

Spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej



KRZYSZTOF PUŁAWSKI

EKSPERT TECHNICZNY
DENSO AFTERMARKET

SPALANIE (NAZYWANE RÓWNIEŻ UTLENIANIEM) JEST PROCESEM, PODCZAS KTÓREGO ZACHODZĄ REAKCJE CHEMICZNE MIĘDZY PALIWEM A TLENEM. REAKCJE TE POWODUJĄ UWOLNIENIE ENERGII ZGROMADZONEJ W PALIWIE W POSTACI ENERGII CIEPLNEJ. W SILNIKU SPALINOWYM PALIWO JEST MIESZANE Z POWIETRZEM ZAWIERAJĄCYM NIEZBĘDNY DO SPALANIA TLEN

Otrzymywanie energii z reakcji chemicznych

Do zainicjowania reakcji chemicznych w mieszance paliwowo-powietrznej potrzebne jest źródło wysokiej temperatury. Duża ilość energii cieplnej wytwarzanej podczas spalania jest następnie wykorzystywana do ekspansji gazów w cylindrze.

W silniku benzynowym ciepło jest wytwarzane w trakcie suwu sprężania, jednak w silniku benzynowym jest ono zbyt małe, aby spowodować zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej. Dlatego używa się świecy zapłonowej, która w precyzyjnie określonym czasie wytwarza rozgrzaną iskrę (o temperaturze 10 000°C i wyższej), podnosząc temperaturę paliwa powyżej temperatury zapłonu.

Wywołanie zapłonu paliwa jedynie za pomocą ciepła wytwarzanego przez sprężanie możliwe jest w silnikach Diesla, w których wyższy stopień sprężania skutkuje większymi temperaturami i ciśnieniem w cylindrze. Wtrysk oleju napędowego do podgrzanego sprężonego powietrza w odpowiednim momencie umożliwia zapłon i spalanie paliwa.

W silniku benzynowym iskra zapala tylko niewielką ilość mieszanki paliwowo-powietrznej, która jest w bezpośrednim kontakcie z iskrą, jednak to miejscowe spalanie tworzy następnie płomień o temperaturze w okolicach 3 000°C na poziomie jądra płomienia.

Płomień zmienia się w płomień samopodtrzymujący, który optymalnie rozprzestrzenia się w sprężonej mieszance, aż do całkowitego spalania paliwa i tlenu.

Reakcje chemiczne przy spalaniu

Benzyna jest paliwem węglowodorowym z cząsteczkami zawierającymi atomy wodoru (H) i atomy węgla (C). Cząsteczki tlenu zawierają dwa atomy tlenu (O₂), a podczas gdy w procesie spalania zachodzi utlenianie, wodór i tlen reagują ze sobą, tworząc H₂O (wodę), a węgiel i tlen reagują ze sobą, tworząc CO₂ (dwutlenek węgla). To te dwie reakcje zachodzące podczas spalania wytwarzają duże ilości ciepła. Aby jednak doprowadzić do całkowitego spalania paliwa i tlenu oraz wytworzenia maksymalnej energii cieplnej, paliwo musi być w stanie mieszać się i reagować z dokładną ilością tlenu, jaka jest niezbędna.

Powietrze atmosferyczne zawiera ok. 21% tlenu (O₂), ok. 78% azotu (N₂) oraz 1% innych gazów. Paliwo musi być jednolicie wymieszane z powietrzem we właściwych proporcjach, tak aby stosunek paliwa do tlenu był również prawidłowy. Prawidłowy stosunek powietrza do paliwa uzyskuje się, gdy masa powietrza jest 14,7 razy większa od masy paliwa (np. 14,7 grama powietrza na 1 gram paliwa).

Jednolite wymieszanie i rozprowadzenie paliwa w powietrzu określa się mianem mieszaniny jednorodnej, a idealne proporcje powietrza i paliwa – stosunkiem stechiometrycznym.

Stosunek stechiometryczny i współczynnik lambda

W branży motoryzacyjnej zamiast terminu stosunek stechiometryczny obecnie najczęściej używa się pojęcia współczynnika lambda.

