

Odpowiedni dobór parametrów spalania

Niejednokrotnie w przemyśle – ale i nie tylko – mamy do czynienia z procesami termicznymi wykorzystywanymi w procesach technologicznych. Jednym ze sposobów wytwarzania energii cieplnej jest spalanie. W czasach coraz bardziej restrykcyjnego prawa energetycznego, odpowiednio dobrane parametry to podstawa dla poprawnego procesu spalania. Kontrola tegoż procesu to również wymogi ochrony środowiska oraz potrzeba oszczędnego wykorzystywania paliw i energii. W poniższym artykule przedstawimy problematykę związaną z odpowiednim doбором parametrów spalania oraz urządzenia, za pomocą których możemy takich czynności dokonywać.

SPALANIE – TROCHĘ TEORII

Istota procesu spalania polega na gwałtownie przebiegającej, egzotermicznej reakcji chemicznej materiału zwanego paliwem z tlenem. Reakcja ta zawsze połączona jest z efektem cieplnym oraz równie często z efektem świetlnym (płomień). Mechanizm spalania zależy przede wszystkim od stanu skupienia ciał reagujących oraz od warunków aeromechanicznych w jakich ten proces zachodzi. Substancje wyprowadzone z komory paleniskowej po spalaniu nazywamy produktami spalania lub spalinami. Spalanie nazywa się **zupełnym** jeżeli w produktach spalania nie ma gazowych części palnych np. CO, H₂, CH₄. Spalanie nazywa się **całkowitym** jeżeli w produktach spalania nie ma stałych części palnych. W procesie spalania wykorzystujemy różnego rodzaju paliwa – gazowe, ciekłe oraz stałe. W zależności od rodzaju spalanego paliwa oraz ilości powietrza dostarczonego podczas procesu spalania, skład chemiczny spalin jest różny.

Podstawą regulacji procesów spalania jest analiza spalin. Do tego celu służą różnego typu analizatory spalin jak np. ecom-J2KNpro. W spalinach znajduje się szereg produktów spalania, których ilość możemy zmierzyć, a w oparciu o wyniki przeprowadzać kontrolę/korektę parametrów spalania.

ANALIZA SPALIN

Na podstawie analizy spalin w przystępny sposób możemy dokonywać oceny parametrów spalania oraz bieżącej korekty składu mieszanki powietrz-

no-paliwowej. Analizatory takie jak ecom-EN3 dają możliwość pomiarów stężeń związków chemicznych w spalinach, wyliczają parametry takie jak współczynnik nadmiaru powietrza, punkt rosy czy też stratę kominową oraz dają możliwość rejestracji zmierzonych parametrów.

Z punktu widzenia operatora analizatora, który ma za zadanie nadzór nad procesem spalania, ważnymi związkami są: CO₂, CO, O₂, NO_x oraz równie często sadza. Analiza spalin polega na ustaleniu zawartości wymienionych związków w spalinach. Najczęściej stężenia powyższych gazów są podawane jako udział procentowy [%] lub jako ilość cząsteczek na milion [ppm].

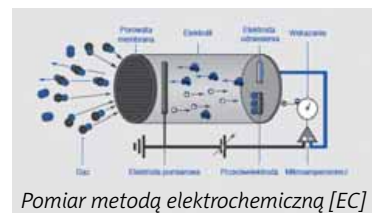
Pomiary mogą być dokonywane za pomocą różnych metod. Najpopularniejsza – elektrochemiczna [EC] – jest standardem dla analizatorów firmy ecom. Opcjonalnie można wyposażyć analizatory w sensory wykorzystujące podczerwień [NDIR] lub, jak np. w modelu analizatora ecom-J2KNpro TECH, zastosować chemiluminescencję [CLD] lub fotoakustykę [PAS].

