

Zalety technologii wysokotemperaturowego spalania objętościowego HiTAC w procesach utylizacji gazów odpadowych i niskokalorycznych

Advantages of the HiTAC high-temperature volumetric combustion technology for treating waste and low calorific gases

dr inż. Dariusz SZEWCZYK, Paweł SKOTNICKI



W KILKU SŁOWACH

Wprowadzenie rygorystycznych norm emisji, jak również wzrost kosztów paliw zaowocował zainteresowaniem przedsiębiorców technologiami efektywnej utylizacji gazów odpadowych i niskokalorycznych, umożliwiającymi jednocześnie wykorzystanie energii tych gazów. Technologią, która wychodzi naprzeciw oczekiwaniom przedsiębiorców jest technologia wysokotemperaturowego spalania objętościowego HiTAC.



SUMMARY

The introduction of stringent emission standards followed by a fuel price increase prompted entrepreneurs to look for efficient technologies of treating and extracting energy from waste and low calorific gases. The HiTAC high-temperature volumetric combustion technology is an answer to their demands.

Wzrost świadomości ekologicznej podobnie jak duży nacisk kładziony na redukcję kosztów energetycznych przedsiębiorstwa, zaowocował dużym zainteresowaniem przedsiębiorstw najnowszymi technologiami spalania. Poszukiwana technologia spalania musi gwarantować bardzo niskie emisje (NO_x , CO), umożliwić redukcję zapotrzebowania na energię, a jednocześnie musi być niezawodna i sprawdzona w warunkach przemysłowych.

Konieczność ograniczenia emisji oraz wzrostu efektywności energetycznej układów produkcyjnych została również dostrzeżona przez Komisję Europejską w programie Europe 2020, w szczególności w pakiecie 3 x 20 poświęconym bezpośrednio kwestiom związanym z energią, od jej pozyskiwania po jej efektywne wykorzystywanie.

Jedną z technologii, która została w ostatnich latach wynaleziona i sprawdzona w setkach róż-

nych aplikacjach przemysłowych to technologia wysokotemperaturowego spalania objętościowego HiTAC (High Temperature Air Combustion). Technologia wprowadzona na rynek przez japońską firmę NFK (Nippon Furnace Kogyo) stała się początkiem rewolucji w podejściu do procesów spalania, szczególnie do procesów wysokotemperaturowych.

Technologia wysokotemperaturowego spalania objętościowego HiTAC ma własności pożądane w wielu przemysłowych procesach produkcyjnych, między innymi takie jak: bardzo niskie wartości emisji NO_x i CO, jednolity profil temperatury i strumień ciepły w komorze spalania dla różnych typów paliwa, możliwość spalania gazów odpadowych i niskokalorycznych, brak wrażliwości na bardzo niską i zmienną wartość opałową utylizowanego paliwa jak również strumienia tego paliwa.

Unikatowe cechy technologii HiTAC zostały ostatnio z sukcesem wykorzystane w specjalnym typie palników HTB-DL-WG zainstalowanych w systemach utylizacji gazu gardzielowego powstającego, jako produkt uboczny w procesie produkcji miedzi w piecach szybowych.

W artykule zaprezentowano korzyści, jakie niesie ze sobą zastosowanie technologii HiTAC na przykładzie przemysłowych systemów utylizacji gazu gardzielowego o nominalnej wydajności $65.000,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$, przy wartości opałowej LHV w zakresie od $1,5 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$ do $2,4 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$, i przy wydajności produkowanej pary na poziomie $41,0 \text{ t/h}$ (nominalnie $38,0 \text{ t/h}$) liczonej dla wartości opałowej $2,0 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$. Należy zauważyć, że utylizowany gaz gardzielowy ma dużą zawartość wilgoci, często przekraczającą punkt nasycenia, duży udział zanieczyszczeń pyłowych oraz zawiera korozyjne związki siarki, chloru i fluoru.





Systemy zaprezentowane w artykule oprócz typowych korzyści ekologicznych dla środowiska, niosą ze sobą wiele innych korzyści takich jak: bardzo niskie zużycie (udział) paliwa pomocniczego w procesie utylizacji, dużą elastyczność systemów, jak i redukcję emisji innych niż wcześniej wspomniane (NO_x i CO) związków wchodzących w skład gazu gardzielowego poprzez ich całkowite utlenienie.

W ostatnim czasie w sektorze przemysłu ciężkiego jak również w innych gałęziach przemysłu obserwuje się kilka charakterystycznych zjawisk stymulujących przedsiębiorców do poszukiwania nowych bardziej wydajnych technologii spalania, należą do nich:

- wzrost cen paliwa,
- wprowadzenie nowych restrykcyjnych norm emisji,
- rozwój firm konkurencyjnych,
- wzrost świadomości ekologicznej.

Przedsiębiorcy poszukując nowych rozwiązań unikają bycia polem doświadczalnym dla nowych niesprawdzonych technologii, poszukują oni technologii, która oprócz spełnienia wymagań energetycznych i limitów emisji będzie również niezawodna i sprawdzona w warunkach przemysłowych.

Technologią, która z powodzeniem wychodzi naprzeciw oczekiwaniom przedsiębiorców i spełnia opisane wymagania oraz została sprawdzona w setkach przemysłowych aplikacji jest technologia wysokotemperaturowego spalania objętościowego HiTAC.

Początkowo technologia ta była kojarzona prawie wyłącznie z systemami spalania opartymi o palniki regeneracyjne (HRS) jednak w toku ewolucji została również z powodzeniem zastosowana w układach spalania opartych o wysokotemperaturowe palniki HTB (High Temperature Burner) współpracujące z centralnymi systemami rekuperacji energii (podgrzewu powietrza).

Kolejnym krokiem w rozwoju systemów spalania opartych o technologię HiTAC było zaprojektowanie i wykonanie palników HTB-DL-WG przeznaczonych do utylizacji gazów odpadowych i niskokalorycznych powstających w procesach produkcji przemysłowej.

