

## SPALANIE MIESZANINY BENZYNY I ETANOLU

*KONIECZNY Dariusz*, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, dkoniecz@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0001-9253-2925

*KRAWCZUK Sofia*, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, 154478@stud.prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-2720-2644

## ЗГОРАННЯ СУМІШІ БЕНЗИНУ ТА ЕТАНОЛУ

*КОНИЄЧНИЙ Даріуш*, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, dkoniecz@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0001-9253-2925

*КРАВЧУК Софія*, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, 154478@stud.prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-2720-2644

## COMBUSTION OF GASOLINE AND ETANOL MIXTURE

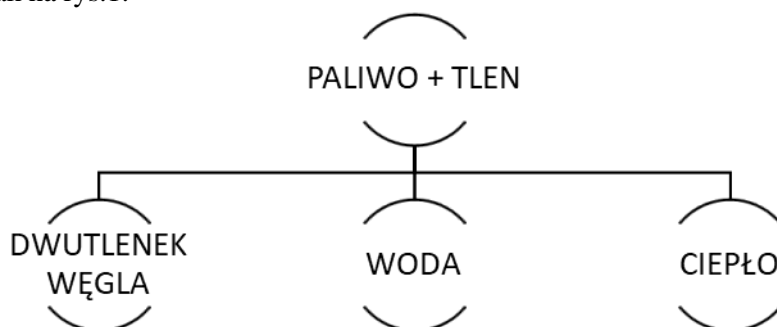
*KONIECZNY Dariusz*, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, dkoniecz@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0001-9253-2925

*KRAWCZUK Sofia*, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, 154478@stud.prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-2720-2644

### WSTĘP

W związku z naciskiem środowisk ekologicznych, priorytetem producentów silników jest wspomaganie zmniejszania emisji szkodliwych cząstek do atmosfery oraz zapewnienie mniejszej ilości spalania paliw przez jednostki napędowe, przy ciągłym zwiększaniu osiągnięć silnika. Jednym ze sposobów eliminacji wyżej wymienionych problemów natury technicznej i społecznej, zdaje się być wykorzystywanie do zasilania silników alkoholi – naturalnych lub syntetycznych – takich jak etanol. Do zadań producentów paliw alternatywnych należy umożliwienie klientom korzystania z ich produktu bez konieczności zmiany parametrów jednostek napędowych w ich pojazdach, a więc ważna jest stechiometria spalania mieszanin paliwowych, gdyż właśnie ten parametr ma znaczący wpływ na ilość spalanego paliwa, jakość spalin oraz na moc silnika spalinowego.

Aby zrozumieć problematykę stechiometrii, należy również zapoznać się z ogólną definicją spalania: jest to innymi słowy utlenianie materiału palnego – w tym przypadku paliwa. Spalanie w komorze silnika ma przebieg egzotermiczny, co znaczy że efektem ubocznym tej reakcji chemicznej jest ciepło oddawane do otoczenia. Warunkiem rozpoczęcia procesu spalania jest czynnik cieplny: dla silników o zapłonie iskrowym – iskra, dla silników o zapłonie samoczynnym – ciepło. Paliwo spalane wraz z tlenem powoduje powstanie reakcji jak na rys.1:



Rysunek 1 – Równanie utleniania: PALIWO + O<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CIEPŁO

Figure 1 – Oxidation equation: FUEL + O<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + HEAT

Z powyższego równania wnioskować należy, że po reakcji utleniania, w spalinach nie powinno znaleźć się pozostałości cząstek paliwa, a to z kolei jest obrazem spalania stechiometrycznego. Jako że mieszanka stechiometryczna jest bardzo trudna do osiągnięcia poza warunkami laboratoryjnymi, to rozróżnia się również mieszaninę ubogą (zbyt wiele utleniacza) oraz bogatą (za mało utleniacza), natomiast zawsze

należy dążyć do  $\lambda=1$ , co określa się jako mieszankę stechiometryczną. Dużą wagę w eksploatacji paliwa etanolowego ma również jego wpływ na działanie silnika oraz jego podzespołów. W związku z tym ważne jest porównanie danych fizyko-chemicznych benzyny oraz etanolu, tudzież paliwa mieszanego – E85. W artykule pojęciem „benzyna” określa się benzynę handlową.

