

Sylwia Jędrychowska

Institut Nafty i Gazu

Badanie wpływu dodatku różnych związków siarki na działanie korodujące na miedź w paliwie LPG

W artykule przedstawiono badania dotyczące wpływu dodatku różnych związków siarki na działanie korodujące na miedź w paliwie LPG. Wytypowano trzy związki siarki, które mogą występować w skroplonym gazie węglowodorowym: siarczek dimetylu, disiarczek węgla oraz merkaptan etylowy. Dodawano je do modelowych mieszanek gazowych, złożonych z propanu i n-butanu. Sporządzono w sumie 19 takich mieszanin. Każdy ze związków siarki dodawany był w taki sposób, aby otrzymać różne stężenia zawartości siarki. Wyniosły one w sporządzonych roztworach od 30 do 5000 mg/kg. W każdej próbce badano działanie korodujące na miedź wg normy PN-EN ISO 6251. W żadnej z nich nie stwierdzono korozji na płytkach miedzianych. Dodatkowo sporządzono cztery mieszanki gazowe na bazie handlowego LPG z dodatkiem merkaptanu etylowego i wykonano w nich badanie działania korodującego na miedź. W tym przypadku również nie stwierdzono korozji na płytkach miedzianych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że żaden z wytypowanych związków siarki nie powoduje korozji na miedzi.

Słowa kluczowe: skroplony gaz węglowodorowy, LPG, korozja na miedzi, siarka.

Study of the effects of the addition of various sulphur compounds on the corrosion of copper in LPG fuel

The article presents a study on the effects of the addition of various sulfur compounds on the corrosion of copper in the LPG. Three sulfur compounds, that may be present in liquefied hydrocarbon gas: dimethyl sulphide, carbon disulphide and ethyl mercaptan were selected. They were added to the model gas mixtures consisting of propane and n-butane. 19 mixtures were made – each of the sulfur compounds were added to obtain different concentrations of sulfur. These concentrations were prepared solutions from 30 to near 5000 ppm. Each sample was tested for copper corrosion according to PN-EN ISO 6251. For all of the tested samples, there was no corrosion observed on the copper plates. In addition, four gas mixtures prepared with commercial LPG as a base with the addition of ethyl mercaptan and a corrosion test on copper was performed. Also in this case, there was no corrosion on the copper plates. The study results showed, that none of the selected sulfur compounds is corrosive to copper.

Key words: Liquefied petroleum gas, LPG, the corrosion of copper, sulfur.

Wprowadzenie

Skroplony gaz węglowodorowy LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) jest gazem składającym się głównie z alkanów, zawierających trzy lub cztery atomy węgla w cząsteczce, alkenów lub ich mieszaniny. Przeważnie zawiera on mniej niż 5% (V/V) związków o większej liczbie atomów węgla, a prężność par nie przekracza 1600 kPa w temperaturze 40°C.

Obecnie paliwo LPG należy do najpopularniejszych w Polsce paliw alternatywnych, zarówno w sferze moto-

ryzacji, jak i w innych dziedzinach. Coraz częściej jest ono wykorzystywane w samochodowych flotach firmowych, głównie z powodu wymiernych korzyści finansowych. Dzięki dynamicznemu rozwojowi konstrukcji i technologii jednoczesnego zasilania silników o zapłonie samoczynnym olejem napędowym i gazem skroplonym, coraz chętniej paliwo LPG używane jest także przez firmy przewoźowe.

