

Wiesław Górski  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## MMT – dodatek przeciwstukowy do benzyny silnikowej

### Podstawy prawne stosowania MMT

Dyrektywa Europejska [5] przewiduje możliwość stosowania trikarbonylku metylocyklopentadienylo manganu (MMT), jako dodatku przeciwstukowego do benzyny silnikowej. Zawartość MMT w paliwie jest ograniczona dyrektywą do 6 mg manganu na litr, od dnia 1 stycznia 2011 r. Od dnia 1 stycznia 2014 r. ograniczenie to będzie wynosiło 2 mg/litr. Jednocześnie dyrektywa przestrzega, że stosowanie dodatku „mogłoby zwiększyć ryzyko negatywnych konsekwencji dla zdrowia człowieka oraz mogłoby spowodować uszkodzenia silników pojazdów i urządzeń kontroli emisji”, a także „niektórzy producenci samochodów przestrzegają przed stosowaniem paliwa zawierającego dodatki metaliczne, ponieważ może to spowodować utratę ważności gwarancji na pojazd”.

Światowa Karta Paliw (W-WFC) [10] dla żadnej kategorii benzyny silnikowej nie przewiduje możliwości stosowania MMT, jako dodatku podwyższającego liczbę

oktanową, natomiast dopuszcza stosowanie dodatków metalicznych – w tym związków manganu – jako dodatków antyrecesyjnych do benzyny bezołowiowej kategorii 1, jednak tylko w przypadku pojazdów bez katalizatorów spalin.

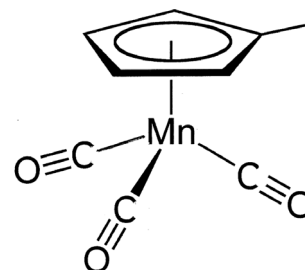
W Europie dodatek MMT jest stosowany w Grecji i Rumunii. W Polsce dotychczas nie był on stosowany, ale nie jest wykluczone, że na stacjach paliw lub w bakach pojazdów w przyszłości pojawią się importowane benzyny silnikowe zawierające MMT, bowiem stosowanie tego dodatku w składzie benzyny bezołowiowej pozwala na stosowanie korzystniejszego ekonomicznie składu komponentów węglowodorowych w procesie komponowania benzyny w rafineriach. Nie jest więc wykluczone, że niektórzy polscy producenci paliw zaczną również rozważać możliwość produkcji benzyny zawierającej MMT. Przyjrzyjmy się zatem właściwościom tej substancji i samej inicjatywie.

### Właściwości MMT jako związku chemicznego

Trikarbonek metylocyklopentadienylo manganu, często określany akronimem MMT, to organiczny, kompleksowy związek manganu, w którym atom manganu jest związany z trzema grupami karbonyłowymi i metylocyklopentadieniem o budowie semi-sandwiczowej, o wzorze sumarycznym  $C_5H_4CH_3Mn(CO)_3$  lub  $C_9H_7O_3Mn$  i budowie strukturalnej, jak pokazano na rysunku 1.

Jest to substancja ciekła w temperaturze powyżej 2°C, barwy od żółtej do pomarańczowej, o słabym, przyjemnym zapachu, mało reaktywna. Podstawowe właściwości MMT jako związku chemicznego, na podstawie danych literaturowych [2, 8] przedstawiono w tablicy 1.

MMT jest nierozpuszczalny w wodzie, rozpuszczalny w węglowodorach i wielu innych rozpuszczalnikach



Rys. 1. Wzór strukturalny MMT

organicznych, takich jak: alkohole, etery, aceton, glikol etylenowy, a także w benzynie, oleju napędowym i olejach smarowych.

