Jacek RYCZYŃSKI, Jacek NARLOCH
Military University of Land Forces (Akademia Wojsk Lądowych)

SELECTED PROBLEMS OF LIQUID FUELS STORAGE IN ARMY

Wybrane problemy magazynowania paliw płynnych w wojsku

Abstract: *The assessment of the suitability of fuel delivered to fuel bases and forecasting the maximum time of safe storage in specific storage capacities is a key element of an efficiently functioning storage system. Paper presents the results of research of long-term stability of liquid fuels, which, according to the authors, is crucial in the process of refreshing and rotation of fuels stored as tactical reserves of the Armed Forces. In addition, an analysis of the impact of selected factors on the increase in the intensity of ageing mechanisms is presented.*

Keywords: liquid fuels, oxidation, ageing mechanisms, long-term storage

Streszczenie: *Ocena przydatności paliwa dostarczonego do baz paliwowych składów materiałowych i prognozowanie maksymalnego czasu bezpiecznego przechowywania w określonych pojemnościach magazynowych jest kluczowym elementem skutecznie funkcjonującego systemu magazynowego, zwłaszcza w siłach zbrojnych. W artykule przedstawiono wyniki badań stabilności długookresowej paliw płynnych, która zdaniem autorów jest kluczowa w procesie odświeżania i rotacji paliw przechowywanych jako rezerwy taktyczne Sił Zbrojnych RP. Ponadto, zaprezentowano analizę wpływu wybranych czynników na wzrost intensywności mechanizmów starzeniowych.*

Słowa kluczowe: paliwa płynne, oksydacja, mechanizmy starzeniowe, przechowywanie długookresowe

1. Introduction

Liquid fuels are a hydrocarbon mixture, additionally containing various types of components, changing or modifying their physicochemical properties. Long-term storage, use of biocomponents and other factors related to the technical conditions of the process itself, e.g. volume and storage method or atmospheric conditions, have a significant effect on changing the normative parameters of the fuel. This phenomenon is referred to as the ageing process of fuels. The conditions and methods for checking the ageing parameters are set by the relevant standards. The research on the suitability of fuels for use, due to the ageing process occurring in them, is based on standardized methods. Some quality parameters are examined using non-destructive methods (spectrometry), while others require the use of destructive tests of samples. Conducting ageing tests is a time-consuming process and requires that each time a sample is taken from stored fuels, and then conducting specialized analyses. In addition, fuels, which are compositions of many types of hydrocarbons and their oxygenated derivatives, can differ significantly from each other chemical composition (despite being included in the same groups), therefore, they are subject to ageing at different speeds. In connection with the above, proper organization of the quality supervision system during storage is one of the criteria that allows proper planning of the process itself.

2. The diesel ageing mechanism

The main fuel for powering internal combustion engines in motor vehicles and working machines in the Armed Forces of the Republic of Poland is diesel fuel, so this type of fuel will focus primary attention on the presented material.

Liquid fuels are obtained in processes of deep processing of crude oil fractions. As a result, fuel components with different contents of paraffins, olefins and aromas are obtained. The most reactive fuel components are alkenes and aromatic compounds. They easily undergo radical polymerization and oxidation.

Therefore, they have a decisive and direct impact on the properties of the fuel, and in particular its oxidative stability. Oxidation stability is one of the most important parameters determining the suitability of fuel for storage and storage. This is particularly important due to the need to maintain compulsory stocks of petroleum products, processes very characteristic of the army. Long-term storage causes the product to age, thus changing its physical and chemical parameters. The diesel oil oxidation mechanism was very precisely described in [1, 3] based on knowledge from the experiments conducted by Backstrom. The process of

autooxidation of fuel occurs as a result of a four-step cycle of chain reactions: initiation, propagation, forking of chains and extinction.

