

**Sposób niskoemisyjnego spalania gazów nisko i  
średniokalorycznych zawierających  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$  oraz inne  
związki zawierające azot cząsteczkowy w komorach spalania  
przemysłowych urządzeń energetycznych  
oraz układ do stosowania tego sposobu**

Przedmiotem wynalazku jest sposób niskoemisyjnego spalania gazów nisko i średniokalorycznych zawierających  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$  oraz inne związki zawierające azot cząsteczkowy w komorach spalania przemysłowych urządzeń energetycznych, takich jak kotły energetyczne i grzewcze oraz piece hutnicze, cechujący się niską emisją  $\text{NO}_x$ . Ponadto przedmiotem wynalazku jest także układ do stosowania tego sposobu.

Znany jest z opisu patentowego nr P.391715 sposób spalania niskokalorycznych gazów odpadowych polegający na stopniowym współpalaniu gazu odpadowego z pełnowartościowym paliwem gazowym, gdzie gaz pełnowartościowy doprowadzany jest stycznie do ścianek pierwszego segmentu spalania i gdzie tworzy z powietrzem doprowadzonym osiowo do tego segmentu, mieszaninę, która zapalana jest przez palnik pilotujący, powstały płomień rozgrzewa wnętrze układu, następnie do tego samego segmentu spalania, po osiągnięciu odpowiedniej temperatury, w powstały płomień dostarczany jest gaz odpadowy, który zapala się i rozgrzewa pierwszy i kolejne segmenty układu, po osiągnięciu określonej wartości temperatury gaz odpadowy dostarczany jest również do drugiego segmentu spalania, który znajduje się w palniku, stycznie do ścianek tego segmentu, po przekroczeniu kolejnego progu temperaturowego gaz odpadowy dostarczany jest do

trzeciego segmentu spalania, który znajduje się bezpośrednio w komorze spalania pod kątem od 0 do 90° do kierunku osi komory spalania, ilość powietrza dostarczana do układu przez pierwszy i posobnie po nim następujący drugi segment spalania jest bliska wartości stechiometrycznej ( $\lambda=1$ ), taka ilość powietrza skutkuje wytworzeniem odpowiednio wysokiej temperatury dla utylizacji gazów odpadowych, w czwartym segmencie układu spalania znajdującym się w komorze spalania dostarczane jest do układu powietrze wytwarzające wir, w ilości do 30% ilości powietrza dostarczanego do układu, podczas całego czasu pracy układu występuje współspalanie gazu pełnowartościowego i gazu odpadowego, nie jest możliwa praca układu bez dostarczania do układu gazu pełnowartościowego i przy wyłączonym palniku pilotującym.

Zadaniem technicznym do rozwiązania jest niskoemisyjny sposób spalania gazów nisko i średniokalorycznych, zawierających w swoim składzie znaczne ilości związków azotu takich jak np.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ , przyczyniających się do intensywnego tworzenia tlenków azotu, dodatkowo zawierających cząstki stałe oraz fazę ciekłą zawierającą wysokie węglowodory, przy minimalnym zapotrzebowaniu na paliwo pełnowartościowe jako paliwo rozpałkowe służące do rozgrzania układu do temperatury 750°C i w szczególnych przypadkach jako paliwo stabilizujące temperaturę procesu.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że do komory powietrznej palnika doprowadza się ciągły strumień powietrza, podawany z prędkością do 20 m/s i temperaturze od 0 do 800°C, korzystnie powyżej 300°C, które następnie podaje się do co najmniej jednego pierwszego segmentu spalania, w którym prędkość powietrza zwiększa się do około 80 m/s i gdzie poddaje się je mieszanii z pełnowartościowym paliwem, które podawane jest z prędkością do 25 m/s, korzystnie 15 m/s, za pomocą co najmniej jednej dyszy, po czym dokonuje się zapłonu tej mieszaniny za pomocą co najmniej jednego palnika pilotującego, który inicjuje i podtrzymuje płomień, z kolei uzyskane w ten sposób gorące spaliny ogrzewają kolejne segmenty w układzie spalania, gdy temperatura

