Adam Hańderek, Anna Matuszewska, Wojciech Derej,
HANDEREK TECHNOLOGIES Sp. z o.o.

Krzysztof Biernat,
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Frakcja poliolefinowa ze strumienia odpadów komunalnych

jako surowiec do produkcji paliw

We współczesnych koncepcjach rozwoju gospodarczego w coraz większym stopniu akcentowane są kwestie związane z ochroną środowiska naturalnego. Wśród przyczyn tej sytuacji można wymienić: zanieczyszczenie środowiska naturalnego, co jest czynnikiem motywującym do działań ograniczających emisję zanieczyszczeń oraz usuwanie zalegających w środowisku odpadów; ograniczenie zasobów naturalnych, co motywuje do ograniczenia zużycia surowców i wdrażania nowych rozwiązań technologicznych uniezależniających gospodarkę od tego typu ograniczeń oraz wzrost „odpowiedzialności za środowisko" przez społeczeństwa.

Wspomniane kwestie widoczne są w dotychczasowych wizjach rozwoju gospodarczego, jak zrównoważony rozwój, gospodarka cyrkularna, zielony wzrost, czy zielona gospodarka. Jedną z najnowszych koncepcji rozwojowych uwzględniających aspekty środowiskowe jest Europejski Zielony Ład, który jak dotąd najpełniej obejmuje kwestie środowiskowe i zakłada osiągnięcie przez Unię Europejską statusu gospodarki neutralnej dla klimatu poprzez oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużycia zasobów przy pełnym wdrożeniu modelu gospodarki cyrkularnej. Głównym czynnikiem determinującym realizację wspomnianych założeń jest prawidłowo funkcjonująca gospodarka odpadami, której jedną z zasadniczych kwestii jest zwiększanie poziomu recyklingu odpadów. Wśród nich szczególne znaczenie ma recykling odpadów tworzyw sztucznych, które z uwagi na swą specyfikę stanowią obecnie z jednej strony - znaczący problem środowiskowy, a z drugiej - z uwagi na skład chemiczny, mają ogromny potencjał w zakresie zagospodarowania. Aby ten potencjał właściwie wykorzystać, konieczne jest wdrażanie nowoczesnych, innowacyjnych rozwiązań technologicznych, wśród których można wymienić recykling chemiczny odpadów poliolefinowych w kierunku komponentów paliw silnikowych. Takim rozwiązaniom sprzyjają najnowsze wytyczne unijne, jak dyrektywa RED II [1], która paliwa węglowe pochodzące z recyklingu chemicznego odpadów tworzyw sztucznych traktuje na równi z biokomponentami.

1. Zawartość odpadów poliolefinowych w strumieniu odpadów komunalnych

Z raportów OECD wynika, że na całym świecie generowanych jest 258 mln Mg odpadów tworzyw sztucznych rocznie, z czego ok. 150 mln Mg trafia na składowiska lub do środowiska naturalnego, tj. lasów, rzek, mórz i oceanów. Jedynie 18% odpadów tworzyw sztucznych podlega recyklingowi [5]. Dane te jednoznacznie wskazują, że jako społeczeństwo nie radzimy sobie z zagospodarowaniem odpadów, co znacząco wpływa na degradację środowiska naturalnego. Powodów tego stanu rzeczy nie należy jednak upatrywać w plastiku jako takim, lecz w sposobie, w jakim się z nim

obchodzimy. Trudno znaleźć obecnie materiał, który w skali globalnej mógłby zastąpić plastik. Potwierdza to rosnąca światowa produkcja tworzyw sztucznych. Najnowsze prognozy wskazują, że popyt na tworzywa sztuczne wzrośnie o 90% do 2050 r. [6]. Natomiast z raportu PlasticsEurope wynika, że w samej Polsce w ostatnich 10 latach przemysł tworzyw sztucznych odnotował średnioroczny wzrost na poziomie 7,2%, dając obecnie zatrudnienie 200 tys. pracownikom [2]. Główny sektor branży tworzyw sztucznych stanowią przetwórcy, w postaci producentów wyrobów końcowych, jak np. opakowań, części AGD, RTV, czy też motoryzacyjnych. W ślad za rosnącymi wolumenami produkcyjnymi rosną również ilości odpadów tworzyw sztucznych. Według danych statystycznych za 2019 r. w Polsce wytworzono

