

Martynika Pałuchowska, Bogusław Haduch
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Aspekty wprowadzania średniego poziomu zawartości etanolu do benzyny silnikowej. Część 1

W artykule dokonano krótkiego przeglądu literatury poświęconej aktualnej sytuacji legislacyjnej dotyczącej paliwa E10+. Przytoczono przykłady wprowadzania paliw E10+ na rynki Ameryki Północnej i Południowej, a także przedstawiono plany Unii Europejskiej w tym zakresie. Zaprezentowano publikacje wyników badań związanych z wpływem zwiększenia zawartości etanolu powyżej 15% (V/V) na właściwości charakteryzujące lotność, tj. prężność par i przebieg krzywej destylacji normalnej.

Słowa kluczowe: benzyna silnikowa E10+, etanol, prężność par, destylacja.

Aspects of blending a mid level content of ethanol to motor gasoline. Part 1

The article presents a brief review of the literature dedicated to the current legislative situation on E10+. The examples of the introduction of E10+ fuel into North and South American markets, as well as plans for the European Union. Publication of research results related to the impact of increased ethanol content above 15% (V/V) on the characteristics of volatility i.e. distillation curve and vapor pressure are presented.

Key words: petrol E10+, ethanol, vapor pressure, distillation.

Wstęp

Od stycznia 2015 r. w Polsce obowiązuje Ustawa z dnia 15 stycznia 2015 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw [34]. Dokument ten dokonuje częściowego wdrożenia Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawial-

nych [31]. Zgodnie z wytycznymi dyrektywy, promowane jest zwiększanie udziału biokomponentów w paliwach, jako jednej z dróg ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Odnosi się to także do bioetanolu w formule benzyny silnikowej.

Sytuacja dotycząca benzyny silnikowej E10+ nie jest jednak do końca klarowna. Z jednej strony z zapisów dyrektywy

Kod celny	Opis wyrobu
2710	– Oleje ropy naftowej i oleje otrzymywane z minerałów bitumicznych, inne niż surowe; preparaty gdzie indziej nie wymienione ani nie włączone, zawierające 70% masy lub więcej olejów ropy naftowej lub olejów otrzymywanych z minerałów bitumicznych, których te oleje stanowią składniki zasadnicze preparatów; oleje odpadowe. – Oleje ropy naftowej i oleje otrzymywane z minerałów bitumicznych (inne niż surowe) oraz preparaty gdzie indziej nie wymienione ani nie włączone, zawierające 70% masy lub więcej olejów ropy naftowej lub olejów otrzymywanych z minerałów bitumicznych, których te oleje stanowią składniki zasadnicze preparatów, inne niż te zawierające biodiesel i inne niż oleje odpadowe.
2710 12	Oleje lekkie i preparaty.
2710 12 45	– O liczbie oktanowej (RON) 95 lub większej, ale mniejszej niż 98. – Mieszanki benzyny z zawartością alkoholu etylowego ponad 10% (V/V) .
2710 12 49	O liczbie oktanowej (RON) 98 lub większej. – Mieszanki benzyny z zawartością alkoholu etylowego ponad 10% (V/V) .

98/70/WE, zmienionej dyrektywą 2009/30/EC [32], wynika, że definicja benzyny pozostaje w brzmieniu „benzyna oznacza mineralne oleje lotne przeznaczone do działania przymusowych silników z zapłonem iskrowym wewnętrznego spalania, używane do napędzania pojazdów i objęte kodami CN 2710 00 27, 2710 00 29, 2710 00 32, 2710 00 34 oraz 2710 00 36” i zawiera nieaktualne kody celne. Zmieniona w 2014 roku Wspólna Taryfa Celna określiła nowe kody celne w grupie 2710, obejmującej benzynę silnikową, o zapisach podanych przez Służbę Celną Rzeczypospolitej Polskiej System ISZTAR – Informacja Taryfowa [33].

Badania paliw etanolowych

Pomimo nierozstrzygnięcia kwestii niespójności przepisów prawnych, w Europie prowadzone są badania zmierzające do opracowania specyfikacji jakościowej benzyny silnikowej, zawierającej powyżej 10% (V/V) etanolu.

