

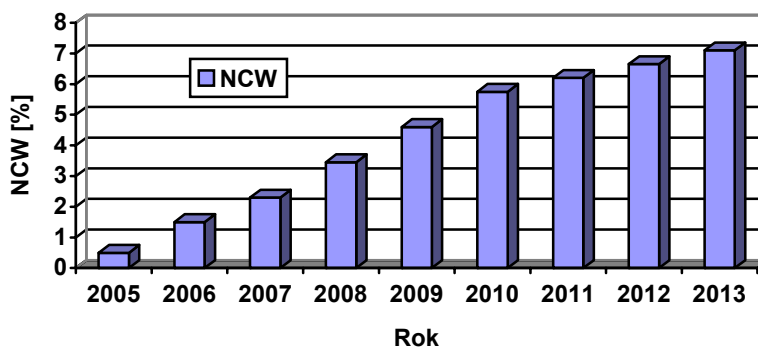
TECHNICZNE ASPEKTY STOSOWANIA BIOPALIW W TRANSPORCIE

Artur JAWORSKI

W artykule zasygnalizowano wybrane problemy związane ze stosowaniem biopaliw do zasilania silników spalinowych. Założenia dyrektyw UE i krajowych planów w zakresie wzrostu udziału biopaliw w transporcie powodują wzrost zawartości biokomponentów w paliwach, co perspektywicznie wiąże się ze stosowaniem biopaliw, jako paliw samoistnych. Wymaga to odpowiedniej adaptacji silników.

1. WPROWADZENIE

Perspektywy wyczerpania się zasobów paliw kopalnych, a także dążenie do ograniczenia szkodliwego wpływu motoryzacji na środowisko naturalne powodują opracowywanie nowych rozwiązań mających na celu ograniczenie zużycia paliw kopalnych przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji toksycznych oraz szkodliwych składników spalin. Jednym z rozwiązań jest stosowanie paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych, będących alternatywą dla paliw konwencjonalnych. W Polsce, podobnie jak innych krajach UE przyjęto dyrektywy [7,8], na podstawie których zakłada się stały wzrost udziału biopaliw do zasilania silników spalinowych stosowanych w transporcie. Polska przyjęła w tym zakresie Narodowy Cel Wskaźnikowy, określający minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych zużywanych w ciągu roku kalendarzowego w transporcie, liczony według wartości opałowej, którego założenia ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Wartości zakładanego udziału biopaliw w przyjętym Narodowym Celu Wskaźnikowym

Wartość współczynnika NCW wyraża wzór:

$$NCW = \frac{\text{wartość opałowa biokomponentów i innych paliw odnawialnych zawartych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych}}{\text{wartość opałowa paliw ciekłych i biopaliw ciekłych}} \cdot 100\%$$

2. WYBRANE ASPEKTY TECHNICZNE STOSOWANIA BIOPALIW

Zastosowanie paliw alternatywnych, jakimi są biopaliwa wiąże się z koniecznością rozpatrzenia wielu problemów technicznych wynikających z użycia paliwa o innych właściwościach fizykochemicznych [1-6]. W niektórych przypadkach wymaga to dokonania pewnych modyfikacji konstrukcji silników i układów zasilania, co czasem staje się nieuzasadnione ekonomicznie. Ponadto sam proces dystrybucji i przechowywania biopaliw musi uwzględnić pewne różnice ich właściwości.

W przypadku biopaliw, które stanowią tylko komponenty paliw ropopochodnych, ich wpływ na zmianę właściwości jest zależny od wielkości dodatku i z reguły nie wymaga spełnienia szczególnych warunków. Zastosowanie biopaliw gazowych wymaga rozwiązań podobnych jak w przypadku tradycyjnych paliw gazowych. Główne uwarunkowania praktycznego wdrożenia biopaliw związane są: z transportem i składowaniem oraz transportem wewnętrznym paliwa w układzie zasilania i samym silniku, jego wpływem na materiały konstrukcyjne oraz na parametry pracy silnika.