> Dyrektywa RED II pozwala na zastosowanie pochodzących z recyklingu paliw węglowych jako komponentów paliwowych na podobnych zasadach jak biokomponenty

12,8 mln Mg odpadów, przy czym szacuje się, że dane te są zaniżone o ok. 20% z uwagi na to że część odpadów nie trafiając do zbiórki zostaje w środowisku lub niestety kończy swój byt w domowych paleniskach. Ze wspomnianego raportu wynika również, że 12,6% zebranych odpadów stanowią odpady tworzyw sztucznych, co zważywszy na wspomniane 20% zaniżenia wyników daje ok. 1,9 mln Mg, z czego odpady opakowaniowe (poliolefinowe) stanowią ok. 56% (w 2018 r.), tj. 1 mln Mg. Ale nie ilość odpadów jest problemem, lecz sposób ich zagospodarowania. Okazuje się, że jedynie 27,4% wygenerowanych w 2019 r. odpadów podlega recyklingowi, natomiast reszta jest spalana 30,3% oraz składowana 42,3%. I te ostatnie liczby są najlepszym opisem problemu, z którym mamy do czynienia.

2. Paliwa Węglowe - definicja zgodnie z dyrektywą RED II - jako uzupełnienie/alternatywa biokomponentów w paliwach silnikowych w ramach konieczności dekarbonizacji transportu

Dyrektywa RED II pozwala na zastosowanie pochodzących z recyklingu paliw węglowych jako komponentów paliwowych na podobnych zasadach jak biokomponenty [1]. Poniżej wymienione są 3 kluczowe artykuły dotyczące tych paliw.

Zgodnie z Art. 2 pkt 16 Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych „pochodzące z recyklingu paliwa węglowe oznaczają paliwa ciekłe lub gazowe, które są produkowane z pochodzących ze źródeł nieodnawialnych ciekłych lub stałych strumieni odpadów nienadających się do odzyskiwania materiałów zgodnie z art. 4 dyrektywy 2008/98/WE lub z pochodzącego ze źródeł nieodnawialnych gazu odlotowego z procesów technologicznych i gazu spalinowego powstałych jako nieuniknione i niezamierzone następstwo procesu produkcyjnego w instalacjach przemysłowych".

W artykule 25 dotyczącym zwiększenia roli paliw odnawialnych w sektorze transportu zawarte są następujące ustalenia:

Artykuł 25
Zwiększanie roli energii odnawialnej w sektorze transportu

1. **Aby zwiększyć stosowanie energii odnawialnej w sektorze transportu, każde państwo członkowskie wprowadza obowiązek, by dostawcy paliw do 2030 r. zapewnili co najmniej 14% udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu (zwany dalej „udziałem minimalnym"),** zgodnie z orientacyjnym kursem ustalonym przez dane państwo członkowskie i obliczonym według metody określonej w niniejszym artykule oraz w art. 26 i 27. Komisja dokona oceny tego obowiązku z myślą o przedstawieniu do 2023 r. wniosku ustawodawczego dotyczącego jego zwiększenia w przypadku, gdy koszty produkcji energii odnawialnej ulegną dalszemu znacznemu obniżeniu lub, w razie konieczności, w celu spełnienia międzynarodowych zobowiązań Unii w zakresie obniżenia emisyjności, lub jeśli będzie to uzasadnione istotnym zmniejszeniem zużycia energii w Unii. Ustanawiając ten obowiązek ciążący na dostawcach paliw, państwa członkowskie mogą wprowadzić zwolnienie dla różnych dostawców paliw i różnych nośników energii lub rozróżnienie między nimi przy zapewnieniu, aby zostały uwzględnione różne stopnie zaawansowania i koszty różnych technologii.
2. Do obliczenia udziału minimalnego, o którym mowa w akapicie pierwszym, państwa członkowskie:

