



Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii
Zakład Chemii

Laboratorium paliw, olejów i smarów

Ćwiczenie laboratoryjne

**Pomiar gęstości
oraz wyznaczanie temperaturowego współczynnika gęstości
produktów naftowych**

Opracowali:
dr inż. Jan Krupowies
mgr inż. Czesław Wiznerowicz
dr inż. Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak
dr inż. Konrad Ćwirko
dr Magdalena Ślęczka-Wilk

KIEROWNIK
Zakładu Chemii
Kalbarczyk-Jedynak
dr inż. Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak

Szczecin 2022

KARTA ĆWICZENIA

1	Powiązanie z przedmiotami: ESO/25, 27 DiRMiUO/25, 27 EOUnIE/25, 27		
	Specjalność/Przedmiot	Efekty kształcenia dla przedmiotu	Szczegółowe efekty kształcenia dla przedmiotu
	ESO/26 Chemia wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016.	SEKP12 – Wykonywanie oznaczeń wybranych wskaźników jakości produktów naftowych;
	DiRMiUO/26 Chemia wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016.	SEKP12 – Wykonywanie oznaczeń wybranych wskaźników jakości produktów naftowych;
	EOUnIE/26 Chemia wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016.	SEKP12 – Wykonywanie oznaczeń wybranych wskaźników jakości produktów naftowych;
2	Cel ćwiczenia: nauczenie studenta samodzielnego wykonywania pomiaru gęstości oraz wyznaczania temperaturowego współczynnika gęstości dla produktów naftowych, przeliczania gęstości z danej temperatury na temperaturę żadaną z wykorzystaniem współczynnika temperaturowego gęstości oraz za pomocą normatywnych tabel przeliczeniowych gęstości;		
3	Wymagania wstępne: student jest przeszkolony w zakresie regulaminu BHP na stanowisku laboratoryjnym, co stwierdza własnoręcznym podpisem na odpowiednim formularzu, zna – rodzaje i jednostki gęstości, metody pomiaru, znaczenie eksploatacyjne parametru, zależność gęstości od temperatury;		
4	Opis stanowiska laboratoryjnego: ultratermostat, zestaw areometrów, termometr, specjalny cylinder stosowany przy pomiarach gęstości, stanowisko do mycia szkła laboratoryjnego benzyną ekstrakcyjną, próbki produktów naftowych;		
5	Ocena ryzyka*: kontakt z benzyną ekstrakcyjną stosowaną do mycia przyrządów pomiarowych i szkła laboratoryjnego – prawdopodobieństwo powstania zagrożenia pożarowego w związku z obecnością pary benzyny łatwopalnej – zagrożenie bardzo małe ze względu na sprawnie działającą wentylację i małe stężenie lotnych par benzyny. Końcowa ocena – ZAGROŻENIE MAŁE Wymagane środki zabezpieczenia: <ol style="list-style-type: none"> a. fartuchy ochronne, b. środki czystości BHP, czyściwo, ręczniki papierowe, c. pojemnik na odpady produktów naftowych (do utylizacji), d. pojemnik na zlewki brudnej benzyny (do regeneracji); 		
6	Przebieg ćwiczenia: <ol style="list-style-type: none"> a. Zapoznać się z instrukcją stanowiskową (załącznik 1) oraz zestawem laboratoryjnym do ćwiczenia, b. Wykonać pomiary gęstości produktu naftowego w temperaturze otoczenia oraz przeprowadzić dodatkowo 6 kolejnych pomiarów gęstości po każdorazowym podwyższeniu temperatury badanego produktu w ultratermostacie o 3°C; 		
7	Sprawozdanie z ćwiczenia: <ol style="list-style-type: none"> a. Opracować ćwiczenie zgodnie z poleceniami zawartymi w instrukcji stanowiskowej, 		