The mechanism is as follows [1, 2, 3]:

1) initiation:

2) propagation:

3) chain forking:

4) extinction:

The initiator of the entire reaction is oxygen from the air. Oxygen attacks the C-H bond of the hydrocarbon. The reaction generates free radicals that react with molecular oxygen to form a peroxy radical. The peroxide radical adds hydrogen, separating it from the molecule of another hydrocarbon. Then hydrogen peroxide and a hydrocarbon radical are formed which can react with the next oxygen molecule. The fork of the reaction chain accelerates the formation of free radicals according to the following scheme: three new ones are formed from each free radical, participating in the propagation process. The last stage of autooxidation of hydrogen is the process of extinction, sometimes referred to as the phase of completion of the reaction. As a result of recombination, free hydrogen radicals and peroxy radicals are inactivated. The products of the mentioned reactions include aldehydes, ketones, acids or alcohols that negatively affect the functional properties of diesel fuel and may undergo further transformation into multiparticulates in the form of resins and sediments [3].

3. Discussion of the obtained research results

The aim of the study was to determine the way of forecasting quality changes of diesel oil, by comparing the quality parameters of a product stored under normal

conditions and subjected to cyclical thermal inertia. The samples taken from the same batches were divided into two groups:

- a) first kept at ambient temperature and subjected to natural sunlight – *normal ageing*;
- b) the other was placed alternately (in weekly cycles) in a closed heat chamber, where the temperature was maintained at $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ for 7 hours a day – kept in the second week at ambient temperature and subjected to natural sunlight – *accelerated ageing*.

Fig. 1. Ageing methods of diesel fuel samples used for qualitative tests

The ageing process of fuel samples was forced by the influence of solar radiation, artificial thermal excitations and the presence of water at various amounts of air. The tested fuel samples were maintained (without replacing the mixture of fuel vapours and air) in glass bottles filled in 90% (analogy to the maximum permissible volume of liquid fuel tanks in which fuel reserves are stored in the army) and 50% (analogy to the average tank capacity, in which current stock is stored) volume for a fixed number of weekly cycles (15, 30 and 60). After the specified number of weekly cycles, the containers were opened and samples were taken for qualitative analysis of selected functional parameters. During the sampling within the glass containers, the air in the gas space was changed (fig. 1). The following qualitative parameters of fresh samples (in the initial state before the start of the ageing process) and after specific ageing cycles were subjected to the test:

1. density at 15°C – in accordance with the requirements of the PN-EN ISO 3675:2004 standard,
2. kinematic viscosity at 40°C – in accordance with the requirements of PN-EN ISO 3104:2004,
3. oxidation stability (sediment content) – in accordance with the requirements of PN-EN ISO 12205:2011,

4. cold filter plugging point CFPP – in accordance with the requirements of PN-EN 116:2001.

The obtained results of the study of changes in selected quality parameters of liquid fuels in ageing processes, carried out under different conditions, show that the fall in the value of normative parameters takes place more intensively in fuel samples subjected to cyclical thermal inertia (accelerated ageing). Violations of the binding quality standards were usually recorded at the end of the study period (after 60 weeks), although there were cases of exceeding the standards already in the middle of the ageing period (after 30 weeks – vapour pressure and the induction period of motor gasoline and the temperature of cold filter plugging point) (figs. 2-5).

Fig. 2. Changing CFPP of diesel samples with two different ageing methods

Fig. 3. Change of the oxidation stability of diesel samples with two different ageing methods

Fig. 4. Changing the kinematic viscosity at 40°C of diesel fuel samples with two different ageing methods

Fig. 5. Changing the density at 15°C of diesel samples with two different ageing methods

Detailed discussion of the results obtained during the research:

