

Beata Altkorn

*Institut Nafty i Gazu, Kraków*

## Błędy analityczne w oznaczaniu właściwości korodujących LPG na miedź

### Wstęp

W badaniu oddziaływania korodującego LPG na miedź stosuje się w Europie normę EN ISO 6251 (w Ameryce ASTM D 1838). Obie te metody stanowią modyfikację procedury przeznaczonej do badania oddziaływania korodującego węglowodorów na miedź zgodnie z ISO 2160 oraz ASTM D 130. Istota wymienionych procedur polega na wizualnym porównaniu płytki miedzianej, odpowiednio

przygotowanej i poddanej kontaktowi z badaną próbką przez 1 godzinę w temperaturze 40°C, z barwnym wzorcem stopnia korozji. O ile powyższe badanie – standardowo wykonywane od wielu lat dla ciekłych węglowodorów – nie nastęrcza problemów wykonawczych, o tyle ze względu na specyfikę LPG badanie tego rodzaju próbek niesie ze sobą szereg problemów.

### Analiza problemu

Szczegółowy przegląd procedury badania oddziaływania korozyjnego LPG na miedź pozwala wyodrębnić podstawowe problemy wykonawcze i interpretacyjne związane z przebiegiem oznaczania. Problemy te można podzielić na trzy kategorie:

- Pierwsza, to potencjalne błędy wynikające z nieprawidłowego wykonania oznaczania lub nieprawidłowego pobrania próby do badań – najłatwiejsze do eliminacji.
- Druga kategoria to problemy interpretacyjne, wynikające z faktu, że często kolory płytki miedzianej po badaniu korozji LPG nie odpowiadają wzornikowi barwnemu i – wobec braku jednoznacznego wzorca – bywają przez różne laboratoria oceniane w różny sposób. Może to wynikać z faktu, że badane paliwo LPG zawiera zanieczyszczenia chemiczne, które powinny zostać usunięte w procesach technologicznych jego produkcji lub podczas standardowych procedur związanych z logistyką i magazynowaniem. Zarówno europejską specyfikację dla LPG, jak i procedurę wykonawczą oznaczania korozji LPG na miedzi tworzono przy założeniu, że strumienie gazów C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> stosowane do komponowania paliwa LPG w wyniku efektywnych procesów oczyszczania

- będących częścią procesów technologicznych – są pozbawiane większości związków siarki i praktycznie nie zawierają zanieczyszczeń typu: fluorków, chlorków, amin, ługu sodowego itp., a wyprodukowany gaz płynny o dobrej jakości jest chroniony przed wtórnymi zanieczyszczeniami w łańcuchu dystrybucji poprzez odpowiednią kulturę techniczną. Specyfikacja uwzględnia wyłącznie obecność zanieczyszczeń związkami siarki, w tym w postaci siarkowodoru. W praktyce, w LPG dostępnym na rynku krajowym można jednak zetknąć się z szeroką gamą zanieczyszczeń – co wynika z dużego zróżnicowania źródeł dostaw, bardzo rozbudowanego łańcucha dystrybucji i niewystarczających mechanizmów przeciwdziałania wtórnemu zanieczyszczeniu LPG w łańcuchu dystrybucji.
- Kategoria trzecia to nieodtwarzalność wyników badania, zdarzająca się w niektórych przypadkach. Bywa, że wynik wykonywany w tym samym laboratorium w odstępach czasu „pulsuje” pomiędzy kategorią 1, a np. 3 lub 4. Przyczyna tego zjawiska nie została jeszcze w warunkach krajowych do końca wyjaśniona, a prawdopodobnie jest ona związana z obecnością

różnych zanieczyszczeń chemicznych LPG, pomiędzy którymi mogą zachodzić reakcje chemiczne; z tym, że wspomniane reakcje mogą zachodzić zarówno pomiędzy substancjami stanowiącymi zanieczyszczenia produktu, jak i pomiędzy składnikami handlowego

LPG z materiałem (żelazem) stalowych zbiorników lub pojemników – podczas magazynowania paliwa i/lub przechowywania pobranej próbki LPG. Zjawiska te są aktualnie przedmiotem badań prowadzonych w Instytucie Nafty i Gazu.