	<p>b. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów gęstości w temperaturach najniższej i najwyższej, obliczyć temperaturowy współczynnik gęstości α,</p> <p>c. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów oznaczonej gęstości w różnych temperaturach sporządzić wykres zależności gęstości od temperatury, stosując w tym celu aproksymację liniową;</p>
8	<p>Archiwizacja wyników badań: Sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia złożyć w formie pisemnej prowadzącemu zajęcia.</p>
9	<p>Metoda i kryteria oceny:</p> <p>a. EKP1, EKP2 – zadania polecane do samodzielnego rozwiązania i opracowania: ocena 2,0 – nie ma podstawowej wiedzy fizykochemicznej i eksploatacyjnej dotyczącej gęstości produktów naftowych oraz umiejętności rozwiązywania zadań prostych z tego zakresu; ocena 3,0 – posiada podstawową wiedzę fizykochemiczną i eksploatacyjną dotyczącą gęstości produktów naftowych oraz umiejętność obliczeń i rozwiązywania zadań prostych z tego zakresu; ocena 3,5-4,0 – posiada poszerzoną wiedzę fizykochemiczną i eksploatacyjną dotyczącą oznaczanego parametru użytkowego badanych produktów naftowych oraz umiejętność rozwiązywania zadań złożonych z tego zakresu; ocena 4,5-5,0 – posiada umiejętność stosowania złożonej wiedzy fizykochemicznej i eksploatacyjnej do cząstkowej oceny jakości i przydatności eksploatacyjnej badanych produktów naftowych ze względu na oznaczany parametr użytkowy oraz umiejętność podejmowania na tej podstawie decyzji eksploatacyjnych.</p> <p>b. EKP3 – prace kontrolne: ocena 2,0 – nie ma umiejętności analizy i oceny wyników wykonanych analiz i oznaczeń oraz wyciągania wniosków; ocena 3,0 – posiada umiejętność analizy uzyskanych wyników, interpretacji praw i zjawisk, przekształcania wzorów, interpretacji wykresów i tablic; ocena 3,5-4,0 – posiada umiejętność poszerzonej analizy wyników, stosowania praw, konstruowania monogramów i wykresów; ocena 4,5-5,0 – posiada umiejętność kompleksowej analizy uzyskanych wyników, dokonywania uogólnień, wykrywania związków przyczynowo-skutkowych oraz podejmowania właściwych decyzji eksploatacyjnych.</p>
10	<p>Literatura:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Krupowies J., Wiznerowicz Cz.: Pomiar gęstości oraz wyznaczenie temperaturowego współczynnika gęstości produktów naftowych. Instrukcja stanowiskowa do ćwiczenia, AM, Szczecin 2013. 2. Barcewicz K.: Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody, paliw i smarów. Wyd. AM w Gdyni, Gdynia 2006. 3. Podniało A.: Paliwa oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. WNT, Warszawa 2002. 4. Przemysłowe środki smarne. Poradnik. TOTAL Polska Sp. z o.o., Warszawa 2003. 5. Urbański P.: Paliwa i smary. Wyd. FRWSzM w Gdyni, Gdańsk 1999. 6. Normy PN/EN/ISO dotyczące badania produktów naftowych. 7. Katalogi produktów naftowych firm olejowych. 8. Dudek A.: Oleje smarowe Rafinerii Gdańskiej. „MET-PRESS”, Gdańsk 1997. 9. Baczewski K., Biernat K., Machel M.: Samochodowe paliwa, oleje i smary. Leksykon, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1993. 10. Herdzik J.: Poradnik motorzysty okrętowego. Wydawnictwo TRADEMAR, Gdynia 1995.
10	Uwagi

ZAŁĄCZNIK 1 – INSTRUKCJA

1. ZAKRES ĆWICZENIA

- zapoznanie się z instrukcją stanowiskową do ćwiczenia,
- samodzielny pomiar gęstości próbek oleju smarowego w różnych temperaturach,
- sporządzenie wykresu zależności gęstości od temperatury na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz wyznaczenie temperaturowego współczynnika gęstości,
- obliczanie, jaką objętość paliwa lub oleju należy przyjąć na statek, jeżeli wiadomo jaka jest jego gęstość w temp. standardowej oraz wiadomo, w jakiej temperaturze następuje podawanie na statek.