1. **Container completed in 90% of the volume** – with diesel oil ageing under normal conditions no violations of the applicable standards for the tested parameters were noticed, while such violations were revealed during the last test (after 60 weeks) under accelerated ageing. The diesel tested had the correct oxidation stability and the corresponding low temperature properties (cold filter plugging point - CFPP), while the quality standards for kinetic viscosity ($4.350 \text{ mm}^2/\text{s}$ at standard $4,000 \text{ mm}^2/\text{s}$) and density at 15°C were slightly exceeded ($848 \text{ kg}/\text{m}^3$ with the norm $845 \text{ kg}/\text{m}^3$).
2. **Container completed in 50% of the volume** - with diesel oil ageing both under normal conditions and under accelerated ageing there has been a violation of the existing standards during the last test, performed after 60 weeks. In normal ageing, slightly exceeded: CFPP (-29°C - normative: -30°C) and density at 15°C ($846 \text{ kg}/\text{m}^3$ at the norm $845 \text{ kg}/\text{m}^3$). Accelerated ageing: density at 15°C ($846 \text{ kg}/\text{m}^3$), sediment content ($26 \text{ g}/\text{m}^3$ - standard: $25 \text{ g}/\text{m}^3$) and kinetic viscosity ($4.210 \text{ mm}^2/\text{s}$). The remaining qualitative parameters tested met the applicable standards during all tests.

3. **Container completed in 90% of the volume + 1% of water volume** - one case of exceeding the valid quality standards was noted during the last normal ageing test (CFPP: -29°C) and three cases in accelerated ageing - only the kinematic viscosity value it was in the current standards. The revealed exceedances were small: CFPP (-29°C), density at 15°C (846 kg/m^3), sediment content (28 g/m^3). The remaining qualitative parameters tested met the applicable standards during all tests.
4. **Container completed in 50% of the volume + 1% of water volume** – violation of existing standards occurred after 30 weeks of ageing in the CFPP test (both ageing methods) and in determining resistance to oxidation of diesel oil (only accelerated ageing). During the study, after 60 weeks, an increased density value (normal ageing) and exceeded values (in relation to the applicable standards) of all quality parameters (accelerated ageing) were additionally noted. The values of exceedances were small and should not have a negative impact on the correct operation of vehicles.

Some of the tested liquid fuels maintained normative values of quality parameters even at the end of the research, regardless of the ageing method used. This proves that these fuels had a proper “reserve” of quality parameters tested at the stage of delivery from the economy to the army. In the case of parameters that showed deviations from the existing standards already in the middle of the research, it can be seen that it is very important to make a decision at the right time about the use of stored fuel (within inventories) for wear and tear, so-called inventory rotation. Studies have shown that this decision should be made no later than after 3/4 of the normative storage period specified in the "MPS Quality Data Sheets".

4. Summary

Mechanisms occurring during storage of liquid fuels form a complex system, and it is very difficult to create a single algorithm describing all model ageing processes during storage. The rate of oxidation depends on the physicochemical properties of the fuel, weather conditions and the presence of compounds that inhibit or activate oxidation. Therefore, it is necessary to continue research in this area. The main effort should be focused on the search for and identification of substances and compounds initiating oxidation processes of fuel and the development of effective methods of preventing ageing. The presented research results allow to bring closer the challenges faced by people dealing with the issues of operation of military equipment on a daily basis. Nowadays, the produced fuels contain, depending on the species, various types of additives. These compounds are

usually additional factors initiating or intensifying the ageing processes in the fuel, as a result of which the product becomes clouded, stratified, and settling sediments are formed on the bottom of storage tanks. These phenomena are extremely dangerous in the military conditions because the appropriate quality of liquid fuels affects the correctness of the operation of internal combustion engines, and hence decides directly about the success of the operation, and in extreme cases about the lives of soldiers on the battlefield.

5. References

1. Czarnocka J., Matuszewska A., Odziemkowska M.: Autoxidation of Fuels During Storage. In: *Storage Stability of Fuels*, ed. Krzysztof Biernat, 2015.
2. Czarnocka J., Odziemkowska M.: Assessments of changes selected properties. *CHEMIK*, 65, 6, 2011.
3. Czarnocka J., Odziemkowska M.: Diesel fuel degradation during storage process. *CHEMIK*, 69, 11, 2015.
4. Gray C., Webster G.: A Study of Dimethyl Ether (DME) as an Alternative Fuel for Diesel Engine Applications. Advanced Engine Technology Ltd. Report TP 13788E; Canada, 2001.
5. Maćkowski J.M.: Automotive fuels of the beginning of the 21st century (original in Polish), Katowice 2002.
6. Majoch A.: Monitoring the chemical stability of hydrocarbon oil mixtures during long-term storage (original in Polish). *Przemysł Chemiczny*, marzec 2009.
7. Pedersen C.J.: Mechanism of Antioxidant Action in Gasoline. *Ind. Eng. Chem.* 48(10), 1956.
8. PN-EN 590 Fuel for motor vehicles. Diesel. Requirements and test methods.
9. Ryczyński J.: Influence of storage conditions of liquid fuels on functional parameters in the processes of long-term storage. *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference ESREL 2015*.