## Nieprawidłowości związane z poborem próbek lub wykonaniem oznaczania

Nieprawidłowości związane z poborem próbek lub wykonaniem oznaczania, mające istotny wpływ na wynik, to przede wszystkim:

1. niewłaściwe przygotowanie pojemnika dwuzaworowego i linii przesyłowej do poboru prób LPG,
2. pobór niereprezentatywnej próby do badań,
3. niewłaściwe przygotowanie zestawu do badania korozji LPG,
4. nieodpowiednie napełnienie „bomby” do badań korozyjnych,
5. błędna interpretacja przebarwień, wynikających z oddziaływania wody na płytkę miedzianą, jako przebarwień korozyjnych.

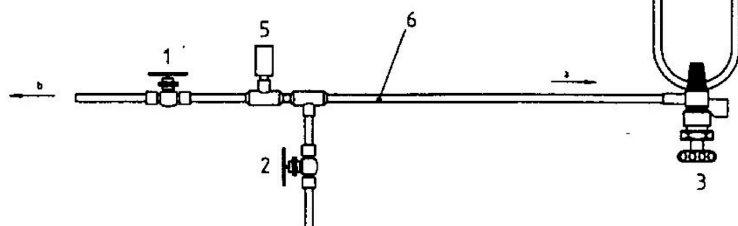
Poniżej omówiono poszczególne potencjalne źródła błędów w tym zakresie.

### Niewłaściwe przygotowanie pojemnika dwuzaworowego i linii przesyłowej do poboru prób LPG

W przypadku paliw płynnych mamy do czynienia wyłącznie z próbnikiem do poboru, który najczęściej jest jednocześnie pojemnikiem na próbkę. W przypadku LPG wyposażenie techniczne do poboru próbek jest bardziej złożone i składa się (najogólniej) z linii przesyłowej oraz pojemnika ciśnieniowego na pobieraną próbkę (rysunek 1).

#### Opis:

1. Zawór regulacyjny A
2. Zawór upustowy B
3. Zawór C
4. Zawór D
5. Zawór bezpieczeństwa
6. Zbrojony przewód giętki:
  - a. Do zaworu C
  - b. Do zaworu przy źródle produktu



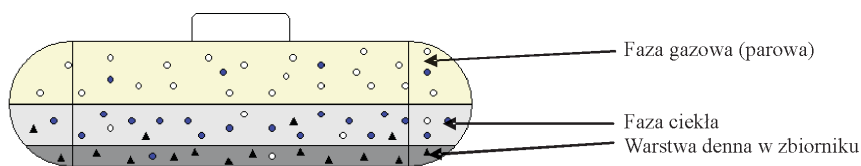
Rys. 1. Zestaw do poboru próbek LPG

Zarówno próbnik, jak i linia przesyłowa muszą być opróżnione z pozostałości poprzedniej próby, umyte i napełnione odpowiednim gazem. Jeżeli nie wykonano tego z należytą starannością, może to wpłynąć na zmianę wyniku badania właściwości korozyjnych aktualnej próby. Norma PN-EN ISO 4257:2004 stwierdza, że pojemnik na próby LPG powinien być wykonany ze stali kwasoodpornej. Jednakże, z własnego doświadczenia INiG wynika, że w przypadku częstego pobierania prób LPG wątpliwej jakości taki stalowy pojemnik mimo wszystko ulega korozji (jeżeli nie jest wyposażony w wewnętrzną powłokę teflonową). Nie można zatem wykluczyć wystąpienia efektów synergicznych pomiędzy zanieczyszczeniami LPG, prowadzących do wytworzenia związków chemicznych wchodzących w reakcję z metalami, co tym samym zmienia skład chemiczny zanieczyszczeń próbki LPG, wpływając także na wynik oznaczenia.