Już w projekcie badawczym BEST [2], realizowanym w latach 2005–2009, poświęcono uwagę paliwu HE15, które jest mieszaniną 85% benzyny bezołowiowej i 15% nieodwodnionego bioetanolu. Całkowita zawartość wody w tym paliwie wynosi 0,6%. Może ono być stosowane w większości standardowych samochodów benzynowych bez modyfikacji silnika lub układu paliwowego, na co wskazywały testy paliwa przeprowadzone w Niemczech i Holandii. Dla dokonania oceny wpływu paliwa na silnik samochodowy przeprowadzono testy na niezmodyfikowanym samochodzie w hamowni podwoziowej. Wykazały one różnice w wynikach, co potwierdziło konieczność dalszych badań. Na podstawie ankiety, przeprowadzonej przez producenta paliwa wśród użytkowników HE15 na stacji paliwowej w pobliżu Rotterdamu, uzyskano następujące dane:

- większość użytkowników HE15 nie zaobserwowała różnicy pomiędzy stosowaniem HE15 i benzyny,
- dwie trzecie użytkowników stwierdziło, że zużycie paliwa było takie same jak w przypadku benzyny,
- około 20% użytkowników powróciło do stosowania tradycyjnej benzyny, bez podania przyczyny.

Według zapisów i definicji dyrektywy paliwowej FQD, paliwo to nie jest benzyną i nie może być obecne w tym charakterze na rynku, ale może być sprzedawane jako paliwo HE15 [2]. Dystrybucja HE15 wymaga oddzielnej infrastruktury, która została dostosowana w około 35 stacjach w Holandii, w ramach pomocy finansowej państwa [2].

W USA w latach 2010–2011 Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) zaaprobowала (EPA-HQ-OAR-2009-0211; FRL-9258-6) [6, 7] stosowanie paliwa E15

Z zapisów zawartych w informacji taryfowej wynika, że tym samym kodem celnym określone są benzyny silnikowe o liczbie oktanowej 95 i 98 (lub większej) i mieszanki benzyny z zawartością alkoholu etylowego ponad 10% (V/V).

Tymczasem załącznik 1 dyrektywy FQD dopuszcza maksymalną zawartość etanolu w benzynie na poziomie 10% (V/V), zgodnie z zapisem: „2. Państwa członkowskie zapewniają, że benzyna może być wprowadzona do obrotu na ich terytorium tylko wtedy, jeżeli będzie ona zgodna ze specyfikacjami środowiskowymi, określonymi w załączniku I”. Ta kwestia niespójności przepisów prawnych wymagać będzie więc rozwiązania w przyszłości.

w samochodach produkowanych po 2001 roku, opierając się na licznych badaniach paliw E0-E20, w tym badaniach: emisji, efektywności pracy katalizatorów oczyszczania spalin, zużycia paliwa w odniesieniu do wartości opałowej, kompatybilności materiałów, właściwości eksploatacyjnych. Badania te przeprowadzono na 86 pojazdach, wykonując około 1000 testów emisji [21, 27, 28, 29].

W programie Horyzont 2020 [11] zawarty jest temat B.2.5: „Testy silnikowe dla nowych rodzajów biopaliw oraz rozwój norm dla biopaliw w ramach umowy o partnerstwie z CEN-CENELEC”. Jedno z tych paliw to E20/E25. Celem jego badań jest określenie wpływu średniej zawartości etanolu na liczby oktanowe i zmiany jego lotności, a w konsekwencji – ustalenie limitów parametrów w specyfikacji. Dodatkowo oceniane będzie optymalne wykorzystanie energii w produkcji tego paliwa w stosunku do uzyskiwanej liczby oktanowej benzyny. W latach 70. XX wieku, w programie RUFIT [25] zostały przeprowadzone badania w celu ustalenia optymalnej liczby oktanowej benzyny bezołowiowej na rynku europejskim. Badania te wykazały wzajemny wpływ pomiędzy zmniejszeniem zużycia paliwa w silniku, poprzez zaprojektowanie silników do spalania paliwa o wyższej liczbie oktanowej, a wzrostem zużycia energii w produkcji benzyny o wyższej liczbie oktanowej. Obecnie, wzorem tamtego programu, podjęto działania w celu uruchomienia programu RUFIT2, w którym oceniane będą wzajemne relacje liczb oktanowych benzyny E10+ i efektywności produkcji benzyny w rafinerii w aspekcie optymalnego całościowego wykorzystania energii. Ponadto zostanie dokonany przegląd parametrów lotnościowych benzyny oraz ocena ewentualnych zmian w konstrukcji silnika, poziomów liczb oktanowych RON/MON i ocena redukcji emisji gazów cieplarnianych w analizie cyklu życia paliwa.