WYBRANE PROBLEMY MAGAZYNOWANIA PALIW PŁYNNYCH W WOJSKU

1. Wprowadzenie

Paliwa płynne są mieszaniną węglowodorową, zawierającą dodatkowo różnego rodzaju składniki zmieniające lub modyfikujące ich właściwości fizykochemiczne. Przechowywanie długookresowe, stosowanie biokomponentów oraz inne czynniki związane z warunkami technicznymi samego procesu, np. objętość i sposób magazynowania czy też warunki atmosferyczne, wpływają istotnie na zmianę parametrów normatywnych paliwa. Zjawisko to określane jest jako proces starzenia się paliw. Warunki i sposoby kontroli parametrów starzeniowych określają odpowiednie normy. Badania przydatności paliw do użytku, ze względu na zachodzący w nich proces starzenia, przeprowadza się w oparciu o znormalizowane metody. Niektóre parametry jakościowe badane są z wykorzystaniem metod nieniszczących (spektrometria), a inne wymagają stosowania badań niszczących próbki. Prowadzenie badań starzeniowych jest procesem czasochłonnym i wymaga każdorazowo pobrania próbek z magazynowanych paliw, a następnie prowadzenia specjalistycznych analiz. Dodatkowo, paliwa będące kompozycjami wielu rodzajów węglowodorów i ich pochodnych tlenowych mogą różnić się od siebie znacząco składem chemicznym (pomimo zaliczania do tych samych grup), dlatego też podlegają starzeniu w różnym tempie. W związku z powyższym właściwa organizacja systemu nadzoru nad jakością podczas przechowywania jest jednym z kryteriów, które umożliwiają prawidłowe planowanie samego procesu.

2. Mechanizm starzenia oleju napędowego

Podstawowym paliwem do zasilania silników spalinowych w pojazdach mechanicznych i maszynach roboczych w Siłach Zbrojnych RP jest olej napędowy, dlatego też na tym rodzaju paliwa zostanie skupiona główna uwaga w prezentowanym materiale.

Paliwa płynne otrzymywane są w procesach głębokiego przetwarzania frakcji ropy naftowej. W efekcie uzyskiwane są składniki paliwa o różnej zawartości

parafin, olefin i aromatów. Najbardziej reaktywnymi składnikami paliw są alkeny i związki aromatyczne. Ulegają one łatwo polimeryzacji rodnikowej i utlenianiu, dlatego mają decydujący i bezpośredni wpływ na właściwości paliwa, a w szczególności na jego stabilność oksydacyjną. Stabilność oksydacyjna jest jednym z najważniejszych parametrów określających przydatność paliwa do przechowywania i magazynowania. Jest to szczególnie ważne z uwagi na potrzebę utrzymywania obowiązkowych zapasów produktów naftowych, procesów bardzo charakterystycznych dla wojska. Długotrwałe przechowywanie powoduje starzenie się produktu, a tym samym zmianę jego parametrów fizycznych i chemicznych. Mechanizm oksydacji oleju napędowego został bardzo precyzyjnie opisany w [1,3] w oparciu o wiedzę z eksperymentów prowadzonych przez Backstroma. Proces autoutleniania paliwa zachodzi w wyniku czteroetapowego cyklu reakcji łańcuchowych: inicjacji, propagacji, rozwidłania powstałych łańcuchów oraz gaśnięcia.