a. uwzględniają odnawialne ciekłe i gazowe paliwa transportowe pochodzenia niebiologicznego również wtedy, gdy są one stosowane jako produkt pośredni w produkcji paliw konwencjonalnych; oraz
b. **mogą uwzględniać pochodzące z recyklingu paliwa węglowe.** W ramach udziału minimalnego, o którym mowa w akapicie pierwszym, wkład zaawansowanych biopaliw i biogazu wyprodukowanych z surowców wymienionych w załączniku IX część A jako udział w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu ma wy-

nieść co najmniej 0,2 % w 2022 r., co najmniej 1 % w 2025 r. oraz co najmniej 3,5 % w 2030 r.

Z kolei w Artykule 27 postanowiono między innymi:

Artykuł 27
„Zasady obliczania w odniesieniu do udziałów minimalnych energii odnawialnej w sektorze transportu

1. Do celów obliczania udziałów minimalnych, o których mowa w art. 25 ust. 1 akapity pierwszy i czwarty, zastosowanie mają następujące zasady:

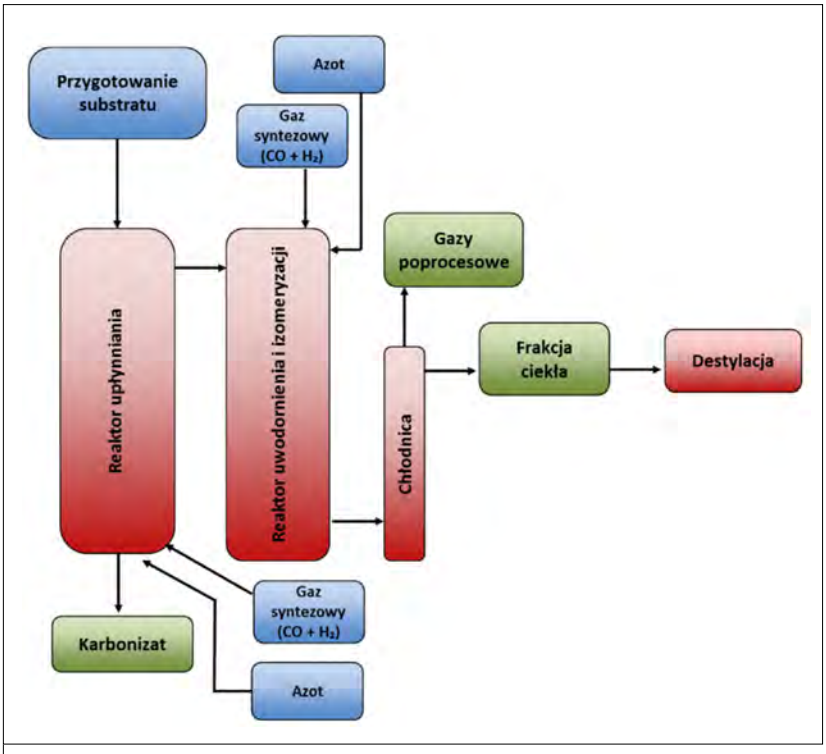
a. do obliczenia mianownika, tj. wartości energetycznej paliw w transporcie drogowym i kolejowym dostarczanych do celów zużycia lub wykorzystania na rynku, uwzględnia się: benzynę, olej napędowy, gaz ziemny, biopaliwa, biogaz, odnawialne ciekłe i gazowe paliwa transportowe pochodzenia niebiologicznego, **pochodzące z recyklingu paliwa węglowe** oraz energię elektryczną dostarczane do sektorów transportu drogowego i kolejowego".