### Pobór do badań próby niereprezentatywnej

Osobną kwestią jest pobranie reprezentatywnej próbki LPG. Oczywistym jest, że jeżeli w przewodach doprowadzających do pojemnika ciśnieniowego, lub co gorsza w pojemniku, pozostanie pozostałość po poprzedniej próbie, pobrana próbka nie jest reprezentatywna (stąd procedura poboru zaleca trzykrotne przepłukanie pobieraną próbką LPG linii przesyłowej i pojemnika).

LPG jest paliwem ciekłym, o zróżnicowanej, w poszczególnych dostawach, gęstości i bardzo różnym pochodzeniu dostaw. W zbiorniku, zarówno magazynowym, jak również na stacji paliwowej, gdzie LPG trafia z różnych dostaw, paliwo to może mieć tendencję do rozwarstwiania się. Jeżeli zbiornik nie jest wyposażony w system recyrkulacji (a na stacji paliwowej przez dłuższy czas nie tankował żaden pojazd) to zachodzi duże prawdopodobieństwo, że zostanie pobrana próbka niereprezentatywna dla całej zawartości zbiornika, pochodząca tylko z jednej z warstw paliwa, co może krańcowo zmienić wynik badania właściwości korozyjnych.



Rys. 2. Rozmieszczenie zanieczyszczeń chemicznych w zbiorniku LPG

Druga kwestia w tym zakresie jest bardziej skomplikowana i wiąże się z równowagą faz oraz ze współczynnikami podziału zanieczyszczeń chemicznych LPG (oddziaływujących korozyjnie na miedź i jej stopy) pomiędzy fazę ciekłą i parową. Jeżeli zbiornik LPG jest napełniony w całości, to – z uwagi na niewielką ilość fazy parowej – praktycznie wszystkie te zanieczyszczenia są zawarte w fazie ciekłej (rysunek 2).

W miarę opróżniania zbiornika zmniejsza się ilość fazy ciekłej, a wzrasta ilość fazy parowej i może nastąpić zjawisko przejścia części zanieczyszczeń do tej fazy. Czynnikiem decydującym jest prężność par zanieczyszczeń chemicznych – im jest ona niższa, tym większa skłonność związków chemicznych do przechodzenia do fazy parowej. Kolejna partia LPG, pobrana ze zbiornika i sprzedana, może zatem wykazać mniejszą ilość zanieczyszczeń chemicznych i wynik oznaczenia oddziaływania korodującego na miedź może być lepszy, niż uzyskany dla próby pobranej z tego samego zbiornika, ale w stanie jego całkowitego napełnienia. Aktualnie zjawisko to jest również przedmiotem badań w INiG.