Ester wyższych kwasów tłuszczowych (biodiesel) jest paliwem, którego stosowanie w czystej postaci wymaga zachowania pewnych zasad dotyczących jego produkcji i przechowywania oraz eksploatacyjnych. Przede wszystkim właściwa i bezawaryjna praca silnika zależy od jakości tego paliwa. Aby spełnić wymagania normatywne niezbędne jest odpowiednie przygotowanie substratów a następnie właściwe przeprowadzenie procesu estryfikacji. W warunkach przechowywania paliwo nie powinno mieć kontaktu z powietrzem, gdyż ma ono skłonności do utleniania. Wówczas zachodzi proces degradacji estrów, co powoduje zmianę barwy oraz przyrost liczby kwasowej (większa zawartość kwasów organicznych) i lepkości. Produkty utleniania niekorzystnie wpływają na proces wtrysku oraz spalania paliwa. Ponadto wilgoć zawarta w powietrzu jak i woda w zbiornikach paliwa łatwo łączy się z estrem i dodatkowo osłabia jego stabilność oksydacyjną. Obecność wody stwarza również dobre warunki dla rozwoju mikroorganizmów, co stwarza szereg problemów w trakcie magazynowania i użytkowania. Woda pod wpływem działania wolnych kwasów tłuszczowych może spowodować hydrolizę estrów oraz glicerydów zawartych w paliwie. Estrы mają dobre właściwości myjące i rozpuszczają większość osadów i szlamów powstałych w zbiornikach paliwa, co w przypadku niedostatecznej ich czystości może w dalszej konsekwencji spowodować zatykanie filtrów a nawet uszkodzenie wtryskiwaczy. Nieodpowiednie warunki przechowywania estrów prowadzą do powstawania w paliwie wolnych kwasów tłuszczowych, żywic, cząstek stałych i wody. Niektóre zanieczyszczenia mogą jednak znajdować się w paliwie od razu po jego wyprodukowaniu. Jeżeli proces transestryfikacji został przeprowadzony niewłaściwie to ester zawiera pewną ilość gliceryny w postaci wolnej lub glicerydów. Prowadzi to do niepełnego spalania w silniku i tworzenia osadów w komorze spalania oraz zatykanie otworków rozpylacza, a także [2] powstania akroleiny w spalinach. Pozostałości metanolu (etanolu) znacząco wpływają na obniżenie temperatury zapłonu a zawartość resztek katalizatora powoduje powstawanie popiołów, które działają jak inne zanieczyszczenia stałe. Nie powinno być również obecności fosforu, który obniża sprawność reaktora katalitycznego w układzie wydechowym (jeżeli jest stosowany). Obecność grupy estrowej oraz wolnych kwasów tłuszczowych może być przyczyną problemów eksploatacyjnych zwłaszcza w starszych typach silników. Dzieje się tak, dlatego że elementy zwłaszcza układu paliwowego wykonane z gumy oraz niektórych elastomerów mogą być nieodporne na działanie estrów. Wiąże się to z wymianą odpowiednich uszczelnień lub przewodów. Objawia się to również korozyjnym działaniem na stopy miedzi, cynku i glinu a przypadku obecności wody również stali. Należy pamiętać także o skłonności do rozpuszczania niektórych powłok lakierniczych. Dodatkowym utrudnieniem eksploatacyjnym mającym wpływ na trwałość silnika jest skłonność omawianego paliwa do rozcieńczania oleju silnikowego. Przyczyną tego jest brak niskowrzących frakcji w składzie chemicznym

estrów (krzywa destylacji inna niż dla oleju napędowego) paliwo to wrze w wąskim dosyć wysokim zakresie temperatury i w czasie pracy niedogrzanego silnika może dostawać się do oleju smarującego. Nie zmienia znacząco jego właściwości smarnych [4] jednak wpływa na lepkość, co wiąże się z koniecznością wcześniejszej wymiany oleju, o czym już wspomniano. Brak niskowrzących frakcji wskazuje również na gorsze właściwości rozruchowe. W przypadku stosowania estrów do zasilania silnika ulegają zmianie także parametry związane z przepływem paliwa w całym układzie zasilania. Dzieje się tak za sprawą innej gęstości i lepkości paliwa. Dodatkowo lepkość niekorzystnie zmienia się pod wpływem temperatury i może być przyczyną blokowania przepływu w dużo wyższej temperaturze niż w przypadku oleju napędowego. Parametry takie jak lepkość i gęstość mają zasadniczy wpływ na proces wtrysku paliwa (np. zasięg strugi). W połączeniu z innymi właściwościami energetycznymi może to powodować konieczność zmiany parametrów regulacyjnych silnika dla zachowania jego dynamiki. Zmienia się także szybkość odparowania paliwa i w efekcie inny jest przebieg ciśnienia w trakcie spalania, co niekorzystnie wpływa na obciążenie łożysk układu korbowego.