Niniejszy artykuł prezentuje korzyści, jakie płyną z zastosowania technologii HiTAC i pal-

ników HTB-DL-WG na przykładzie systemów utylizacji gazu gardzielowego stanowiącego produkt uboczny w procesie produkcji miedzi w piecach szybowych [1].

Technologia HiTAC

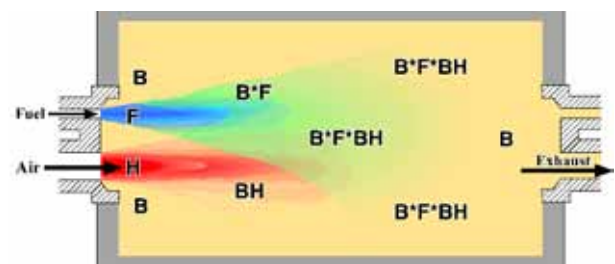
Technologia HiTAC została wprowadzona na rynek przez japońską firmę NFK (Nippon Furnace Kogyo). Głównymi cechami tej technologii są: prowadzenie procesu spalania w dużej objętości (zazwyczaj w niemal całej objętości komory spalania) oraz prowadzenie procesu spalania przy niskim udziale tlenu w obszarze występowania procesu spalania.

Z tego powodu technologia HiTAC jest często nazywana „spalaniem objętościowym” lub „spalaniem bezpłomieniowym” [2].

Objętościowy charakter tej technologii jest realizowany przez wtryskiwanie paliwa i powietrza do wnętrza komory spalania z odpowiednio wysoką prędkością z wykorzystaniem oddzielnych dysz, zlokalizowanych w odpowiedniej odległości od siebie. Ma to na celu wykorzystanie następujących zjawisk fizyko-chemicznych:

- intensywnej wewnętrznej recyrkulacji w komorze spalania,
- prowadzenia procesu spalania w obszarze, gdzie udział tlenu w mieszaninie palnej jest niski,

Idea technologii spalania HiTAC została przedstawiona na rysunku 1.



Rys.1.Schemat ideowy technologii HiTAC [3].

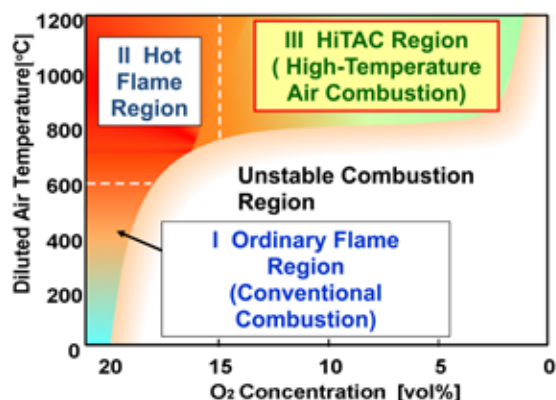
Legenda:

B: spaliny (Burnt Gas), BH: mieszanina B i H,
F: paliwo gazowe (Fuel), BF: mieszanina B i F,
H: podgrzane powietrze, (*): proces spalania,

Podgrzane powietrze wprowadzone do komory spalania (H) z dużymi prędkościami miesza się z otaczającymi spalinami (B), przez co powstaje utleniacz o niskim udziale tlenu (BH, mieszanina powietrza i spalin). Podobnie jest w przypadku gazu, paliwo gazowe (F) wprowadza-

dzione z dużymi prędkościami zasysa otaczające spaliny (B), jednocześnie zaczynając się utleniać (potocznie mówiąc spalać), ze względu na występujący w spalinach (B) w małych ilościach tlen, tworząc mieszaninę (B*F), czyli gaz o dużym udziale związków niepalnych pochodzących z otaczających spalin oraz częściowego utleniania paliwa gazowego.

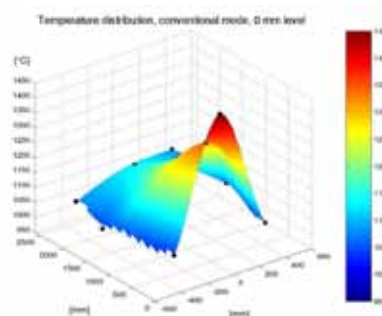
W odległości kilku średnic dyszy powietrza od wlotu powietrza, mieszanina powietrza i spalin (BH) oraz mieszanina paliwa gazowego i spalin (B*F) zaczynają się mieszać i powoli spalać (B*F*BH). Proces mieszania się i powolnego spalania jest kontynuowany i obejmuje niemal cały obszar komory spalania [3]. Objętość zajmowana przez proces spalania w utleniaczu o obniżonym udziale tlenu (technologia HiTAC) jest kilkadziesiąt razy większa od objętości zajmowanej przez proces spalania prowadzony przy zastosowaniu konwencjonalnej technologii [4, 5].



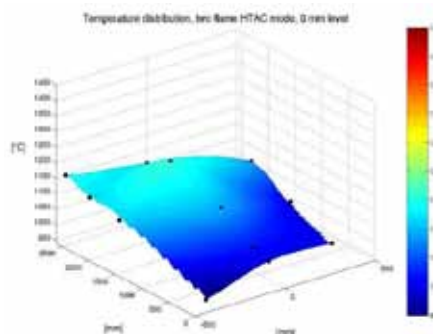
Rys.2. Podział obszaru spalania ze względu na temperaturę oraz udział tlenu w utleniaczu

Prowadzenie procesu spalania w obszarach, w których udział tlenu jest na niskim poziomie (Rys.2), pozwala unikać obszarów o dużej koncentracji wydzielania energii, co skutkuje brakiem występowania obszarów o wysokich temperaturach. Różnice pomiędzy temperaturą komory spalania a obszarami o podwyższonej temperaturze w technologii HiTAC są 5-7 razy mniejsze niż przy spalaniu konwencjonalnym [6]. Rozkład temperatur dla konwencjonalnej technologii i spalania objętościowego przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Maksyma przepływu energii w technologii HiTAC podobnie jak maksyma temperaturowe są zdecydowanie mniejsze niż w przypadku konwencjonalnego spalania.