mierzona na ścianach w drugim segmencie spalania osiągnie temperaturę powyżej 750°C podaje się do drugiego segmentu spalania przez co najmniej jedną dyszę gaz pełnowartościowy z prędkością do 120 m/s, korzystnie 90 m/s, korzystnie jest gdy strumień gazu i strumień powietrza ze spalinami są równoległe względem siebie, kierunek oraz prędkość z jaką podawane jest paliwo i powietrze ze spalinami do drugiego segmentu spalania powoduje, wytworzenie silnej wewnętrznej recyrkulacji spalin w obrębie drugiej strefy spalania, powstały płomień ogrzewa komorę spalania, gdy temperatura mierzona na ścianach w drugim segmencie spalania osiągnie temperaturę 850°C podaje się do drugiego segmentu spalania przez co najmniej jedną dyszę gaz nisko lub średniokaloryczny z prędkością do 120 m/s, korzystnie 70 m/s i temperaturze od 0 do 600°C w ilości do 100% całkowitego strumienia przeznaczonego do spalania, gaz pełnowartościowy w momencie rozpoczęcia dostarczania gazu nisko lub średniokalorycznego zostaje odcięty, ponowne rozpoczęcie dostarczania gazu pełnowartościowego do drugiego segmentu spalania następuje w momencie, gdy temperatura na wyjściu z układu spada poniżej temperatury zadanej bądź temperatura mierzona na ścianie komory spalania w drugim segmencie spalania spadnie poniżej temperatury zadanej a nie jest możliwe dalsze zwiększanie strumienia gazu nisko lub średniokalorycznego lub wartość opałowa tego gazu jest tak niska, że zwiększenie jego strumienia powoduje dalszy spadek temperatury w komorze spalania, ilość powietrza podawana przez pierwszy segment spalania do drugiego segmentu spalania znajdującego się w komorze spalania jest poniżej ilości stechiometrycznej i zazwyczaj współczynnik nadmiaru powietrza w tym obszarze kształtuje się na poziomie od 0,4 do 0,99, korzystnie 0,7, strumień gazu nisko lub średniokalorycznego i strumień powietrza ze spalinami tworzą kąt zawarty w przedziale od 0 do 90°, korzystnie gdy strumienie te są równoległe względem siebie, kierunek oraz prędkość z jaką podawane jest paliwo i powietrze ze spalinami do drugiego segmentu spalania powoduje, wytworzenie silnej wewnętrznej recyrkulacji spalin w obrębie drugiej strefy spalania, następnie w trzecim segmencie spalania znajdującym się w komorze spalania, wprowadza się

wielopoziomowo, korzystnie na dwóch poziomach, przez co najmniej dwie dysze na każdym z poziomów, z czego dysze na poszczególnych poziomach, pochylone są w kierunku przepływu w komorze spalania, nachylenie to zawiera się w przedziale od  $0^\circ$  do  $45^\circ$  licząc od płaszczyzny prostopadłej do osi wzdłużnej komory spalania, i może być różne dla każdego z poziomów, dodatkowo dysze na wszystkich poziomach ustawione są w sposób powodujący powstanie we wnętrzu komory spalania silnego wiru z osią obrotu pokrywająca się z osią komory spalania, powietrze do trzeciego segmentu spalania wprowadzane jest z prędkością do 200 m/s, korzystnie 100 m/s i temperaturze od 0 do  $800^\circ\text{C}$ , korzystnie powyżej  $300^\circ\text{C}$ , w ilości zapewniającej wytworzenie strefy o podwyższonym udziale tlenu, współczynnik nadmiaru powietrza waha się zwykle w granicach od 1,0 do nawet 5,0. W powstały w ten sposób wir w trzecim segmencie spalania wpływają spaliny (produkty niepełnego spalania) z pierwszego segmentu spalania, oraz niedopalone cząstki paliwa i spaliny z drugiego segmentu spalania, które przemieszczają się wzdłuż osi komory spalania, silny wir korzystnie wpływa na intensyfikację procesu mieszania, wywołuje silną wewnętrzną recyrkulację spalin, co skutkuje wydłużeniem drogi cząstek w komorze spalania, dając czas na dopalenie się niedopalonych cząstek pochodzących z pierwszego i drugiego segmentu spalania, gdzie proces spalania prowadzony jest z niedomiarem tlenu oraz wyrównuje profil temperatury w komorze spalania, temperatura strumienia spalin opuszczających komorę spalania wynosi co najmniej  $900^\circ\text{C}$  i nie przekracza  $1300^\circ\text{C}$ , opisany powyżej sposób podawania powietrza w trzecim segmencie spalania oraz korzystnie stożkowy kształt komory spalania w obrębie drugiego segmentu spalania powoduje podzielenie komory spalania na dwa wyraźnie, aerodynamicznie oddzielone obszary, pierwszy o znacznym niedoborze utleniacza oraz drugi, zaczynający się mniej więcej na poziomie pierwszego poziomu dysz obszar o dużym nadmiarze tlenu, w którym współczynnik nadmiaru powietrza kształtuje się na poziomie od 1,0 do 5,0.