Współczynnik lambda jest obliczany poprzez pomiar zawartości tlenu w spalinach. Jest ona zależna od stosunku powietrza do paliwa, a monitorują ją sondy lambda.

Sondy lambda, znane również jako czujniki tlenu (O₂) lub czujniki szerokopasmowe (A/F), przesyłają sygnały elektroniczne do jednostki sterującej silnika, która dzięki temu odpowiednio reguluje stosunek powietrza do paliwa.

Przy stechiometrycznym stosunku powietrza do paliwa współczynnik lambda wynosi 1. Uboga mieszanka, która wytwarza nadmiar tlenu, ma współczynnik lambda większy od 1. Bogata mieszanka z deficytem tlenu ma współczynnik lambda mniejszy od 1.

W teorii silnik powinien pracować ze współczynnikiem lambda wynoszącym 1 (stechiometryczny stosunek powietrza do paliwa), ale nawet w idealnych warunkach trudno jest uzyskać pełne wymieszanie i jednolite rozprowadzenie paliwa w powietrzu. Dlatego stale dokonywane są drobne regulacje w celu zapewnienia właściwych proporcji.

Aby ograniczyć część szkodliwych emisji powstających podczas spalania, współczesne pojazdy wykorzystują zamontowane w układzie wydechowym konwertery katalityczne, służące do przekształcenia szkodliwych zanieczyszczeń w mniej szkodliwe substancje.

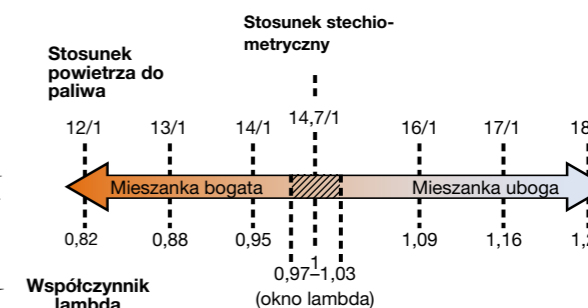
Stosunek powietrza do paliwa lub zakres lambda

Wykres na rys. 2 przedstawia zakresy stosunku powietrza do paliwa i odpowiadające im wartości współczynnika lambda, powszechnie używane we współczesnych silnikach benzynowych.

Kiedy stosunek powietrze/paliwo i poziom tlenu mieszczą się w wymaganym zakresie, wartości współczynnika lambda sytuują się pomiędzy ok. 1,03 (mieszanka uboga – nadmiar tlenu) i 0,97 (mieszanka bogata – nadmiar paliwa), czyli w tzw. oknie lambda.

Zastosowanie sond do monitorowania zawartości tlenu w gazach spalinywych umożliwia jednostce sterującej silnika kontrolę stosunku powietrza do paliwa oraz poziomu tlenu w oknie lambda.

RYS. 2. PRZYBLIŻONE PORÓWNANIE STOSUNKU POWIETRZA DO PALIWA ORAZ WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA LAMBDA. W PRZYPADKU POJAZDÓW WYPOSAŻONYCH W TRÓJDROŻNE KONWERTERY KATALITYCZNE WARTOŚĆ WSPÓLCZYNNIKA LAMBDA WYNOŚI 0,97 DO 1,03



Bogate mieszanki powodujące niepełne spalanie

Ilość paliwa w mieszance bogatej jest zbyt duża, aby móc się wymieszać z tlenem. Wodór w paliwie zazwyczaj wchodzi w reakcję z wymaganą ilością tlenu do produkcji H₂O (wody), jednak część węgla nie będzie w stanie zareagować z odpowiednią ilością tlenu. Prowadzi to do niepełnego spalania, gdzie część węgla spala się tylko częściowo. W wyniku reakcji chemicznej zamiast mniej zanieczyszczającego dwutlenku węgla (CO₂) powstaje tlenek węgla (CO). Dodatkowo część paliwa może nie być w stanie w ogóle zareagować z tlenem, co oznacza, że paliwo to pozostanie całkowicie niespalone i przejdzie do układu wydechowego jako niespalony węglowodór (HC).