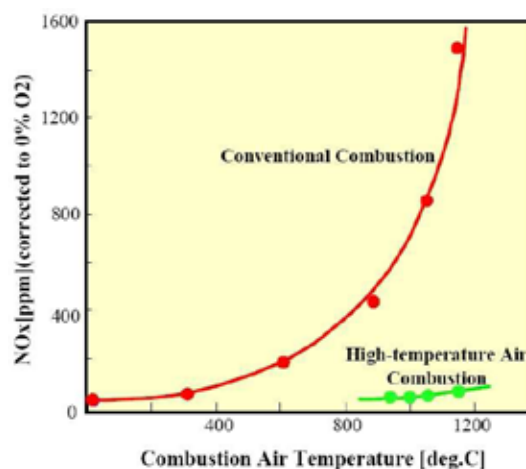


Rys.3. Rozkład temperatury w konwencjonalnej technologii spalania



Rys.4. Rozkład temperatury w technologii spalania HiTAC

Temperatura i obecność rodników (OH, CH, itp.) odgrywają kluczową rolę w mechanizmach powstawania tlenków azotu. Prowadzona w technologii HiTAC odpowiednia kontrola rozkładu temperatur i składu spalin likwiduje lokalne strefy intensywnego spalania z dużymi udziałami rodników, co bezpośrednio przekłada się na wyjątkowo niską emisję NO_x [7]. Porównanie emisji NO_x dla konwencjonalnego spalania i spalania HiTAC przedstawia rysunek 5.



5. Profil NO_x dla konwencjonalnej technologii spalania i dla technologii HiTAC [8]

Podsumowując i jednocześnie uzupełniając powyższe informacje, do zalet spalania HiTAC można zaliczyć [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]:

- jednorodny rozkład temperatury i strumienia ciepła,



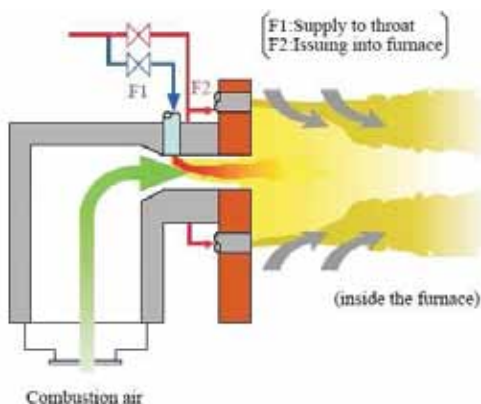
- niską emisję NO_x ze względu na brak obszarów o podwyższonej temperaturze,
- możliwość zmniejszenia zużycia paliwa,
- niższą średnią temperaturę w komorze spalania z uwagi na propagację procesu spalania do dużej objętości,
- zwiększoną żywotność wyłożenia ogniotrwałego komory spalania ze względu na brak obszarów o podwyższonej temperaturze,
- możliwość zwiększenia wydajności ze względu na możliwość podniesienia temperatury komory spalania,
- niski poziom hałasu [17],
- możliwość spalania paliwa o bardzo niskiej wartości opałowej [1, 4, 18, 19].

Opisane cechy technologii HiTAC w bezpośredni sposób przekładają się na korzyści osiągnięte przez przedsiębiorców, do których należą:

- wyższa, jakość produktu końcowego (np. w układach obróbki stali),
- zmniejszona emisja związków szkodliwych,
- wydłużona trwałość urządzeń grzewczych,
- zwiększenie wydajności układów,
- zmniejszone zużycie paliwa,
- efektywne spalanie gazów odpadowych niskiej jakości i kaloryczności.

Palniki HTB

W trakcie długotrwałej współpracy pomiędzy firmami NFK i ICS na bazie palników regeneracyjnych HRS zaprojektowano i wykonano nowe palniki wysokotemperaturowe HTB (High Temperature Burners), które przedstawiono schematycznie na rysunku 6. Palniki te korzystają z tej samej technologii spalania, co palniki HRS (palniki regeneracyjne), jednak nie są wyposażone w złoża regeneracyjne, współpracują natomiast z centralnym systemem rekuperacji energii (podgrzewu powietrza). W związku z tym palniki HTB pracują w sposób ciągły [7].



Rys. 6. Palnik HTB z trybami pracy F1 i F2 [3].

W palnikach tych technologia HiTAC jest realizowana przez wysokotemperaturowy tryb pracy – tzw. tryb F2 (Rys.6). Tryb niskotemperaturowy (F1) jest używany do podgrzania komory spalania do temperatury powyżej punktu samozapłonu paliwa, po czym uruchomiony zostaje tryb F2 i palnik przechodzi do ciągłej pracy w trybie mieszanym (F1 i F2).

W palnikach (systemach) HTB zastosowano kilka rozwiązań technologicznych w celu osiągnięcia wymaganych korzyści. Rozwiązania te są następujące [7]:

- bardzo duża prędkość wtrysku paliwa gazowego,
- bardzo duża prędkość wtrysku podgrzanego powietrza,
- powietrze i paliwo wtryskiwane są bezpośrednio do komory spalania z oddzielnych dysz, a temperatura w komorze jest wyższa od temperatury samozapłonu paliwa,
- zachowany jest odpowiedni dystans pomiędzy dyszami powietrza i paliwa i ich odpowiednia lokalizacja,
- specjalny sposób kontroli procesu spalania przez system sterowania.

W toku dalszej ewolucji palników HTB zaprojektowano palniki specjalnej konstrukcji typu HTB-DL-WG, których głównym przeznaczeniem jest spalanie gazów odpadowych i niskokalorycznych.