Wpływ etanolu na lotność benzyny silnikowej

Oprócz liczb oktanowych krytyczną właściwością paliw do silników o zapłonie iskrowym jest lotność. Łączy ona ze sobą dwa parametry, które są istotne dla właściwej pracy silnika samochodowego o zapłonie iskrowym, tj. skład frakcyjny i prężność par. Utworzenie w silniku właściwej mieszanki paliwowo-powietrznej wiąże się, między innymi, ze zdolnością paliwa do szybkiego odparowania w różnych warunkach temperaturowych danego regionu klimatycznego. Zdolność ta z kolei jest związana z ilościami odpowiednich frakcji węglowodorowych obecnych w benzynie silnikowej, a także z ilością, między innymi, etanolu. Znany wpływ etanolu w zakresie niskich jego udziałów w benzynie

silnikowej, do 10% (*V/V*), wyraża się nieaddytywnym podwyższeniem szczególnie ilości cieczy odparowującej do 70°C i drastycznym podwyższeniem prężności par. Stwarza to określone problemy eksploatacyjne, dla uniknięcia których należało odpowiednio zaprojektować skład węglowodorowy benzyny bazowej, do której dodawany jest etanol. W przypadku benzyny silnikowej zawierającej powyżej 10% (*V/V*) etanolu o tzw. średnim poziomie zawartości (np. E15, E20), wpływ etanolu na lotność i inne związane z nią parametry pracy silnika samochodowego, jak emisja spalin czy emisja parowania, jest obecnie w Europie na etapie badań.

Wpływ etanolu na przebieg krzywej destylacji

Etanol lub metanol z benzyną silnikową tworzą mieszaniny azeotropowe z efektem pozytywnym [5, 15, 17, 23, 24]. Na wykresie krzywej destylacji przedstawiana jest zależność ilości frakcji paliwa odparowujących do danych temperatur. W przypadku mieszanin azeotropowych etanolu z benzyną silnikową wpływ azeotropu na kształt krzywej destylacji przejawia się jej spłaszczeniem w temperaturze wrzenia azeotropu [17]. Krzywa destylacji dostarcza informacji o zakresach wrzenia paliwa (tak temperatury, jak i objętości), co umożliwia przewidywanie wpływu tego paliwa na jego eksploatację w silnikach.

Początkowy zakres temperatury destylacji paliwa, do 70°C (E70), odpowiada za łatwość rozruchu zimnego silnika, nagrzewanie się silnika, emisję par i tworzenie się korków parowych. Środkowy zakres temperatur destylacji, tj. pomiędzy 70÷100°C (E100), wiąże się z szybkością rozgrzewania silnika, uzyskaniem odpowiedniego przyspieszenia i pracą silnika w warunkach zimowych [3]. Końcowy zakres temperatur destylacji, tj. powyżej 150°C (E150 i TKD), odnosi się do skłonności paliwa do tworzenia osadów i rozcieńczenia oleju smarującego [18, 16, 30].

W celu lepszego wyjaśnienia zjawisk zachodzących w mieszaninach alkoholowo-benzynowych i ich wpływu na właściwości eksploatacyjne tych substancji zbadano mieszaniny etanolu, metanolu, n- i izopropanolu oraz czterech izomerów butanolu z benzyną w zakresie udziału alkoholu 5÷85% [1]. W odniesieniu do mieszanin z etanolem stwierdzono, że dodatek 5÷25% etanolu do benzyny silnikowej nie wpływa znacząco na temperaturę początku destylacji (IBP) [1]. Znaczny spadek temperatury dało się natomiast zaobserwować w środkowej części krzywej destylacji. Małe ilości etanolu (5 i 10%) spowodowały największy wzrost lotności benzyny, szczególnie do około 30% objętości odparowania. W miarę wzrostu udziału etanolu krzywa destylacji przesuwiała