Mechanizm ten przebiega następująco [1,2,3]:

1) inicjacja:

2) propagacja:

3) rozwidlanie łańcucha:

4) gaśnięcie:

Inicjatorem całej reakcji jest tlen pochodzący z powietrza. Tlen atakuje wiązanie C-H węglowodoru. W wyniku reakcji powstają wolne rodniki, które reagują w dalszym ciągu z cząsteczkowym tlenem, tworząc rodnik nadtlenkowy. Rodnik nadtlenkowy dodaje wodór, oddzielając go od cząsteczki innego węglowodoru. Wtedy powstaje nadtlenek wodoru i rodnik węglowodorowy, które mogą reagować z następną cząsteczką tlenu. Rozwidlenie łańcucha reakcji przyspiesza tworzenie wolnych rodników według następującego schematu: z każdego wolnego rodnika powstają trzy nowe, uczestniczące w procesie propagacji. Ostatnim etapem autoutleniania wodoru jest proces gaśnięcia, określany czasami jako faza zakończenia reakcji. W wyniku rekombinacji wolne rodniki wodorowe i rodniki nadtlenkowe są dezaktywowane. Produkty wymienionych reakcji obejmują aldehydy, ketony, kwasy lub alkohole, które

negatywnie wpływają na właściwości funkcjonalne oleju napędowego i mogą ulegać dalszym przemianom w substancje wielocząstkowe w postaci żywic i osadów [3].

3. Dyskusja uzyskanych wyników badań

Celem badania była próba określenia sposobu prognozowania zmian jakościowych PE poprzez porównanie parametrów jakościowych oleju napędowego przechowywanego w warunkach normalnych i poddanego cyklicznym wymuszonom cieplnym. Pobrane z tych samych partii próbki zostały podzielone na dwie grupy:

- a) pierwszą utrzymywano w temperaturze otoczenia i poddawano działaniu naturalnego oświetlenia słonecznego – *starzenie normalne*,
- b) drugą umieszczano naprzemiennie (w cyklach tygodniowych) w zamkniętej komorze ciepła, w której utrzymywano temperaturę $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ przez 7 godzin dziennie – w drugim tygodniu utrzymywano w temperaturze otoczenia i poddawano działaniu naturalnego oświetlenia słonecznego – *starzenie przyspieszone*.

Rys. 1. Metody starzenia próbek oleju napędowego wykorzystywane do badań jakościowych

Proces starzenia próbek paliw wymuszany był poprzez oddziaływanie promieniowania słonecznego, sztucznych wymuszeń cieplnych oraz obecności wody przy różnej ilości powietrza. Badane próbki paliw utrzymywane były (bez wymiany mieszaniny par paliwa i powietrza) w szklanych butlach wypełnionych w 90% (analogia do maksymalnej dopuszczalnej objętości zbiorników paliw płynnych, w których przechowywane są zapasy paliw w wojsku) oraz 50% (analogia do średniej pojemności zbiorników, w których przechowywane są zapasy

użytku bieżącego) objętości przez ustaloną liczbę cykli tygodniowych (15, 30 i 60). Po upływie określonej liczby cykli tygodniowych pojemniki otwierano i pobierano próbki do analizy jakościowej wybranych parametrów funkcjonalnych. W czasie pobierania prób wewnątrz szklanych pojemników następowała wymiana powietrza w przestrzeni gazowej (rys. 1). Badaniu poddawano następujące parametry jakościowe próbek świeżych (w stanie wyjściowym przed rozpoczęciem procesu starzenia) i po określonych cyklach starzenia:

1. gęstość w temperaturze 15°C – zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3675:2004,
2. lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C – zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3104:2004,
3. odporność na utlenianie (zawartość osadów) – zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 12205:2011,
4. temperatura zablokowania zimnego filtra – zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 116:2001.

Uzyskane wyniki badań zmian wybranych parametrów jakościowych paliw płynnych w procesach starzenia prowadzonych w różnych warunkach pokazują, że spadek wartości parametrów normatywnych zachodzi intensywniej w próbkach paliw poddawanych cyklicznym wymuszeniom cieplnym (przyspieszone starzenie). Naruszenia obowiązujących norm jakościowych odnotowywano zazwyczaj na końcu okresu badań (po 60 tygodniach), chociaż zdarzały się przypadki przekraczania norm już w połowie okresu starzenia (po 30 tygodniach – prężność par i okres indukcyjny benzyn silnikowych oraz temperatura zablokowania zimnego filtra – TZZF) (rys. 2–5).

