych pojazdów samochodowych. Układ taki jest wyposażony w dodatkowy zawór dozujący spaliny wprowadzane do powietrza. Takie rozwiązanie jest odmienne w odniesieniu do zgłaszanego rozwiązania przede wszystkim w kontekście rodzaju urządzeń, w którym znajduje zastosowanie. Zastosowanie zgłaszanego rozwiązania technologicznego (recyrkulacji spalin) w połączeniu z innowacyjnym rozwiązaniem zaworu regulacyjnego umożliwi zastosowanie rozwiązania do szerokiego zakresu urządzeń, w szczególności niskotemperaturowych kotłów małej mocy. Możliwość ograniczenia emisji związków szkodliwych przyczyni się do poprawy środowiska, co ma ogromne znaczenie w związku z faktem, iż kotły niskotemperaturowe są głównym źródłem zanieczyszczeń powietrza w Polsce.

Prowadzone testy wskazują że zastosowanie recyrkulacji spalin w procesach spalania paliw stałych przynosi korzystny efekt zarówno w zakresie ograniczenia emisji w szczególności emisji tlenu azotu ale także tlenu węgla i lotnych związków organicznych. W przypadku optymalnej pracy urządzenia grzewczego i układu recyrkulacji możliwe jest ograniczenie ilości emitowanych substancji szkodliwych w zakresie od 5% do 50% w zależności od rozpatrywanego składnika spalin. Dodatkowo przyczynia się do poprawy efektywności energetycznej kotłów. Istotnym aspektem jest określenie ilości wprowadzanych spalin recyrkulujących w zakresie 0–200%, co jest kontrolowane poprzez innowacyjny zawór regulacyjny wyposażony w czujnik zawartości tlenu oraz układ regulacyjny z silnikiem elektrycznym oraz przekładnią i dystrybutorem spalin.

Zastosowana technologia recyrkulacji spalin jest zaliczana do pierwotnych metod redukcji tlenu azotu, która to wcześniej nie była stosowana w przypadku kotłów grzewczych małej mocy. Rozwiązanie opracowane na bazie tej technologii może być stosowane w zakresie kotłów o mocy od 10 do 500 kW. Technologia ta opiera się na pobieraniu spalin za kotła, z czopucha i kierowaniu ich do komory spalania powyżej paliwa, w wyniku czego dochodzi do mieszania się zawracanych spalin ze świeżym ładunkiem czyli mieszanką palną (paliwowo-powietrzną). Takie kształtowanie procesu spalania powodując ubożenie ilości tlenu w mieszaninie palnej oraz obniżeniu temperatury procesu spalania co przyczynia się do ograniczenia emisji w szczególności tlenków azotu. Natomiast cyrkulacja spalin przyczynia się do dopalenia niespalonych związków zawartych w spalinach, w tym LZO czy CO przyczynia się do ograniczenia emisji niniejszych związków szkodliwych oraz poprawienia efektywności energetycznej procesu spalania.

Istotą wynalazku jest układ recyrkulacji spalin dla kotłów grzewczych na paliwa stałe. Układ według wynalazku posiada zamontowany szczelnie, na czopuchu kotła grzewczego na paliwa stałe, regulowany zawór dystrybucji spalin. Zawór dystrybucji spalin zawiera czujnik do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu. Zawór dystrybucji spalin łączy się z przewodem kominowym oraz z kanałem nawrotnym spalin. Na końcu kanału nawrotnego spalin znajduje się wentylator, który połączony jest ujściem spalin z kanałem spalinowym wprowadzającym recyrkulowane spaliny do komory spalania nad spalane paliwo.

Zawór dystrybucji spalin posiada kanał wlotowy spalin osadzony trwale w obudowie zaworu, z której wychodzą co najmniej dwa kanały spalinowe: kanał nawrotu spalin na kocioł oraz kanał kominowy. Do obudowy zaworu zamocowany jest – korzystnie za pomocą obejm – silnik elektryczny napędzający wał z przekładnią przechodzący przez szczelną tuleję i łączący się z przekładnią różnicową

służącą do regulacji otwarcia kanałów spalinowych przy wykorzystaniu dystrybutora spalin. Kąt rozwarcia dystrybutora spalin jest ustalany poprzez informację o temperaturze spalin i zawartości tlenu w spalinach rejestrowanych przez sondę pomiarową czujnika do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu umieszczoną w kanale wlotowym spalin korzystnie poprzez szczelną tuleję, który jest połączony ze sterownikiem zaworu.