się stopniowo bliżej krzywej destylacji benzyny bazowej w obszarze powyżej 30% odparowania. Temperatury destylacji benzyny E5 wznoszą się wolniej niż dla benzyny bazowej w obszarze T10 do T30, a następnie obserwuje się gwałtowny wzrost przy T50, gdzie osiągnięta jest taka temperatura jak w przypadku benzyny bazowej (E0). Kształt krzywych w tym obszarze świadczy o tworzeniu przez etanol mieszanin azeotropów z węglowodorami [1], a tym samym – o dużym większym wpływie tegoż etanolu na lotność paliwa niż ma to miejsce w mieszaninach idealnych [15, 24]. Podobne wyniki otrzymali inni badacze [8, 9] – dodatek etanolu w ilości 10% prowadził do znacznego spadku temperatury odparowania w zakresie pierwszych 40% objętości odparowania.

Analiza dostępnych danych europejskich, amerykańskich i australijskich, dotyczących badań nad wpływem etanolu na ilość paliwa odparowującego do 70°C, prowadzi do twierdzenia, że przyrost $\Delta E70$ maleje wraz ze wzrostem E70 paliwa bazowego [26]. Dla mieszanin zawierających 10, 15, i 20% (*V/V*) etanolu zaobserwowano wartości $\Delta E70$ do 30% (*V/V*) przy niższych poziomach E70 paliwa bazowego. Przyrosty $\Delta E70$ do 10% (*V/V*) etanolu są gwałtowne, a przyrosty dla wyższych poziomów 15÷20% (*V/V*) wykazują szeroki zakres wartości pomiędzy 10÷30% (*V/V*) [23]. Twierdzenie to napotyka na konkluzję: proces mieszania objętościowego etanolu z benzyną nie jest prostym procesem liniowym [26]. Jest on wrażliwy na właściwości benzyny bazowej. Zaobserwowano, że rozpiętość wartości przyrostów $\Delta E100$ była znacznie mniejsza niż w przypadku $\Delta E70$, zwłaszcza przy niższych stężeniach etanolu [26]. Wyższe poziomy zawartości etanolu generowały przyrosty $\Delta E100$ do 20% (*V/V*). Przyrosty $\Delta E100$ malały również wraz ze wzrostem E100 paliwa bazowego.

Nieaddytywność parametru składu frakcyjnego benzyny, zawierającej etanol, jest przedmiotem badań prowadzonych

w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym. W czasie mieszania ze sobą frakcji węglowodorowych, a także etanolu, występują dodatnie i ujemne efekty tego procesu. Dlatego też predykcja tych właściwości jest przedsięwzięciem trudnym. Przedstawiono obliczenia poszczególnych parametrów składu frakcyjnego benzyny finalnej z wykorzystaniem wyznaczonych w doświadczeniach addytywnych wskaźników poszczególnych komponentów benzyny [13]. Autorzy innego opracowania [4] podjęli próbę obliczenia destylacyjnych parametrów nieaddytywnych metodą addytywnych wskaźników mieszania. Wyniki badań

i obliczeń pozwoliły na opracowanie modelu matematycznego umożliwiającego obliczanie wartości parametrów destylacji finalnej benzyny E10 na podstawie składu frakcyjnego komponentów benzynowych i etanolu.

W kolejnej publikacji [19] badano wpływ etanolu na parametry destylacji próbek benzyn różniących się zawartością frakcji C4 i koncentracją etanolu w zakresie 5÷10% (V/V). Największy wpływ odnotowano dla zawartości 10% (V/V) etanolu, gdzie przyrost E70 wynosił kilkanaście procent, przy braku frakcji C4. Dla tej zawartości etanolu przyrost E100 pozostawał na poziomie kilku procent.