2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE DO ĆWICZENIA

2.1. Zasada oznaczania gęstości

Jedną z charakterystycznych cech ropy naftowej i jej produktów jest gęstość. W praktyce oznacza się zwykle gęstość względną $d_{t_1}^{t_2}$:

$$d_{t_1}^{t_2} = \frac{\rho_{t_2}}{\rho_{t_1}}$$

gdzie:

ρ_{t_2} – gęstość badanego produktu w temperaturze t_2 [g/cm³],

ρ_{t_1} – gęstość wody destylowanej w temperaturze t_1 [g/cm³].

Jako temperatury odniesienia najczęściej stosowane są:

$t_2 = 15^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}, 60^\circ\text{F};$

$t_1 = 4^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}, 60^\circ\text{F}; \quad (60^\circ\text{F} = 15,6^\circ\text{C})$

Przy czym gęstość d_4^{15} i d_4^{20} równa jest liczbowo gęstości (masy właściwej) [g/cm³].

Uwaga!

W krajach anglosaskich firmy naftowe nadal często posługują się skalą termometryczną Fahrenheita.

Przyjmuje się, że: $d_{15}^{15} \cong d_{60^\circ\text{F}}^{60^\circ\text{F}}$:

$$d_4^{15} = 0,99915 d_{15}^{15}$$

W uproszczeniu często określa się:

$$d_4^{20} \approx d_4^{15} \approx d_{15}^{15} \approx d_{60^\circ\text{F}}^{60^\circ\text{F}}$$

Światowe firmy naftowe często posługują się oznaczeniem gęstości w umownych, bezwymiarowych jednostkach tzw. °API (*American Petroleum Institute*).
Przeliczenia na °API można dokonać, posługując się następującym wzorem:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{d_{60^{\circ}\text{F}}^{60^{\circ}\text{F}}} - 131,5$$

Produkty naftowe charakteryzują się dużą zmianą gęstości z równoczesną zmianą temperatury, co ma istotne znaczenie praktyczne. Dla większości produktów naftowych z dostateczną dokładnością można przyjąć, że zależność ta jest funkcją liniową wyrażoną równaniem:

$$\rho_4^{t_1} = \rho_4^{t_0} - \alpha(t_1 - t_0)$$

gdzie:

$\rho_4^{t_1}$ – gęstość produktu naftowego w temperaturze t_1 [g/cm^3],

$\rho_4^{t_0}$ – gęstość produktu naftowego w temperaturze t_0 [g/cm^3],

α – współczynnik temperaturowy gęstości [$\text{g}/\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$] (wartość o jaką zmienia się gęstość jeżeli temperatura zmienia się o 1°C).

UWAGA !

Ponieważ gęstość wody destylowanej w temp. 4°C wynosi $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, dlatego $\rho_4^{t_1}$ i $\rho_4^{t_0}$ równe są liczbowo gęstości bezwzględnej danego produktu naftowego.

W tabeli 1 podano wartości współczynnika temperaturowego gęstości w zależności od gęstości.

Tabela 1

Wartości średniego współczynnika temperaturowego gęstości

Zakres gęstości ρ [g/cm^3]	Wartości współczynnika temperaturowego gęstości α [$\text{g}/\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$]	Zakres gęstości ρ [g/cm^3]	Wartości współczynnika temperaturowego gęstości α [$\text{g}/\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$]
0,6900÷0,6999	0,000910	0,8500÷0,8599	0,000699
0,7000÷0,7099	0,000897	0,8600÷0,8699	0,000686
0,7100÷0,7199	0,000884	0,8700÷0,8799	0,000673
0,7200÷0,7299	0,000870	0,8800÷0,8899	0,000660
0,7300÷0,7399	0,000857	0,8900÷0,8999	0,000647
0,7400÷0,7499	0,000844	0,9000÷0,9099	0,000633
0,7500÷0,7599	0,000831	0,9100÷0,9199	0,000620
0,7600÷0,7699	0,000818	0,9200÷0,9299	0,000607
0,7700÷0,7799	0,000805	0,9300÷0,9399	0,000594
0,7800÷0,7899	0,000792	0,9400÷0,9499	0,000581
0,7900÷0,7999	0,000778	0,9500÷0,9599	0,000567
0,8000÷0,8099	0,000765	0,9600÷0,9699	0,000554
0,8100÷0,8199	0,000752	0,9700÷0,9799	0,000541
0,8200÷0,8299	0,000738	0,9800÷0,9899	0,000528
0,8300÷0,8399	0,000725	0,9900÷1,0000	0,000515
0,8400÷0,8499	0,000712		