### Niewłaściwe przygotowanie zestawu do badania korozji LPG

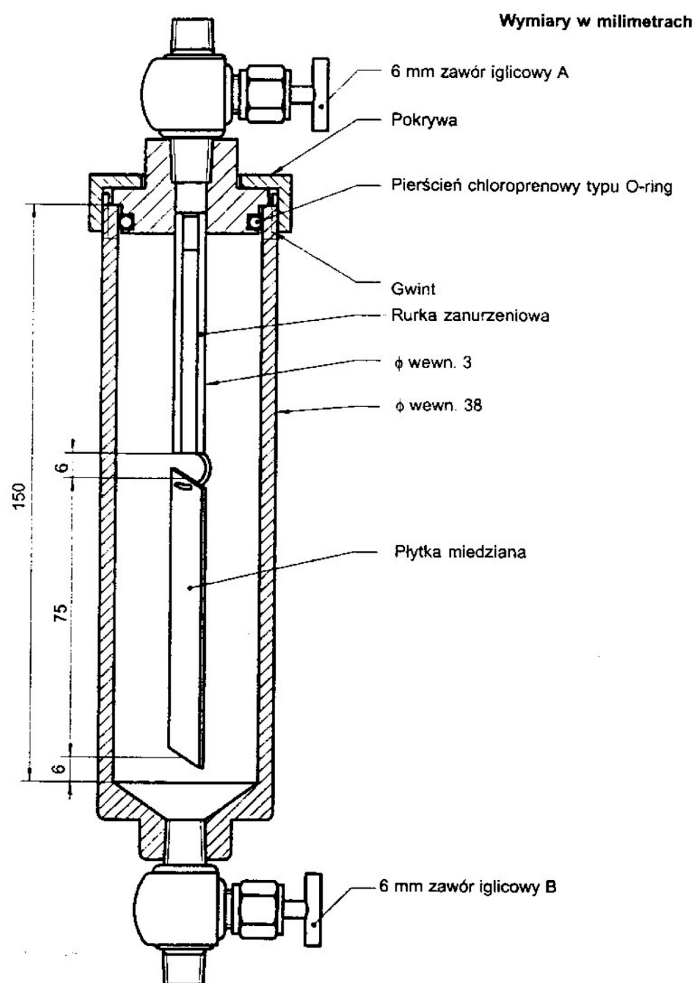
Kolejnym punktem procedury badawczej, w którym można popełnić błąd, jest zanieczyszczenie badanej próbki pozostałościami poprzednio badanej próby bezpośrednio w „bombie” ciśnieniowej do oznaczania stopnia korozji. Może się tak stać wówczas, kiedy wykonawca niedokładnie przepłucze badaną próbką LPG przewód doprowadzający pomiędzy pojemnikiem na próbkę a „bombą”, bądź gdy nie wypoleruje wnętrza „bomby” wtedy, gdy poprzednio badana próbka odpowiadała klasie korozji 3 lub 4. Przykładowo, środek nawaniający, jakim jest merkaptan etylu, reaguje z tlenkami żelaza (rdzą), tworząc związki siarki o podwyższonym oddziaływaniu korodującym na miedź.

### Nieodpowiednie napełnienie „bomby” do badań korozyjnych

W badaniu produktów ciekłych stosuje się szklany, przezroczysty pojemnik na płytkę miedzianą, co zapewnia kontrolę wizualną stopnia napełnienia pojemnika badanym produktem. W przypadku badania LPG według PN-EN

ISO 6251 oraz ASTM D 1838, stosuje się metalowe, nieprzezroczyste naczynie ciśnieniowe – tzw. „bombę”, co powoduje, że wykonawca nie ma możliwości wizualnej kontroli stopnia jej napełnienia (zgodnie z procedurą należy napełnić całą „bombę”)

– rysunek 3. Ze względu na jej dużą masę, łatwo napełnić ją zbyt małą ilością LPG, co może mieć wpływ na wynik testu, a zatem na powtarzalność i odtwarzalność uzyskanego wyniku. Płytkę miedzianą nie jest wtedy całkowicie zanurzona w badanej próbce LPG – część jest zanurzona w fazie ciekłej, a część w fazie parowej. Zanieczyszczenia chemiczne LPG oddziaływujące korodująco na miedź, z uwagi na tzw. współczynnik podziału, znajdują się w różnej ilości w obu fazach, co ma wpływ na wynik oznaczenia. W praktyce, jedynym pewnym sposobem kontroli stopnia napełnienia „bomby” i badania właściwości wyłącznie fazy ciekłej LPG jest kontrolowanie stopnia napełnienia metodą wagową. Wymienione normy czynnościowe nie przewidują



Rys. 3. Schemat „bomby” do oznaczania właściwości korodujących LPG na miedź

takiej procedury (choć doświadczone laboratoria często tę metodę stosują), gdyż nie zmienia to istoty oznaczenia, a ma pozytywny wpływ na powtarzalność wyniku.