Wpływ temperatur odparowania paliwa na właściwości eksploatacyjne silników o zapłonie iskrowym

Specyfikacja amerykańska benzyny określa wartości temperatur odparowania 10, 50 i 90% objętości paliwa. Limit wartości temperatury T50 podawany jest w przedziale minimum–maksimum, a dla T10 i T90 określony jest tylko limit górny. W przypadku mieszanin benzyny bazowej z różnymi alkoholami wartości te mogą zmieniać się w znacznym stopniu. Wyniki badań wskazują na to, że temperatura odparowania 50% paliwa (T50) została zmniejszona o 30°C (lub więcej) dla paliw zawierających 15% i więcej etanolu [1]. Autorzy publikacji uważają, że sugeruje to, iż stosowanie mieszanin etanolu z benzyną silnikową o stężeniach etanolu wyższych niż 10% (np. E20) może wymagać zmiany kalibracji silnika, w celu uzyskania optymalnych warunków jego pracy, jeśli nie nastąpią zmiany w formule benzyny bazowej.

Z kolei wpływ etanolu na T10 dla niskiego (E5 i E10) i średniego jego udziału (E15-E25) w mieszaninie z benzyną jest niewielki, natomiast przy wyższych udziałach (E50, E85) – znaczny [1]. Wartość temperatury odparowania 10% objętości paliwa (T10) jest szczególnie ważna dla pracy silnika i musi być ona wystarczająco niska, aby zapewnić prawidłowy rozruch silnika w niskich temperaturach otoczenia. Wpływ etanolu na T10 jest niewielki przy jego zawartościach do 25%, ale znacząco zwiększa się przy wyższych ilościach, stwarzając określone problemy [1].

Badania wskazują na to, że wpływ wszystkich alkoholi, w tym etanolu, na temperaturę odparowania 90% paliwa wyrażał się obniżeniem jej wartości [1]. Autorzy publikacji zaznaczają, że ze względu na fakt ustalonego wysokiego limitu

tej wartości (Europa – 210, USA – 225), wpływ na ten parametr składu frakcyjnego jest uważany za mało istotny. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzili oni, że dla mieszanek ze średnim (15÷25) i wysokim (50÷85%) udziałem alkoholi, w tym etanolu, powinny być podjęte środki umożliwiające bezproblemowe zastosowanie tych paliw w silnikach spalinowych. Środki te mogłyby obejmować między innymi:

- sezonowe zmiany udziału alkoholu w benzynie bazowej, jak ma to miejsce w przypadku komercyjnego paliwa etanolowego E85,
- zmiany w kalibracji silnika, jak odbywa się to w amerykańskich FFV i/lub zastosowanie dodatkowego zbiornika na paliwo o wyższej lotności dla rozruchu zimnego silnika, jak ma to miejsce obecnie w Brazylii w przypadku pojazdów zasilanych uwodnionym etanolem.

W omawianej publikacji [1] jest mowa także o potrzebie rewizji lub opracowania norm dla tego typu paliw, jak miało to miejsce w przypadku paliwa E85, dla którego stworzono normę ASTM D 5798. Autorzy zaznaczyli, że zastosowanie mieszaniny więcej niż jednego alkoholu z benzyną może być bardziej opłacalnym podejściem, gdyż ograniczy to skutki większej zawartości tylko jednego alkoholu i zapewni mniejszy wpływ na funkcjonowanie silnika samochodowego. Wyniki badań wskazują na to, że takim przykładem może być mieszanina zawierająca 10% etanolu i 10% 1-butanolu (w sumie 20% alkoholu), która charakteryzowała się znacznie mniejszym wpływem na temperaturę odparowania w zakresie T20 do T70 niż mieszanina zawierająca etanol w udziale od 10÷20%.

Wpływ etanolu na prężność par

Prężność par określa łatwość uruchamiania silnika samochodowego i skłonność paliwa do tworzenia korków parowych. Parametr ten stanowi dodatkowy wskaźnik oceny lotności paliwa i jest powiązany z temperaturą początku destylacji oraz E70. Benzyny o dużej lotności odparowują bardzo

szybko, co z jednej strony jest korzystne dla uruchamiania silnika w niskich temperaturach, z drugiej jednak strony może powodować powstawanie korków parowych i zaburzać proces spalania, prowadząc nawet do zatrzymania silnika [20]. Według C. Kajdasa [14] graniczna prężność par

paliwa, przy której możliwe jest uruchomienie silnika w temperaturze poniżej 0°C, wynosi 33,3 kPa. Ustalanie optymalnego składu frakcyjnego benzyny silnikowej polega więc na pogodzeniu łatwości odparowania z uniknięciem tworzenia niebezpiecznych korków parowych [20].