Korzystnym jest gdy w drugim segmencie spalania wprowadza się do układu spalania co najmniej jedną dyszą strumień gazu nisko lub

średniokalorycznego skierowany pod kątem zawartym od 0 do 90° względem podłużnej osi układu spalania w zależności od właściwości fizyko-chemicznych paliwa.

Istota układu według wynalazku polega na tym, że pierwszy segment układu spalania posiada postać walcowego cylindra wewnątrz, którego umieszczony jest co najmniej jeden palnik pilotujący oraz co najmniej jedna dysza paliwa pełnowartościowego w osi równoległej do stycznej przekroju poprzecznego walcowego cylindra. Przy czym wejście pierwszego segmentu układu spalania połączone jest z komorą powietrza zasilającego, a z drugiej strony poprzez przewężenie łączy się z komorą spalania układu spalania. Drugi segment układu spalania znajduje się w komorze spalania, która posiada postać walcowego cylindra, prostopadłościanu, korzystnie ściętego stożka, w którym umieszczona jest co najmniej jedna dysza gazu pełnowartościowego i co najmniej jedna dysza gazu nisko lub średniokalorycznego, osie dysz tworzą z osią komory spalania i osią pierwszego segmentu spalania kąt od 0 do 90°. W komorze spalania w pewnej odległości od miejsca wtrysku gazu nisko lub średniokalorycznego do drugiego segmentu spalania, korzystnie w połowie komory spalania zaczyna się trzeci segment spalania, gdzie osadzone są wielopoziomowo, korzystnie na dwóch poziomach, co najmniej dwie dysze powietrza na każdym z poziomów, z czego dysze na poszczególnych poziomach pochylone są w kierunku przepływu w komorze spalania, nachylenie to zawiera się w przedziale od 0° do 45° licząc od płaszczyzny prostopadłej do osi wzdłużnej komory spalania, i może być różne dla każdego z poziomów, dodatkowo dysze na wszystkich poziomach ustawione są w sposób powodujący powstanie we wnętrzu komory spalania silnego wiru z osią obrotu pokrywającą się z osią komory spalania.

Korzystnym jest gdy komora powietrza połączona jest z podgrzewaczem powietrza poprzez przepustnice regulacyjną.

Korzystnym jest także gdy w pierwszym segmencie układu spalania każda dysza paliwa pełnowartościowego połączona jest z zasilaczem paliwa pełnowartościowego poprzez zawory odcinające.

Dalej korzystnym jest gdy w drugim segmencie układu spalania każda dysza paliwa pełnowartościowego połączona jest z zasilaczem paliwa pełnowartościowego poprzez zawory odcinające.