Jak każde paliwo dopuszczone do użytku w Polsce musi

ono spełniać wymagania jakościowe ściśle określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 12 grudnia 2011 r. (Dz.U. z 2011 roku nr 286, poz. 1682). Dokument ten zmienił dotychczas obowiązujące rozporządzenie w sprawie wymagań jakościowych dla gazu skroplonego (LPG). Zmiany dotyczyły skrócenia okresu zimowego (od 1 grudnia do 31 marca) oraz gatunku paliwa gazowego używanego w czasie jego trwania, z obowiązującego poprzednio A na B – w którym względna prężność par jest nie mniejsza niż 150 kPa w temperaturze maksymalnie do -5°C (poprzednio do -10°C). Zmieniona została także maksymalna dopuszczalna wartość pozostałości po odparowaniu – ze 100 na 60 mg/kg. Obowiązujące aktualnie w Polsce wymagania jakościowe dla gazu skroplonego przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wymagania jakościowe dla gazu skroplonego (LPG)

Właściwości	Jednostka	Zakresy	
		minimum	maksimum
Motorowa liczba oktanowa, MON		89	–
Całkowita zawartość dienów (włączając 1,3-butadien)	% molowy		0,5
Siarkowodór		brak	
Całkowita zawartość siarki (po wprowadzeniu substancji zapachowej)	mg/kg	–	50
Badanie działania korodującego na miedź (1 h w temperaturze 40°C)	klasa korozji	klasa 1	
Pozostałość po odparowaniu	mg/kg	–	60
Względna prężność par w temperaturze 40°C	kPa	–	1550
Temperatura, w której względna prężność par jest nie mniejsza niż 150 kPa: – dla okresu zimowego ¹⁾ – dla okresu letniego ²⁾	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$		-5 $+10$
Zawartość wody		nie wykryto	
Zapach		3)	

¹⁾ Okres zimowy trwa od 1 grudnia do 31 marca.

²⁾ Okres letni trwa od 1 kwietnia do 30 listopada.

³⁾ Zapach gazu powinien być rozróżnialny i nieprzyjemny oraz wyczuwalny w powietrzu przy stężeniu wynoszącym 20% dolnej granicy wybuchowości.

Zmiany w ww. rozporządzeniu są zgodne z Polską Normą dotyczącą wymagań i metod badań paliwa LPG: PN-EN 589. Obowiązującym aktem prawnym, regulującym wymagania dotyczące metod badania jakości gazu skroplonego w Polsce, jest natomiast Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 marca 2007 r. (Dz.U. z 2007 roku nr 59, poz. 399) ze zmianami opublikowanymi 2 stycznia 2012 r. w Dzienniku Ustaw nr 0, poz. 1.

Jednym z parametrów, którego jakość musi być kontrolowana, jest badanie działania korodującego na miedź (1 h w temperaturze 40°C) według normy PN-EN ISO 6251:2001. Parametr ten jest dość kłopotliwy z uwagi na brak powtarzalno-

ści wyników badań. Z doświadczenia INiG wynika, że czasem ta sama próbka badana w jednym laboratorium w odstępie czasu może wykazać różną klasę korozji. Przyczyna tego zjawiska – jak dotąd – nie została wyjaśniona. Podejrzewa się, że może być ono spowodowane obecnością różnych zanieczyszczeń w gazie LPG i wynikać z interakcji pomiędzy nimi oraz składnikami materiału pojemnika, w którym przechowywany lub składowany jest gaz [1]. Kłopoty z określeniem działania korodującego na miedź potwierdzają badania określone, zorganizowane w roku 2010 przez firmę TEZET Sp. z o.o., zajmującą się importem i dystrybucją LPG, w których uczestniczyło 8 laboratoriów badawczych. Wskutek przeprowadzonych badań uzyskano rozbieżne wyniki, w związku z czym stwierdzono, że metoda PN-EN ISO 6251:2001 nie jest odpowiednia dla nie-

których próbek LPG. W roku 2011 INiG uczestniczył w kolejnych badaniach międzylaboratoryjnych, zorganizowanych przez firmę IReast (Laboratorium Inwestycje Rurociągowo Wschód Sp. z o.o.). W tym przypadku na pięć laboratoriów biorących udział w badaniach uzyskano trzy różne wyniki [2]. Nie ma jak dotąd jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, skąd biorą się tak duże rozbieżności. Przypuszcza się, że mogą być one spowodowane nieodpowiednią interpretacją otrzymanych wyników lub niewłaściwym wykonaniem badania (niedostatecznie napełniona bomba badawcza, źle oczyszczone płytki, brak zwilżenia wodą ścianek bomby). Niektóre źródła podają także jako przyczynę tego zjawiska obecność substancji dodatkowych, np. alkoholi lub amin niedostatecznie wymytych podczas procesu produkcji LPG [4, 5, 8].