Zapisy dyrektywy RED II wyraźnie definiują **„pochodzące z recyklingu paliwa węglowe"** wskazując na możliwość uzupełniania nimi obowiązku stosowania komponentów biopaliwowych w paliwach. Wymogi tej dyrektywy spełniają w pełni frakcje węglowodorowe produkowane z poliolefinowych odpadów tworzyw sztucznych i odpadów polistyrenu.

3. Technologia produkcji „paliw węglowych" z poliolefin pozyskiwanych ze strumienia odpadów komunalnych

3.1 Nowa technologia termolizy tworzyw sztucznych

Opracowana przez polską firmę Handerek Technologies Sp. z o.o. we współpracy z naukowcami z Sieci Badawczej Łukasiewicz - Przemysłowego Instytutu Motoryzacji (Łukasiewicz - PIMOT) technologia bezciśnieniowego przekształcania odpadowych tworzyw sztucznych (PP, PE, PS) we frakcje węglowodorowe (Technologia HT), stanowi konkurencję dla hydrokrakingu i pirolizy katalitycznej. Technologia upłynniania wraz z uwodornieniem została opatentowana m. in. w: Europie, Stanach Zjednoczonych, Japonii, Chinach i Korei Południowej. Zastosowanie innowacyjnego reaktora działającego na zasadzie destylacji reaktywnej, daje możliwość uzyskania (bez udziału katalizatora) węglowodorów ciekłych, nie zawierających związków długołańcuchowych (jak ma to miejsce w przypadku pirolizy konwencjonalnej), o temperaturach wrzenia np. do 360°C. Wsad do reaktora może stanowić mieszanka wyselekcjonowanych ze składowiska (a więc zanieczyszczonych) odpadów z PP, PE i PS. Odpady te po wstępnym osuszeniu, pocięciu i zmieszaniu poddawane są upłynnianiu w reaktorze termolizy. W reaktorze tym zachodzi termiczna destrukcja długich łańcuchów polimerowych, w której wyniku otrzymuje się związki o łańcuchach krótszych. O maksymalnej długości łańcuchów decydujemy poprzez ustawienia temperatury na wyjściu z reaktora. Szczegóły procesu zostały opisane w pozycji literaturowej [3] [4]. Oparte na destylacji reaktywnej działanie reaktora (temperatura w reaktorze nie jest stała, lecz zmienia się wzdłuż jego osi (najwyższa na dole reaktora, najniższa w górnej części), powoduje, że opary węglowodorów długołańcuchowych (o wyższej temperaturze wrzenia) kondensują w wyżej położonych partiach reaktora i spływając ponownie w dół ulegają dalszym procesom rozkładu. Proces przebiega bez katalizatora i w atmosferze gazu syntezowego (H_2 + CO). Opary pozosta-



Rys. 1. Schemat bezciśnieniowego procesu termolizy odpadów z tworzyw sztucznych do frakcji węglowodorowych
Źródło: Opracowanie własne