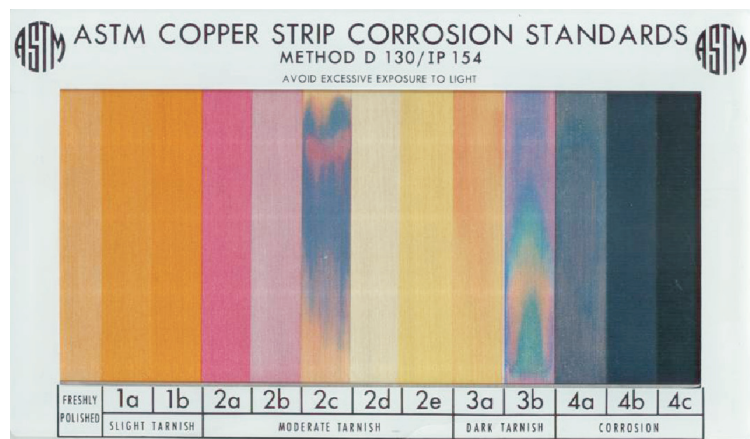
**Błędna interpretacja przebarwień, wynikających z oddziaływania wody na płytkę miedzianą**

Metodyka oznaczania korozji według EN ISO 6251 oraz ASTM D 1838 wymaga dodania do naczynia ciśnie-

niowego (lub bomby do oznaczania korozji) 1 cm<sup>3</sup> wody (również sama badana próbka LPG może zawierać wodę). W warunkach oznaczenia, woda pozostawia na ocenianej płytce miedzianej plamy, które mogą zostać niewłaściwie zinterpretowane jako zmiana zabarwienia. Przebarwienia te nie powinny być brane pod uwagę podczas oceny zabarwienia płytki, niemniej w przypadkach wątpliwych oznaczenie należy powtórzyć, aby wykluczyć z oceny ten rodzaj zmian barwnej jej powierzchni.

**Interpretacja wyniku – to drugi problem związany z rozbieżnościami oznaczeń korozyjności LPG**

Podczas badania mogą występować nietypowe zabarwienia płytki miedzianej, nie ujęte we wzorniku barwnym ASTM, stosowanym w normach EN ISO 6251 oraz ASTM D 1838 do oceny stopnia skorodowania płytki miedzianej (rysunek 4). Na etapie tworzenia obu procedur na bazie normy ASTM D 130 uznano, że zmiana zabarwienia płytki miedzianej dla LPG będzie identyczna jak w przypadku innych produktów węglowodorowych – wynikająca jedynie z obecności związków siarki. Tymczasem, w przypadku obecności w LPG innych związków, stanowiących jego zanieczyszczenie chemiczne, a reagujących z miedzią i jej stopami, zabarwienie płytek miedzianych po badaniu będzie nietypowe i nieujęte we wzorniku barwnym.



Rys. 4. Wzornik barwny do oceny stopnia korozji płytki miedzianej

Należy w tym miejscu zauważyć, że w łańcuchu dystrybucji LPG potencjalnie mogą się łączyć dwa jego strumienie:

1. LPG otrzymywany ze złóż gazu ziemnego (ok. 60% światowej produkcji LPG),
2. LPG otrzymywany z ropy naftowej (ok. 40% światowej produkcji LPG). Stanowi on kompozycję wielu różnych strumieni w rafinerii – głównie produktu fizycznego

rozdestylowania ropy naftowej i – w mniejszym stopniu – frakcji C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>; uzyskiwanej jako produkt uboczny w chemicznych procesach rafineryjnych (np. krakingu, reformingu), zawierającej dodatkowo węglowodory nienasycone (izo-propylen i butyleny), w tym dieny, a nawet węglowodory o wiązaniach potrójnych. Jeżeli frakcję C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> uzyskano w procesie alkilacji, to – obok siarkowodoru (potencjalnie występującego w pozostałych strumieniach LPG) – może ona dodatkowo zawierać również fluorowodor, bardzo agresywny pod względem korozyjnym. Ten komponent LPG jest najbardziej problematyczny; zarówno pod względem oddziaływania korozyjnego na miedź, jak i wyników jego oznaczania. Strumienie pochodzenia rafineryjnego, o dość zmiennych w czasie właściwościach, są po upłynięciu komponowane w zbiornikach w handlowe LPG.