Rys. 2. Zmiana wartości TZZF próbek oleju napędowego przy dwóch różnych metodach starzenia

Rys. 3. Zmiana wartości stabilności oksydacyjnej próbek oleju napędowego przy dwóch różnych metodach starzenia

Rys. 4. Zmiana wartości lepkości kinematycznej w temperaturze 40°C próbek oleju napędowego przy dwóch różnych metodach starzenia

Rys. 5. Zmiana wartości gęstości w temperaturze 15°C próbek oleju napędowego przy dwóch różnych metodach starzenia

Szczegółowa dyskusja wyników uzyskanych w trakcie badań:

1. **Pojemnik wypełniony paliwem w 90% objętości** – przy starzeniu oleju napędowego w warunkach normalnych nie odnotowano naruszeń obowiązujących normatywów dla badanych parametrów, natomiast naruszenia takie ujawnione zostały w trakcie ostatniego badania (po 60

tygodniach) przy starzeniu przyspieszonym. Badany olej miał prawidłową odporność na utlenianie i odpowiednie właściwości niskotemperaturowe (TZZF), natomiast nieznacznie przekroczone zostały normy jakościowe dla lepkości kinetycznej ($4,350 \text{ mm}^2/\text{s}$ przy normatywie $4,000 \text{ mm}^2/\text{s}$) oraz gęstość w temp. 15°C ($848 \text{ kg}/\text{m}^3$ przy normie $845 \text{ kg}/\text{m}^3$).

2. **Pojemnik wypełniony paliwem w 50% objętości** – przy starzeniu oleju napędowego zarówno w warunkach normalnych, jak i przy starzeniu przyspieszonym doszło do naruszenia obowiązujących norm w trakcie ostatniego badania, wykonywanego po 60 tygodniach. Przy starzeniu normalnym nieznacznie przekroczone zostały: TZZF (-29°C – normatyw: -30°C) oraz gęstość w temp. 15°C ($846 \text{ kg}/\text{m}^3$ przy normie $845 \text{ kg}/\text{m}^3$). Przy starzeniu przyspieszonym: gęstość w temp. 15°C ($846 \text{ kg}/\text{m}^3$), zawartość osadów ($26 \text{ g}/\text{m}^3$ – norma: $25 \text{ g}/\text{m}^3$) oraz lepkość kinetyczna ($4,210 \text{ mm}^2/\text{s}$). Pozostałe badane parametry jakościowe spełniały obowiązujące normy w trakcie wszystkich badań.
3. **Pojemnik wypełniony paliwem w 90% objętości +1% objętości wody** – odnotowano jeden przypadek przekroczenia obowiązujących norm jakościowych w trakcie ostatniego badania przy starzeniu w warunkach normalnych (TZZF: -29°C) oraz trzy przypadki przy starzeniu przyspieszonym – tylko wartość lepkości kinematycznej mieściła się w obowiązujących normach. Ujawnione przekroczenia były niewielkie: TZZF (-29°C), gęstość w temp. 15°C ($846 \text{ kg}/\text{m}^3$), zawartość osadów ($28 \text{ g}/\text{m}^3$). Pozostałe badane parametry jakościowe spełniały obowiązujące normy w trakcie wszystkich badań.
4. **Pojemnik wypełniony paliwem w 50% objętości +1% objętości wody** – naruszenie obowiązujących norm nastąpiło już po 30 tygodniach starzenia przy badaniu TZZF (obie metody starzenia) oraz przy określaniu odporności na utlenianie oleju napędowego (tylko starzenie przyspieszone). W trakcie badania po 60 tygodniach dodatkowo odnotowano podwyższoną wartość gęstości (starzenie normalne) oraz przekroczone wartości (w stosunku do obowiązujących norm) wszystkich parametrów jakościowych (starzenie przyspieszone). Wartości przekroczeń były niewielkie i nie powinny mieć negatywnego wpływu na prawidłową eksploatację pojazdów.