Tablica 1. Podstawowe właściwości MMT [2, 8]

Parametry	Jednostki	Właściwości
Masa molowa		218,09
Gęstość w temperaturze 25°C	[g/ml]	1,38 1,39 [5]
Temperatura wrzenia	[°C]	232 233 [5]
Temperatura zapłonu	[°C]	96 110 [5]
Temperatura krzepnięcia	[°C]	-1 1,5 [5]
Współczynnik załamania światła $n_D^{20}$		1,584
Gęstość par względem powietrza		> 1
Prężność par:		
– w temperaturze 20°C	[mmHg]	0,05
– w temperaturze 100°C		8
– w temperaturze 200°C		360,6

### Zastosowanie MMT w składzie benzyny silnikowej

MMT, jako dodatek przeciwstukowy do benzyny silnikowej pod nazwą AK-33X, w miejsce tetraetyliku ołowiu (TEL) zaproponowali w 1958 Brown i Lovell [2], z Ethyl Corporation Ltd.

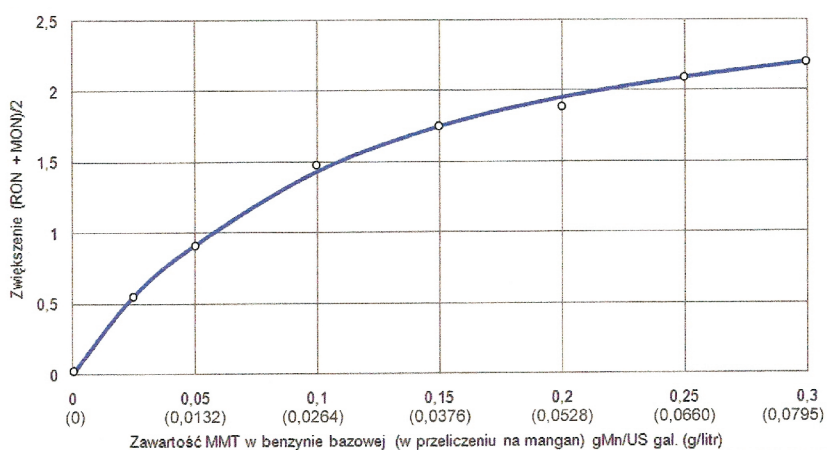
Mechanizm działania MMT jako dodatku przeciwstukowego badali Callear i Norrish [3]. Ustalili oni, że mechanizm ten jest analogiczny jak mechanizm obserwowany przy zastosowaniu innych lotnych antydetonatorów zawierających w cząsteczce związku atom metali, takich jak: Pb, Fe lub metaloidu (Si).

MMT jest stosowany w składzie benzyny bezołowiowej jako dodatek podwyższający odporność benzyny silnikowej na spalanie detonacyjne (podwyższający liczbę oktanową). Rysunek 2 ilustruje wpływ dodatku MMT

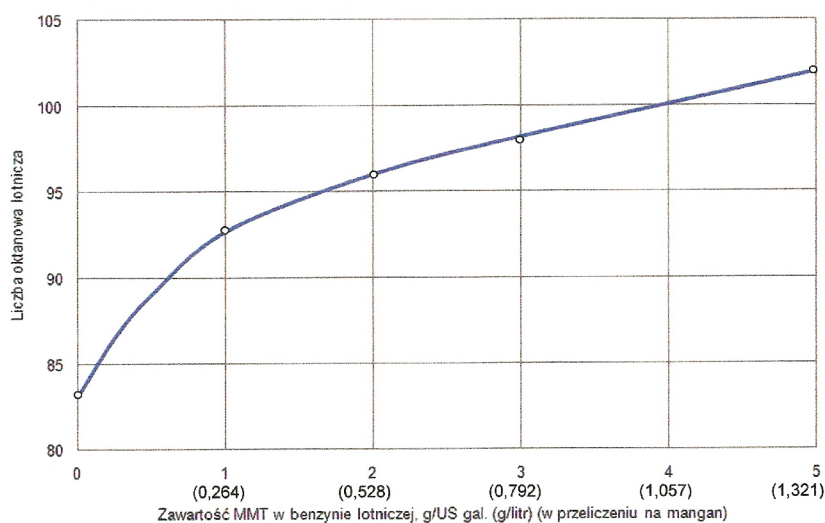
(w przeliczeniu na mangan) na liczbę oktanową benzyny bazowej  $(RON + MON)/2 = 86,7$ . Z rysunku wynika, że przebieg zmian jest analogiczny do zmian wywoływanych w przypadku stosowania tetraetyliku ołowiu (TEL).