W środowisku zajmującym się badaniem paliw istnieje pogląd, że związki siarki mają duży wpływ na korozję na płytkach miedzi. W paliwie LPG siarka może występować w postaci: siarki elementarnej, siarkowodoru, merkaptanów, siarczku karbonylu (COS), disiarczku węgla, siarczków i disiarczków organicznych (głównie dimetylu) [3]. W przypadku niektórych z wymienionych związków nie obserwuje się korodującego działania na miedź (np. COS, merkaptany), ale już podczas współistnienia tych związków z innymi sprzyjającymi temu zjawisku warunkami może pojawić się korozja na płytkach miedzianych. Z taką sytuacją mamy do czynienia, gdy dojdzie na przykład do hydrolizy COS i utworzy się siarkowodór, którego stężenie już ok. 0,5 mg/kg powoduje korozję na płytkach miedzi [6].

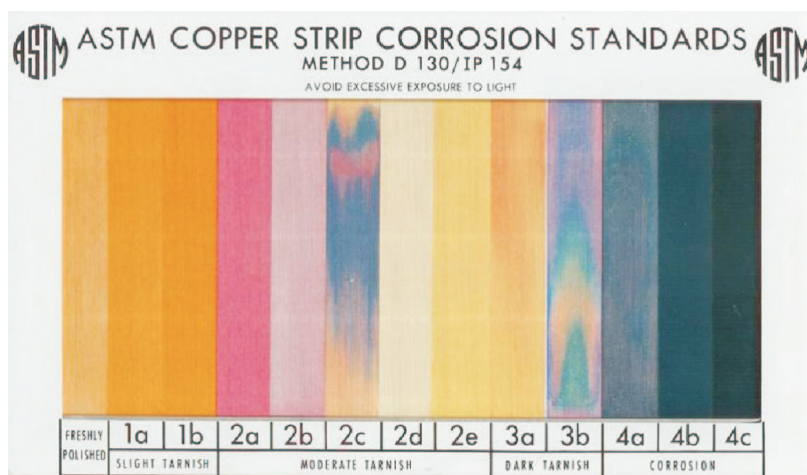
W dostępnej literaturze niewiele miejsca poświęcono problemowi działania korodującego na miedź w paliwach. Ciekawe i dość zaskakujące wyniki badań uzyskali Ott i wsp. [7], którzy badali frakcje ropy naftowej pochodzącej z dwóch różnych źródeł, między innymi pod kątem ich właściwości korozyjnych, z uwzględnieniem zawartości siarki. W wyniku przeprowadzonych prac stwierdzili oni, że nie wszystkie frak-

cje wykazały działanie korodujące na miedź, pomimo obecności związków siarki. W obliczu niewielkiego zainteresowania w literaturze fachowej tak istotnym problemem, zważywszy na poświęconą mu uwagę na zorganizowanych w latach 2009 i 2011 przez INiG konferencjach Fuels' Zoom, podjęto próbę sprawdzenia wpływu dodatku wybranych związków siarki na działanie korodujące na miedź w paliwie LPG.