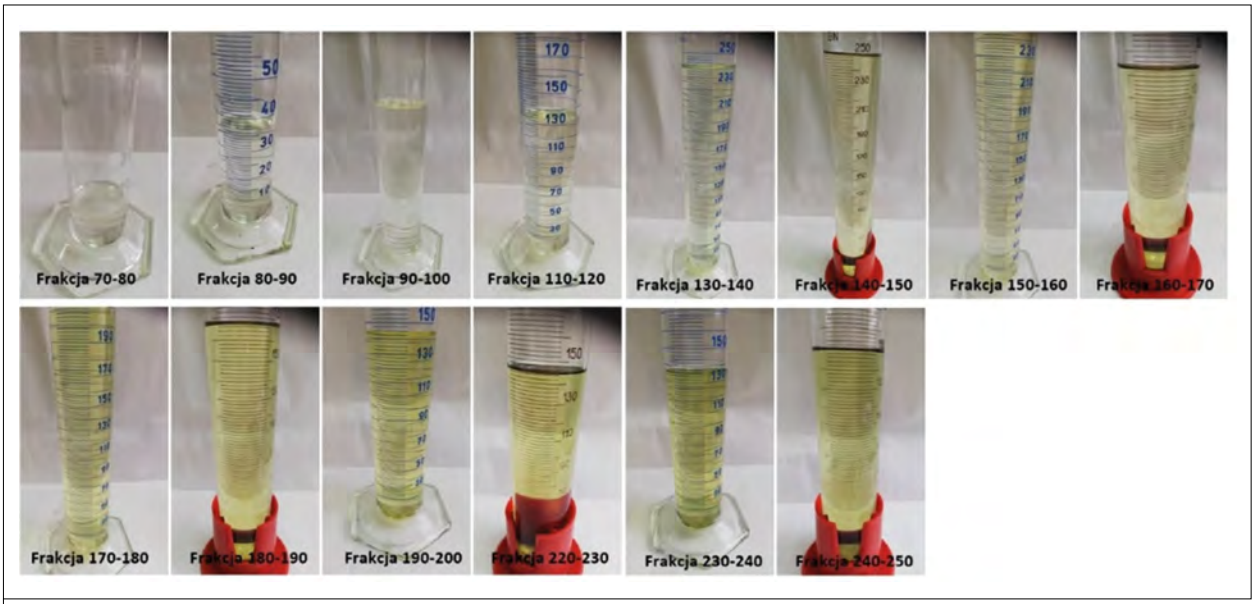
ją w reaktorze tak długo, aż uzyskane zostaną związki o temperaturze wrzenia nie wyższej niż temperatura zadana na wylocie z reaktora. Powstające węglowodory nienasycone (podobnie jak w pirolizie katalitycznej) wymagają uwodornienia, jednakże są to związki o stosunkowo małych masach cząsteczkowych i mniejszym rozrzucie mas.

Opracowany w Technologii HT proces uwodornienia jest również procesem innowacyjnym, gdyż w przeciwieństwie do procesu konwencjonalnego, jest realizowany pod ciśnieniem atmosferycznym. Uwodornienie w takich warunkach stało się możliwe dzięki prowadzeniu procesu w atmosferze gazu syntezowego, a nie czystego wodoru, jak ma to miejsce w procesie konwencjonalnym. Ostatnim etapem technologii jest rozdzielenie produktu ciekłego na różne frakcje, np. poprzez rozdestylowanie. Ogólny schemat całego procesu przedstawiono na rys. 1.

Oprócz produktu ciekłego, w wyniku termolizy tworzyw uzyskuje się również niekondensującą frakcję gazową o dużej kaloryczności (zawierającą np. metan, propan, butan). Gazy te można wykorzystać do wytwarzania gazu syntezowego, niezbędnego do realizacji procesu lub jako paliwo do ogrzewania reaktorów. Pozostałością po procesie jest sucha frakcja stała, zwierająca karbonizat oraz związki mineralne, które zostały wprowadzone wraz ze wsadem jako zanieczyszczenia (np. piasek, kawałki folii aluminiowej, itp.). W wyniku procesu z 6 kg odsianych odpadowych tworzyw sztucznych można uzyskać około 5 kg (6,3 L) produktu ciekłego, 0,9 kg gazów o wysokiej wartości opałowej oraz 0,1 kg fazy stałej.