Rozważano [7] również zastosowanie MMT jako dodatku poprawiającego odporność detonacyjną benzyny lotniczej (lotniczej liczby oktanowej i współczynnika wyczynowego). Stwierdzono, że dodatek MMT korzystnie wpływa na ten parametr, co zilustrowano rysunkiem 3. Również w tym przypadku przebieg zmian lotniczej liczby oktanowej w zależności od zawartości MMT w benzynie lotniczej (w przeliczeniu na zawartość manganu) jest analogiczny do wpływu tetraetyliku ołowiu. Potwierdza to sygnalizowany [3] fakt, że mechanizm wpływu dodatku zawierającego ołów i mangan na odporność detonacyjną benzyny jest analogiczny.

MMT był także zalecany [8] jako dodatek zapobiegający recesji gniazd zaworowych w starszych typach silników z zapłonem iskrowym (SI), dostosowanych do paliwa zawierającego związku ołowiu. Wcześniej był także stosowany w składzie paliw do turbinowych silników lotniczych, jako dodatek przeciwdziałający tworzeniu się smugi kondensacyjnej za samolotem odrzutowym podczas lotów na dużych wysokościach. MMT przypisuje się również ochronę katalizatorów i czujników tlenu w ukła-



Rys. 2. Wpływ dodatku MMT (w przeliczeniu na zawartość manganu) na zwiększenie liczby oktanowej benzyny bezołowiowej  $(RON + MON)/2$  [7]



Rys. 3. Wpływ zawartości MMT (w przeliczeniu na mangan) na współczynnik wyczynowy (PN) bazowej benzyny lotniczej

dzie wydechowym silników SI, co bywa kwestionowane [10]. MMT był także zalecany jako dodatek do olejów napędowych, zmniejszający emisję czarnych dymów z silników z zapłonem samoczynnym (CI).

W latach 1977–1998 w Stanach Zjednoczonych stosowanie MMT w składzie benzyny bezołowiowej było zakazane na podstawie *Clean Air Act* – do momentu, aż Ethyl Corporation udowodni, że dodatek ten nie prowadzi do nieprawidłowości działania systemów sterowania układów zasilania nowoczesnych pojazdów. Na podstawie uzyskanych, pozytywnych rezultatów badań własnych, Ethyl Corporation rozpoczął prawną bitwę z EPA (*Environmental Protection Agency*), której jednym z rezultatów jest dopuszczenie (z zastrzeżeniami) MMT do stosowania w USA, Kanadzie, Australii, a ostatnio także w Unii Europejskiej [5].

Krytyczne stanowisko w odniesieniu do celowości stosowania MMT w składzie benzyny silnikowej zostało zaprezentowane w Światowej Karcie Paliw (W-WFC) [10]. Sygnalizowane jest nieco mniejsze zużycie paliwa, przy

jednoczesnym zwiększeniu emisji niespalonych węglowodorów (HC), tlenku węgla (CO) oraz tlenków azotu (NO<sub>x</sub>). Zdjęciami – pochodzącymi z eksploatacji silników na benzynie zawierającej MMT w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie i Republice Południowej Afryki – udokumentowano tworzenie się osadów koloru kasztanowego, zawierających związki manganu (tlenki manganu). Osady te odkładają się na wewnętrznych powierzchniach silnika, świecach zapłonowych i czujnikach tlenu. Według W-WFC [10] osady z MMT gromadzą się także na katalizatorze. Przy dużej ilości odłożonych osadów na stronie czołowej katalizatora zaobserwowano zmniejszenie mocy pojazdu, zwiększenie

zużycia paliwa, a także pogorszenie działania układu kontroli emisji spalin.