Również korzystnym jest gdy w drugim segmencie układu spalania każda dysza gazu nisko lub średniokalorycznego połączona jest z zasilaczem gazu nisko lub średniokalorycznego bezpośrednio lub poprzez zawór odcinający.

Następnie korzystnym jest gdy w trzecim segmencie układu spalania każda dysza powietrza połączona jest z podgrzewaczem powietrza poprzez wspólną lub indywidualną przepustnicę regulacyjną.

Dalej korzystnym jest gdy element sterujący połączony jest z czujnikami temperatury oraz z zaworami odcinającymi dysz paliwa pełnowartościowego dostarczanego do pierwszego segmentu spalania, z zaworami odcinającymi dysz paliwa pełnowartościowego dostarczanego do drugiego segmentu spalania, zaworami odcinającymi dysz gazu nisko lub średniokalorycznego dostarczanego do drugiego segmentu spalania, przepustnicą regulacyjną powietrza doprowadzającego powietrze do komory powietrza oraz przepustnicami regulacyjnymi dysz powietrza dostarczającymi powietrze do trzeciego segmentu spalania.

Ponadto korzystnym jest gdy układ ma co najmniej jedną gałąź, w której szeregowo połączone są pierwszy segment, oraz drugi i trzeci segment układu spalania znajdujący się we wspólnej komorze spalania.

Dzięki wynalazkowi następuje spalanie gazów nisko lub średniokalorycznych, zawierających w swoim składzie znaczne ilości związków azotu takich jak np.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$  (przyczyniających się do intensywnego tworzenia tlenków azotu), podczas bezpiecznego i

stabilnego procesu spalania przy zachowaniu wysokiej sprawności energetycznej układu i ekstremalnie niskiej emisji CO i NOx.

Ponadto układ spalania, ze względu na połączenie różnych technologii spalania, pozwala na:

- spalanie paliw gazowych odpadowych o niskiej i średniej wartości opałowej,
- spalanie paliw gazowych zawierających w swoim składzie znaczne ilości związków azotu takich jak np.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ,
- spalanie paliw gazowych zawierających w swoim składzie cząstki stałe oraz fazę ciekłą,
- spalanie paliw gazowych zawierających w swoim składzie wysokie węglowodory zarówno w fazie ciekłej jak i gazowej,
- bardzo małe zużycie paliwa pełnowartościowego, które używane jest praktycznie tylko do rozgrzania układu.

W rozwiązaniu według wynalazku spalanie przebiega zgodnie z założeniami technologii spalania objętościowego, a stabilizacja płomienia oparta jest o aerodynamikę procesu, prowadzonego z ustalonymi prędkościami oraz ustalonym kierunkiem podawania powietrza, paliwa pełnowartościowego oraz gazów nisko lub średniokalorycznych w poszczególnych strefach spalania oraz stabilizację temperaturową. Stopniowe podawanie powietrza do różnych stref spalania oraz aerodynamiczne kształtowanie i rozdzielenie poszczególnych stref spalania skutkuje niską emisją CO oraz NOx. Zasadnicza część procesu spalania prowadzona jest w semi-adiabatycznej komorze spalania powyżej temperatury samozapłonu mieszaniny.

Wynalazek zostanie przybliżony na podstawie przykładowego wykonania pokazanego na rysunku, którego poszczególne figury przedstawiają:

fig. 1 – schemat ideowy układu realizującego sposób,

fig. 2 – schemat aerodynamicznego kształtowania stref spalania,

fig. 3 – fragment układu spalania w rzucie izometrycznym przedstawiający pierwszy segment układu spalania z palnikiem pilotującym, lancą

paliwa pełnowartościowego oraz lance paliwa pełnowartościowego i lance paliwa nisko lub średniokalorycznego dostarczającego paliwo do drugiego segmentu spalania.