Technologii spalania stosowanej w procesie utylizacji gazów niskokalorycznych i odpadowych stawia się szereg wymagań stanowiących o jej skuteczności, należą do nich:

- możliwie mała wrażliwość na zmiany parametrów spalane go gazu (temperatura, ciśnienie, skład),
- odpowiednio wysoka temperatura procesu, gwarantująca utylizację trudnych do spalania składników gazu,
- wystarczająco długi czas przebywania cząstek gazu w odpowiedniej temperaturze,
- odpowiednia turbulencja procesu spalania,
- możliwość wykorzystania jak najmniej skomplikowanych urządzeń (nieskomplikowane palniki, inżektory),
- przyjazność dla środowiska (niskie emisje NO_x , CO).

Aby spełnić powyższe wymagania systemy spalania HTB-DL-WG są projektowane w taki sposób, aby ich konstrukcja i sposób kontroli pro-

cesu przez system sterowania zapewniał spełnienie trzech czynników kluczowych do efektywnego spalania gazów niskokalorycznych, do których należą: odpowiedni czas przebywania cząstek w komorze spalania, odpowiednia temperatura i turbulencja procesu spalania.

Zasadę działania palników HTB-DL-WG oraz całego układu opisano szerzej na przykładzie funkcjonujących instalacji w dalszej części niniejszego artykułu.

Opis instalacji

Pierwszy w Europie system utylizacji gazu gardzielowego powstającego w procesie produkcji miedzi w piecach szybowych, wykorzystujący palniki HTB-DL-WG został zainstalowany w elektrociepłowni EC-3, Energetyka Sp. z o.o. w Głogowie (grupa kapitałowa KGHM). Instalacja została uruchomiona w lipcu 2009 [1]. Po wstępnej eksploatacji uruchomionego układu użytkownik zdecydował się na zainstalowanie w swoim zakładzie drugiej „bliźniaczej” jednostki tego typu, która została uruchomiona w kwietniu 2011 r.

Obie inwestycje obejmowały zastąpienie starych kotłów parowych współpracujących z systemami utylizacji gazu gardzielowego opartymi na współpalaniu gazu gardzielowego i węgla przez nowe kotły parowe wyposażone w systemy oparte na palnikach współpalających gaz gardzielowy z gazem ziemnym.

Skład gazu gardzielowego i jego wartość opałową (LHV) pokazano w tabeli 1.

| L.p. | Składnik | Symbol | Jedn. | Min | Max |
|------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------|-------|
| 1 | Metan | CH ₄ | % | 0 | 0,97 |
| 2 | Etan | C ₂ H ₆ | % | 0 | 0,08 |
| 3 | Propan i wyższe węglowodory | C ₃ + | % | 0 | 0,02 |
| 4 | Wodór | H ₂ | % | 1,13 | 6,44 |
| 5 | Tlenek węgla | CO | % | 9,22 | 13,66 |
| 6 | Dwutlenek węgla | CO ₂ | % | 6,44 | 11,28 |
| 7 | Para wodna | H ₂ O | % | 19,44 | 19,44 |
| 8 | Tlen | O ₂ | % | 0,4 | 3,22 |
| 9 | Azot | N ₂ | % | 50 | 62,54 |
| 10 | Tlenki siarki VI | SO ₂ | g/Nm ³ | | 33,25 |
| 11 | Pył | - | g/Nm ³ | | 0,1 |
| 12 | Wartość opałowa | LHV | MJ/Nm ³ | 1,5 | 2,4 |

Tab.1.Skład i wartość opałowa gazu gardzielowego[1].

Ponadto w gazie gardzielowym występują związki: NH₃, HCN, NO_x, których obecność w procesach spalania wpływa na udział NO_x w spalinach oraz związki chloru, fluoru i siarki mające właściwości korozyjne.

Ze względu na niską wartość opałową (LHV) na poziomie 1,5 - 2,4 MJ/Nm³, wysoką wilgotność i znaczne zanieczyszczenie cząstkami stałymi utylizacja gazu gardzielowego prowadzona jest przez współpalanie z gazem ziemnym, który jest paliwem pomocniczym stabilizującym proces.

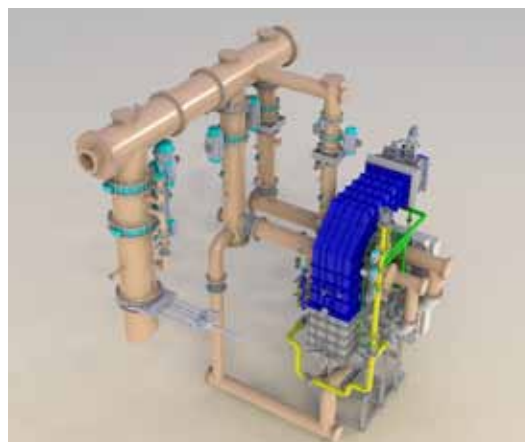
Każda z dwóch uruchomionych instalacji składa się z następujących elementów:

- 3 palników HTB-DL-WG15 o nominalnej mocy 12,8 MW każdy (dla kotła KP7) i 13,3 MW każdy (dla kotła KP6),
- semiadiabatycznej komory spalania,
- kotła parowego.

Palniki HTB-DL-WG15 (Rys. 7 i 8.) są jednostkami dwupaliwowymi, wyposażonymi w trzy stopnie spalania, zdolnymi do działania z wykorzystaniem nisko- i wysoko temperaturowego trybu pracy (tryb F1 i F2).



Rys.7. Palnik HTB-DL-WG15 - etap produkcji



Rys.8. Palnik HTB-DL-WG15 z osprzętem i orurowaniem [1].

Proces spalania zachodzi w semiadiabatyckiej komorze spalania (Rys.9, 10), której zadaniem jest odizolowanie procesu spalania od otoczenia przy minimalnych stratach energetycznych (cieplnych), przy czym wyłożenie ogniotrwałe komory spalania musi również być odporne na oddziaływanie chemiczne związków zawartych w gazie gardzielowym i powstających w procesie jego spalania, takich jak: związki chloru, fluoru czy siarki, w szerokim zakresie temperatur pracy wyłożenia ogniotrwałego. Gaz gardzielowy i gaz ziemny są dostarczane przez trzy niezależne palniki HTB-DL-WG15.