Gęstość można określić kilkoma metodami. Wybór metody zależy od ilości produktu naftowego, jego lepkości, wymaganej dokładności oznaczenia i czasu przeznaczonych na analizę.

Najprostszym przyrządem do oznaczania gęstości ciekłych produktów naftowych jest areometr, który cechuje się według gęstości wody destylowanej w temperaturze 4°C, a więc jego wskazania odpowiadają zapisowi d_4^t . Za pomocą areometru można oznaczyć gęstość tylko z dokładnością do 0,001 g/cm³, dla produktów o małej lepkości i z dokładnością do 0,005 g/cm³ – dla produktów o dużej lepkości. W celu oznaczenia gęstości produktu naftowego o dużej lepkości (ponad 200 mm²/s w temperaturze 50°C) należy stosować metodę rozcieńczeń naftą.

Dla małych ilości produktu naftowego (kropli) lub dla substancji (smarów, parafin, asfaltów) można stosować metodę wyrównywania gęstości lub metodę kropli zawieszonych (metoda eksploatacyjna – przybliżona). Jednak najdokładniejsze wyniki uzyskuje się przy oznaczaniu gęstości piknometrem (do 0,00005 g/cm³). W zależności od stanu skupienia produktu naftowego, jego ilości i wymaganej dokładności ważenia, stosuje się piknometry o różnych kształtach i różnej pojemności.

Najczęściej stosowane typy wyżej omówionych przyrządów pokazano na rysunkach nr 1 i 2, w dalszej części instrukcji do ćwiczenia.

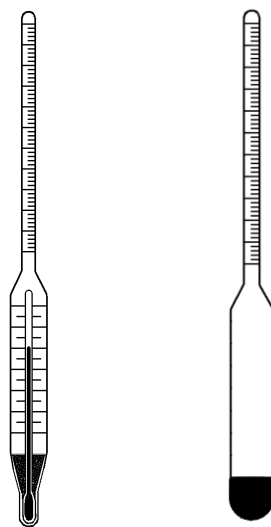
2.2. Oznaczanie gęstości termoareometrem

Gęstość produktów naftowych o lepkości nie przekraczającej 200 mm²/s, wykonuje się za pomocą termoareometru lub areometru (rys. 1) w sposób następujący:

Do cylindra miarowego o pojemności 250 cm³ wlać około 170 cm³ próbki badanej. Ostrożnie zanurzyć areometr o takim zakresie, aby spodziewana wartość przypadła w środku skali przyrządu i po ustaleniu jego położenia odczytać (w jednakowych odstępach czasu, np. po 2, 4, 6 minutach) z podziałki przyrządu (według górnego menisku) gęstość oraz temperaturę w przypadku korzystania z areometru temperaturę należy zmierzyć termometrem.

W przypadku oznaczenia gęstości olejów przepracowanych lub ciemnych, przy odczytywaniu temperatury należy termoareometr nieco unieść tak, aby podziałka termometru była widoczna, a zbiorniczek rtęci pozostawał zanurzony w badanym produkcie lub użyć osobnego termometru.

Wykonać trzy pomiary w danej temperaturze.



Rys. 1. Termoareometr i areometr

Opracowanie wyników

Obliczyć wartość średnią gęstości z otrzymanych pomiarów.

2.3. Oznaczanie gęstości produktów naftowych metodą kropli zawieszanej

Do zlewki o pojemności 300 cm³ wlać 200 cm³ cieczy o gęstości $\rho < 1,0\text{g/cm}^3$ (np.: alkohol izopropylowy) i dodać kroplę badanego oleju.