Układ według wynalazku zbudowany jest z komory 1 powietrza zasilającego, układu spalania 2 z segmentami 3, 4, 5 połączonymi ze sobą posobnie, palnika pilotującego 6, dysz paliwa pełnowartościowego 7 i 8, dyszy gazu nisko lub średniokalorycznego 9, dysz powietrza 10, podgrzewacza powietrza 11, zasilacza paliwa pełnowartościowego 12, zasilacza gazu nisko lub średniokalorycznego 13, przepustnic regulacyjnych powietrza 14 i 19, zaworów odcinających paliwa pełnowartościowego 15, zaworów odcinających paliwa nisko lub średniokalorycznego 20, czujników temperatury 16 i 21, detektora płomienia 17, charakteryzuje się tym, że pierwszy segment 3 układu spalania 2 posiada postać walcowego cylindra wewnątrz, którego umieszczony jest co najmniej jeden palnik pilotujący 6 oraz co najmniej jedna dysza paliwa pełnowartościowego 7 usytuowana w osi równoległej do stycznej przekroju poprzecznego walcowego cylindra, przy czym z jednej strony pierwszy segment 3 układu spalania 2 połączony jest z komorą 1 powietrza zasilającego, a z drugiej strony poprzez przewężenie łączy się z drugim segmentem 4 układu spalania 2, w jednym cylindrze znajdują się drugi segment 4 oraz trzeci segment 5 układu spalania 2 tak, że jedną część cylindra, którą stanowi drugi segment 4 układu spalania 2, gdzie osadzona jest co najmniej jedna dysza gazu pełnowartościowego 8 oraz co najmniej jedna dysza gazu nisko lub średniokalorycznego 9 oraz co najmniej jeden czujnik temperatury 16 układu spalania, natomiast drugą część cylindra, która stanowi trzeci segment 5 układu spalania 2 gdzie osadzone są wielopoziomowo, korzystnie na dwu poziomach, co najmniej dwie dysze powietrza 10 na każdym z poziomów, z czego dysze na poszczególnych poziomach pochylone są w kierunku przepływu w komorze spalania, nachylenie to zawiera się w przedziale od  $0^{\circ}$  do  $45^{\circ}$  licząc od płaszczyzny prostopadłej do osi wzdłużnej komory spalania, i może być różne dla każdego z poziomów, dodatkowo dysze na wszystkich poziomach ustawione są w sposób powodujący powstanie we wnętrzu

komory spalania silnego wiru z osią obrotu pokrywającą się z osią komory spalania.

W pierwszej odmianie układu komora 1 powietrza zasilającego połączona jest z podgrzewaczem powietrza 11 poprzez przepustnice regulacyjną 19.

W drugiej odmianie układu w pierwszym segmencie 3 układu spalania 2 każda dysza paliwa pełnowartościowego 7 połączona jest z zasilaczem paliwa pełnowartościowego 12 poprzez zawór odcinający 15.

W trzeciej odmianie układu w drugim segmencie 4 układu spalania 2 każda dysza paliwa pełnowartościowego 8 połączona jest z zasilaczem paliwa pełnowartościowego 12 poprzez zawór odcinający 15.

W czwartej odmianie układu w drugim segmencie 4 układu spalania 2 każda dysza gazu nisko lub średniokalorycznego 9 połączona jest z zasilaczem gazu nisko lub średniokalorycznego 13 poprzez zawór odcinający 20.

W piątej odmianie układu w trzecim segmencie 5 układu spalania 2 każda dysza powietrza 10 połączona jest z podgrzewaczem powietrza 11 poprzez przepustnice regulacyjne 14.

W szóstej odmianie układu element sterujący 18 połączony jest z czujnikami temperatury 16 i 21 oraz z zaworami odcinającymi 15 dysz paliwa pełnowartościowego 7, 8, zaworami odcinającymi 20, dysz gazu nisko lub średniokalorycznego 9, przepustnicami regulacyjnymi 14 dysz powietrza 10 dostarczanego do trzeciego segmentu spalania 5 oraz przepustnicą regulacyjną 19 przewodu doprowadzającego powietrze do komory powietrza 1.

W siódmej odmianie układ ma co najmniej jedną gałąź, w której szeregowo połączone są pierwszy segment 3, ze wspólnym drugim segmentem 4 układu spalania 2, i trzecim segmentem 5 układu spalania 2.