Badanie działania korodującego na miedź w LPG

Jak wspomniano, jako właściwą metodykę do badania działania korodującego na miedź w LPG wybrano metodę według normy PN-EN ISO 6251. Polega ona na zanurzeniu wypolerowanej płytki miedzianej w 100 ml nasyconej wodą próbki LPG w bombie do badania korozji. Tak przygotowaną bombę wkłada się do łaźni wodnej, nagrzanej do temperatury 40°C, na okres 1 h. Po upływie tego czasu usuwa się gaz z bomby, następnie wyjmując płytkę miedzianą, po czym ocenia korodujące działanie próbki LPG na miedź. Weryfikacji dokonuje się poprzez porównanie z korozją na wzorcowej płytce miedzianej, korzystając z tablicy umieszczonej w normie. Można posłużyć się również wzornikiem barwnym do oceny stopnia korozji płytki miedzianej, załączonym do normy ASTM D 130, która odnosi się do

badania korodującego działania na miedź w produktach naftowych (rysunek 1).



Rys. 1. Wzornik barwny do oceny stopnia korozji płytki miedzianej załączony do normy ASTM D 130 [1]

Część doświadczalna

Z uwagi na komplikacje pojawiające się podczas badania działania korodującego na miedź w paliwie LPG podjęto próbę sprawdzenia przyczyn takiego stanu. Postanowiono zbadać wpływ dodatku wybranych związków siarki do paliwa LPG na oznaczenie klasy korozji.

Zdecydowano, że mieszanina czystych gazów propanu i n-butanu będzie najbardziej odpowiednia dla celów pracy i może posłużyć jako wzorcowe paliwo LPG. Pozwoli to wyeliminować ewentualne wpływy nieznanymi zanieczyszczeń w handlowym paliwie LPG na badanie działania korodującego na miedź.

Sporządzono mieszanki składające się z mieszaniny wzorcowego propanu i n-butanu (zmieszanych w stosunku 50:50)

oraz wybranych związków siarki. Wytypowano trzy związki siarki, które dodawano do mieszaniny propan-butan:

- disiarczek węgla,
- siarczek dimetylu,
- etanotiol.

Wyboru dokonano, uwzględniając dostępność substancji oraz ich stan skupienia, co umożliwiało stosunkowo łatwe dozowanie substancji do wzorcowego paliwa LPG, którego dostawcą była firma Air Products Sp. z o.o. W przygotowanych mieszankach wykonano badanie działania korodującego na miedź. Na koniec sprawdzono wpływ dodatku jednego ze związków siarki na korozję rzeczywistych próbek skroplonego gazu węglowodorowego.

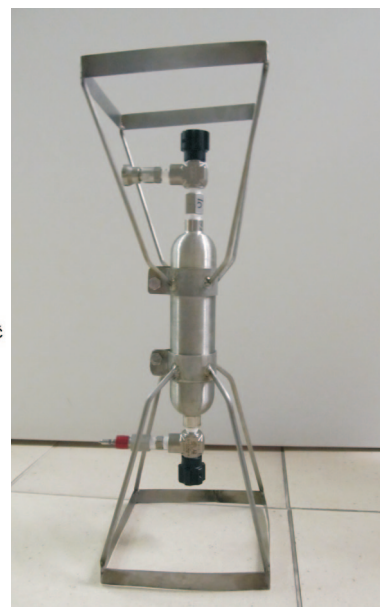
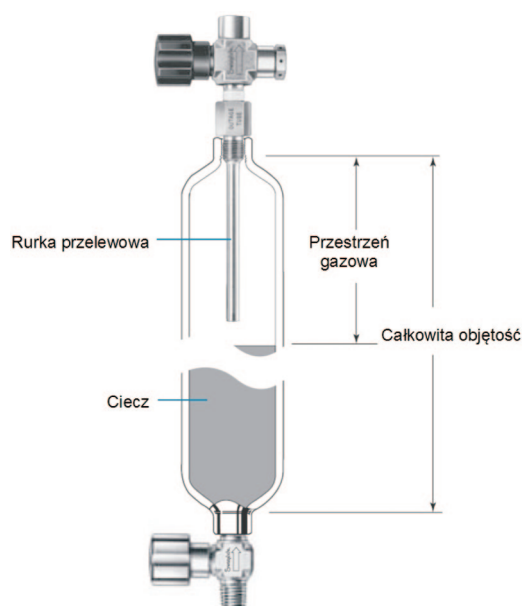
Sporządzenie mieszanek gazowych złożonych z wzorcowego paliwa LPG oraz wybranego związku siarki