Zasadniczo, bez względu na pochodzenie danej partii LPG, wszystkie związki chemiczne oddziałujące korodująco na miedź (zanieczyszczenia) powinny zostać usunięte przez producenta w powszechnie znanych procesach technologicznych – do poziomu, w którym LPG spełni wymagania w zakresie korodującego oddziaływania na miedź (czyli bynajmniej nie całkowicie). Wyprodukowanie paliwa LPG dobrej jakości nie gwarantuje jednak (podobnie jak w przypadku pozostałych paliw silnikowych), że w łańcuchu dystrybucji

nie zostanie ono wtórnie zanieczyszczone np. chlorem, amoniakiem, acetylenem, etylenem, wodą itp. – w tym wypadku może też nie spełnić wymagań w zakresie właściwości korozyjnych, pomimo, że partia LPG wyszła od producenta z certyfikatem zgodności ze specyfikacją. Jak zatem widać, kategorie druga i trzecia problemów z badaniem oddziaływania korodującego na miedź nakładają się w tym obszarze na siebie.

### Jako trzecia kategoria problemów obserwowanych podczas analizy korozyjności LPG wymieniona została nieodtworzalność wyników badania.

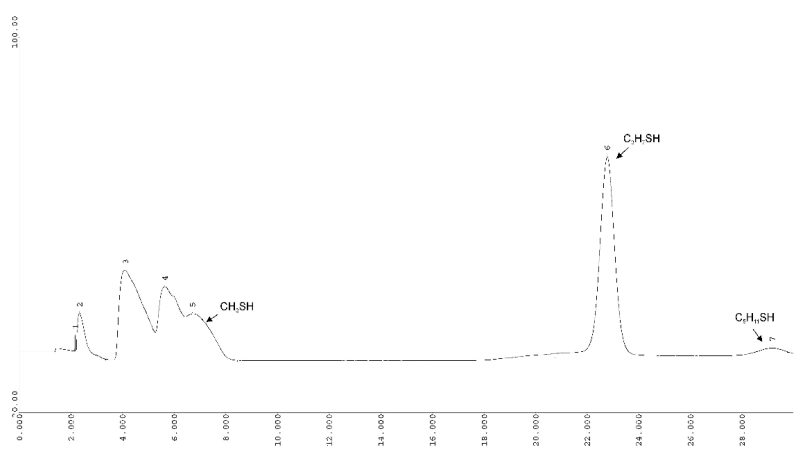
Czynnikiem mającym wpływ na brak odtwarzalności wyników badania oddziaływania korodującego LPG na miedź może być mieszanie w jednym zbiorniku różnych dostaw LPG. Znane są przypadki, kiedy każda z partii osobno spełniała wymagania specyfikacji w zakresie właściwości korozyjnych, a ich mieszanina (po zmieszaniu we wspólnym zbiorniku) tych wymagań nie spełniała; np. gdy jedna partia zawierała niewielką ilość siarkowodoru, a druga niewielką ilość siarki elementarnej (obie spełniały wymogi specyfikacji w zakresie właściwości korozyjnych). Po zmieszaniu takich dostaw uzyskuje się LPG silnie oddziałujące korodująco w wyniku efektów synergetycznych pomiędzy obecnymi w nich związkami siarki. Innym przykładem może być zawadnienie w łańcuchu dystrybucji partii LPG zawierającej siarczki karbonylu (który nie oddziałuje korodująco na miedź), co prowadzi do hydrolizy siarczku karbonylu i wytworzenia siarkowodoru, czego efektem może być silne działanie korodujące zawadnionego LPG.