W układzie według wynalazku proces spalania gazu syntezowanego prowadzi się wielostopniowo w czterech palnikach dwupaliwowych. Schemat ideowy procesu spalania przedstawiony jest na fig. 1.

W pierwszym segmencie 3 układu spalania 2 powietrze pierwszego stopnia spalania doprowadzane jest poprzez komorę powietrza 1. Prostopadle do strumienia powietrza i stycznie do ścian pierwszego segmentu spalania 3 dostarczany jest gaz ziemny poprzez dysze 7. Powstała mieszanka zapalana jest za pomocą palnika pilotującego 6. Aby do układu spalania 2 można było dostarczyć strumień gazu ziemnego przez dysze 7 musi pracować palnik pilotujący 6. Po uruchomieniu palnika pilotującego 6 wskazany jest kilku minutowy okres czasu zanim zostanie podany z zasilacza 12 gaz ziemny. Kilka sekund od rozpoczęcia dostarczania gazu ziemnego do dysz 7 kontrola obecności płomienia realizowana jest za pomocą detektora płomienia 17 zainstalowanego na tylnej ścianie palnika. Brak potwierdzenia płomienia przez detektor płomienia 17 w przypadku temperatury układu poniżej 750°C skutkuje odcięciem dopływu gazu ziemnego do dysz 7. Przy temperaturach w układzie spalania powyżej 750°C dla dostarczenia gazu ziemnego do dysz 7 palnik pilotujący 6 musi pracować poprawnie bądź detektor płomienia 17 musi potwierdzić występowanie płomienia. Po przekroczeniu temperatury 750°C rola kontroli płomienia opiera się na pomiarze temperatury na ścianach komory spalania, a rola ta zostaje zdjęta z detektorów płomienia umieszczonych w segmencie pierwszym układu i palniku pilotującym. Takie postępowanie skutkuje podniesieniem pewności działania systemu. Ze względu na ceramiczne wyłożenie wnętrza układu 2, rozgrzewanie układu musi następować stopniowo, zgodnie z odpowiednią krzywą grzania a jego chłodzenie zgodnie z krzywą chłodzenia. Jeżeli układ spalania 2 rozpoczyna pracę, gdy temperatura mierzona na ściankach drugiego segmentu spalania 4 jest niższa od temperatury znamionowej, układ musi być rozgrzewany stopniowo według krzywej rozgrzewania, a jego praca przy maksymalnej mocy nie jest od razu możliwa. Po osiągnięciu temperatury powyżej 850°C, mierzonej czujnikiem temperatury

16 na ściankach drugiego segmentu 4 układu spalania 2, gaz ziemny dostarczany do dysz 7 i 8, zostaje odcięty oraz zostaje wyłączony palnik pilotujący 6, a do drugiego segmentu spalania 4 przez dysze 9, zostanie dostarczony gaz syntezowany. Ilość powietrza dostarczona do pierwszego i drugiego segmentu 3 i 4 układu spalania 2 jest w okolicach 70% wartości stechiometrycznej. Taka ilość powietrza pozwala uzyskać optymalną, relatywnie niską temperaturę w drugim segmencie 4 układu spalania 2, potrzebną w procesie utylizacji gazów syntezowanych. Wytworzenie takiej temperatury pozwala uzyskać odpowiednią jakość procesu spalania i zapewnić niską intensywność procesu tworzenia NOx. W trzecim segmencie 5 układu spalania 2 dostarczana jest pozostała część powietrza, która pozwala uzyskać zadany współczynnik nadmiaru powietrza na wylocie z układu. Strumień powietrza dostarczony jest dyszami 10 rozmieszczonymi na dwu poziomach na ścianach komory spalania i skierowany jest pod kątem do ścian komory spalania w celu wzmocnienia wewnętrznego wiru gwarantującego intensyfikację procesów mieszania gazów, zwiększenia czasu przebywania gazów w komorze, dopalenia niedopalonych związków z poprzednich segmentów 3 i 4 układu spalania 2 co ma na celu maksymalizowanie jakości procesu spalania.