Wszystkie mieszanki gazowe przygotowywano w próbopobieralnikach ze stali kwasoodpornej z wewnętrzną warstwą teflonową, z rurką przelewową, o pojemności 300 ml (rysunek 2). Próbopobieralnik oczyszczano i przepłukiwano wzorcowym

paliwem LPG. Następnie pusty pojemnik ważono na wadze technicznej z dokładnością do 0,5 kg. Odmierzoną i zważoną na wadze analitycznej z dokładnością 0,0001 g ilość związku siarki wstrzykiwano bezpośrednio do końcówki szybkozłączki,

firmy Swagelok, połączonej z węzłem giętkim, służącym do przetłaczania gazu. Natychmiast podłączano ją do odpowiedniej szybkozłączki, połączonej z zaworem dolnym próbopobieralnika z wzorcowym gazem LPG. Następnie napełniano próbnik o pojemności 300 ml mieszaniną gazów propanu i butanu, bez odkręcania zaworu górnego, aby zapobiec stratom dodanego związku zawierającego siarkę. Powtórnie ważono napełniony próbnik o pojemności 300 ml. Tak przygotowaną próbę dokładnie mieszano poprzez wytrząsanie ręczne.

W tabelicy 2 zestawiono skład mieszanek gazowych sporządzonych z wzorcowego paliwa LPG oraz wybranego związku siarki.



Rys. 2. Stalowy próbopobieralnik o pojemności 300 ml, z rurką przelewową oraz z wewnętrzną warstwą teflonową

Tablica 2. Skład mieszanek gazowych sporządzonych z wzorcowego paliwa LPG oraz wybranego związku siarki

Mieszanka nr	Paliwo wzorcowe LPG wraz z dodanym związkiem siarki [g]	Siarczek dimetylu [g]	Disiarczek węgla [g]	Etanotiol [g]
1	120,0	0	0	0
2	60,5	0,0048	0	0
3	52,0	0,0090	0	0
4	65,0	0,0134	0	0
5	92,5	0,0181	0	0
6	92,5	0,7580	0	0
7	120,0	0	0,0093	0
8	50,5	0	0,0235	0
9	55,0	0	0,0295	0
10	52,0	0	0,0392	0
11	129,5	0	1,3515	0
12	106,5	0	0	0,0045
13	104,0	0	0	0,0080
14	108,0	0	0	0,0130
15	94,5	0	0	0,0156
16	44,5	0	0	0,0891
17	75,0	0	0	0,0765
18	69,5	0	0	0,4057
19	84,0	0	0	0,8511

Wykonanie badania korodującego działania na miedź według normy PN-EN ISO 6251

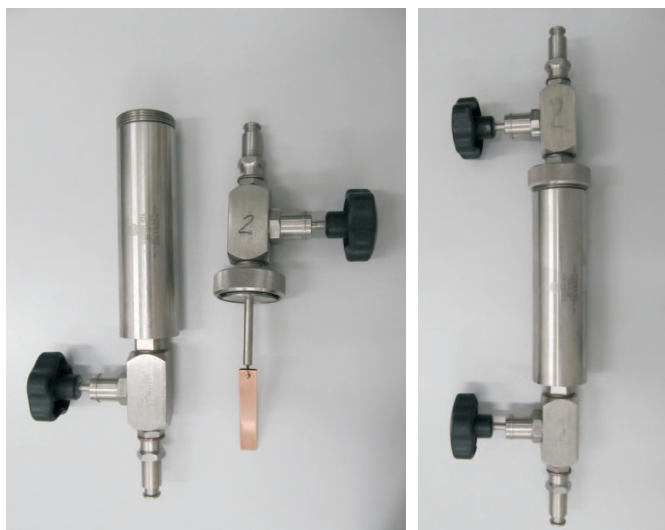
Badanie działania korodującego na miedź wykonano w bombach ze stali nierdzewnej (rysunek 4) oraz łaźni wodnej (rysunek 3) – utrzymującej temperaturę $40 \pm 1^\circ\text{C}$, firmy STANHOPE SETA. Bomba do badania korozji wytrzymuje