Ryzyko zatykania katalizatora wydaje się niewielkie, ale problemem mogą być osady odkładające się na świecach zapłonowych i w komorze spalania. Odkładanie się osadów na świecach zapłonowych powoduje przerwy zapłonu, co przyczynia się do zwiększenia emisji niespalonych węglowodorów, zmniejszenia mocy silnika i zwiększenia zużycia paliwa.

Najważniejsi producenci samochodów informują, że nie zalecają stosowania MMT w składzie benzyny, oraz że jakakolwiek szkoda spowodowana przez MMT nie może być pokryta w ramach gwarancji.

W przypadku, gdy benzyna bezołowiowa zawiera MMT wymagane jest [4, 5], aby na urządzeniach dystrybucyjnych był napis informujący w języku narodowym:

„*Contains metallic additives*” – „Zawiera dodatki metaliczne”

Ma to przestrzec użytkowników przed niezamierzonym stosowaniem takiej benzyny.

### Technologie produkcji i producenci

Jak już wspomniano, MMT jako dodatek przeciwstukowy do benzyny zaproponowali Brown i Lovell [2]. Metody otrzymywania tego dodatku są opatentowane [7]. MMT może być otrzymywany według kilku technologii, np. przez reakcję mieszaniny octanu manganu i bis cyklopentadienylku manganu w mieszaninie z alkilkiem glinu (na przykład trietyloglinem) w obecności eteru etylowego, a następnie poddanie wytworzonej substancji reakcji z tlenkiem węgla(II), w temperaturze 65–175°C i przy ciśnieniu

300–1500 psig. Głównym producentem MMT jest Afton Chemical Corporation (Afton); wcześniej Ethyl Corporation. Dodatki zawierające MMT są oferowane na rynku w postaci czystego MMT lub w postaci jego roztworów we frakcji benzynowej, pod nazwami handlowymi:

- AK-33X,
- AK-33Xa [QR],
- Antiknock-33,
- Antiknock-33 [QR],

- CI-2 (*Combustion improver-2*),
  - CI-2 [QR] (*Combustion improver-2* [QR]).
- Ethyl Asia Pacific Company wprowadza na rynek dwa produkty zawierające MMT:
- HiTec 3000 – zawierający czysty MMT,
  - HiTec 3062 – zawierający 62% (*m/m*) MMT w mieszanym rozpuszczalniku aromatyczno-parafinowym.
- W Stanach Zjednoczonych oferowane są dwa analogiczne dodatki, produkowane przez T2 Laboratories Inc. pod nazwami:
- Ecotane 3000,
  - Ecotane 3062.
- Zawartość manganu w oferowanych dodatkach (według danych [9] firmy T2 Laboratories Inc.) podano w tabelicy 2.

Wynn's Australia Pty Ltd. wprowadza na rynek dwa produkty zawierające MMT:

- Spitfire Octane Boost,
  - Race Formula Octane Boost.
- Oba zawierają < 5% (*m/m*) MMT, rozpuszczonego we frakcji naftowej.
- Nulon Products Australia Pty Ltd. wprowadził na rynek trzy produkty zawierające MMT:
- Octane Boost & Clean – zawierający < 5% (*m/m*) MMT,
  - Total Fuel System Cleaner – zawierający < 5% (*m/m*) MMT,
  - Pro Strength Octane Booster – zawierający < 10% (*m/m*) MMT,
- wszystkie w destylacie z ropy naftowej.

Tablica 2. Zawartość manganu w handlowych dodatkach zawierających MMT [9]

T2 Laboratories	Odpowiednik Ethyl	Zawartość manganu			Gęstość w temp 20°C [kg/litr]
		[% ( <i>m/m</i> )]	[g/litr]	[g/kg]	
Ecotane 3000	HiTec 3000	24,4	337	244	1,38
Ecotane 3062	HiTec 3062	15,1	168	151	1,11

### Właściwości toksykologiczne i wpływ na środowisko

Mangan jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych metali w skorupie ziemskiej. Może przedostać się do organizmów żywych drogą pokarmową lub drogami oddechowymi. Obecność manganu w wodzie powierzchniowej i głębinowej oraz w glebie jest stosunkowo dobrze udokumentowana, a jako pył w powietrzu atmosferycznym mangan dotychczas był rejestrowany w kopalniach żelaza i innych metali.