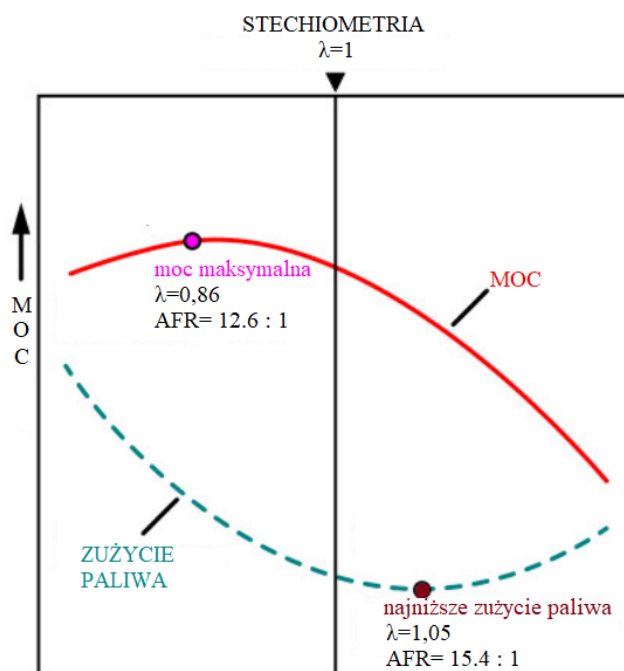
### STECHEMETRIA SPALANIA I WSPÓŁCZYNNIK LAMBDA

Aby określić stechiometrię spalania mieszanki paliwowej, należy zapoznać się z rodzajami tychże mieszanek: uboga, stechiometryczna oraz bogata. Są to trzy typy mieszanin paliwowo – powietrznych które opisują stosunek powietrza do paliwa (ang. AFR – Air-Fuel Ratio).

Mieszanka uboga wynika ze zbyt wielkiej ilości utleniacza w stosunku do dawki paliwa podanej do komory spalania. Sytuacja ta powoduje zwiększenie rezystancji na czujniku sondy lambda ( $\lambda>1$ ). Mieszanka uboga skutkuje osłabieniem mocy silnika, natomiast zapewnia mniejsze spożycie paliwa poprzez element napędowy[9].

Mieszanka bogata wynika z niedostatku tlenu w stosunku do dawki paliwa w komorze spalania, przy czym rezystancja na czujniku sondy lambda spada ( $\lambda<1$ ). Generuje to podniesienie mocy silnika, przy równoczesnym zwiększonym spożyciu paliwa. Należy natomiast uwzględnić fakt, że w danej sytuacji spaliny opuszczające układ wydechowy mogą zawierać cząstki niedopalonego paliwa, co może objawiać się również „strzelaniem” z rury wydechowej (mieszanka która nie zdążyła spalić się w komorze spalania ze względu na brak wystarczającej ilości utleniacza, dopala się w gorącej strefie rury wydechowej)[9].

Mieszanka stechiometryczna jest mieszanką w której na jedną jednostkę paliwa, przypada dokładna ilość tlenu wymaganego do spalania mieszaniny. W wyniku spalania stechiometrycznego  $\lambda=1$ , co oznacza że w komorze spalania nie pozostają resztki paliwa, czy utleniacza, dochodzi do całkowitej redukcji w wyniku której pozostaje jedynie dwutlenek węgla, woda oraz ciepło. Jest to sytuacja która zapewnia najkorzystniejszy stosunek mocy do ilości zużytego paliwa[9]. Na rysunku 2 przedstawiono wpływ składu mieszanki na parametry silnika spalinowego z zapłonem iskrowym.



Rysunek 2 – Krzywa stechiometrii dla benzyny (AFR = 14.7 :1)

Figure 2 – Stoichiometry curve for gasoline (AFR = 14.7: 1)

Aby obliczyć stosunek powietrza do paliwa który panuje w danej mieszance, należy skorzystać z podanego wzoru:

$$AFR = \frac{m_a}{m_f},$$

gdzie:  $m_a$  – masa powietrza,  $m_f$  – masa paliwa.

Oczywistym jest, że dla każdego paliwa, ze względu na różnorodne składowe chemiczne, różnić się będą stosunki powietrza do paliwa. W poniższej tabeli przedstawiono stechiometryczne mieszanki dla poszczególnych paliw, uwzględniając masa potrzebnego powietrza w kilogramach, do spalania jednego kilograma paliwa [9].

Tabela 1 – Współczynnik AFR dla poszczególnych paliw  
Table 1 – AFR factor for individual fuels

PALIWO	AFR [kg]	WZÓR CHEMICZNY
Benzyna	14.7 : 1	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Etanol	9 : 1	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Diesel	14.5 : 1	C <sub>12</sub> H <sub>23</sub>
Propan	15.67 : 1	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Wodór	34.3 : 1	H <sub>2</sub>

Nawiązując do wcześniejszych rozważań, mieszanka uboga dla etanolu to dla przykładu 11 : 1, natomiast mieszanka bogata może osiągnąć stosunek 5 : 1 [9].