ciśnienie hydrostatyczne do 7 MPa oraz zachowuje szczelność po napełnieniu gazem pod ciśnieniem 3,5 MPa. Składa się ona z dwóch podstawowych części:

- cylindra badawczego ze stali nierdzewnej, zwężającego



Rys. 3. Łaźnia wodna przystosowana do badania działania korodującego na miedź



Rys. 4. Bomba do badania korozji (z lewej widoczna płytka miedziana zawieszona na haczyku, którą umieszcza się wewnątrz bomby, z prawej – bomba gotowa do badania)

się ku dołowi w miejscu przyłączenia zaworu iglicowego oraz w górnej części gwintowanego, co zapewnia możliwość przykręcenia pokrywy,

- pokrywy ze stali nierdzewnej, z gwintem wewnętrznym oraz uszczelką typu O-ring – w celu zapewnienia szczelności podczas badania. Do pokrywy dołączony jest zawór iglicowy połączony z rurką zanurzeniową ze stali nierdzewnej z hakiem do zawieszania płytki miedzianej.

W każdej ze sporządzonych mieszanek gazowych, przedstawionych w tabelicy 2, wykonywano badanie korodującego działania na miedź według normy PN-EN ISO 6251.

Łaźnię wodną nagrzewano do temperatury 40°C. Płytkę miedzianą przygotowywano w sposób opisany w przedmiotowej normie. Następnie umieszczano ją w bombie do oznaczania korozji, zwilżonej około 1 ml wody destylowanej (rysunek 4) i napełniano mieszkanką gazową. Natychmiast po napełnieniu bomby wkładano ją do łaźni wodnej na 1 godzinę. Po upływie okresu badania opróżniano bombę, wyjmowano płytkę miedzianą i od razu porównywano ją z wzornikiem barwnym, przedstawionym na rysunku 1.

Wyniki badania korodującego działania na miedź przedstawiono w tabelicy 3. Fotografie przykładowych płytek miedzianych, uzyskanych w wyniku pomiaru, zaprezentowano na rysunkach 5 i 6.

Na rysunku 6 widać różnicę pomiędzy barwami płytek przed badaniem (z lewej) i po badaniu (z prawej). Według wzornika barwnego przedstawionego na rysunku 1, wynik badania zaprezentowanego na rysunku 6 kwalifikuje się do klasy korozji 1. Według zapisu w normie, świeżo polerowane płytki wchodzą w skład kompletu wzorców tylko w celu pokazania, jak ma wyglądać odpowiednio przygotowana płytka przed badaniem. Nie można uzyskać takiego wyglądu płytki po wykonaniu badania nawet w całkowicie niekorodującej próbce LPG.



Rys. 5. Przykładowa płytka miedziana uzyskana w wyniku badania działania korodującego na miedź



Rys. 6. Przykładowa płytka miedziana uzyskana w wyniku badania działania korodującego na miedź w porównaniu z płytką przed badaniem

Wyniki badań

Wyniki badania działania korodującego na miedź oraz zawartości siarki w sporządzonych mieszankach gazowych, składających się z wzorcowego paliwa LPG oraz wybranego związku siarki (tablica 2), zestawiono w tablicy 3.