Do organizmów żywych pierwiastek ten przedostaje się najczęściej poprzez wodę pitną. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) [12], stężenia rozpuszczonego manganu w wodach podziemnych i powierzchniowych, ubogich w tlen, mogą sięgać kilkunastu miligramów na litr. W przypadku kontaktu z tlenem mangan tworzy nierozpuszczalne tlenki, które w systemach wodociągowych mogą powodować powstawanie osadów i problemy z barwą wody. Dzielne dopuszczalne spożycie manganu przez osoby dorosłe przyjmuje się w granicach od 2 do 9 mg.

Mangan jest dla organizmu ludzkiego niezbędnym pierwiastkiem śladowym. Szacunkowe zapotrzebowanie dobowe manganu wynosi 30–50 µg/kg masy ciała. Szybkość jego przyswajania może się znacznie różnić w zależności od faktycznego spożycia, formy chemicznej i obecności w diecie innych metali, takich jak żelazo i miedź. U niemowląt i młodych zwierząt obserwuje się bardzo dużą szybkość absorbowania manganu.

Nie ma jednak przekonujących dowodów toksyczności związanej ze spożyciem manganu w wodzie do picia w odniesieniu do ludzi – dostępne są tylko ograniczone wyniki badań.

Spożycie manganu może być bardzo wysokie i może sięgać nawet 20 mg/dzień, bez oczywistych działań szkodliwych. Przy spożyciu 12 mg manganu na dzień osoba dorosła o wadze 60 kg otrzymuje dawkę 0,2 mg/kg masy ciała na dzień. Przy założeniu, że 20% spożycia przypada na wodę do picia i przy zastosowaniu współczynnika niepewności wynoszącego 3%, ze względu na możliwą zwiększoną dostępność manganu z wody dla organizmów, otrzymuje się wartość 0,4 mg/litr.

Badania na zwierzętach laboratoryjnych, którym podawano mangan w wodzie do picia, oraz u których obserwowano oddziaływanie neurotoksyczne i inne efekty toksyczne, potwierdzają pogląd, że oparta na względach zdrowotnych i tymczasowa zalecana wartość, wynosząca 0,5 mg/litr, powinna być wystarczająca dla ochrony zdrowia publicznego.

Objawy neurotoksycznego wpływu manganu zauważono u górników, po ich dłuższej ekspozycji na pyły zawierające mangan. Przewlekłe zatrucia manganem występują u osób zatrudnionych przy wydobywaniu, rozdrabnianiu, mieleniu i przesiewaniu rud manganu. Zagrożenia mają

miejsce również w hutnictwie, gdzie występują tlenki i pary, tworzące się w procesach hutniczych i odlewniczych.

Ograniczone badania prowadzono nad procesami kumulacji manganu w roślinach i grzybach, stwierdzając kumulację tego pierwiastka.

Poza szczególnymi przypadkami narażeń zawodowych, mangan i jego tlenki można uznać za substancje nieszkodliwe dla człowieka, organizmów żywych i roślin.

O ile wpływ manganu na zdrowie człowieka i środowisko jest przebadany dość dokładnie, to toksykologiczne właściwości MMT nie są tak dokładnie opisane. Podstawowe źródła informacji o właściwościach MMT podano w tabelicy 3.

Przeprowadzono wiele badań zmierzających do oceny wpływu MMT na środowisko i zdrowie człowieka. Według rezultatów większości z nich MMT nie wykazuje możliwości do zidentyfikowania ryzyka dla zdrowia. Według danych NIOSH [6], niebezpieczne dla życia i zdrowia (IDHL – *Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations*) stężenie MMT w powietrzu (w przeliczeniu na mangan) wynosi 500 mgMn/m<sup>3</sup>. Brak jednak danych dotyczących wpływu MMT na organizmy wodne.