WSPÓŁCZYNNIK NADMIARU POWIETRZA

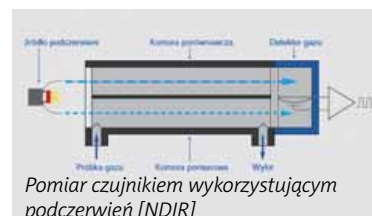
Jednym z bardzo ważnych parametrów procesu spalania jest współczynnik nadmiaru powietrza λ (lambda). Współczynnik ten określa stosunek faktycznie dostarczonej do spalania ilości (objętości)



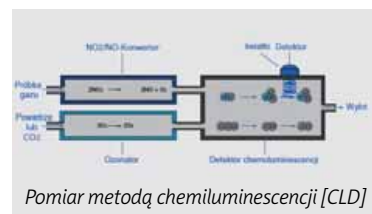
Analizator ecom-EN3



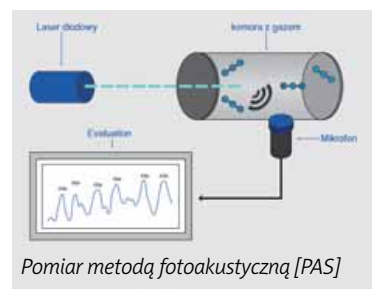
Pomiar metodą elektrochemiczną [EC]



Pomiar czujnikiem wykorzystującym podczerwień [NDIR]



Pomiar metodą chemiluminescencji [CLD]



Pomiar metodą fotoakustyczną [PAS]



Analizator ecom-J2KNpro EXPERT

Dobór parametrów spalania

powietrza, do ilości powietrza teoretycznie potrzebnej do całkowitego i zupełnego spalania paliwa zawartego w mieszance palnej.

$$\lambda = \frac{L}{L_t}$$

gdzie: L – ilość powietrza dostarczanego

L_t – ilość teoretycznie potrzebnego powietrza do całkowitego i zupełnego spalania paliwa zawartego w mieszance palnej

$\lambda = 1$ – skład stechiometryczny

$\lambda > 1$ – mieszanka uboga

$\lambda < 1$ – mieszanka bogata

W przypadku idealnym (stechiometrycznym) $\lambda = 1$, co oznacza, że do spalania wykorzystano dokładnie taką ilość powietrza (tlen) jaka jest potrzebna do spalania całego paliwa. W rzeczywistości taka sytuacja nie ma miejsca, gdyż powietrze i paliwo zawierają dodatkowe związki, które podczas spalania łączą się z tlenem.

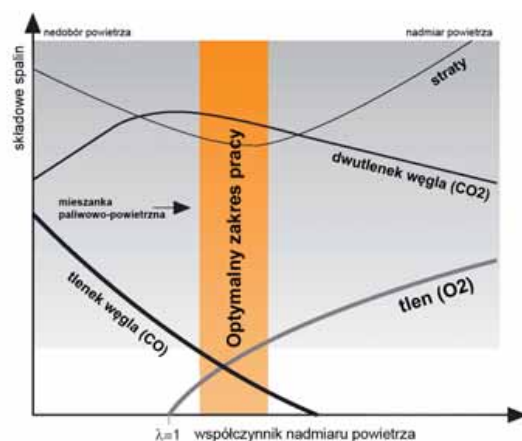
W przypadku mieszanki bogatej, w spalinach pojawiają się gazy toksyczne – tlenek węgla (CO), tlenek azotu (NO), czy dwutlenek siarki (SO₂). Aby spalić całe paliwo oraz aby spaliny zawierały mniejszą ilość szkodliwych związków, należy dostarczyć więcej tlenu. W tym przypadku współczynnik nadmiaru będzie większy od jedności ($\lambda > 1$ – mieszanka uboga).

Badając zawartość tlenu w spalinach wcześniej-szy wzór możemy zastąpić wzorem:

$$\lambda = \frac{20,95\%}{(20,95\% - O_{2\text{mierz}}) [\%]}$$

Na pomoc przychodzą nam analizatory spalin firmy ecom, które wyliczają ten współczynnik w czasie rzeczywistym na podstawie mierzonych parametrów, co ułatwia bieżącą kontrolę i korektę parametrów procesu spalania.