Z analizy wyników badań przedstawionych w tablicy 3 wynika, że w żadnej z badanych próbek nie stwierdzono działania korodującego na miedź. Ani rodzaj dodanego związku siarki, ani jego ilość, dodana do wzorcowego paliwa LPG, nie wpłynęły na powstanie zjawiska korozji na płytках miedzianych.

Badanie mieszanek gazowych złożonych z handlowego paliwa LPG oraz wybranego związku siarki

Sporządzono mieszanki gazowe z dwóch próbek paliwa LPG, dostępnego na stacjach paliwowych w Polsce, i z jednego związku siarki. Wybrano próbki różniące się składem chromatograficznym. Próbka nr 1 charakteryzowała się większą zawartością węglowodorów nienasyconych, w porównaniu do innych obecnych na rynku paliwowym, co predestynowało ją do udziału w badaniu. Skład chromatograficzny próbki nr 2 jest typowy dla próbek paliwa LPG. Należy jednak podkreślić, że parametry jakościowe obu próbek były zgodne z wymaganiami według specyfikacji obowiązującej w Polsce. Spośród trzech związków siarki, które dodawano do próbek gazowych, wytypowano etanotiol.

Skład mieszanek gazowych, sporządzonych z handlowego paliwa LPG oraz etanotiolu, zestawiono w tablicy 4.

W próbkach sporządzonych z handlowego paliwa LPG i etanotiolu wykonano badanie działania korodującego na miedź według normy PN-EN ISO 6251. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 5.

Podobnie jak w przypadku próbek mieszanek gazowych, gdzie matrycą była mieszanina czystego propanu i n-butanu, w próbkach złożonych z handlowego skroplonego gazu węglowodorowego i dodatku etanotiolu nie stwierdzono klasy korozji wyższej niż 1.

Tablica 3. Wyniki badania działania korodującego na miedź oraz zawartość siarki w sporządzonych mieszankach gazowych z wzorcowego paliwa LPG

Mieszanka nr	Zawartość siarki [mg/kg]	Badanie działania korodującego na miedź [klasa korozji]
1	< 1	klasa 1
2	41	klasa 1
3	89	klasa 1
4	106	klasa 1
5	101	klasa 1
6	4220	klasa 1
7	33	klasa 1
8	196	klasa 1
9	225	klasa 1
10	317	klasa 1
11	4387	klasa 1
12	22	klasa 1
13	40	klasa 1
14	62	klasa 1
15	85	klasa 1
16	1031	klasa 1
17	525	klasa 1
18	3006	klasa 1
19	5218	klasa 1

Tablica 4. Mieszanki gazowe sporządzone z handlowego paliwa LPG oraz etanotiolu

Próbka nr	Mieszanka nr	Paliwo handlowe LPG wraz z dodanym związkiem siarki [g]	Etanotiol [g]
1	20	64,5	0,2422
	21	87,5	0,5537
2	22	88,5	0,2707
	23	94,0	0,5456

Tablica 5. Wyniki badania działania korodującego na miedź oraz zawartość siarki w sporządzonych mieszankach gazowych z handlowego paliwa LPG i etanotiolu

Mieszanka nr	Zawartość siarki [mg/kg]	Badanie działania korodującego na miedź [klasa korozji]
20	1934	klasa 1
21	3259	klasa 1
22	1575	klasa 1
23	2989	klasa 1

Omówienie wyników badań

Przedmiotem badań było określenie wpływu wybranych związków siarki dodawanych do paliwa LPG na działanie korodujące na miedź (badanie na płytkach miedzianych). Sprawdzone wpływ trzech związków siarki, które mogą być obecne w skroplonym gazie węglowodorowym dostępnym na stacjach paliwowych. Były to siarczek dimetylu, disiarczek węgla oraz etanotiol. Sporządzono w sumie 23 mieszanki gazowe z dodatkiem każdego ze związków siarki w różnych stężeniach. 19 mieszanek stanowiły próbki złożone z wzorcowej mieszaniny propanu i n-butanu (50:50), zakupionej w firmie Air Products Sp. z o.o., i jednego z wybranych związków siarki. Pozostałe 4 mieszanki wykonano z próbek handlowego paliwa LPG ze stacji paliwowej i etanotiolu. W każdej z mieszanek zostało zbadane działanie korodujące na miedź według normy PN-EN ISO 6251. W żadnej z bada-