Problemy z korozją wynikają też z faktu mieszania dostaw LPG, których zgodność ze specyfikacją w zakresie właściwości korozyjnych uzyskano w różny sposób, często nie poprzez zastosowanie odpowiednich procesów technologicznych, ale wyłącznie poprzez dodatek polarnych inhibitorów korozji, pasywujących powierzchnię miedzi i przez to nie dopuszczających do wystąpienia korozji (a zatem jedynie maskujących skutek – bez usunięcia przyczyny), lub tzw. *sulfide scavengers* – związków wiążących chemicznie siarkowodór i merkaptany (związki wytworzone w wyniku reakcji chemicznej oraz pozostałe, niezwiązane związki siarki nadal pozostają w paliwie LPG).

W warunkach magazynowania, zwłaszcza gdy brak jest odpowiednich procedur odwadniania zbiorników i cystern, mogą zachodzić zjawiska i reakcje chemiczne prowadzące do wzrostu oddziaływania korodującego LPG na miedź. Wyniki oznaczenia są nieodtworzalne pomimo prawidłowego poboru próbek i starannego wykonania oznaczenia. Brak odtwarzalności wyników oznaczenia może mieć charakter zarówno pogorszenia, jak i poprawy właściwości korodujących LPG, co ilustruje poniższy przykład:

Klient zlecił Instytutowi Nafty i Gazu pobranie i zbadanie próbki LPG, stwierdzając, że dostarczone mu paliwo

oddziałuje korozyjnie na miedź (klasa 3). Próbkę pobrano do pojemnika dwuzaworowego z wewnętrzną powłoką teflonową i wykonano oznaczenie w następnym dniu po wykonaniu poboru, uzyskując klasę korozji 1. Wobec wcześniejszej informacji od klienta, wynik uznano za mało prawdopodobny i oznaczenie powtórzono w tym samym dniu (z podejrzeniem błędu wykonawcy), w specjalnie kontrolowanych warunkach, uzyskując ponownie jako wynik klasę 1, wskazującą na spełnienie wymagań w zakresie właściwości korozyjnych próbki na miedzi. Po upływie tygodnia oznaczenie wykonano ponownie, tym razem uzyskując klasę korozji 3 (zgodną z oczekiwaniem), przy typowym zabarwieniu płytki miedzianej. Przeprowadzona analiza postępowania nie wykazała żadnych różnic w zastosowanej procedurze oznaczania („bombę” do oznaczania korozji każdorazowo ważono, w celu uniknięcia błędów w stopniu jej napełnienia). Dla potrzeb własnych, po upływie kolejnego miesiąca powtórzono badanie korozji niezależnie w dwu laboratoriach akredytowanych INiG, ponownie każdorazowo uzyskując wynik oznaczenia 1, czyli brak korozji. Jednocześnie, metodą chromatografii gazowej z detektorem chemiluminescencyjnym SCD, wykonano oznaczenie związków siarki w próbce. Chromatogram przedstawiono na rysunku 5. Stwierdzono obecność w próbce następujących merkaptanów:  $\text{CH}_3\text{SH}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7\text{SH}$  oraz  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{SH}$ .



Rys. 5. Chromatogram badanej próbki LPG 191. Piki o numerach 1-4 pochodzą od zastosowanych wzorców wewnętrznych

Próbka zatem zawierała związki, które powinny być – ale nie zostały – usunięte w procesie produkcji LPG, lub zostały wprowadzone w ogniach łańcucha dystrybucji. Nie stwierdzono obecności siarkowodoru ani maskujących go polarnych związków chemicznych. Pomimo że próbka spełniała wy-

magania w zakresie zawartości siarki, obecność wskazanych związków w pojemniku na próbkę prawdopodobnie wiąże się z przebiegiem reakcji chemicznych, najprawdopodob-

niej odwracalnych, których skutkiem jest zmiana charakteru chemicznego zanieczyszczeń i – co za tym idzie – zmiana w czasie oddziaływania korodującego próbki na miedź.