Jak wiadomo, etanol – charakteryzując się mniejszą masą cząsteczkową niż większość węglowodorów obecnych w benzynie – jest cieczą w temperaturze otoczenia, co wynika z silnych oddziaływań wiązań wodorowych pomiędzy cząsteczkami alkoholu. Ponieważ te oddziaływania wiązań wodorowych w benzynie węglowodorowej są albo bardzo słabe lub nie występują w ogóle, tłumaczy to fakt, że czysty etanol ma znacznie mniejszą prężność par niż benzyna [10, 26].

Jednak w przypadku zmieszania etanolu, szczególnie niewielkich jego ilości, z węglowodorami obserwowany jest wzrost lotności mieszanin etanol–benzyna. Przy zawartości etanolu 2% (V/V) wzrost ten wynosi 6÷8 kPa, co zostało już wielokrotnie udowodnione [26]. Autorzy publikacji [26] podkreślają, że im niższa prężność par benzyny bazowej, tym większy przyrost prężności par mieszaniny benzyny z etanolem. Zjawisko to, jako pozytywne odchylenie od zachowania się mieszaniny idealnej według prawa Raoult'a, jest

wynikiem różnic w siłach oddziaływania pomiędzy cząsteczkami etanolu i węglowodorów a cząsteczkami w każdej cieczy z osobna. W przypadku mieszaniny benzyna–etanol siły te są słabsze, co ułatwia odparowywanie. Zależność prężności par od udziału etanolu w benzynie nie jest wystarczająco wyjaśniona, jak zauważają autorzy [26]. Wiadomo natomiast, że im więcej etanolu w mieszaninie z benzyną, tym mniejsze są przyrosty prężności par [22].

Prężność par benzyny związana z zawartością etanolu wpływa na emisję par z nowoczesnych samochodów [12]. Głównymi źródłami emisji par przez pojazd jest parowanie przez odpowietrzenie zbiornika paliwa, a także przeniesienie paliwa przez elementy układu paliwowego wykonane z tworzyw sztucznych i gum [12]. Straty na skutek parowania paliwa przez odpowietrzenie zbiornika paliwa powodowane są przez odparowanie benzyny w zbiorniku podczas jazdy w wysokiej temperaturze oraz normalne dobowe wahania temperatury otoczenia. We współczesnych pojazdach emisja par jest kontrolowana za pomocą urządzenia z węglem aktywowanym, które jest połączone z odpowietrzeniem zbiornika paliwa. Badania emisji par przeprowadza się na podstawie europejskiej homologacyjnej procedury testowej [12].

Podsumowanie

Niniejszy przegląd działań rządów w różnych regionach świata, w tym w Europie, w kierunku zwiększenia wykorzystania etanolu jako komponentu benzyny silnikowej, wskazuje, że także w Polsce należy podejmować odpowiednie działania, mając na uwadze rozwój przemysłowy. Przedstawione w tym artykule przykłady badań różnych ośrodków naukowych stanowią tylko niewielką część prac dotyczących paliw, które mają być przedmiotem obrotu. Ponieważ artykuł

ten stanowi przegląd literatury, wykonany w ramach pracy statutowej dotyczącej badania zmian nieaddytywnych parametrów jakościowych benzyny silnikowej E15-E25 o zwiększonej zawartości bioetanolu, dotyczy on tylko aspektu lotności. W kolejnym artykule *Aspekty wprowadzania średniego poziomu zawartości etanolu do benzyny silnikowej – Część 2* przedstawione zostaną wyniki badań INiG – PIB, uzyskane w pracy badawczej.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 2, s. 112–117, DOI: 10.18668/NG.2016.02.06

Artykuł nadesłano do Redakcji 16.11.2015 r. Zatwierdzono do druku 18.01.2016 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Badanie zmian nieaddytywnych parametrów jakościowych benzyny silnikowej E15-E25 o zwiększonej zawartości bioetanolu* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0014/TP/15/01, nr archiwalny: DK-4101-14/15.