Ze względu na różnice ilościowe laboratoryjnego i użytkowego spalania powietrza w silniku, ustanowiono podział zapotrzebowania powietrza teoretycznego oraz rzeczywistego. Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza, to taka jego ilość, która jest konieczna do stworzenia mieszanki stechiometrycznej. Natomiast rzeczywiste zapotrzebowanie jest zależne od założonego nadmiaru powietrza ( $\lambda$ ), które wylicza się z podanego wzoru:

$$\lambda = \frac{\text{całkowita ilość powietrza do spalania}}{\text{teoretyczna ilość powietrza do spalania}}$$

Z kolei nadmiar powietrza ( $n$ ), należy obliczyć z zależności:

$$n = \frac{\text{całkowita ilość powietrza do spalania} - \text{teoretyczna ilość powietrza do spalania}}{\text{teoretyczna ilość powietrza do spalania}}$$

$$n = (\lambda - 1) \cdot 100\%$$

#### PORÓWNANIE BENZYNY ORAZ ETANOLU

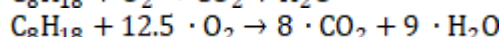
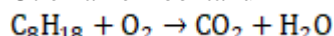
Benzyna jako przetwór ropy naftowej jest poddawana uszlachetnieniu między innymi poprzez proces reformingu katalitycznego. Po tym jak w latach osiemdziesiątych paliwo to zostało pozbawione tetraetylołowiu, jako element o działaniu przeciwstukowym wprowadzono węglowodory aromatyczne, których dopalanie przebiega w katalizatorze [1]. Etanol zazwyczaj jest produktem fermentacji alkoholowej produktów węglowodanowych, a więc jest paliwem tanim oraz ogólnodostępnym. Problematyką etanolu należy zajmować się pod kątem niskiej liczby cetanowej, która oscyluje w okolicach 5 do 8 jednostek, a więc ich właściwości samozapłonowe są bardzo niekorzystne. Dla jednostki z zapłonem samoczynnym 10% zawartości etanolu w benzynie, pozwala podnieść indeks oktanowy paliwa o 2 – 3 jednostki [2, 5]. Porównanie właściwości benzyny i etanolu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 – Kluczowe różnice pomiędzy etanolem oraz benzyną [5]  
Table 2 – Key differences between ethanol and gasoline [5]

WŁAŚCIWOŚĆ	BENZYNA ZGODNA Z PN-EN228	ETANOL
Masa cząsteczkowa	114,2	46
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	720 – 775	794
Wartość opałowa [MJ/kg]	42,3 – 43,5	26,8
Temperatura wrzenia [°C]	20 – 220	77,8
LOB	min 95	120 – 135
LOM	min 85	100 – 106
Temp. zapłonu [°C]	-42	12,8
Temp. samozapłonu [°C]	300 – 450	420
Ciepło odparowywania [kJ/kg]	350	855 – 870
Współczynnik AFR	14,7	9,0
Zakresy graniczne współczynnika $\lambda$	6,0 – 22,0	3,5 – 17,0

Jako że stechiometria paliwa jest zależna od współczynnika AFR, poniżej dokonano chemicznego zobrazowania utleniania benzyny (izooktan  $C_8H_{18}$ ) oraz etanolu ( $C_2H_5OH$ ), dla mas atomowych:  $H=1,008\mu$ ;  $C=12,011\mu$ ;  $O=15,999\mu$

Utlenianie izooktanu

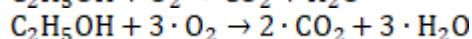
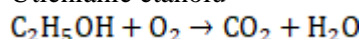


$$m_f = 8 \cdot 12,011 + 18 \cdot 1,008 = 114,232g$$

$$m_a = \frac{100}{21} \cdot m_o = \frac{100}{21} \cdot 399,975 = 1904,643g$$

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{1904,643}{114,232} = 16,673$$

Utlenianie etanolu



$$m_f = 15,999 + 6 \cdot 1,008 + 2 \cdot 12,011 = 46,069g$$

$$m_a = \frac{100}{21} \cdot m_o = \frac{100}{21} \cdot 399,975 = 1904,643g$$

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{1904,649}{49,069} = 38,816g$$

W pierwszej reakcji substratem jest izooktan oraz tlen, natomiast produktami są dwutlenek węgla oraz woda. Jest to reakcja spalania, w której do dwutlenku węgla zostaje utleniony związek organiczny, a atom węgla występuje na czwartym stopniu utleniania. W drugiej reakcji substratem jest etanol, który również utlenia się do wody oraz dwutlenku węgla.