3.2 Produkty termolizy jako komponenty do paliw silnikowych

Celem autorów technologii było uzyskanie z odpadowych tworzyw sztucznych produktu ciekłego, który mógłby być wykorzystany do komponowania paliw silnikowych. Założenia Dyrektywy RED II stwarzają możliwość wykorzystania takich produktów upłynniania (np. zamiast biokomponentów), przy wytwarzaniu paliw i zaliczenia ich do Narodowego Celu Wskaźnikowego. Dzięki temu, eliminując przykładowo z kompozycji komercyjnego oleju napędowego FAME (estry metylowe kwasów tłuszczowych), można by poprawić jego właściwości, a w szczególności odporność na utlenianie. Aby otrzymać odpowiednie dla paliw węglowodory, kluczowym zadaniem staje się właściwy dobór składu surowcowego do procesu termolizy. Niestety, w literaturze praktycznie brak jest informacji na temat dobierania składu wsadu polimerowego do procesu upłynniania pod kątem uzyskania dobrego produktu ciekłego do komponowania paliw silnikowych. Wyniki badań pracy wskazują, że w rezultacie krakingu termicznego odpadów z PP uzyskuje się z większą wydajnością lżejsze węglowodory podobne do benzynowych, zaś z PE cięższe - podobne do tych występujących w oleju napędowym (praca nie zawiera informacji o komponowaniu paliw). Badania przeprowadzone przez badaczy z Handerek Technologies i Łukasiewicz - PIMOT, we współpracy z Zespołem Profesora Macieja Paczuskiego z Politechniki Warszawskiej (Filia w Płocku) wykazały, że sama mieszanka PE i PP jest niewystarczająca do otrzymania dobrego jakościowo produktu, szczególnie jako komponentu



Rys. 2. Wygląd różnych frakcji uzyskanych przez rozdestylowanie produktu ciekłego termolizy mieszanki odpadowych tworzyw PE:PP:PS o wzajemnych udziałach wagowych 60:30:10
Źródło: Opracowanie własne

Parametr	Jednostka	Wymagania	Wyniki	
			ON	ON + 5% komponentu
Liczba cetanowa	-	min. 51,0	51,0	51,7
Indeks cetanowy	-	min. 46,0	51,7	52,4
Gęstość w 15°C	kg/m^3	820,0-845,0	838,5	837,2
Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	max. 8,0	2,4	3,4
Zawartość siarki	mg/kg	max. 10,0	6,0	6,0
Temperatura zapłonu	°C	powyżej 55,0	62,5	62,5
Pozostałość po koksowaniu (z 10% pozostałości destylacyjnej)	%(m/m)	max. 0,30	<0,10	<0,10
Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	max. 0,010	<0,001	<0,001
Zawartość wody	%(m/m)	max. 0,020	0,006	0,005
Zawartość zanieczyszczeń	mg/kg	max. 24	<12	<12
Badanie działania korodującego na miedź (3h w temperaturze 50˚C)	klasa	klasa 1	klasa 1a	klasa 1a
Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME)	%(v/v)	max. 7,0	6,5	6,1
Stabilność oksydacyjna	g/m^3	max. 25	2	2
	h	min. 20	>30	>30
Smarność, średnica śladu zużycia (WSD) w temperaturze 60°C	µm	max. 460	240	260
Lepkość w temperaturze 40°C	mm^2/s	2,000 – 4, 500	2,747	2,742
Skład fakcyjny:				
- do temp. 250˚C destyluje	%(v/v)	<65	36,4	36,0
- do temp. 350˚C destyluje	%(v/v)	min. 85	93,8	93,8
- 95% (v/v) destyluje do temperatury	°C	max. 360	354,3	354,5
Temperatura zablokowania zimnego filtru	°C	max. -10 (okres przejściowy) max. 0 (okres letni)	-5	-5

Tab. 1. Wyniki badań czystego handlowego oleju napędowego oraz oleju zawierającego 5% komponentu z tworzyw sztucznych
Źródło: Opracowanie własne

benzyn, ze względu na brak w nim węglowodorów aromatycznych. Węglowodory te są istotne z punktu widzenia liczby oktanowej (poprawiają jej wartość). Przeprowadzono szereg testów z mieszankami tworzyw o różnych wzajemnych udziałach PE, PP i PS. Następnie zbadano właściwości fizykochemiczne frakcji benzynowych i frakcji oleju napędowego, uzyskanych przez rozdestylowanie ciekłego produktu termolizy. W wyniku tych prac stwierdzono, że najlepiej do zastosowań paliwowych nadaje się produkt otrzymany z mieszanki PE:PP:PS o wzajemnych udziałach wagowych 60:30:10. Właściwości tego produktu oraz frakcji uzyskanych z jego rozdestylowania zostały zbadane na Politechnice Warszawskiej. Badania te wykazały, że otrzymane frakcje mają duży potencjał jako komponenty do zastosowań paliwowych. Przykładowy wygląd frakcji otrzymanych przez rozdestylowanie produktu ciekłego przedstawiono na rys. 2.