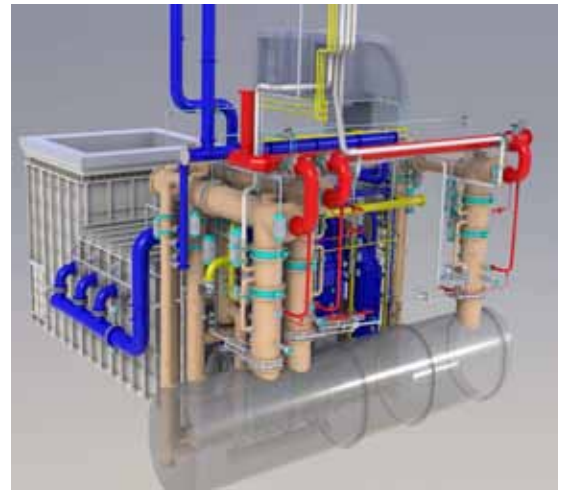


Rys.9. Komora spalania – etap montażu wyłożenia ogniotrwałego

Nominalna wydajność jednego układu utylizacji gazu gardzielowego wynosi 65 000 Nm³/h, przy jednoczesnym minimalnym zużyciu 600 Nm³/h (pierwotnie projektowane dla KP7) gazu ziemnego, jako paliwa pomocniczego w procesie spalania. W drugiej wybudowanej jednostce (KP6) minimalne zużycie gazu ziemnego wynosi 480 Nm³/h na układ.

Dzięki owocnej współpracy użytkownika (Energetyka) i projektanta systemu (ICS) w roku 2012 zmodernizowano system podawania gazu ziemnego kotła KP7, w celu zmniejszenia jego minimalnego zużycia o połowę do 300 Nm³/h.

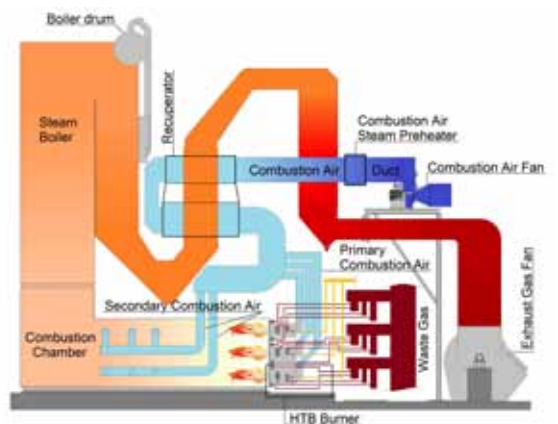
Ilość zużywanego gazu ziemnego jest bezpośrednio powiązana z parametrami gazu gardzielowego (LHV, wilgotność, zapylenie). W przypadku pogorszenia się tych parametrów wzrasta zużycie gazu ziemnego aby utrzymać temperaturę w komorze spalania na zadanym poziomie.



Rys. 10. Komora spalania z palnikami i orurowaniem [1].

Zasada działania

Podczas uruchomienia układu palniki i komora spalania są rozgrzewane przy użyciu gazu ziemnego. Po przekroczeniu odpowiednich progów temperatury w komorze uruchamiane są poszczególne stopnie spalania gazu gardzielowego trybu niskotemperaturowego F1 (stopień 1 i 2), a następnie trybu wysokotemperaturowego F2 (tryb HiTAC). Nominalna temperatura procesu spalania wynosi od 900°C do 1250°C.



Rys.11.Schemat układu utylizacji gazu gardzielowego i kotła parowego

Energia gazów spalinowych produkowanych w komorze spalania jest użyta w dalszej części instalacji do produkcji pary w kotle parowym (Rys. 11).

Natomiast para z kotła zostaje przesłana do turbin parowych, gdzie produkowana jest energia elektryczna. Para niskoparametrowa wychodząca z turbin jest natomiast wykorzystywana do produkcji energii cieplnej i w procesach technologicznych.

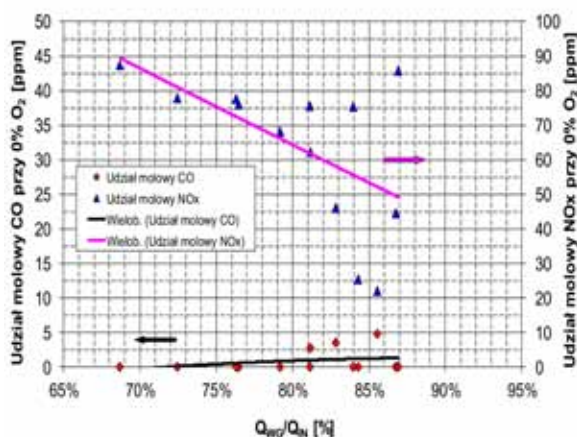


Rys...12. Fragment instalacji końcowej – pomost obsługowy palników głównych [1].

Wyniki i ich omówienie

Po okresie kilkuletniej eksploatacji kotłów parowych, w których zastosowano palniki HTB-DL-WG wykorzystujące technologię spalania HiTAC na podstawie wykonanych pomiarów i badań energetycznych kotła wyciągnięto szereg wniosków dotyczących pracy układu z bardzo trudnym do spalania paliwem, jakim jest gaz gardzielowy. Wyniki analiz na przykładzie kotła KP7 omówiono poniżej.

W oparciu o przeprowadzone pomiary emisji sporządzono zależność pomiędzy wysokością emisji CO i NO_x a stosunkiem wejściowej energii gazu gardzielowego (Q_{WG}) do całkowitej energii dostarczonej (Q_{IN}) (Rys.13). Pomiary prowadzono w możliwie stabilnych i porównywalnych warunkach: temperatury komory spalania (950 - 970°C), temperatury powietrza (250 - 320°C) i zawartości tlenu w spalinach (zazwyczaj 1,7 - 2,1%, dla małych wydajności 3,7-6,3%).