### PALIWO ETANOLOWE

Aktualnie na polskich stacjach paliw najczęściej spotykanym biopaliwem jest mieszanina E85. Jest to paliwo zbudowane z benzyny bezołowiowej (15%) oraz etanolu (85%). Samochody które fabrycznie są dostosowane do zasilania paliwem E85, mogą również być napełniane standardową benzyną, co sugeruje sama nazwa tych pojazdów: Flex Fuel Vehicles. Warto więc porównać wpływ paliwa E85 na działanie silnika, jak i określić jakie właściwości chemiczne ma dana mieszanka. Uwaga zostanie również przydzielona do spalin które są wytwarzane przez benzynę oraz paliwo E85.

Jak wynika z poniższej tabeli, wartość opałowa paliwa E85 jest o ponad połowę niższa niż benzyny silnikowej, co oznacza niską kaloryczność tego paliwa. Jest to zjawisko niekorzystne ze względu na ciepło które paliwo jest w stanie oddać w komorze spalania.

Tabela 3 – Benzyna silnikowa, a biopaliwo E85 – najważniejsze różnice [6]

Table 3 – Motor gasoline and E85 biofuel - the most important differences[6]

WŁAŚCIWOŚCI	BENZYNA ZGODNA Z PN-EN 228	BIOPALIWO E85
Gęstość [ $kg/m^3$ ]	720 – 775	~ 785
Wartość opałowa [MJ/kg]	42,3 – 43,5	~ 29
LOB	min 95	>105
LOM	min 85	>90
Współczynnik AFR	14,5 – 14,7	~9,7
Ciepło odparowania [kJ/kg]	350	780

Podniesienie wartości LOB oraz LOM zapewnia możliwość stosowania wyższych stopni sprężania silnika, obniża szanse na niekontrolowany samozapłon mieszanki oraz zwiększa górny zakres kąta wyprzedzania zapłonu, co skutecznie przekłada się na zwiększenie mocy użytkowej silnika. Zwiększona wartość ciepła parowania, jako czynnik warunkujący stopień napełniania cylindrów czy stopień sprężania, oznacza również możliwość podniesienia tych właściwości - jest to niebagatelnie ważne dla podniesienia mocy silnika.

Poniżej przedstawiono najważniejsze produkty spalin wydalanych z silnika o zapłonie iskrowym, zmierzone dla spalin po benzynie silnikowej bezołowiowej oraz dla biopaliwa E85.

Tabela 4 – Emisja spalin dla benzyny bezołowiowej oraz biopaliwa E85[4]  
 Table 4 – Exhaust emissions for unleaded petrol and E85 biofuel[4]

ZWIĄZEK	BENZYNIA SILNIKOWA	BIOPALIWO E85
CO [mg/km]	317	226
CO <sub>2</sub> [g/km]	185	165
Węglowodory [mg/km]	7.0	9.5
NO <sub>x</sub> [ mg/km]	16	19
NH <sub>3</sub> [ppm]	5.5	12.2
HCHO [ppm]	0.3	0.3

Analizując dane powyższej tabeli, należy zauważyć że biopaliwo E85 produkuje o wiele mniejszą ilość CO oraz nieco mniejszą CO<sub>2</sub>, która jest równoważona poprzez wychwytywane w czasie upraw produktów stosowanych do fermentacji alkoholowej na poczet paliwa. Kolejne składowe spalin takich jak węglowodory, tlenek azotu NO<sub>x</sub>, lub amoniak NH<sub>3</sub>, w znacznie wyższym stopniu gospodarują zawartością spalin, aniżeli wynika to w przypadku benzyny. Kwas mrówkowy HCHO pozostał w niezmienionej zawartości. Zmniejszona zawartość tlenków azotu umożliwia zwiększenie wartości stopnia sprężania, jak kąta wyprzedzenia zapłonu.

Ze względu na wysoką higroskopijność alkoholi, warto również rozważyć wpływ tego czynnika na części pojazdów. Higroskopijność paliwa E85 ma znaczący wpływ na obniżenie czasu eksploatacji filtrów paliwowych, jak i potęgowania korozyjności części mechanicznych. W przypadku gdy zawartość wody w paliwie dojdzie do 5%(V/V), dochodzi do zagrożenia rozwarstwienia się mieszanki, przy czym etanol wraz z wodą osiada na dnie zbiornika paliwa. Dochodzi do zaburzenia procesów spalania, a w konsekwencji do unieruchomienia jednostki napędowej[2].