Literatura

- [1] Andersen V. F., Anderson J. E., Wallington T. J., Mueller S. A., Nielsen O. J.: *Distillation Curves for Alcohol-Gasoline Blends*. *Energy Fuels* 2010, vol. 24, nr 4, s. 2683–2691; doi: 10.1021/ef9014795.
- [2] BioEthanol for Sustainable Transport Results and recommendations from the European BEST Project; www.best-europe.org (dostęp: maj 2015).
- [3] Bruno T. J., Wolk A., Naydich A.: *Composition-Explicit Distillation Curves for Mixtures of Gasoline with Four-Carbon Alcohols (Butanols)*. *Energy Fuels* 2009, vol. 23 nr 4, s. 2295–2306; doi: 10.1021/ef801117c.
- [4] Danek B., Rogowska D.: *Destylacja benzyny silnikowej z zawartością do 10% (V/V) etanolu – obliczanie jej parametrów metodą addytywnych wskaźników mieszania*. *Nafta-Gaz* 2014, nr 3, s. 192–196.
- [5] de Menezes E. W., Cataluña R., Samios D., da Silva R.: *Addition of an azeotropic ETBE/ethanol mixture in eurosupertype gasolines*. *Fuel* 2006, vol. 85, nr 17–18, s. 2567–2577; doi: 10.1016/j.fuel.2006.04.014.
- [6] Environmental Protection Agency [EPA–HQ–OAR–2009–0211; FRL–9258–6] *Partial Grant of Clean Air Act Waiver Application Submitted by Growth Energy To Increase the*