Większość zagrożeń wynikających ze stosowania biodiesla związana jest z niewłaściwą jego jakością. Kontrola jakości tego biopaliwa powinna odbywać się od momentu przygotowania surowców poprzez proces produkcji i dystrybucji aż do zbiornika pojazdu. Jeżeli spełniony jest ten warunek paliwo odznacza się dobrymi właściwościami samozapłonowymi, więc silnik może rozwijać większą prędkość obrotową lub pracować z mniejszym kątem wyprzedzenia zapłonu oraz pracować ciszej. Smarność estrów jest większa niż oleju napędowego, więc wzrośnie trwałość elementów układu zasilania, które są smarowane paliwem. Wysoka temperatura zapłonu zwiększa bezpieczeństwo użytkowania jednak plama rozlanego estru zwłaszcza w połączeniu z wodą jest bardzo śliska. Całkowita biodegradowalność paliwa w ciągu 21 dni w środowisku wodnym i glebowym jest niewątpliwą zaletą, jednak utrudnia zapewnienie odpowiedniej jakości w warunkach przechowywania.

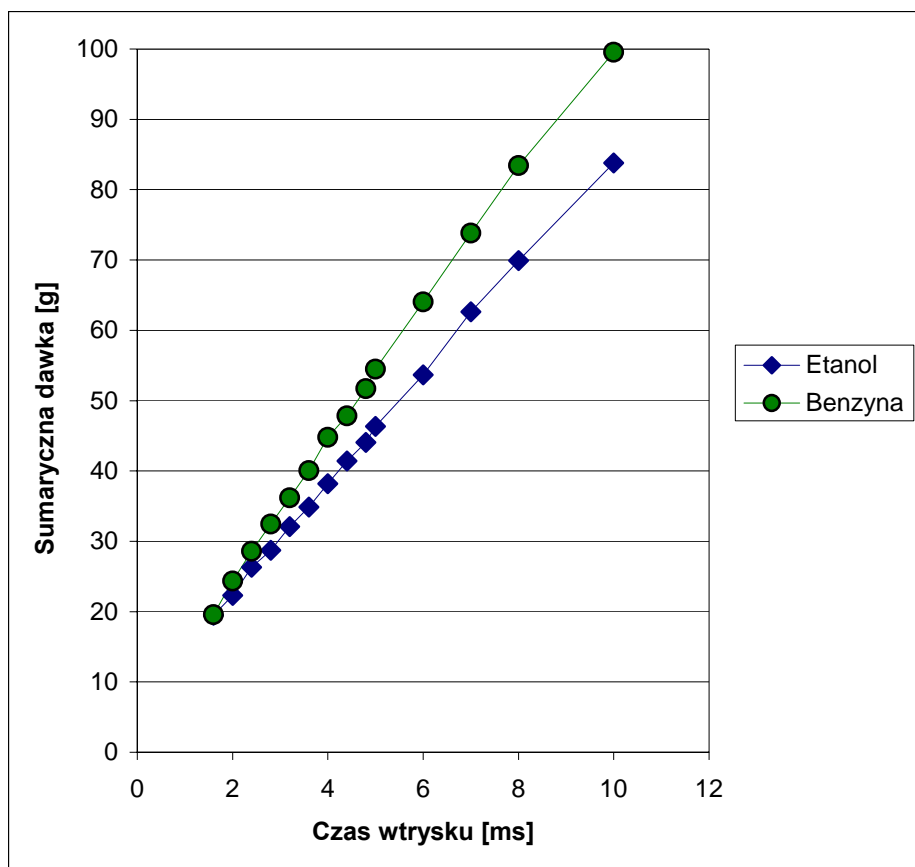
Praktyczne zastosowanie bioetanolu jako paliwa silnikowego może być prowadzone na dwa sposoby: w specjalnie przystosowanych silnikach- w postaci samoistnej oraz z niewielką domieszką benzyny silnikowej (paliwo E85), lub bez wprowadzania większych zmian w konstrukcji silnika- jako komponent benzyny silnikowej. Podobne zastosowanie może znaleźć biometanol ze względu na bardzo zbliżone właściwości jednak między innymi z powodu dużej toksyczności tego paliwa i mniejszej wartości opałowej nie jest ono na razie tak popularne. Pochodne etanolu w postaci eterów, ze względu na dodatkowe koszty wytwarzania pozostaną raczej w roli biokomponentów polepszających właściwości paliwa bazowego. Głównym problemem w przypadku etanolu jako paliwa silnikowego jest jego bardzo dobra rozpuszczalność w wodzie. Już na etapie produkcji przysparza to problemów z dokładnym oddzieleniem alkoholu ponadto jest on higroskopijny i może chłonać wodę z powietrza w warunkach przechowywania i transportu zanim trafi do zbiornika samochodu. Stwarza to także niebezpieczeństwo wymywania wody z wszelkich zbiorników, w których jest przechowywany. Jej obecność w środowisku łatwo przyswajalnego alkoholu stwarza warunki do rozwoju mikroorganizmów, co powoduje powstawanie osadów. Wzrasta również agresywność korozyjna takiej mieszaniny. W przypadku obecności wody w mieszaninie benzyna- etanol dochodzi do podziału na warstwy etanolowo-wodną (dolną) i benzynową (górną), proces ten nazywa się separacją fazową. Warstwa benzyny ma obniżoną liczbę oktanową i zwiększoną skłonność do spalania stukowego natomiast warstwa wodna jest niepalna. Jeżeli wystąpią odpowiednie warunki do separacji fazowej praca silnika może zostać zakłócona. Można temu zapobiegać przez dodanie stabilizatorów najczęściej w postaci wyższych alkoholi. Przy zastosowaniu bioetanolu lub jego dodatku należy zwrócić uwagę na jego niszczące działanie na niektóre tworzywa sztuczne. Alkohol powoduje pękanie tworzyw