Rys.13. Zależność pomiędzy emisją CO i NO_x a stosunkiem wejściowej energii gazu gardzielowego (Q_{WG}) do całkowitej energii dostarczonej (Q_{IN}) [1].

Jak pokazano na rysunku 13, jeśli stosunek wejściowej energii gazu gardzielowego do całkowitej energii dostarczonej wzrasta, emisja CO pozostaje na niemal niezmiennym poziomie (bliskim zero). Niewrażliwość systemu na ilość i udział gazu gardzielowego w procesie świadczy o wysokiej jakości procesu spalania i jego stabilności.

Inna sytuacja występuje w przypadku emisji NO_x. Poziom emisji nieco spada wraz ze wzrostem udziału energii gazu gardzielowego w całkowitej energii dostarczonej. Udział ten jest wysoki, gdy palniki pracują z nominalną mocą w trybie mieszanym F1 i F2 (tryby nisko- i wysokotemperaturowe), w tym przypadku, ze względu na wpływ spalania HiTAC, emisja NO_x jest na ekstremalnie niskim poziomie. Podczas pracy systemu z nominalną mocą, około 50% całkowitej ilości gazu gardzielowego jest spalane z wykorzystaniem trybu HiTAC (F2).

Podczas pracy palników wyłącznie w trybie F1 wskaźnik wejściowej energii gazu gardzielowego do całkowitej energii dostarczonej jest niski, palniki pracują przy niewielkiej ilości gazu gardzielowego lub zasilane są tylko gazem ziemnym. W takich warunkach emisja NO_x jest wyższa ze względu na dwie główne przyczyny:

- tryb HiTAC nie jest w pełni wykorzystywany,
- adiabatyczna temperatura spalania gazu ziemnego jest wysoka, co ma kluczowy wpływ na mechanizmy tworzenia NO_x.

W tym przypadku, aby uniknąć wysokiej emisji NO_x, proces spalania prowadzony jest z dużym nadmiarem powietrza, przy użyciu mechanizmu stopniowego podawania powietrza, które obniża temperaturę procesu i chroni komorę spalania przed zniszczeniem.

Dodatkowo należy zauważyć, że emisja NO_x i CO jest na niezwykle niskim poziomie szczególnie, jeżeli weźmiemy pod uwagę skład i parametry gazu gardzielowego (Tab.1).

W obszarze wysokiego udziału energii powstającej z gazu gardzielowego (od 81% do 87%) widoczne są rozbieżności emisji NO_x pomiędzy analogicznymi pomiarami (ten sam udział gazu gardzielowego) wykonanymi podczas zmniejszania a następnie podczas zwiększania wydajności układu. Powstałe różnice można wytłumaczyć tym, że analogiczne po-

Źródła

- [1] Szewczyk D., Kamecki A., Skotnicki P., Szydłowski A.: Copper blast furnace waste gas utilization system as a new field of HiTAC combustion technology, 8 HiTAC 2010, July, 5-7, 2010, Poznań
- [2] Blasiak W., Yang W.: Volumetric combustion of coal and biomass in boilers, 7th High Temperature Air Combustion and Gasification International Conference, HiTAC 2008, January, 13-16, 2008, Phuket, Thailand
- [3] Hasegawa T., Kishimoto S., Suzukawa Y.: Environmentally-compatible Regenerative Combustion Heating System, 2001 Joint International Combustion Symposium, September, 9-12, 2001, Hawaii, USA
- [4] Szewczyk D., Dobski T.: Combustion of low calorific natural gases in highly preheated air, 17th International Symposium on Combustion Processes, September, 24-27, 2001, Poznań, Poland
- [5] Rafidi N., Blasiak W., Measurements of Flue Gases Compositions and Flame Volume in High Temperature Air Combustion (HiTAC) Furnace, Finnish - Swedish Flame Days 2002, September
- [6] Yasuda, T., Super Advanced Regenerative Industrial Furnace Nippon Furnace Kogyo Kaisha, Ltd.
- [7] Szewczyk D., Forsberg B.: High-Cycle Regenerative Systems (HRS burners) and High Temperature Air Combustion Technology (HiTAC) - European Industrial Application. ISNGU, September 25-26, 2006, Poznań, Poland
- [8] Mohri T., Yoshioka T., Hozumi Y., Shiozaki T., Hasegawa T., Mochida S., Tauchi M., Maruyama S.: Development on Advanced High-Temperature Air Combustion Technology for Steam Reforming Process, 2001 Joint International Combustion Symposium, September, 9-12, 2001, Hawaii, USA
- [9] Blasiak W., Mörtberg M., Rafidi N., Krishnamurthy N., Yang W., Kalisz S., Szewczyk D.: Study and application of High Temperature Air Combustion for gas fuels and wastes, 14th IFRF Members' Conference, Noordwijkerhout, The Netherlands, May 2004
- [10] Frédéric Aguilé, Alain Quinqueneau: Overview of the Gaz de France R&D Activities on Flameless Oxidation applied to high temperature processes





[11] Quinqueneau A.: Integration of the new high-performance low-NO_x techniques, called "flameless oxidation", into industrial processes using natural gas, 14th IFRF Members Conference, Noordwijkerhout, The Netherlands, May 2004

[12] Tsuji H., Gupta A.K., Hasegawa T., Katsuki M., Kishimoto K., Morita M.: High Temperature Air Combustion: From Energy Conservation to Pollution Reduction, CRC Press, 2003.

[13] Pronk, P., P.D.J. Hoppestejn: Increasing the capacity and fuel efficiency of reheat furnaces for steel slabs, 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, March, 25-28, 2008, Vilamoura.

[14] Weber R. Mancini M.: Recent developments in flameless combustion technology, COMBURA 2009.