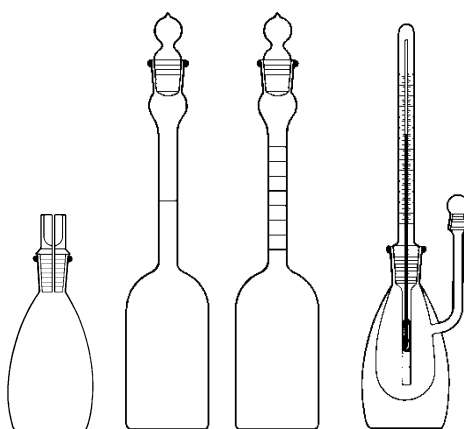
W przypadku oznaczania gęstości smaru stałego wykonać z niego kulkę o jak najmniejszej średnicy i umieścić w zlewce. Następnie dodawać z pipety do zlewki roztwór chlorku sodu w takiej ilości, aby badana próbka zawisła w cieczy. W takim przypadku gęstość produktu naftowego jest równa gęstości roztworu, którą należy oznaczyć areometrem. W tym celu przelać zawartość zlewki do cylindra miarowego o pojemności 250 cm³, wstawić areometr i trzykrotnie dokonać pomiaru gęstości.

Opracowanie wyników

Obliczyć średnią wartość gęstości z otrzymanych pomiarów.

2.4. Oznaczanie gęstości produktów naftowych za pomocą piknometru

W razie potrzeby, próbkę produktu naftowego odwodnić przed zasadniczym oznaczaniem, przez dodanie bezwodnego siarczanu(VI) sodu i przesączyć przez bibułę filtracyjną. Jeżeli badany produkt naftowy jest w postaci stałej, należy go rozdrobnić przed wykonaniem oznaczenia. Czysty wysuszony piknometr (rys. 2) o znanej stałej, napełnić ostrożnie za pomocą pipety badanym produktem naftowym o temperaturze $20 \pm 5^\circ\text{C}$. W przypadku piknometru z kreską (rys. 2) – napełnić go nieco powyżej kreski, a w przypadku piknometru z otworem włoskowatym – całkowicie. Piknometr zamknąć korkiem, umieścić w termostacie i w ciągu 30 minut utrzymywać w temp. 20°C . Po upływie tego czasu wyjąć piknometr z termostatu i w pierwszym przypadku usunąć za pomocą pipety nadmiar cieczy, a w drugim (piknometr z otworem włoskowatym) nadmiar próbki wypłynie samoczynnie, wtedy szybko wytrzeć piknometr i zważyć na wadze analitycznej. Pomiar powtórzyć trzykrotnie. Pominąć wyniki, które różnią się między sobą o więcej niż $0,0004\text{ g/cm}^3$.



Rys. 2. Piknometry

Opracowanie wyników

Obliczyć przybliżoną wartość gęstości badanej próbki w temperaturze 20°C z zależności:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{k}$$

gdzie:

- ρ – przybliżona gęstość badanej próbki [g/cm³],
- k – stała piknometru [cm³] (wielkość tę podaje prowadzący ćwiczenia),
- m_1 – masa pustego piknometru [g],
- m_2 – masa piknometru z badaną próbką [g].

Wartość obliczona z równania, jest przybliżona z uwagi na to, że pomiaru dokonano w powietrzu, a nie w próżni. Dodatkowo stałą piknometru wyznaczono względem wody destylowanej w temperaturze 20°C, a gęstość oblicza się w stosunku do gęstości wody w temperaturze 4°C:

$$\rho_4^t = \rho + R$$

gdzie:

- ρ_4^t – gęstość badanej próbki w temperaturze t°C [g/cm³],
- ρ – przybliżona gęstość wyznaczona z równania [g/cm³],
- R – poprawka odczytana z tabeli 2 [g/cm³].