### Wnioski

Oznaczenie korodującego oddziaływania LPG na miedź jest trudniejsze niż w przypadku analogicznego badania ciekłych produktów naftowych. Na potencjalne błędy, które może popełnić wykonawca w toku badania metodą PN-EN 6251, nakłada się kwestia zmian chemicznych zachodzących w badanym paliwie w łańcuchu dystrybucji (a konkretnie w zakresie jego zanieczyszczeń chemicznych), mających znaczący wpływ na właściwości korozyjne na miedzi. Skutkiem niestabilności chemicznej próbki jest zmiana w czasie właściwości korozyjnych paliwa LPG. Skutkuje to zarówno różnicą w wynikach badań próbek pobranych jednocześnie, a wykonywanych przez różne laboratoria, jak i faktem, że paliwo na początku łańcucha dystrybucji spełnia wymagania, a na końcu nie.

Jak wynika z przedstawionych rozważań, sam wynik oznaczenia klasy korozji nie daje żadnych wskazówek co do przyczyn wystąpienia takiego zjawiska. Niezbędne jest wykonanie dodatkowych badań, wykraczających poza obowiązującą dla LPG europejską specyfikację, w zakresie

zarówno identyfikacji występujących w paliwie związków siarki (a nie jedynie ich ilościowego oznaczenia), jak również zawartości szeregu innych zanieczyszczeń chemicznych mających wpływ na wynik oznaczenia oddziaływania korodującego na miedź. Na szczęście, w coraz większym stopniu badania takie są wykonywane w różnych ogniwach łańcucha dystrybucji – tak, aby paliwo na stacjach paliwowych było dobrej jakości, bez względu na historię dostawy. Wdrożenie procedur mających na celu zarówno ochronę LPG przed wtórnym zanieczyszczeniem, jak i oczyszczanie LPG bezpośrednio w łańcuchu dystrybucji, gdy zanieczyszczenia unikać się nie da, zdecydowanie poprawiłoby sytuację w kwestii jakości paliwa LPG – nie tylko w stosunku do właściwości korozyjnych na miedzi. W tym zakresie w kraju jest jeszcze dużo do zrobienia. Można mieć jednak nadzieję, że – w miarę dokonywania się postępu technologicznego w całym łańcuchu dystrybucji paliwa LPG w kraju – problemy z oznaczaniem oddziaływania korozyjnego LPG na miedź za kilka lat znikną całkowicie.

Artykuł nadesłano do Redakcji 22.10.2009. Przyjęto do druku 29.10.2009.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodowski

### Literatura

- [1] Clark P.D., Lesage K.L.: Gas Producers Association Research Project No 982-2: *An Examination of Interfering Factors in the ASTM D-1838 Copper Strip Test*. ASRL 888-2005-2006, Alberta Sulphur research Ltd., c/o Department of Chemistry, The University of Calgary, Canada, March 2006, [www.propanecouncil.org](http://www.propanecouncil.org).
- [2] *Good Practices for the Care and Custody of Propane in the Supply Chain*. A Report from Energy and Environmental Analysis Inc., on OERC Docket 11352, First Edition, June 2005, Propane Council Education & Research.
- [3] *Guidelines for Good Business Practices in the LP Gas Industry*, World Gas Association, January 2008, [www.worldlpgas.com](http://www.worldlpgas.com).
- [4] Pyburn C.N., Cahill F.P., Lennox R.K.: *The Effect of Sulfur Corrosion Test in propane*. Proceedings of the Fifty-Seventh Annual Convention, Gas Producers Association, pp. 46-51.
- [5] Shearer R.L., Poole E.B., Nowak J.B.: *Application of Gas Chromatography and Flameless Sulfur Chemiluminescence Detection to the Analysis of Petroleum Products*. Journal of Chromatographic Science, vol. 31, p. 82-87, March 1993.



Dr inż. Beata ALTKORN – adiunkt, kierownik Zakładu Analiz Naftowych w INiG, autor wielu norm z zakresu badania produktów naftowych i biopaliw. Autor projektów badawczych, specjalista w zakresie uregulowań prawnych związanych z produktami naftowymi oraz autor ekspertyz z zakresu metod badań paliw silnikowych.