Współczynnik nadmiaru powietrza ma duży wpływ na temperaturę spalania, co przekłada się na ilość zużytego paliwa. Im współczynnik nadmiaru powietrza wyższy, tym niższa temperatura spalania. W tabeli 1 przedstawiono powyższą zależność w oparciu o spalanie gazu ziemnego E.



na cały proces spalania i uzyskiwanie z tego procesu energii cieplnej. Jak opisuje autor, od składu paliwa – gazu zależą istotne parametry mające wpływ na sprawność przemiany energii chemicznej na cieplną. Niższa temperatura spalania nie jest obojętna dla metalurgicznych procesów odlewniczych czy hutniczych. Wysoka temperatura w tych procesach jest niezbędna. Wyższa temperatura płomienia powoduje zwiększenie zdolności płomienia do oddawania ciepła. Znacząco wpływa to na wielkość strumienia energii przekazywanej przez promieniowanie. Udział zawartych w paliwie składników niepalnych (zanieczyszczeń) zwłaszcza azotu N₂ nie pozostaje tutaj bez znaczenia. Stanowią one balast, który obniża kalorymetryczną temperaturę spalania!

Zawarty w mieszance paliwowo-powietrznej azot atmosferyczny ma jeszcze większy wpływ na zmniejszenie efektywności procesu cieplnego. Spaliny nadmiernie rozcieńczone azotem atmosferycznym (czyli duże λ) powodują obniżenie temperatury płomienia powstającego w palniku. Rosną wtedy straty kominowe, które znacznie przekraczające energię użyteczną.

„Nawet niewielkie, zwyczajowo pomijalne w zestawieniach miesięcznych, okresowe zmniejszenie wartości opałowej gazu spowodowane zmniejszeniem udziału składników palnych, generuje łańcuch przyczynowo-skutkowych zdarzeń, których końcowym efektem jest zmniejszenie efektywności energetycznej i sprawności, jako iloraz (wykładniczo) zmniejszonego strumienia energii użytkowej do energii pierwotnej. Sprawności energetycznej nie należy utożsamiać z efektywnością energetyczną.

$$\eta = \frac{E_u}{E_p}$$

gdzie: E_u – energia użyteczna,
 E_p – energia pierwotna.

Aby uniknąć wydłużenia czasu procesu cieplnego, koniecznym staje się zwiększenie mocy palnika. W przypadkach skrajnych osiągnięcie odpowiedniej mocy, a także odpowiednio wysokiej temperatury płomienia, staje się niemożliwe ze względu na trudny lub niemożliwy do zmiany zespół cech konstrukcyjnych urządzeń technicznych, takich jak palnik, palenisko, kanały spalinowe”²

Widać zatem jak ważna jest również jakość paliw (gazu) w ekonomicznym podejściu do procesu spalania. Niestety nie mamy wpływu na bieżącą jakość,

Tabela 1.
Wpływ współczynnika nadmiaru powietrza na temperaturę spalania gazu ziemnego E

Współczynnik nadmiaru powietrza λ	Temperatura spalania t_{spal} [°C]
1,1	1 900
1,2	1 800
1,3	1 730
1,4	1 650
1,5	1 570
1,6	1 500
1,7	1 430
1,8	1 370
1,9	1 320
2,0	1 270

JAKOŚĆ PALIW A ILOŚĆ ENERGII CIEPLNEJ

Nawiązując do artykułu mgr inż. Zygmunta Pachole „Wzrost zużycia gazu w procesie odlewniczym spowodowany obniżeniem wartości opałowej”¹ możemy zauważyć jak bardzo duży wpływ ma jakość paliwa

¹ Z. Pachole, *Przegląd Odlewnictwa*, „Wzrost zużycia gazu w procesie odlewniczym spowodowany obniżeniem wartości opałowej”, 2015, nr 5-6, s. 18-23

² *Ibidem* s 21.



a koszty monitorowania bieżącego składu gazu są bardzo wysokie. Właśnie dlatego monitorując skład spalin za pomocą analizatorów jesteśmy w stanie kontrolować proces spalania, przy dużo niższym nakładzie finansowym.