nych próbek nie zaobserwowano korozji na płytkach miedzi. Jest to dość zaskakujące, zważywszy na ogólne przeświadczenie, że związki siarki działają bardzo korozyjnie. Pojawiają się jednak informacje wskazujące na to, że przyczyną występowania korozji mogą być inne związki, niezawierające siarki, jak na przykład związki azotu, alkohole lub inne zanieczyszczenia. Potwierdzają to doświadczenia własne INiG, który od lat uczestniczy w badaniach paliwa LPG na stacjach benzynowych. W analizach tych wielokrotnie obserwowano działanie korodujące na płytkach miedzianych przy jednoczesnej niskiej zawartości siarki. Istnieje prawdopodobieństwo, że warunkiem wystąpienia korozji jest obecność więcej niż jednego czynnika ją powodującego, na przykład związków siarkowych z azotowymi. W związku z powyższym wskazane są dalsze badania nad tym zjawiskiem.

Wnioski

1. Żaden z trzech związków siarki (siarczek dimetylu, disiarczek węgla, etanotiol), wytypowanych jako dodatek do paliwa LPG, nie spowodował korozji na płytkach miedzianych.
2. Wskazane są dalsze badania nad wpływem dodatku do LPG innych związków siarki oraz związków beziarkowych (np. związków azotu) na działanie korodujące na miedź.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2013, nr 9, s. 695–701

Artykuł powstał na podstawie dokumentacji INiG DK-4100-22/12 (0022/TA/12) pt.: *Badanie wpływu dodatku różnych związków siarki na działanie korodujące na miedź w paliwie LPG*, która została zrealizowana w ramach działalności statutowej, zleconej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Altkorn B.: *Błędy analityczne w oznaczaniu właściwości korodujących na miedź w LPG*. Nafta-Gaz 2010, nr 1, s. 55–60.
- [2] Burnus Z.: *Aspekty badania próbek LPG na podstawie uczestnictwa w krajowych badaniach okrężnych*. Nafta-Gaz 2012, nr 6, s. 368–376.
- [3] Danek B.: *Źródła zagrożeń jakości LPG*. Nafta-Gaz 2010, nr 2, s. 115–120.
- [4] Dreszer K., Więclaw-Solny L.: *Obniżenie emisji CO₂ z sektora energetycznego – możliwe ścieżki wyboru technologii*. Polityka Energetyczna 2008, tom 11, zeszyt 1, s. 117–129.
- [5] <http://gazeo.pl/lpg/od-a-do-z/eksploatacja/Wplyw-zanieczyszczen-w-autogazie-na-eksploatacje-silnika-zasilanego-LPG,artykul,5875.html> – dostęp: listopad 2012 r.
- [6] Karpisz S.: *Zapewnienie jakości w łańcuchu logistycznym LPG*. III Konferencja Naukowo-Techniczna FUELS' ZOOM „LPG w dystrybucji i eksploatacji”, Kraków 28–29.09.2011.
- [7] Ott L. S., Smith B. L., Bruno T. J.: *Advanced distillation curve measurements for corrosive fluids: Application to two crude oils*. Fuel 2008, vol. 87, pp. 3055–3064.
- [8] Verma N., Verma A.: *Amine system problems arising from heat stable salts and solutions to improve system performance*. Fuel Processing Technology 2009, vol. 90, pp. 483–489.



Sylwia JĘDRYCHOWSKA
Specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie
Analiz Naftowych.
Instytut Nafty i Gazu
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: jedrychowska@inig.pl