4. Wyniki badań kompozycji paliwowych z zastosowaniem „paliw węglowych" na zgodność z wymaganiami norm EN 590 i EN 228

W celu sprawdzenia możliwości stosowania frakcji lekkiej (wrzącej do 190°C), jako komponentu do benzyn, zaś frakcji cięższej (wrzącej od 190°C do 350°C), jako komponentu oleju napędowego - przygotowano odpowiednie mieszanki paliwowe. Mieszanki te zostały następnie poddane badaniom na zgodność z normami przedmiotowymi PN-EN 228+A1:2017-06 (dla benzyn) i PN-EN 590+A1:2017-06 (dla oleju napędowego) w akredytowanym laboratorium w Łukasiewicz - PIMOT. W mieszankach wykorzystano surową benzynę i surowy olej napędowy (pozbawione wszelkich dodatków, w tym biokomponentów), a także produkty handlowe z pełnym pakietem dodatków i biokomponentów. Frakcję benzynową oraz frakcję oleju napędowego otrzymane z termolizy tworzyw, stosowano w mieszankach w ilości 5% v/v.

Badania próbki benzyny surowej (pozbawionej dodatków) wykazały, że benzyna nie spełnia wymagań normy w zakresie liczby oktanowej badawczej i motorowej (zbyt niskie wartości) oraz w zakresie temperatury końca destylacji (zbyt wysoka temperatura). Wprowadzenie do tej benzyny 5% v/v lekkiej frakcji z tworzyw sztucznych spowodowało nieznaczne (o mniej niż 1 jednostkę) obniżenie liczb oktanowych. Problem ten nie stanowi poważnego wyzwania technologicznego i może być w prosty sposób rozwiązany poprzez stosowanie benzyny o wyjściowo wyższych liczbach oktanowych lub poprzez dodanie do mieszanki dodatku podnoszącego wartość liczb oktanowych. Komponent z tworzyw sztucznych poprawił natomiast temperaturę końca destylacji mieszanki (w stosunku do

benzyny bazowej) do wartości zgodnych z normą przedmiotową.

W przypadku badania benzyny handlowej (z pełnym pakietem dodatków i biokomponentem) stwierdzono, że spełnia ona wymagania normy w całym badanym zakresie. Wprowadzenie do niej lekkiej frakcji z tworzyw sztucznych w ilości 5% v/v nie spowodowało zmiany żadnego badanego parametru w takim zakresie, by otrzymana mieszanka nie spełniała wymagań normy przedmiotowej.

Badane oleje napędowe (olej bez dodatków i olej handlowy z biokomponentem) spełniały wymagania normy w zakresie wszystkich badanych parametrów. Przy czym, olej bez dodatków charakteryzował się wartością temperatury zablokowania zimnego filtru (CFPP) typową dla okresu zimowego (-25°C), zaś olej handlowy wykazywał wartość CFPP charakterystyczną dla okresu letniego (-5°C). Wprowadzenie do olejów 5% v/v frakcji z tworzyw sztucznych w przypadku oleju bez dodatków spowodowało, że wartość CFPP wzrosła do -19°C, zaś w przypadku oleju handlowego parametr ten nie uległ zmianie. Generalnie stwierdzono, że wprowadzenie do olejów napędowych komponentu w postaci frakcji z termolizy tworzyw sztucznych w ilości 5% v/v nie wpłynęło negatywnie na normatywne parametry paliw. Przykładowe wyniki dla oleju handlowego z dodatkiem 5% v/v komponentu z odpadów tworzyw sztucznych oraz bez niego podano w tabeli.