Ze względu na podatność paliwa E85 do tworzenia osadów na wtryskiwaczach paliwa, warto zwrócić uwagę na ograniczanie osiągow silnika. Zanieczyszczenie wtryskiwaczy powoduje zniżenie ilości wtryskiwanego paliwa, co może prowadzić do deregulacji elementów napędowych, jak i obniżenie wielkości maksymalnego momentu obrotowego[6].



Rysunek 3 – Osad na końcówce wtryskiwacza[5]  
 Figure 3 – Sediment on the tip of the injector[5]

Kolejną kwestią która obniża osiągi jednostki napędowej, to higroskopijność alkoholi. Z danej przyczyny należy zwracać szczególną uwagę na stan filtra paliwowego, gdyż dochodzi do jego zatkania o wiele szybciej niż ma to miejsce w przypadku stosowania standardowej benzyny. Zawartość wody w mieszance paliwowej powyżej 5%(V/V) prowadzi do rozwarstwienia mieszanki, a w konsekwencji do uszkodzenia oraz unieruchomienia silnika.

Zagrożeniem dla zaworów dolotowych silników są również siarczany, jako pozostałość produkcji biopaliwa. Jako osad są lepkie, co prowadzi do osadzania się na mechanizmie, który w efekcie może zostać zablokowany. Prowadzi to do deregulacji pracy silnika [8].



Rysunek 4 – Osady na zaworach dolotowych[5]

Figure 4 – Deposits on intake valves[5]

Efekt oblepiania jest stanowczo bardziej odczuwalny w kanałach dolotowych, które zostają pokryte lepłą mazią. Zimny, unieruchomiony przez ponad dobę silnik sprawia trudności w uruchomieniu oraz grozi deregulacją mechanizmu.

Jako że alkohol jest naturalnym odtłuszczaczem, należy zwrócić uwagę na konieczność kontroli łożysk ślizgowych oraz innych elementów pokrytych smarem. Dodatkowo – podczas spalania etanolu wytwarzają się związki agresywnie oddziałujące na stopy metali, powodując korozję. Kolejnym zagrożeniem jest zmniejszenie ilości wytwarzanej naturalnie sadzy, co powoduje zużycia gniazd zaworowych oraz zaworów. Etanol jest również powodem wymywania zanieczyszczeń z układu paliwowego; przenosi je do układu wtryskowego jak i filtra paliwa.

Zużycie ściernie wnętrza silnika może nastąpić na skutek wymywania filmu olejowego przez etanol. W silnikach z wtryskiem bezpośrednim zachodzi dodatkowe ryzyko bazujące na niedopalonej dawce paliwa – co potęguje ściernie zużycie tulei i pierścieni tłokowych. Dodatkowym zagrożeniem dla jednostki napędowej zasilanej przez paliwo E85, jest popularny dzisiaj system „stop – go”, powoduje to rozgrzewanie i ponowne chłodzenie silnika w krótkich odcinkach czasu, a więc pogarsza efekt zapychania wtryskiwaczy i utrudnia odparowywanie alkoholu z oleju smarującego. Dla pojazdów typu Flexi Fuel należy stosować dedykowane smary o większej odporności na wymywające właściwości alkoholi[6].

#### PODSUMOWANIE

Paliwo etanolowe „E100” niechybnie jest krokiem wprzód w kwestii ekologii, ekonomii transportu i rozwoju paliw alternatywnych. Jego właściwości fizyko-chemiczne powodują jednak wielokrotne nawarstwianie problemów w kwestii eksploatacji silnika. Pomimo bezspornej poprawy mocy użytkowej produkowanej przez jednostkę napędową, należy pamiętać że dla aktualnie używanych części mechanicznych i materiałów ich tworzących, jest to mieszanina kłopotliwa i wymagająca częstej i dokładnej diagnostyki.