Gazy spalinowe emitowane po spalaniu mieszanki bogatej zawierają zatem tlenek węgla (CO) i niespalone paliwo (HC), uważane za zanieczyszczenia o szkodliwym wpływie na atmosferę i nasze zdrowie.

Bogatą mieszankę często stosuje się do uzyskania wyższej mocy wyjściowej kosztem efektywności paliwowej. Około 10-procentowa nadwyżka paliwa (współczynnik lambda 0,9) może zostać wykorzystana w celu zapewnienia wystarczającej ilości paliwa na cały dostępny tlen, co skutkuje przyrostem mocy o około 2-3%.

Jedną z zalet bogatych mieszank jest fakt, że paliwo płynne obniża temperaturę spalania. Podczas pracy z dużym obciążeniem wzrasta ciśnienie i temperatura spalania, co może prowadzić do przedwczesnego zapłonu i spalania stukowego. W przypadku stosowania mieszanki bogatej dodatkowe ciepło pochłaniane przez nadmiar paliwa pomaga obniżyć temperaturę spalania, powodu-

jąc obniżenie ryzyka przedwczesnego zapłonu i spalania stukowego.

Zazwyczaj mieszanka bogata jest również wymagana w trakcie i bezpośrednio po zimnym rozruchu. Niskie temperatury paliwa, jak również zimny cylinder i powierzchnie spalania mogą uniemożliwić przejście paliwa w stan gazowy i jego wymieszanie z powietrzem i tlenem, dlatego konieczna jest dodatkowa ilość paliwa dla umożliwienia spalania.

Mieszanki ubogie powodujące niepełne spalanie

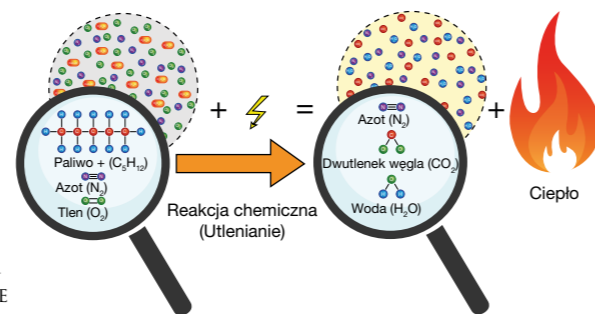
W mieszance ubogiej występuje nadmiar tlenu, co umożliwi reakcję całego paliwa z tlenem. Nadmiar tlenu zmniejsza powstawanie i emisję CO i HC. Zmniejszona ilość paliwa nie pochłania tyle ciepła, co mieszanka bogata, więc temperatury spalania będą wyższe.

Wyższe temperatury powodują reakcję azotu w powietrzu z nadmiarem dostępnego tlenu, który tworzy tlenki azotu (NO_x) – substancje zanieczyszczające, szkodliwe dla naszego zdrowia i środowiska.

W przypadku mieszanki ubogiej cząstki paliwa są rzadziej rozmieszczone w objętości powietrza, co oznacza, że mniej cząstek paliwa jest wystawionych na działanie iskry na świecy zapłonowej. Utrudnia to zapalenie mieszanki powietrzno-paliwowej. Trudniejsze jest przemieszczanie się i propagacja płomienia. Skrajnie ubogie mieszanki mogą zatem powodować słaby zapłon i spalanie, co prowadzi do przerw w zapłonie i wzrostu poziomu niespalonych węglowodorów (HC).

Konstrukcja niektórych silników dopuszcza pracę na mieszankach ubogich w warunkach lekkiego obciążenia, co przekłada się na mniejsze zużycie paliwa →

RYS. 1. REAKCJE CHEMICZNE PRZY SPALANIU CAŁKOWITYM: PALIWO WĘGLOWODOROWE REAGUJE Z TLENEM, WYTWARZAJĄC WODĘ I DWUTLENEK WĘGLA. AZOT W POWIETRZU NIE UCZESTNICZY W PROCESIE UTLENIANIA



FOT. DENSO

FOT. DENSO