W rozwiązaniu według wynalazku nie stosuje się wykonawczych elementów mechanicznych, takich jak łopatki, płytki, zawirowujące strugę i stabilizujące płomień. Użycie tych elementów, przy zanieczyszczonych i agresywnych gazach, w połączeniu z wysoką temperaturą powoduje szybką ich degradację i uszkodzenie, a w najlepszym przypadku osady gromadzące się na nich powodują szybkie zablokowanie palników a w konsekwencji awarię i zatrzymanie całego systemu spalania.


W opisie przedstawiono jedną z realizacji technicznych sposobu i układu spalania gazu syntezowanego, występującego w postaci, współspalania gazu pochodzącego ze zgazowania wyselekcjonowanych odpadów miejskich, z gazem ziemnym jako paliwem pełnowartościowym, wykorzystywanym do rozgrzewania układu, z wykorzystaniem powstałej w tym procesie energii cieplnej w postaci gazów spalinowych. Gaz syntezowany powstaje w procesie zgazowania wyselekcjonowanych

odpadów komunalnych, biomasy, węgla i tym podobnym. Z uwagi na swój skład, to jest na dużą zawartość związków zawierających azot takich jak na przykład  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ , gaz syntezowany wymaga szczególnego prowadzenia procesu spalania. Proces ten polega na jego objętościowym, wysoko-temperaturowym, spalaniu, przy bardzo precyzyjnym sterowaniu stosunkiem paliwa do powietrza i odwrotnie, w poszczególnych strefach spalania (stratyfikacja powietrza), przy jednoczesnym zminimalizowaniu zużycia gazu ziemnego jako paliwa rozpałkowego/pełnowartościowego i w szczególnych przypadkach stabilizującego proces. Instalacja została przygotowana do pracy z gazem syntezowanym, charakteryzującym się zmienną w czasie rzeczywistym: wartością opałową, zawartością głównych składników gazu, w tym cząstek stałych i ciekłych, zawierających w swoim składzie wysokie węglowodory, ilością i rodzajem zanieczyszczeń, wilgotnością i ciśnieniem. Spalanie gazu syntezowanego odbywa się w niechłodzonej (semiadiabatycznej) komorze spalania, posiadającej kształt cylindra w dolnej części i ściętego stożka w górnej części. Pochylenie ścianek komory spalania w jej górnej części korzystnie wpływa na obniżenie temperatur panujących w tym rejonie, to jest w drugiej strefie spalania (wykorzystanie mechanizmu promieniowania). Wymiary komory spalania dobrano tak, aby spełnić warunki co do minimalnego czasu przebywania spalin w układzie, około kilku sekund, jak i maksymalnych prędkości przepływu spalin w układzie spalania, nie więcej niż kilka metrów na sekundę. Minimalna temperatura pracy układu spalania została ustalona na poziomie  $850^\circ\text{C}$ , jest to temperatura gwarantująca spalanie gazów niskokalorycznych lub średniokalorycznych. Temperatura w układzie powyżej wartości  $850^\circ\text{C}$  regulowana jest za pomocą ilości dostarczanego gazu syntezowanego i powietrza. Spadek temperatury w układzie poniżej  $850^\circ\text{C}$  powoduje uruchomienie dostarczania gazu pełnowartościowego bezpośrednio do drugiego segmentu spalania, ponowny wzrost temperatury powyżej  $850^\circ\text{C}$  powoduje odcięcie dopływu gazu pełnowartościowego.