oraz puchnięcie i zmiękczenie niektórych rodzajów naturalnej i syntetycznej gumy. Materiały takie nie powinny być stosowane jako elementy układu zasilania. Posiada również działanie korozyjne na metale i ich stopy podobnie jak jego produkty spalania w postaci kwasu mrówkowego czy octowego [5]. Jeżeli silnik często pracuje w warunkach nie optymalnej temperatury podczas eksploatacji na krótkich odcinkach zwiększone przedmuchy spalin mogą spowodować przedostanie się kwasów do oleju silnikowego.

Dodatek etanolu do benzyny silnikowej zmienia przebieg jej krzywej w zakresie bliskim temperatury jego wrzenia ($\sim 78^{\circ}\text{C}$) w zależności od jego udziału [1]. Dlatego dla zachowania odpowiedniego składu frakcyjnego usuwa się z benzyny lekkie frakcje. Wraz ze wzrostem zawartości etanolu do 7% rośnie prężność par mieszaniny, jednak nie ma to większego wpływu na własności rozruchowe a jedynie zwiększa emisję z układu zasilania. Przy wzroście udziału alkoholu ponad 12% prężność par maleje i staje się mniejsza niż benzyny, co może powodować problemy rozruchu zimnego silnika powiększone dużym ciepłem parowania etanolu. Efekt ten pogłębia się wraz ze wzrostem udziału alkoholu, dlatego zostało to uwzględnione w konstrukcjach silnikowych przystosowanych do zasilania takim paliwem. W silnikach, które zostały zaprojektowane do pracy przy zasilaniu benzyną zwiększanie udziału bioetanolu w mieszaninie pociąga za sobą jeszcze inne konsekwencje związane ze zmianą właściwości paliwa. Dzieje się tak w każdym przypadku, gdy biokomponent zawiera w swej budowie cząsteczki tlenu. Jeżeli benzyna zawiera dodatek bioetanolu to w takiej mieszaninie znajduje się pewna ilość tlenu zależna od ilości alkoholu i zapotrzebowanie powietrza do spalania jest mniejsze. Powoduje to zubożenie mieszanki paliwowo powietrznej i w spalinach pojawia się tlen oraz zwiększona ilość tlenków azotu. Ponieważ układ regulacji dąży do uzyskania mieszanki stechiometrycznej, aby zapewnić największą sprawność katalizatora spalin na podstawie „błędny” sygnału z sondy λ wygeneruje decyzję o zwiększeniu dawki paliwa. Jeżeli ilość tlenu w paliwie za sprawą zwiększonej ilości etanolu przekroczy pewną granicę to uniemożliwi prawidłowe działanie układu regulacji składu mieszanki i katalizatora spalin. Istnieje również możliwość wzrostu zużycia paliwa i dopalenia jego dodatkowej ilości w reaktorze katalitycznym, co grozi jego uszkodzeniem. Jeżeli praca układu regulacji składu mieszanki będzie niewłaściwa nastąpi wzrost emisji toksycznych składników spalin.

Zawartość bioetanolu w benzynie silnikowej zmienia jej właściwości fizyczne oczywiście wraz ze wzrostem udziału alkoholu. Dlatego zmienia się wielkość dawki wtryskiwanego paliwa w stosunku do dawki benzyny przy tych samych parametrach pracy wtryskiwacza. Lepkość i gęstość bioetanolu jest większa niż benzyny, dlatego należy oczekiwać innej ilości paliwa, jaka przepłynie przez wtryskiwacz. Wielkość kropeł w strudze nie powinna znacząco wpływać na odparowanie paliwa zwłaszcza w przypadku wtrysku paliwa do kolektora w pobliżu zaworu dolotowego. W pracy [3] przeprowadzono badania średniego wydatku wtryskiwacza zasilanego etanolem o czystości $95\pm 2\%$ oraz benzyną o nazwie handlowej U95 (rys. 2).