[15] Dobski T., Slefarski R., Janowski R.: Combustion gases in highly preheated air (HiTAC) technology, Archivum Combustions, Vol. 28., 2008 No 3-4.

[16] Pronk, P., Lewis, B., P.D.J. Hoppestejn: Industrial Application of High Efficiency Combustion, 15th IFRF Members' Conference, June, 13-15, 2007, Pisa, Italy.

[17] Tanaka R, Hasegawa T.: Innovative technology to change flame characteristics with highly preheated air combustion, Japanese Flame Days 97, JFRC 20th Anniversary, Osaka, Japan, May 16-17th 1997

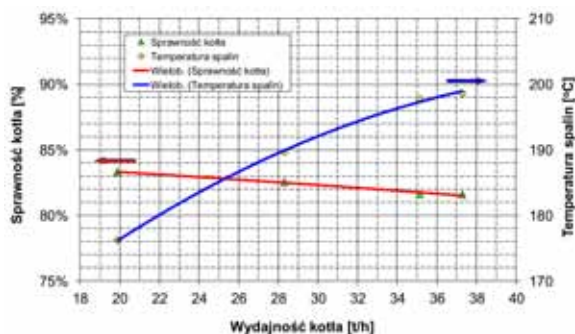
[18] Ashwani K. Gupta.: Flame characteristics and challenges with High Temperature Air Combustion, 2000 International Joint Power Generation Conference Miami Beach, Florida, July 23-26, 2000

[19] Blasiak W., Szewczyk D., Dobski T.: Influence of N₂ addition on combustion of single jet of methane in highly preheated air, International Joint Power Generation Conference, June, 4-7, 2001, New Orleans, Louisiana, USA

miary były wykonywane w dużym odstępie czasowym (około 4 godzin), w tym czasie doszło do zmiany zawartości związków NH₃, HCN, (w gazie gardzielowym) odgrywających kluczową rolę w procesie tworzenia tlenków azotu z tzw. ścieżki paliwowej (ang. fuel NO_x) oraz zmiany ilości NO_x w paliwie, co wpłynęło na zróżnicowanie wysokości emisji dla tych samych wartości współczynnika Q_{WG}/Q_{IN} .

Z punktu widzenia użytkownika istotnym parametrem jest sprawność kotła, zależność pomiędzy sprawnością kotła, temperaturą spalin a wydajnością kotła przedstawiono na rysunku 14. Przy nominalnej wydajności kotła (38,0 t/h) jego sprawność dochodzi do 82%. Zmiany wydajności od 20,0 t/h do 38,0 t/h mają niewielki wpływ na sprawność kotła, która mieści się w przedziale 83,5% - 81,5%. Pokazuje to, że proces spalania jest bardzo stabilny, o wysokiej jakości i niemal niezależny od udziałów gazu ziemnego i gazu gardzielowego w procesie spalania. Potwierdza to możliwość spalania gazu odpadowego przy użyciu technologii HiTAC i palników HTB-DL-WG z zachowaniem wysokiej sprawności w szerokim zakresie wydajności kotła.

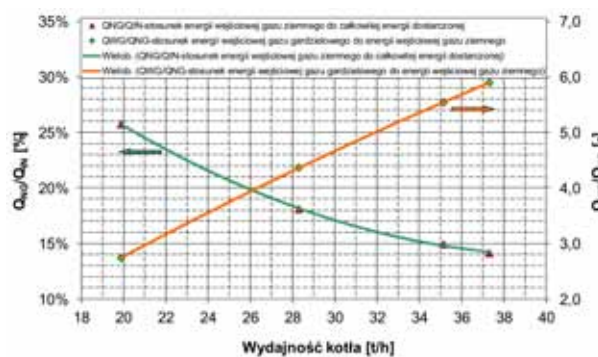
Temperatura spalin za kotłem parowym wzrasta wraz ze wzrostem jego wydajności z 176°C (dla 20,0 t/h) do około 200°C (dla 38,0 t/h) z powodu zwiększenia strumienia gazów spalinowych. W początkowym okresie pracy kotła, temperatura spalin za kotłem wynosiła około 200°C przy nominalnej wydajności kotła. W kolejnych miesiącach eksploatacji w skutek osadzania się na ścianach kotła pyłu zawartego w gazie gardzielowym, temperatura spalin wzrastała i ostatecznie ustabilizowała się na poziomie 240°C.



Rys. 14. Związek pomiędzy sprawnością kotła, temperaturą spalin i wydajnością kotła [1].

Relacje pomiędzy stosunkiem energii wejściowej gazu ziemnego do całkowitej energii dostarczonej (Q_{NG}/Q_{IN}), stosunkiem energii wejściowej gazu gardzielowego do energii wejściowej gazu ziemnego (Q_{WG}/Q_{NG}) oraz wydajnością kotła przedstawiono na rysunku 15.

Można zauważyć, że przy wzroście wydajności kotła wskaźnik Q_{NG}/Q_{IN} spada z 26% (dla 20,0 t/h) do poniżej 15% dla nominalnej wydajności kotła (38,0 t/h). W tym samym czasie wskaźnik Q_{WG}/Q_{NG} wzrasta. Dla nominalnej wydajności kotła, energia wejściowa gazu gardzielowego jest sześciokrotnie wyższa niż energia wejściowa gazu ziemnego.



Rys. 15. Relacje pomiędzy wskaźnikami Q_{NG}/Q_{IN} i Q_{WG}/Q_{NG} oraz wydajnością kotła [1].

Po wprowadzonych w 2012 r. modyfikacjach w przypadku eksploatacji systemu kotła KP7 zgodnie z warunkami projektowymi udział energii gazu ziemnego w całkowitej energii wprowadzonej do układu wynosi 6,5%.