Układ spalania wyposażono w palniki dwu paliwowe dwustopniowe zasilane niezależnymi układami dostarczania mediów, co pozwala na

niezależną pracę poszczególnych palników. W oparciu o pomiar temperatury spalin oraz pomiar stężenia tlenu w spalinach na wyjściu z układu spalania, steruje się ilością gazu syntezowanego, tak aby utrzymać założoną temperaturę i strumień spalin na wyjściu z układu. Regulacja ilości gazu syntezowanego dostarczanego do układu spalania odbywa się za pomocą przepustnicy regulacyjnej, wspólnej dla czterech palników. Wymagane ciśnienie gazu syntezowanego w rurociągu zasilającym układ spalania wynosi do 10,0 kPa, nominalnie 5,0 kPa, dla nominalnego przepływu 750,0 Nm<sup>3</sup>/h na palnik, co przy zainstalowanych czterech palnikach daje 3000,0 Nm<sup>3</sup>/h, przy podciśnieniu w komorze spalania wynoszącym nawet 3 kPa. Powietrze ogrzane w wymienniku do temperatury 800°C rozdziela się na dwa strumienie: pierwszy strumień zasila pierwszy i poprzez niego pośrednio drugi i trzeci segment spalania, drugi strumień zasila bezpośrednio trzeci segment spalania. Pierwszy strumień powietrza do spalania dobierany jest tak aby w drugim stopniu spalania współczynnik nadmiaru powietrza osiągał wartość około 0,7. Ciśnienie powietrza wymagane do poprawnej pracy palników wynosi od do 10,0 kPa nominalnie 5,0 kPa, a natężenie przepływu dla każdego palnika wynosi około 850,0 Nm<sup>3</sup>/h, dla znamionowych warunków pracy palnika. Drugi strumień powietrza dostarczany jest bezpośrednio do układu spalania, do trzeciego segmentu spalania, za pomocą od 2 do 8 dysz, usytuowanych na dwu poziomach na bocznych ścianach komory spalania, pierwszy poziom dysz pochylony jest ku wylotowi spalin z komory spalania o kąt 20° w stosunku do płaszczyzny prostopadłej do osi wzdłużnej komory spalania, zgodne z kierunkiem przepływu spalin, co skutkuje ograniczeniem recyrkulacji spalin z trzeciego segmentu spalania do drugiego segmentu spalania i wytworzeniem w komorze spalania dwu stref o wyraźnej różnicy w stężeniu tlenu, drugi poziom dysz usytuowany jest równolegle do tej płaszczyzny, dodatkowo osie dysz rozlokowanych na obydwu poziomach mijają oś wzdłużną komory spalania dzięki czemu wypływające z nich powietrze tworzy we wnętrzu komory spalania silny wir, którego oś obrotu pokrywa się osią wzdłużną komory spalania, wypływające z drugiego stopnia spalania spaliny i niedopalone cząstki

paliwa wpadają w ten wir gdzie są intensywnie mieszane a niedopalone cząstki dopalane. Ciśnienie powietrza wymagane do poprawnej pracy trzeciego segmentu spalania wynosi do 10,0 kPa, nominalnie 5,0 kPa, a nominalny strumień powietrza dla tego segmentu spalania wynosi 20.000,0 Nm<sup>3</sup>/h. Dzięki takiemu podziałowi strumieni powietrza oraz pochyleniu ścian komory spalania w drugim segmencie spalania uzyskujemy atmosferę redukcyjną i obniżamy temperaturę procesu w tym obszarze, zabieg ten jest niezbędny do minimalizacji procesu tworzenia związków NOx i do ich redukcji. Drugi strumień powietrza dostarczany do trzeciego segmentu spalania zwiększa wartość współczynnika nadmiaru powietrza do wartości od 1,0 do nawet 5,0. Ilość powietrza dostarczanego do trzeciego segmentu spalania regulowana jest za pomocą przepustnic regulacyjnych, na podstawie prowadzonych pomiarów. W przypadku mniejszego zapotrzebowania na powietrze w trzecim segmencie spalania lub z uwagi na niższą moc układu, powietrze dostarcza się tylko do wybranych dysz, co zapewnia utrzymanie odpowiednich prędkości w szerokim zakresie zmian pracy układu.



mgr inż. Marek PASSOWICZ  
RZECZNIK PATENTOWY