Deflacja energii paliwa [%]	Zwiększone zużycie gazu [%]
6,3	10,0
11,4	19,0
14,2*	21,5
18,3**	35,3
23,0	43,0

* Maksymalny dopuszczalny spadek wartości opałowej gazu zgodnie z IRIESP

** Maksymalny dopuszczalny spadek wartości opałowej gazu wg PN-C-04753

SPALANIE A EKOLOGIA

Od początków rewolucji przemysłowej Europy głównym źródłem energii dla przemysłu i energetyki był węgiel kamienny. W związku z tym produkcja zanieczyszczeń przez człowieka to tradycja sięgająca kilku wieków. Z uwagi na wysoką emisję CO₂, spalanie węgla uważane jest za najmniej ekologiczną technologię produkcji energii. Nie zmienia to faktu, że spalanie innych paliw również powodu-

je także tlenków azotu. Tlenki azotu (NO_x) nawet w minimalnych stężeniach w powietrzu działają drażniąco na organy układu oddechowego, niszczą urządzenia i materiały, przyczyniają się do powstawania smogów, pogarszają widoczność i ograniczają następczynię powierzchni Ziemi. Są one szkodliwe dla organizmów żywych, co stawia je, zaraz za dwutlenkiem siarki SO₂, w gronie najgroźniejszych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego.

Z roku na rok instytucje nadzorujące ochronę środowiska zaostrzają przepisy dotyczące emisji szkodliwych związków do środowiska. Wiele firm, aby sprostać obowiązującym przepisom, buduje różnego rodzaju instalacje jak np. instalacja odsiarczania spalin, czy też montuje specjalistyczne filtry. Wszystko to ma za zadanie oczyszczanie spalin do poziomów akceptowalnych. Do monitorowania emisji firmy te wykorzystują przemysłowe analizatory spalin. Firma ecom oferuje również przenośne analizatory do ciągłego monitorowania emisji (jak np. ecom-J2KNpro TECH).

PODSUMOWANIE

Jak z powyższego artykułu wynika, wydający się z pozoru prosty proces spalania nie jest już taki prosty w praktyce. Na jakość spalania i ilość wygenerowanej energii cieplnej składa się wiele czynników, które należy kontrolować i na każdą

zmianę szybko reagować. Wszystko po to, aby proces spalania był dla użytkownika jak najbardziej wydajny i bezpieczny. Niezbędnym są przy tym analizatory spalin, które wyposażone w szereg sensorów i funkcji pomocniczych umożliwiają zarządzaniem procesem spalania, okresowymi regulacjami czy przeprowadzanie przeglądów okresowych.

Pamiętajmy, że kontrolując proces spalania należy zwrócić szczególną uwagę na współczynnik nadmiaru powietrza, który wpływa na temperaturę spalania, a co z tym związane, na zużycie paliwa czy powstawanie szkodliwych związków w spalinach. Równie dużą uwagę musimy poświęcić zawartości spalin, tak, aby nawiązując do obowiązujących norm, emitować do środowiska jak najmniej zanieczyszczeń. Dążąc do kompromisu musimy więc tak dobierać

parametry spalania, aby proces spalania był jak najbardziej bezpieczny, opłacalny pod względem ekonomicznym i przyjazny dla środowiska.

Łukasz Dziedzic

W Introlu pracuje od 2006 roku, obecnie na stanowisku menedżera produktu. Na co dzień zajmuje się doborem przenośnych urządzeń diagnostycznych.

Tel: 32 789 00 56



Tabela 2.
Przebieg zjawiska
deflacji energii



Analizator
ecom-J2KNpro TECH



je emisję szkodliwych związków. Kolejny szkodliwy związek powstający w procesie spalania to tlenek węgla (CO). Głównym jego źródłem jest niepełne spalanie paliw ($\lambda < 1$), szczególnie węgla. Obok dwutlenku i tlenku węgla najczęstszymi zanieczyszczeniami w Polsce to także związki siarki i azotu oraz drobne pyły. Przy wysokiej temperaturze spalania paliw zachodzi częściowe utlenienie azotu z powietrza i azotu z paliwa, a w jego wyniku tworzenie