Dzięki zastosowaniu regulowanego zaworu dystrybucji spalin możliwe jest recykulowanie spalin w zakresie od 0% do 200%, korzystnie w zakresie od 0% do 100%, świeżego strumienia masy powstających w komorze spalania spalin. Regulacja ilości recykulowanych spalin odbywa w oparciu o ciągły pomiar temperatury spalin oraz zawartości tlenu w spalinach przez sondę pomiarową, której wyniki pozwalają sterować rozwarciem dystrybutora spalin w zakresie od 0% do 100% strumienia masy przepływających spalin w kierunku recykulowania spalin, bądź do przewodu spalinowego. W układzie możliwa jest recykulacja spalin powstałych ze spalania w kotle grzewczym paliwa stałego węglowego bądź biomasowego w zakresie współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda = 1,0-4,5$, korzystnie w zakresie $\lambda = 1,1-2,5$ przy jednoczesnym osiąganiu recykulacji spalin na poziomie od 0% do 100%, korzystnie na poziomie od 0% do 70% świeżego strumienia masy spalin.

Wynalazek w przykładzie realizacji pokazano na rysunku, na którym fig. 1 wskazuje schemat blokowy układu, a fig. 2 schematyczny przekrój zaworu.

W przykładzie realizacji pokazanym na fig. 1 i fig. 2 pokazano układ wyposażony w zawór dystrybucji spalin z dwoma kanałami, po jednym kanale doprowadzającym spaliny do kotła oraz kanałem odprowadzającym spaliny do kanału kominowego.

Układ zawracania (recykulacji) spalin do komory spalania kotłów grzewczych na paliwa stałe 1 w obszar powyżej spalanego paliwa. Układ składa się z zaworu dystrybucji spalin 4 z zabudowanym czujnikiem do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu 19. Zadaniem zaworu jest kontrola ilości recykulujących spalin pobieranych z czopucha 2 doprowadzanych kanałem nawrotnym spalin 5 poprzez wentylator 6 oraz kanał spalinowy 7 wprowadzający zawracane spaliny do komory spalania 8. Zawór dystrybucji spalin 4 połączony jest również z przewodem kominowym 3.

Zawór dystrybucji spalin 4 posiada kanał wlotowy spalin 9 osadzony trwale w obudowie zaworu 10, z której wychodzą co najmniej dwa kanały spalinowe: kanał nawrotu spalin na kocioł 11 oraz kanał kominowy 18. Do obudowy zaworu 10 zamocowany jest za pomocą obejm 12 silnik elektryczny 13 napędzający wał z przekładnią 14 przechodzący przez szczelną tuleję 15 i łączący się z przekładnią różnicową 16. W kanale wlotowym spalin 9 osadzona jest korzystnie poprzez szczelną tuleję 20 sonda pomiarowa czujnika do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu 19, dzięki któremu możliwa jest organizacja redystrybucji zawracanych spalinach. Regulacja stopnia recykulacji spalin dokonuje się przez silnik elektryczny 13 połączony z wałem napędowym z przekładnią 14 przechodzący przez szczelną tuleję 15 łączący się z przekładnią różnicową 16. Poprzez zmienne odchylenie kątowe, reguluje otwarcie kanałów spalinowych przy wykorzystaniu dystrybutora spalin 17 w konsekwencji część spalin kierowana jest do komory spalania 8 a część do przewodu kominowego 3.

Zawór regulacyjny umożliwia kierowanie spalin do procesu spalania czyli do komory kotła lub do kanału wyprowadzenia spalin w zakresie od 0% do 200%, korzystnie w zakresie od 0% do 100% przepływającego świeżego strumienia masy powstających w komorze spalania spalin. Całkowity strumień spalin recykulujących może wynosić od 0% do 100% świeżego strumienia masy spalin, przy czym korzystne jest aby spaliny recykulujące stanowiły od 0% do 70%. Taki sposób regulacji, umożliwia optymalną pracę układu nie prowadząc do powstawania problemów z procesem spalania, przez zbyt małą ilość tlenu doprowadzanego do procesu spalania.

Zastrzeżenie patentowe

1. Układ recykulacji spalin dla kotłów grzewczych na paliwa stałe **znamienny tym**, że posiada zamontowany szczelnie na czopuchu (2) kotła grzewczego na paliwa stałe (1) regulowany zawór dystrybucji spalin (4), z czujnikiem do pomiaru temperatury spalin i zawartości tlenu (19) połączone z sterownikiem zaworu, który to zawór (4) łączy się z przewodem kominowym (3) oraz z kanałem nawrotnym spalin (5), na którego końcu znajduje się wentylator (6), który połączony jest ujściem spalin z kanałem spalinowym (7) wprowadzającym recykulowane spaliny do komory spalania (8) nad spalone paliwo, przy czym regulowany zawór dystrybucji spalin (4) posiada kanał wlotowy spalin (9) osadzony trwale w obudowie zaworu (10), z której wychodzą