#### LITERATURA

1. Baczewski K., Kałdoński T., „Paliwa do silników o zapłonie iskrowym”, WKŁ 2015, Warszawa
2. Żółty M., Stępień Z., „Paliwa etanolowe w zastosowaniu do silników o zapłonie iskrowym”, NAFTA-GAZ, ROK LXXII, NR9/2016
3. Pałuchowska M., Danek B., „Specyfikacje jakościowe bioetanolu i biopaliw do silników o zapłonie iskrowym”, NAFTA-GAZ, ROK LXV, luty 2009
4. Stępień Z., Pałuchowska M., Żak G., „The prospects for the use of ethanol as a fuel component and its potential in the reduction of exhaust emissions”, Combustion Engines 2014, vol. 158, no. 3, PTNSS-2014-309, PL ISSN 0138-0346
5. Praca zbiorowa pod redakcją Oleksiaka S., „Alcohol fuels for transport – background, research and development”, INiG, 2015, DOI: 10.18668/PN2015.204
6. Pałuchowska M., Jakóbiec J., „Wpływ składu chemicznego benzyny i zawartości etanolu w kształtowaniu właściwości eksploatacyjnych.”, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2012, nr 7- 8, s. 56-50
7. Mazanek A., Jakóbiec J., „Ocena jakości paliw silnikowych w badaniach eksploatacyjnych”, NAFTA-GAZ ROK LXV styczeń 2009
8. Małek A., Szlachetka M., Stępniewski A., Majczak A., Magryta P., „Badania w warunkach drogowych pojazdu z silnikiem benzynowym zasilanych paliwem E85”, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 10/2011
9. <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/air-fuel-ratio-lambda-engine-performance/> (dostęp na dzień 28.03.2021)

## STRESZCZENIE

Konieczny D. Spalanie mieszaniny benzyny i etanolu / D. Konieczny, S. Krawczuk // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2021. – № 3 (50).

Artykuł dotyczy stechiometrii spalania paliwa alternatywnego – mieszaniny benzyny i etanolu. Uwzględniono podłoże ekonomiczne i ekologiczne które zapoczątkowało produkcję tego rodzaju paliwa, określono czym jest spalanie, a także dokonano podziału mieszanin paliwowych ze względu na zawartość paliwa i utleniacza w komorze spalania. Zwrócono uwagę na definicję mieszaniny stechiometrycznej, jak i na współczynnik lambda ( $\lambda$ ) który pomaga w określeniu rodzaju mieszanki. W osobnych rozdziałach opisano właściwości benzyny (w postaci izooktanu) oraz etanolu, dokonano porównania każdego z nich. Jeden z rozdziałów poświęcono na opis mieszanki E85 stosowanej w silnikach typu Flexi Fuel Vehicles, określono wymagania względem tego paliwa odnośnie zapisów według Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie wymagań jakościowych dla biopaliw, zwrócono również uwagę na wpływ mieszanki na działanie silnika, jak i zawartość związków chemicznych w spalinach przy użyciu biopaliwa E85.

## РЕФЕРАТ

Конієчний Д. Згорання суміші бензину та етанолу / Д. Конієчний, С. Кравчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50).

Завдяки натиску екологічного Суспільства, пріоритетом виробників двигунів є зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу та зменшенню споживання палива при постійному підвищенні продуктивності двигуна. Одним із способів усунення вищезазначених технічних та соціальних проблем є використання спиртів, природних або синтетичних, таких як етанол для живлення двигунів.

Завданнями виробників альтернативних видів палива є надання споживачам змоги використовувати свій продукт без зміни параметрів основних агрегатів у своїх транспортних засобах, тому стехіометрія згорання паливних сумішей є важливою, оскільки цей параметр має значний вплив на кількість спаленого палива, якість вихлопних газів та потужності двигуна внутрішнього згорання.

Горіння у автомобільному двигуні є екзотермічним, це означає, що побічним ефектом цієї хімічної реакції є тепло, що виділяється в навколишнє середовище. Умовою запуску процесу горіння є тепловий коефіцієнт – для двигунів з іскровим запалюванням - іскра, а для дизелів – тепло при стисненні паливо-повітряної суміші.

З наведеного вище випливає, що після реакції окислення у відпрацьованих газах не повинно бути залишкових частинок палива, що в свою чергу є зображенням стехіометричного горіння. Оскільки стехіометричної суміші дуже важко досягти поза лабораторними умовами, також розрізняють нежирну суміш (занадто багато окислювача) та насичену суміш (занадто мало окислювача), але завжди прагнуть досягти  $\lambda = 1$ , що відповідає стехіометричній суміші.

Велика вага при роботі етанолового палива це таж впливає на роботу двигуна та його компонентів. Тому важливо порівняти фізико-хімічні дані бензину та етанолу, а також змішаного палива - E85.