Część badanych paliw płynnych utrzymywała normatywne wartości parametrów jakościowych nawet na końcu badań, niezależnie od przyjętego sposobu starzenia. Świadczy to o tym, że paliwa te posiadały odpowiedni „zapas” badanych parametrów jakościowych na etapie dostarczania z gospodarki do wojska. W przypadku parametrów, które wykazywały odchylenia od obowiązujących norm już w połowie badań widać, że bardzo istotną kwestią jest podjęcie w odpowiednim momencie decyzji o przeznaczeniu przechowywanego (w ramach zapasów) paliwa do zużycia eksploatacyjnego, tzw. rotacja zapasów. Badania wykazały, że decyzja

ta powinna być podjęta nie później niż po upływie 3/4 normatywnego okresu przechowywania, określonego w „Kartach jakościowych produktu MPS”.

4. Podsumowanie

Mechanizmy zachodzące podczas przechowywania paliw płynnych tworzą złożony system i bardzo utrudnione jest stworzenie jednego algorytmu opisującego wszystkie modelowe procesy starzenia podczas przechowywania. Szybkość utleniania zależy od właściwości fizykochemicznych paliwa, warunków pogodowych i obecności związków, które hamują lub aktywują utlenianie. Dlatego konieczne jest kontynuowanie badań w tym obszarze. Główny wysiłek należy skupić na poszukiwaniu i identyfikacji substancji i związków inicjujących procesy utleniania paliwa oraz opracowaniu skutecznych metod zapobiegania starzeniu. Przedstawione rezultaty badań pozwalają przybliżyć wyzwania, przed jakimi stoją osoby zajmujące się na co dzień problematyką eksploatacyjną sprzętu wojskowego. Współcześnie produkowane paliwa zawierają, zależnie od gatunku, różnego rodzaju dodatki. Związki te są zwykle dodatkowymi czynnikami inicjującymi bądź nasilającymi przebiegające w paliwie procesy starzenia, w wyniku których produkt ulega zmętnieniu, rozwarstwieniu i tworzą się osady sedymentujące na dno zbiorników magazynowych. Są to zjawiska wyjątkowo niebezpieczne w przypadku wojska, gdyż odpowiednia jakość paliw płynnych wpływa na poprawność pracy silników spalinowych, a co za tym idzie, decyduje w sposób bezpośredni o sukcesie prowadzonej operacji, a w skrajnych przypadkach o życiu żołnierzy na polu walki.

5. Literatura

1. Czarnocka J., Matuszewska A., Odziemkowska M.: Autoxidation of Fuels During Storage. W: Storage Stability of Fuels, red. Krzysztof Biernat, 2015.
2. Czarnocka J., Odziemkowska M.: Assessments of changes selected properties. CHEMIK, 65, 6, 2011.
3. Czarnocka J., Odziemkowska M.: Diesel fuel degradation during storage process. CHEMIK, 69, 11, 2015.
4. Gray C., Webster G.: A Study of Dimethyl Ether (DME) as an Alternative Fuel for Diesel Engine Applications. Advanced Engine Technology Ltd. Report TP 13788E; Canada, 2001.
5. Maćkowski J.M.: Automotive fuels of the beginning of the 21st century (in Polish). Wyd. Centrum Badawczo-Szkoleniowe Diagnostyki Pojazdów Samochodowych, Katowice 2002.

6. Majoch A.: Monitoring the chemical stability of hydrocarbon oil mixtures during long-term storage (in Polish). *Przemysł Chemiczny*, marzec 2009.
7. Pedersen C.J.: Mechanism of Antioxidant Action in Gasoline. *Ind. Eng. Chem.* 48(10), 1956.
8. PN-EN 590 Fuel for motor vehicles. Diesel. Requirements and test methods.
9. Ryczyński J.: Influence of storage conditions of liquid fuels on functional parameters in the processes of long-term storage. *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference ESREL 2015*.