Ze względu na interesujące właściwości produktu uzyskanego z termolizy mieszanki PE, PP i PS, jako surowce do produkcji komponentów paliw, skład mieszanki wsadu został poddany ochronie poprzez zgłoszenie patentowe nr P.438917.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują, że Technologia HT ma charakter innowacyjny i wpisuje się w gospodarkę o obiegu zamkniętym. Z jej udziałem, w sposób relatywnie tani, bez dodatkowych procesów (jak oczyszczanie z katalizatora, oczyszczanie z węglowodorów długołańcuchowych i ich zawracanie do procesu - jak w tradycyjnej pirolizie) i co ważne pod ciśnieniem atmosferycznym, można uzyskać dobre jakościowo komponenty do paliw. Jednym z warunków jest właściwe przygotowanie składu mieszanki wsadowej do reaktora, czyli zastosowanie w mieszance polietylenu i polipropylenu domieszki polistyrenu. Wydzielone z produktu ciekłego frakcje oleju napędowego i benzyny, wprowadzone w ilości 5% v/v do paliw handlowych, czy też paliw bez dodatków, nie wpływają negatywnie na normatywne parametry paliw. Wskazuje to, że uzyskane z wykorzystaniem przedmiotowej technologii komponenty mogą być stosowane jako zamienniki biokomponentów lub stanowić ich uzupełnienie. W kontekście potencjalnej implementacji zapisów Dyrektywy RED II, da to możliwość spełnienia NCW przy jednoczesnej redukcji ilości stosowanych biokomponentów (FAME i etanolu). Komercjalizacja technologii dodatkowo przyczyni się do zwiększenia recyklingu odpadowych tworzyw sztucznych, w szczególności tych, które nie mają możliwości być zagospodarowane innymi metodami, gdyż są np. zanieczyszczone, czy niewłaściwie wysortowane. Potencjał technologii został dostrzeżony na krajowych i międzynarodowych targach innowacji i wynalazków, a jej twórcy otrzymali wyróżnienia (Moskiewski Salon Wynalazków i Innowacyjnych Technologii Archimedes 2017), złote medale (Salon Innowacyjności Innova Barcelona 2017, Międzynarodowa Wystawa INVENT-ARENA w Trzyńcu 2018) oraz Grand Prix (Międzynarodowy Salon Innowacji INTARG Katowice 2017, iENA 2017 Norymberga). Technologia HT wskazuje, że nie ma odpadów są tylko niewykorzystane surowce. □

> Zapisy dyrektywy RED II wyraźnie definiują „pochodzące z recyklingu paliwa węglowe" wskazując na możliwość uzupełniania nimi obowiązku stosowania komponentów biopaliwowych w paliwach. Wymogi tej dyrektywy spełniają w pełni frakcje węglowodorowe produkowane z poliolefinowych odpadów tworzyw sztucznych i odpadów polistyrenu

Bibliografia:

1. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=en).
2. Fundacja PlasticsEurope Polska (2021): Raport roczny. Branża tworzyw sztucznych w pandemii.
3. Matuszewska A, Hańderek A., Paczuski M., Biernat. K., Hydrocarbon Fractions from Thermolysis of Waste Plastics as Components of Engine Fuels, Energies 2021, 14(21), 7245; https://doi.org/10.3390/en14217245.
4. Matuszewska A, Hańderek A., Biernat. K., Bukrejewski P., Thermolytic Conversion of Waste Polyolefins into Fuels Fraction with the Use of Reactive Distillation and Hydrogenation with the Syngas under Atmospheric Pressure, Energy Fuels 2019, 33, 2, 1363–1371
https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b03664.
5. OECD (2018), Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade, POLICY PERSPECTIVES, OECD ENVIRONMENT POLICY PAPER NO. 12,
policy-highlights-improving-plastics-management.pdf (oecd.org).
6. Wood Mackenzie (2021), Plastic surgery: Reshaping the profile of the plastics industry, https://www.woodmac.com/horizons/plastic-surgery-reshaping-the-profile-of-the-plastics-industry/.