У статті розглядається стехіометрія згорання альтернативного палива - суміші бензину і етанолу. Враховувались економічні та екологічні умови, що ініціювали виробництво цього виду палива, паливні суміші були розділені відповідно до вмісту палива та окислювачів у камері згорання. Звернено увагу на визначення стехіометричної суміші, а також на коефіцієнт лямбда ( $\lambda$ ), який допомагає визначити тип суміші. Властивості бензину (у формі ізо-октану) та етанолу описані в окремих розділах, і кожна з них порівнюється. Одна глава присвячена опису суміші E85, що використовується в двигунах Flexi Fuel Vehicles, вимоги до цього палива визначені Міністром економіки про вимоги до якості біопалива, також приділено увагу впливу суміші на роботу двигуна та вміст хімічних сполук у вихлопі з використанням біопалива E85.

Встановлено, що етанолове паливо (зокрема E100), безсумнівно, є кроком вперед з точки зору екології, транспортної економіки та розвитку альтернативних видів палива. Однак його фізико-хімічні властивості викликають багато проблем у роботі двигуна. Незважаючи на поліпшення корисної потужності, що виробляється двигуном, слід пам'ятати, що для використовуваних в даний час механічних деталей та їх матеріалів це «проблемна» суміш, яка вимагає частого та точного діагностування та калібрування.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СТЕХІОМЕТРИЧНА СУМІШ, ГОРІННЯ, СУМІШ БЕНЗИНУ ТА ЕТАНОЛУ, АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО, ПОЛІПШЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНА.

### ABSTRACT

Konieczny D., Krawczuk S. Combustion of gasoline and ethanol mixture. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 3 (50).

Thanks to the pressure of the Environmental Society, the priority of engine manufacturers is to reduce emissions of harmful substances into the atmosphere and reduce fuel consumption while constantly increasing engine performance. One way to overcome the aforementioned technical and social problems is to use alcohols, natural or synthetic, such as ethanol to power engines.

The objectives of manufacturers of alternative fuels is to provide consumers with the opportunity to use their product without changing the parameters of the main units in their vehicles, therefore the stoichiometry of the combustion of fuel mixtures is important, since this parameter can affect the amount of fuel burned, the quality of exhaust gases and the power of the internal combustion engine.

Combustion in a car engine is exothermic, which means that a side effect of this chemical reaction is heat released into the environment. The condition for starting the combustion process is the thermal coefficient – for spark ignition engines – a spark, and for diesel engines – heat during compression of the fuel-air mixture.

From the above it follows that after the oxidation reaction in the exhaust gases there should be no residual fuel particles, which in turn is an image of stoichiometric combustion. Since the stoichiometric mixture is very difficult to achieve outside laboratory conditions, a distinction is made between a non-greasy mixture (too much oxidizing agent) and a saturated mixture (too little oxidizing agent), but always strive to reach  $\lambda = 1$ , which corresponds to a stoichiometric mixture.

The heavy weight when working with ethanol fuel is the one that affects the operation of the engine and its components. Therefore, it is important to compare the physicochemical data of gasoline and ethanol, as well as mixed fuel – E85.

The article deals with the stoichiometry of combustion of an alternative fuel - a mixture of gasoline and ethanol. The economic and environmental conditions that initiated the production of this type of fuel were taken into account, the fuel mixtures were divided according to the content of fuel and oxidants in the combustion chamber. Attention is drawn to the determination of the stoichiometric mixture, as well as to the lambda coefficient ( $\lambda$ ), which helps to determine the type of mixture. The properties of gasoline (in the form of iso-octane) and ethanol are described in separate sections and each is compared. One chapter is devoted to the description of the E85 mixture used in Flexi Fuel Vehicles engines, the requirements for this fuel are determined by the Minister of Economy on the requirements for the quality of biofuels, and attention is also paid to the effect of the mixture on the operation of the engine and the content of chemical compounds in the exhaust using E85 biofuel.

It has been established that ethanol fuel (in particular E100) is undoubtedly a step forward in terms of ecology, transport economics and the development of alternative fuels. However, its physicochemical properties cause many problems in engine operation. Despite the improvement in the net power generated by the engine, it should be remembered that for the current mechanical parts and their materials, this is a “problem” mixture that requires frequent and accurate diagnostics and calibration.

**KEY WORDS: STOICHIOMETRIC MIXTURE, COMBUSTION, MIXTURE OF GASOLINE AND ETHANOL, ALTERNATIVE FUEL, IMPROVEMENT OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES OF THE ENGINE.**

### РЕФЕРАТ

Кониєчний Д. Сгорание смеси бензина и этанола / Д. Кониєчний, С. Кравчук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 3 (50).

Благодаря напору экологического Общества, приоритетом производителей двигателей является уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу и уменьшению потребления топлива при постоянном повышении производительности двигателя. Одним из способов устранения вышеупомянутых технических и социальных проблем является использование спиртов, природных или синтетических, таких как этанол для питания двигателей.