Wnioski

Bazując na wiedzy, doświadczeniu oraz ponad trzyletniej obserwacji pracy systemów utylizacji gazów odpadowych i ich współpracy z kotłami odzysknicowymi (KP6 i KP7), można jednoznacznie stwierdzić, iż system spalania oparty o palniki HTB-DL-WG wykorzystujące technologię spalania HiTAC jest jednym z najlepszych dostępnych rozwiązań do utylizacji gazów niskokalorycznych i odpadowych, a jego zastosowanie w Elektrociepłowni EC-3 Głogów przyniosło następujące korzyści [1]:

- maksymalna zdolność produkcyjna pary wzrosła z 32,0 t/h do 41,0 t/h (nominalnie 38,0 t/h), czyli o 9,0 t/h (względnie o 28%),
- sprawność produkcji pary wzrosła z 64% do 82%, czyli o 18% (28% względnie),

- wydajność systemu utylizacji wzrosła z 40.000,0 Nm³/h do 65.000,0 Nm³/h, czyli o 25.000,0 Nm³/h (63% względnie),
- zdecydowanie poprawiono jakość procesu spalania, co ma wpływ na poprawę jakości procesu utylizacji. System utylizuje gaz gardzielowy o następujących parametrach: LHV w granicach od 1,5 do 2,4 MJ/Nm³, duża wilgotność i zanieczyszczenie cząstkami stałymi,
- emisja CO i NO_x spadła do bardzo niskiego poziomu (niemal zerowego),
- zautomatyzowano obsługę kotła,
- udział paliwa pomocniczego w procesie spalania spadł z 50% (węgiel) do 15% (gaz ziemny) całkowitej energii dostarczanej.

Należy podkreślić, że wszystkie powyższe wyniki osiągnięto poprzez zastosowanie technologii wysokotemperaturowego spalania objętościowego HiTAC w połączeniu z systemem spalania HTB-DL-WG, a cała instalacja została zbudowana w miejscu starej, mając do dyspozycji taką samą kubaturę hali.

Autorzy artykułu są pracownikami ICS Sp. z o.o.

20 lat doświadczenia w fotografii przemysłowej



zapraszamy do współpracy
fotografia artystyczna i reklamowa

Piotr Komander
tel. +48 601 438 404

www.komander.com.pl

Były wicepremier o energetyce w UE

– Wszystkie polskie elektrownie powinny otrzymać przydział bezpłatnych uprawnień do emisji CO₂ – uważa Janusz Steinhoff, były minister gospodarki i wicepremier w rządzie Jerzego Buzka. Jego zdaniem dziś, zgodnie z decyzją Komisji Europejskiej, dostaną je tylko te starsze, mniej nowoczesne i nieprzyjazne środowisku. W konsekwencji będą bardziej konkurencyjne niż te nowocześniejsze, bo produkowana przez nie energia będzie tańsza.

– Preferencyjne potraktowanie starych elektrowni, często o niskiej sprawności, w efekcie tej derogacji, doprowadza do naruszenia warunków konkurencji na polskim rynku energii elektrycznej. Stara elektrownia, która nie będzie płaciła pełnych stawek za emisję CO₂, będzie bardziej konkurencyjna od elektrowni nowoczesnej, o sprawności 8-10 proc. wyższej, czyli bardziej przyjaznej środowisku – komentuje ten kolejny unijny paradoks Steinhoff. – Zgodnie z unijną dyrektywą ETS (dotyczy wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych), od 2013 roku przedsiębiorstwa z UE będą kupowały uprawnienia do emisji dwutlenku węgla na aukcji. Kilka państw mniej rozwiniętych zostanie wyłączona z tych zobowiązań - stąd „wniosek derogacyjny” - i otrzyma bezpłatną pulę uprawnień do 2019 roku dla firm z sektora energetycznego. Pod warunkiem, że za pieniądze, które firmy przeznaczyłyby na ich zakup, zmodernizują wyznaczone obiekty.

Dodatkowo, wsparcie dotyczy tylko instalacji wytwarzających energię elektryczną, które funkcjonowały lub były już budowane przed 31 grudnia 2008 r. Unia chce w ten sposób sprawić, aby stare bloki węglowe zostały zastąpione zmodernizowanymi, emitującymi mniej szkodliwych substancji. Z kolei możliwość otrzymania przydziału bezpłatnych uprawnień do emisji nie miała mieć wpływu na decyzję o podjęciu danej inwestycji, stąd ograniczenie do tej daty.

Janusz Steinhoff krytykuje tę unijną politykę. Zdaniem byłego ministra gospodarki, należałoby objąć przepisami derogacyjnymi wszystkie polskie instalacje stawiane do 2020 roku: – Wówczas wszystkie elektrownie będą funkcjonowały na takich samych warunkach. Na rynku energii elektrycznej będziemy mieli ułomną konkurencję dlatego, że różnicujemy koszty emisji CO₂. To powoduje, że jeden podmiot zarabia więcej niż drugi – wyjaśnia Steinhoff.

Niedawno Komisja Europejska zaakceptowała polski wniosek derogacyjny o przydział bezpłatnych uprawnień do emisji CO₂, ale wykreśliła z niego 6 instalacji, które jej zdaniem nie kwalifikują się do otrzymania bezpłatnych uprawnień. Są to m.in.: Elektrociepłownia Płock należąca do koncernu PKN Orlen, Elektrociepłownia Rzeszów należąca do PGE czy Elektrociepłownia Bielsko-Biała katowickiego Taurona. To instalacje, które zdaniem KE nie mają prawa do otrzymania puli darmowych uprawnień lub otrzymają tylko ich część, ponieważ nie spełniły wszystkich kryteriów. Zdaniem Janusza Steinhoffa ta polityka doprowadzi w konsekwencji do tego, że ceny za energię elektryczną będą wyższe.

Zgodnie z unijną dyrektywą polskie elektrownie otrzymają uprawnienia do emisji 404,7 mln ton CO₂, czyli tyle, ile wynosi limit dla kraju. To oznacza dla polskiej elektroenergetyki oszczędności w wysokości od 3 do nawet 7 mld euro (w zależności od kursu uprawnień do emisji CO₂) do 2020 roku.