### Metody oznaczania

Ponieważ Dyrektywa [5] pozwala na stosowanie MMT w składzie benzyny bezołowiowej, należy się spodziewać, że w najbliższym czasie Norma Europejska (EN 228) będzie znowelizowana i uwzględni zawartość MMT (manganu) w składzie benzyny bezołowiowej. Przewiduje się, że – stosownie do postanowień Dyrektywy [5] – norma EN 228 będzie zawierała następujące wymagania dotyczące zawartości manganu:

- od 2011-01-01 do 2013-12-31: nie więcej niż 6 mg/litr,
- od 2014-01-01: nie więcej niż 2 mg/litr.

Z tym wymaganiem jest związana potrzeba dysponowania metodą oznaczania zawartości MMT w benzynie bezołowiowej. Oznaczanie zawartości MMT, jako zdefiniowanego związku chemicznego, może być kłopotliwe i kosztowne. Z tego względu zawartość MMT w benzynie prawdopodobnie będzie oznaczana poprzez oznaczenie

Tablica 3. Dane identyfikacyjne i dane bezpieczeństwa MMT

Numer CAS	12108-13-3
Numer EC	235-166-5
Numer MDL	MFCD00001426
Numer substancji ID	24859093
Kod niebezpieczeństwa	T
Symbole narażeń	23/24/25 ... 40
Symbole bezpieczeństwa	23-26-36/37/39-45
RIDADR	UN 3281 6.1/PG-2
RTCS	OP1450000

Aktualnie MMT jest stosowany w niektórych krajach Europy (Rumunia i Grecja), Afryki, Azji (Indie, Chiny), Ameryki Południowej i Północnej, w tym również w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Australii i Nowej Zelandii – krajach znanych z surowego prawa ochrony środowiska i zdrowia ludzkiego. W ostatnich latach przemysł naftowy Indii wycofał się ze stosowania MMT, do czasu uzyskania jednoznacznego stanowiska co do jego wpływu na silnik i środowisko.

zawartości manganu, metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej (AAS – *Atomic Absorption Spectroscopy*) – opracowaną i opublikowaną przez Wright'a [11]. Aktualnie w USA stosowana jest znormalizowana metoda AAS według ASTM D 3831 [1]. Metoda ta jest rekomendowana przez W-WFC [10], a nad jej znormalizowaniem stosowne prace prowadzi także CEN/TC19.

Biorąc pod uwagę realną możliwość pojawienia się na polskim rynku benzyny zawierającej MMT, w celu jej odróżnienia od benzyny „bezmanganowej” konieczne jest opracowanie szybkiej, polowej metody stwierdzenia obecności manganu w benzynie. Opracowana metoda powinna zostać znormalizowana i wprowadzona do praktyki – zwłaszcza w przypadku baz magazynowych, gdzie w zbiornikach magazynowych mogą ulegać zmieszaniu benzyny zawierające MMT oraz benzyny „bezmanganowe”.

### Podsumowanie i wnioski

Lobbystyczne naciski na Parlament Europejski i Komisję Europejską doprowadziły do zapisów w prawie UE, zezwalających na stosowanie związków manganu w składzie bezołowiowej benzyny silnikowej. Co prawda, zezwolenia te są obostrzone pewnymi ograniczeniami:

koniecznością przeprowadzenia odpowiednich badań potwierdzających brak szkodliwości stosowania MMT: dla człowieka i środowiska, a także na parametry procesu spalania w silniku, ale nawet pozytywne rezultaty takich badań nie wyeliminują licznych wątpliwości, ze względu

na krótki okres ich prowadzenia. Przeprowadzenie badań eliminujących wątpliwości, co do wpływu manganu i MMT na człowieka i inne organizmy żywe, w długim przedziale czasowym, praktycznie nie jest możliwe.

Badania przeprowadzone przez producenta MMT (Aston) wykazały małą szkodliwość stosowania tego dodatku na zdrowie człowieka i środowisko, a także jego niewielki, negatywny wpływ na istotne elementy silnika i układu wydechowego. Ze względu na możliwość subiektywnej oceny rezultatów badań prowadzonych przez producenta MMT, Dyrektywa [5] słusznie nakazała przeprowadzenie wszechstronnych badań weryfikujących.