Tabela 2

Poprawki do wyznaczania wartości gęstości ρ_4^{20}

Przybliżona wartość gęstości ρ [g/cm ³]	Poprawka R [g/cm ³]	Przybliżona wartość gęstości ρ [g/cm ³]	Poprawka R [g/cm ³]
0,6900÷0,6999	- 0,0009	0,8500÷0,8599	- 0,0013
0,7000÷0,7099	- 0,0009	0,8600÷0,8699	- 0,0014
0,7100÷0,7199	- 0,0009	0,8700÷0,8799	- 0,0014
0,7200÷0,7299	- 0,0010	0,8800÷0,8899	- 0,0014
0,7300÷0,7399	- 0,0010	0,8900÷0,8999	- 0,0015
0,7400÷0,7499	- 0,0010	0,9000÷0,9099	- 0,0015
0,7500÷0,7599	- 0,0010	0,9100÷0,9199	- 0,0015
0,7600÷0,7699	- 0,0011	0,9200÷0,9299	- 0,0015
0,7700÷0,7799	- 0,0011	0,9300÷0,9399	- 0,0016
0,7800÷0,7899	- 0,0011	0,9400÷0,9499	- 0,0016
0,7900÷0,7999	- 0,0012	0,9500÷0,9599	- 0,0016
0,8000÷0,8099	- 0,0012	0,9600÷0,9699	- 0,0017
0,8100÷0,8199	- 0,0012	0,9700÷0,9799	- 0,0017
0,8200÷0,8299	- 0,0013	0,9800÷0,9899	- 0,0017
0,8300÷0,8399	- 0,0013	0,9900÷0,9999	- 0,0018
0,8400÷0,8499	- 0,0013	1,0000	- 0,0018

3. WYKONANIE ĆWICZENIA

Wykonać pomiar gęstości wg punktu 3.2 niniejszej instrukcji, a następnie cylinder z olejem i areometrem oraz termometrem umieścić w termostacie. Włączyć termostat i dokonać, tą samą metodą, kolejnych 5 pomiarów gęstości, co 3 – 4 °C przyrostu temperatury.

4. OPRACOWANIE ĆWICZENIA

1. Przedstawić na wykresie zależność gęstości od temperatury.
2. Z pomiarów w skrajnych temperaturach (najniższej i najwyższej), obliczyć temperaturowy współczynnik gęstości (α).
3. Porównać otrzymaną wartość α z tabelaryczną.
4. Obliczyć różnicę w objętości, jaką zajmie 1000 kg oleju w temperaturze 15°C i w temperaturze 50°C.

5. FORMA I WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

1. zaliczenie tzw. „wejściówki” przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia.
2. złożenie poprawnego sprawozdania pisemnego z wykonanego ćwiczenia, które powinno zawierać:
 - krótki wstęp teoretyczny,
 - znaczenie eksploatacyjne mierzonego parametru,
 - opracowanie uzyskanych wyników wg instrukcji stanowiskowej.
3. zaliczenie końcowe na kolokwium pod koniec semestru.

I. Przykład zadania z rozwiązaniem

Na statek dostarczono 1 000 t paliwa ciężkiego o gęstości $\rho^{15} = 992 \text{ kg/m}^3$ w temp 15°C . Obliczyć, jaką objętość zajmie paliwo w temperaturze standardowej 15°C oraz ile m^3 należy przyjąć tego paliwa na statek, wiedząc, że bunkrowanie odbywa się w temperaturze 60°C . Obliczyć także straty finansowe wynikające z nieuwzględnienia zmiany gęstości paliwa, spowodowanej wzrostem jego temperatury do 60°C , zakładając, że 1 tona paliwa kosztuje 600 \$.

Objętość 1 000 t paliwa w temperaturze 15°C wynosi:

$$V_1 = \frac{m}{\rho^{15}} = \frac{1\,000\,000 \text{ kg}}{992 \text{ kg/m}^3} = 1\,008 \text{ m}^3$$

Następnie obliczamy gęstość paliwa (ρ^{60}) w temperaturze bunkrowania 60°C . W tym celu potrzebny temperaturowy współczynnik gęstości $\alpha = 0,000515 \text{ [g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C]}$, $[\text{t/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}]$ odczytujemy z tabeli 1 instrukcji. Korzystamy z następującej zależności:

$$\rho^{t_1} = \rho^{t_0} - \alpha(t_1 - t_0)$$

gdzie:

ρ^{t_1} – gęstość paliwa w temperaturze t_1 $[\text{g/cm}^3]$,

ρ^{t_0} – gęstość paliwa w temperaturze t_0 $[\text{g/cm}^3]$,

α – współczynnik temperaturowy gęstości $[\text{g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}]$.