Задачами производителей альтернативных видов топлива является предоставление потребителям возможности использовать свой продукт без изменения параметров основных агрегатов в своих транспортных средствах, поэтому стехиометрия сгорания топливных смесей является важным, поскольку этот параметр может влиять на количество сожженного топлива, качество выхлопных газов и мощности двигателя внутреннего сгорания.

Горения в автомобильном двигателе является экзотермическим, это означает, что побочным эффектом этой химической реакции является тепло, выделяемое в окружающую среду. Условием



запуска процесса горения является тепловой коэффициент - для двигателей с искровым зажиганием - искра, а для дизелей - тепло при сжатии топливо-воздушной смеси.

Из приведенного выше следует, что после реакции окисления в отработанных газах не должно быть остаточных частиц топлива, что в свою очередь является изображением стехиометрического горения. Поскольку стехиометрической смеси очень трудно достичь вне лабораторных условий, также различают нежирную смесь (слишком много окислителя) и насыщенную смесь (слишком мало окислителя), но всегда стремятся достичь  $\lambda = 1$ , что соответствует стехиометрической смеси.

Большой вес при работе этанолового топлива это та влияет на работу двигателя и его компонентов. Поэтому важно сравнить физико-химические данные бензина и этанола, а также смешанного топлива - E85.

В статье рассматривается стехиометрия сгорания альтернативного топлива - смеси бензина и этанола. Учитывались экономические и экологические условия, которые инициировали производство этого вида топлива, топливные смеси были разделены в соответствии с содержанием топлива и окислителей в камере сгорания. Обращено внимание на определение стехиометрической смеси, а также на коэффициент лямбда ( $\lambda$ ), который помогает определить тип смеси. Свойства бензина (в форме изо-октана) и этанола описаны в отдельных разделах, и каждая из них сравнивается. Одна глава посвящена описанию смеси E85, используемой в двигателях Flexi Fuel Vehicles, требования к этому топливу определены Министром экономики о требованиях к качеству биотоплива, также уделено внимание влиянию смеси на работу двигателя и содержание химических соединений в выхлопе с использованием биотоплива E85.

Установлено, что этаноловая топливо (в частности E100), несомненно, является шагом вперед с точки зрения экологии, транспортной экономики и развития альтернативных видов топлива. Однако его физико-химические свойства вызывают много проблем в работе двигателя. Несмотря на улучшение полезной мощности, вырабатываемой двигателем, следует помнить, что для используемых в настоящее время механических деталей и их материалов это «проблемная» смесь, которая требует частого и точного диагностирования и калибровки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СТЕХИОМЕТРИЧЕСКАЯ СМЕСЬ, ГОРЕНИЯ, СМЕСЬ БЕНЗИНА И ЭТАНОЛА, АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА, УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДВИГАТЕЛЯ.

**AUTORZY:**

KONIECZNY Dariusz, Politechnika Rzeszowska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, e-mail: dkoniecz@prz.edu.pl, tel.: +48178651679, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959, Rzeszów, Polska, orcid.org/0000-0001-9253-2925.

KRAWCZUK Sofia, Politechnika Rzeszowska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, e-mail: 154478@stud.prz.edu.pl, tel.:+48178651679, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959, Rzeszów, Polska, orcid.org/0000-0002-2720-2644.

**АВТОРИ:**

КОНІЄЧНИЙ Даріуш, Жешувська Політехніка, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: dkoniecz@prz.edu.pl, тел.: +48178651679, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0001-9253-2925.

КРАВЧУК Софія, Жешувська Політехніка, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: 154478@stud.prz.edu.pl, tel.:+48178651679, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-2720-2644.

**AUTHORS:**

KONIECZNY Dariusz, Rzeszow University of Technology, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: dkoniecz@prz.edu.pl, tel.: +48178651679, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0001-9253-2925.

KRAWCZUK Sofia, Rzeszow University of Technology, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: 154478@stud.prz.edu.pl, tel.: +48178651679, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-2720-2644.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Вош П., доктор технічних наук, професор, Жешувська політехніка, завідувач кафедри автомобільного транспорту та транспортного машинобудування, Жешув, Польща.

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

**REVIEWERS:**

Woś P., Doctor of Technical Sciences, professor, Rzeszow University of Technology, head of the motor vehicles and transport engineering department, Rzeszow, Poland.

Gutarevych Yu.F. Doctor of Technical Science, National Transport University, Head of the of engines and heating department, Kyiv, Ukraine.