Biorąc pod uwagę stanowisko Unii Europejskiej, należy się spodziewać, że na rynku paliw silnikowych (także w Polsce) mogą pojawić się benzyny zawierające MMT. Nie są znane plany w tym zakresie głównych polskich producentów paliw silnikowych, ale biorąc pod uwagę wysokie koszty produkcji wysokooktanowych komponentów benzyny – istotnie wyższe niż koszty stosowania MMT – nie można wykluczyć krajowej produkcji benzyn tego typu.

W rozważaniach należy również mieć na względzie, że nie we wszystkich typach silników benzyny z zawartością manganu są formalnie dopuszczone do stosowania. Stosowanie benzyny zawierającej MMT może być podstawą

do utraty praw wynikających z gwarancji producentów pojazdów lub silników.

Polski przemysł naftowy wyeliminował ze składu benzyny silnikowej związek ołowiu. Odbyłoby to się przy pełnej aprobacie społeczeństwa, które poniosło bardzo duże koszty tej operacji. Nie wnikając w szczegóły, niewątpliwie działania te przyczyniły się do poprawy stanu zdrowia społeczeństwa i stanu środowiska. Biorąc pod uwagę liczne wątpliwości, kolejny sposób na poprawę właściwości przeciwstukowych benzyny może również okazać się kosztowny.

Do inicjatywy UE, dopuszczającej w składzie benzyny silnikowej obecność związku manganu, należy podejść z rezerwą – przynajmniej do czasu opublikowania wyników badań zalecanych Dyrektywą [5]. Do tego czasu na rynku polskim nie powinny się znaleźć benzyny silnikowe zawierające mangan, bowiem związki tego pierwiastka mogą okazać się (podobnie jak związki ołowiu) kolejną substancją zaśmiecającą środowisko.

Autor postuluje opracowanie i znormalizowanie szybkiej, polowej metody oznaczania obecności śladowych ilości manganu w benzynie silnikowej. Aktualne rozporządzenia Ministra Gospodarki nie pozwalają na obecność MMT w składzie benzyny silnikowej. Metoda polowa pozwoli na monitorowanie obecności MMT w ramach systemu kontroli jakości paliw.

Artykuł nadesłano do Redakcji 12.08.2009 r. Przyjęto do druku 18.12.2009 r.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

## Literatura

- [1] ASTM D 3831-01, *Standard Test Method for Manganese in Gasoline by Atomic Absorption Spectroscopy*.
- [2] Brown J.E., Lovell W.G.: *A New Manganese Antiknock*. Industrial & Engineering Chemistry, 50 (10), 1547-1550, 1958.
- [3] Callear A.B., Norrish R.G.W.: *The Behaviour of Additives in Explosions and the Mechanism of Antiknock*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 259, Issue 1998, pp. 304-324.
- [4] CEN/TC19/WD 019342 EN228:2XXX.
- [5] Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC.
- [6] NIOSH pocket guide to chemical hazards, 2005-149.
- [7] Patenty US nr: 2868700, 2868816, 2916505, 4139349, 4437436, 4946975, 5026885, 5281733.
- [8] Priority Existing Chemical Assessment Report No. 24 – Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT); National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (NICNAS); June 2003.
- [9] Prospekt informacyjny T2 Laboratories Inc. Jacksonville, FL, USA.
- [10] WorldWide Fuel Charter, Fourth Edition, September 2006.
- [11] Wright E.R.: *Detection of Combustion Improver-2 by Atomic Absorption Spectrophotometry*. Defense Technical Information Center (DTIC) serves the DoD, January 1973.
- [12] *Wtyczne WHO dotyczące jakości wody do picia*. Wydanie drugie, T. 1, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, nr 749, Warszawa 1998.



Dr inż. Wiesław GÓRSKI – pracownik Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie; przewodniczący Komitetu Technicznego 222 ds. Przetworów Naftowych i Cieczy Eksploatacyjnych Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.