Po podstawieniu danych z zadania otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \rho^{60} &= 0,992 \text{ [t/m}^3] - 0,000515 \text{ [t/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}] \cdot (60^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) = \\ &= 0,992 \text{ [t/m}^3] - 0,023 \text{ [t/m}^3] = 0,969 \text{ [t/m}^3] \\ &\text{czyli } \rho^{60} = 0,969 \text{ [t/m}^3] \end{aligned}$$

Objętość, jaką zajmie 1 000 t paliwa w temperaturze 60°C obliczamy ze wzoru:

$$V_2 = \frac{m}{\rho^{60}} = \frac{1\,000\,000 \text{ kg}}{969 \text{ kg/m}^3} = 1\,032 \text{ m}^3$$

Różnica objętości, która wynika pomiędzy objętością jakie zajmie paliwo w temperaturze bunkrowania (60°C), a jego objętością w (15°C) wynosi:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 1032 \text{ m}^3 - 1008 \text{ m}^3 = 24 \text{ m}^3$$

odpowiadająca powyższej różnicy objętości ΔV , różnica mas paliwa Δm wyniesie:

$$\Delta m = 24 \text{ m}^3 \cdot 0,969 \text{ t/m}^3 = 23,26 \text{ t}$$

stąd straty finansowe wyniosą:

$$23,26 \text{ t} \cdot 600 \$ = 13\,956 \$$$

II. Zadania i pytania do samodzielnego wykonania przez studenta

Zadania

1. Obliczyć jaką objętość zajmie paliwo ciężkie o masie 1 200 t w temperaturze 55°C, wiedząc, że jego gęstość w temperaturze 15°C wynosi 0,995 g/cm³, a współczynnik temperaturowy gęstości $\alpha = 0,000515 \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.
Odpowiedź: 1 200 ton tego paliwa w temperaturze 55°C zajmie objętość 1 231,53 m³.
2. Zapas objętości zbiorników paliwa na statku wynosi 960 m³. Jaką maksymalną ilość paliwa ciężkiego w tonach należy zamówić, wiedząc, że gęstość tego paliwa w temperaturze 20°C wynosi 0,992 g/cm³, współczynnik temperaturowy gęstości $\alpha = 0,000515 \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, a bunkrowanie będzie się odbywało w temperaturze 53°C.
Odpowiedź: Należy zamówić maksymalnie 936 ton paliwa.
3. Obliczyć temperaturowy współczynnik gęstości (α) oleju smarowego wiedząc, że gęstość tego oleju w temp. 18°C wynosi 0,882 g/cm³, natomiast w temperaturze 36°C wynosi 0,870 g/cm³.
Odpowiedź: Współczynnik temperaturowy gęstości $\alpha = 0,000667 \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

Pytania

1. Zdefiniować następujące pojęcia: gęstość bezwzględna, gęstość względna i ciężar właściwy oraz podać ich jednostki.
2. Jaki jest wzór do przeliczania gęstości produktu naftowego z danej temperatury na temperaturę żadaną?
3. Jaka jest zależność gęstości od temperatury i czy zachodzi korelacja pomiędzy lepkością produktu naftowego i jego gęstością?
4. Co to jest temperaturowy współczynnik gęstości produktu naftowego, w jakich jednostkach wyraża się go i jak się wyznacza?
5. Jakie ma znaczenie zmiana gęstości produktów naftowych w eksploatacji urządzeń siłowni okrętowej oraz przy rozliczeniach zużycia tych produktów na statkach?
6. Podać metody pomiaru gęstości produktów naftowych.
7. Jaka jest rola znajomości gęstości produktu naftowego przy jego identyfikacji?