Masa wtrysniętego etanolu jest mniejsza niż benzyny, zatem w celu dostarczenia do silnika takiej samej masy paliwa należy odpowiednio wydłużyć czas otwarcia wtryskiwacza. Etanol ponadto ma mniejszą od benzyny wartość opałową i okazuje się, że jeżeli chcemy dostarczyć równoważną energetycznie dawkę tego czystego alkoholu, wydatek wtryskiwacza musi wzrosnąć o ok. 70% w stosunku do benzyny. W praktyce, jeżeli chcemy zastosować zasilanie paliwem o znacznym udziale bioetanolu należy się liczyć z koniecznością wymiany wtryskiwaczy. W trakcie modyfikacji układu zasilania nie należy zapominać o przewodnictwie elektrycznym etanolu, a więc dostosowaniu innych jego elementów (np. pompy paliwa).



Rys. 2. Porównanie masy wtrysniętego paliwa przy zasilaniu benzyną i etanolem [3]

3. PODSUMOWANIE

Podsumowując możliwości praktycznego wdrożenia biopaliw można powiedzieć, że silniki muszą spełniać określone warunki ze względu na różne właściwości fizykochemiczne biopaliw, w relacji do paliw tradycyjnych (benzyny, ON). Dotyczy to m.in.:

- wartości opałowej, stałej stechiometrycznej,
- lepkości, smarności, napięcia powierzchniowego, gęstości,
- odporności na spalanie stukowe,
- skłonności do samozapłonu, czas opóźnienia samozapłonu,
- szybkości spalania,
- granic palności mieszanki jednorodnej ze względu na skład mieszanki,
- temperatur zapłonu,
- temperatur samozapłonu,
- temperatur wrzenia,
- temperatur krzepnięcia i temperatur krystalizacji,
- temperatur blokowania zimnego filtra,
- prężności par nasyconych,
- ciepła parowania,
- zależności właściwości od temperatury i higroskopijności,
- zdolności do tworzenia stabilnych mieszanek jednorodnych z innymi składnikami paliw,
- oddziaływania na materiały konstrukcyjne silników i układów zasilania,
- oddziaływania na olej silnikowy,
- stabilności właściwości paliw, skłonność do tworzenia zanieczyszczeń biologicznych,

- układu zasilania – modyfikacja konstrukcji i materiałów konstrukcyjnych (m.in. uszczelnienia),
- układu chłodzenia,
- komory spalania,
- zespołu tłok–cylinder–pierścienie tłokowe: konstrukcja (stopień sprężania) i materiały konstrukcyjne,
- układu zapłonowego – silniki o ZI,
- oleju silnikowy,
- procedur obsługi technicznej,
- urządzenia do oczyszczania spalin,
- dawki paliwa, charakterystyki czasowej dawkowania paliwa,
- ciśnienia wtrysku paliwa,
- kąta wyprzedzenia zapłonu/wtrysku,
- ciśnienia doładowania,
- współczynnika recyrkulacji spalin,
- parametrów układów wymiany ładunku: napełnienia i układu rozrządu (fazy rozrządu, wzniosy krzywek),
- stanu cieplnego silnika.

LITERATURA

- [1] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym. WKiŁ, Warszawa 2005.
- [2] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKiŁ, Warszawa 2004.
- [3] Balawender K., Jaworski A., Woś P.: Badanie wydatku wtryskiwacza przy zasilaniu etanolem. Mat. Międzynarodowej Konferencji Naukowej SAKON'08 n.t. „Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdów samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych. Zarządzanie i marketing w motoryzacji.” Praca zbiorowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [4] Merkisz J., Pielecha I.: Alternatywne napędy pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
- [5] Sitnik Lech J.: Ekopaliwa silnikowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
- [6] Szlachta Z.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WKiŁ, Warszawa 2002.
- [7] Dyrektywa 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2003 w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych.
- [8] Raport za 2008 r. dla Komisji Europejskiej wynikający z art. 4(1) dyrektywy 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2003 w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych.

TECHNICAL ASPECTS OF BIOFUELS USE IN TRANSPORT

In the paper selected problems of biofuels use for supplying a internal combustion engines were presented. Perspectives of UE legislations and national plans connected with biofuels increase in transport, causes a rise of biofuels concentration in the transport fuels. It requires the special modernization of engines design.