- Allowable Ethanol Content of Gasoline to 15 Percent*. Decision of the Administrator. Federal Register, vol. 76, nr 17, Wednesday, January 26, 2011, Notices.
- [7] Federal Register, vol. 76, nr 17, Wednesday, January 26, 2011, Notices, s. 4662.
- [8] Furey R.: *Volatility Characteristics of Gasoline-Alcohol and Gasoline-Ether Fuel Blends*. SAE Technical Paper 852116, 1985, doi: 10.4271/852116.
- [9] Greenfield M. L., Lavoie G. A., Smith C. S., Curtis E. W.: *Macroscopic Model of the D86 Fuel Volatility Procedure*. SAE Technical Paper 982724, 1998; doi: 10.4271/982724.
- [10] *Guidelines for blending and handling motor gasoline containing up to 10% v/v ethanol*. Report 3/2008, CONCAWE, Brussels, April 2008.
- [11] Horizon 2020 Work Programme 2014–2015 10. *Secure, clean and efficient energy*. European Commission Decision C (2015) 2453 of 17 April 2015; http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/main/h2020-wp1415-energy_en.pdf (dostęp: kwiecień 2015).
- [12] Joint EUCAR/JRC/CONCAWE Study on: *Effects of Gasoline Vapour Pressure and Ethanol Content on Evaporative Emissions from Modern Cars*. Institute for Environment and Sustainability 2007, EUR 22713 EN.
- [13] Kaczmarczyk A., Rogowska D.: *Zmodyfikowana metoda McLeana-Andersona planowania doświadczeń dla opracowywania modeli matematycznych właściwości mieszanin*. Biuletyn Instytutu Technologii Nafty 2002, nr 2, s. 94–100.
- [14] Kajdas C.: *Podstawy zasilania paliwem i smarowania samochodów*. WKiŁ. Warszawa 1983, s. 292–293.
- [15] Kar K., Last T., Haywood C., Raine R.: *Measurement of Vapor Pressures and Enthalpies of Vaporization of Gasoline and Ethanol Blends and Their Effects on Mixture Preparation in an SI Engine*. SAE International Journal of Fuels and Lubricants 2009, 1 (1), s. 132–144; doi: 10.4271/2008-01-0317.
- [16] Motor Gasolines Technical Review (FTR-1), 2009; www.chevron.com/products/ourfuels/prodserv/fuels/technical_safety_bulletins/ (dostęp: wrzesień 2015).
- [17] Muzikova Z., Pospisil M., Sebor G.: *Volatility and phase stability of petrol blends with ethanol*. Fuel 2009, vol. 88, nr 8, s. 1351–1356; doi: 10.1016/j.fuel.2009.02.003.
- [18] Owen K., Coley T.: *Automotive Fuels Reference Book*. Second Edition. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale 1995.
- [19] Pałuchowska M., Rogowska D.: *Wpływ bioetanolu na nieaddytywne właściwości benzyny silnikowej*. Nafta-Gaz 2009, nr 1, s. 21–28.
- [20] Podniało A.: *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji*. WNT. Warszawa 2002, s. 28–29.
- [21] *Preliminary Examination of Ethanol Fuel Effects on EPA's R-factor for Vehicle Fuel Economy*. ORNL/TM-2012/198, June 2013.
- [22] Robert L., McCormick R. L., Yanowitz J.: *Discussion Document – Effect of Ethanol Blending on Gasoline RVP*; http://www.ethanolrfa.org/page/-/RVP%20Effects%20Memo_03_26_12_Final.pdf?nocdn=1.
- [23] Smith B. L., Bruno T. J.: *Improvements in the Measurement of Distillation Curves. 3. Application to Gasoline and Gasoline + Methanol Mixtures*. Industrial & Engineering Chemistry Research 2007, vol. 46, nr 1, s. 297–309; doi: 10.1021/ie060937u.
- [24] Takeshita E. V., Rezende R. V. P., Gueli U. de Souza S. M. A., Ulson de Souza A. A.: *Influence of solvent addition on the physicochemical properties of Brazilian gasoline*. Fuel 2008, vol. 87, nr 10–11, s. 2168–2177; doi: 10.1016/j.fuel.2007.11.003.
- [25] *The rational utilization of fuels in private transport (RUFIT) – extrapolation to unleaded gasoline case*, report 8/80; CONCAWE 1983, Oil Companies International Study Group for Conservation of Clean Air and Water. Europe, Den Haag, Netherlands; http://download-v2.springer.com/static/pdf/198/chp%253A10.1007%252F978-94-009-7197-4_26.pdf?token2=exp=1429530077~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F198%2Fchp%25253A10.1007%25252F978-94-009-7197-4_26.pdf*~hmac=49d549e7689296543cc17a0b013fe79896c78f176e0a0e720e3717b0ee01d019 (dostęp: kwiecień 2015).
- [26] TREN/D2/454-2008-SI.2.522.698 (Final Report) 12.31.2009. Ethanol/Petrol Blends: Volatility Characterisation in the Range 5–25 vol% (BEP525); https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2010_bep525_final_report.pdf.
- [27] West B.: *Ethanol as a Spark Ignition Engine Fuel*. Fuels, Engines, and Emissions Research Center Oak Ridge National Laboratory, National Ethanol Conference, February 18–19, 2014 (dostęp: kwiecień 2015).
- [28] Woebkenberg W.: *Mid-Blend Ethanol Fuels – Implementation Perspectives*. US Fuels Technical and Regulatory Affairs, Mercedes-Benz Research & Development North America, July 25, 2013 (<http://prezentacja.mercedes-benz.com>).
- [29] Yanowitz J., Ratcliff M., Zigler B. T., McCormick R. L.: *IncStudies on the Use of E15 and E20 in Light-Duty Vehicles*. National Renewable Energy Laboratory, Ecoengineering.
- [30] Zwierzycki W.: *Oleje, paliw i smary dla motoryzacji i przemysłu*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2001.

Akty prawne i normatywne

- [31] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych*.
- [32] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzająca mechanizm*.
- [33] Służba Celna Rzeczypospolitej Polskiej System ISZ-TAR – Informacja Taryfowa; http://145.237.239.200/isztar/taryfa_celna/web/browsetariffi2_PL?expandelem=27101249&Year=2017&Month=02&Day=12&Country=-&issection=n&checkfinal=y&impexp=#POS (dostęp: kwiecień 2015).
- [34] *Ustawa z dnia 15 stycznia 2015 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw* (Dz. U. z 2014 roku nr 0, poz. 151).



Dr inż. Martynika PAŁUCHOWSKA
Główny specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Paliw i Procesów Katalitycznych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: martynika.paluchowska@inig.pl

Mgr inż. Bogusław HADUCH
Starszy specjalista badawczo-techniczny, kierownik Biura Kontroli.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: boguslaw.haduch@inig.pl