



Eksperymentalne badania oceny efektywności dyspergatorów olejowych z użyciem „kolby z przegrodami”

Katarzyna CHRUSZCZ-LIPSKA¹⁾

¹⁾ PhD; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Inżynierii Naftowej, Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; <https://orcid.org/0000-0002-0850-3051>; lipska@agh.edu.pl

<http://doi.org/10.29227/IM-2025-01-28>

Submission date: 10-06-2025 | Review date: 30-06-2025

Abstrakt

W pracy przedstawiono jedną z wielu stosowanych na świecie metod badawczych służących do oceny skuteczności dyspergatorów olejowych, które są jedną z alternatyw możliwą do zastosowania w usuwaniu wycieków ropy naftowej i jej pochodnych w otwartych akwenach wodnych. Opisana procedura opiera się na eksperymentach z użyciem „kolby z przegrodami” (BFT – „baffled flask test”), a stopień dyspergowalności ropy naftowej określa się poprzez porównanie całkowitej masy ropy, która została wprowadzona do syntetycznej wody morskiej z masą ropy naftowej, która znajduje się w kolumnie wodnej pod górną warstwą ropy po przeprowadzeniu testu w określonych warunkach eksperymentalnych.

W pracy przeprowadzono badania laboratoryjne oceny efektywności dyspergowania metodą „kolby z przegrodami” dla dwóch komercyjnie dostępnych dyspergatorów: EXOdis OS6 (środek przeznaczony do zastosowań w otwartych akwenach wodnych) oraz Solubol (środek spożywczy, skomponowany ze składników pochodzenia naturalnego). Oba dyspergatory zostały użyte do dyspergowania ropy naftowej ze złoża Magdalena (Karpaty, Polska) w 3,3% roztworze NaCl. Efektywność dyspergatora EXOdis OS6 wyniosła 69,07%. Natomiast Solubol, mimo że również wykazał zdolność do dyspergowania analizowanej ropy, charakteryzował się znacznie niższą efektywnością, wynoszącą 34,79%.

Słowa kluczowe: dyspergator olejowy, efektywność dyspergatora, plama ropy naftowej, test „kolby z przegrodami”

WSTĘP

Wycieki dużej ilości ropy naftowej i jej pochodnych do wód morskich stanowią poważne zagrożenie dla środowiska [1,2]. Zgodnie z danymi International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), całkowita objętość ropy uwolnionej do wód w wyniku incydentów z udziałem tankowców w roku 2024 została oszacowana na około 10 000 ton [3]. Choć liczba tego typu zdarzeń z dekady na dekadę systematycznie maleje, wciąż stanowią one istotne zagrożenie dla ekosystemów. Wycieki zwykle prowadzą do powstania oleistej warstwy na powierzchni wody, która ogranicza wymianę gazową i utrudnia dostęp światła słonecznego do niższych warstw w kolumnie wody w akwenu. W takich sytuacjach zarówno fauna, jak i flora są bezpośrednio narażone na kontakt z toksycznymi substancjami, co zakłóca ich podstawowe funkcje życiowe – takie jak odżywianie czy poruszanie się [4].

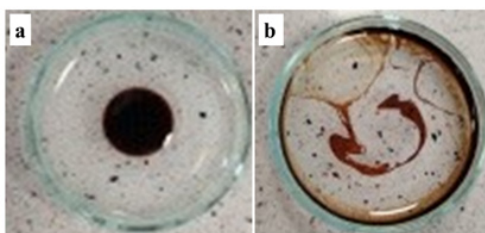
Jednym z istotnych środków możliwych do zastosowania w procesie usuwania plam ropy naftowej z wód morskich mogą być dyspergatory olejowe [5]. Zazwyczaj są one komponowane, jako mieszanina rozpuszczonych środków powierzchniowo czynnych w jednym lub więcej rozpuszczalnikach. Dyspergatory olejowe powodują rozbijanie dużych plam ropy na drobne krople, zapobiegając ich ponownemu łączeniu się, a rozproszone cząsteczki ropy naftowej stają się łatwiej biodegradowalne [2,6,7]. Działanie dyspergatora EXOdis OS6 (PCC Exol) na kroplę ropy naftowej przedstawia Rys. 1.

Dyspergatory są stosowane w przemyśle naftowym. Wchodzą między innymi w skład inhibitorów parafin, których rolą jest minimalizacja ryzyka odkładania się osadów parafinowych w instalacjach eksploatacyjnych [8,9]. Środki te

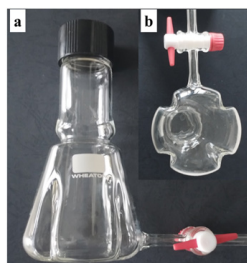
dyspergują wytrącające się drobinki parafiny w całej objętości ropy. Zapobiega to ich łączeniu się ze sobą i przywieraniu do ścianek rurociągu. Dyspergatory mają zastosowane, jako środki zapobiegające wytrącaniu asfaltenów. Ich agregacja również może powodować problemy podczas eksploatacji, magazynowania i transportu ropy naftowej [10]. Ponadto asfalteny powodują dezaktywację katalizatorów procesów pogłębianej konwersji ropy naftowej [11,12].

Zastosowanie środków dyspergujących w reakcji na wyciek ropy naftowej stanowi zawsze kompromis pomiędzy ochroną strefy przybrzeżnej, a wpływem środków dyspergujących i rozproszonej ropy (w tym toksycznych węglowodorów aromatycznych) na środowisko głębinowe w dalszym interwale czasowym [2]. Obecnie, pomimo swoich wad, dyspergatory są dopuszczone do stosowania w wielu krajach jako: pierwsza, kolejna lub ostatnia z opcji reagowania na wycieki ropy do środowiska wodnego [14,15].

W Polsce na wodach Morza Bałtyckiego dopuszcza się stosowanie dyspergatorów olejowych w celu likwidacji wycieków ropy naftowej. Dyrektor jednego z dwóch Urzędów Morskich (w Gdyni lub Szczecinie) jest zgodnie z prawem polskim organem właściwym do podejmowania decyzji w tym zakresie [15]. W Polsce nie obowiązuje jednak żaden zestandaryzowany system badań laboratoryjnych ani praktyk zatwierdzania środków dyspergujących do zastosowań na wodach morskich [15]. Zgodnie z procedurami, możliwe jest użycie dowolnego dyspergatora znajdującego się na liście Porozumienia z Bonn [16,17]. Dyspergator musi jednak przejść pozytywnie, co najmniej dwie procedury oceny toksyczności oraz być zaaprobowany do stosowania, w co najmniej dwóch państwach będących stronami tego porozumienia [15].



Rys. 1. Działanie dyspergatora EXOdis OS6: a) kropla ropy na powierzchni solanki, b) ta sama kropla ropy natychmiast po dodaniu dyspergatora
 Fig. 1. Effect of EXOdis OS6 dispersant: a) a drop of oil on the surface of brine, b) the same drop of oil immediately after adding dispersant



Rys. 2. Kolba z przegrodami do testów oceny efektywności dyspergatorów olejowych, widok: a) z przodu, b) z dołu
 Fig. 2. The baffled flask used for testing the effectiveness of oil dispersants, view: a) front, b) bottom

Jedną z podstawowych właściwości dyspergatorów olejowych jest ich efektywność. W różnych krajach obowiązują różne standardy określania skuteczności dyspergatorów olejowych na plamy ropy naftowej, które oparte są na odmiennych eksperymentach [18-21]. W Europie ugruntowane procedury testowania i zatwierdzania mają Francja, Norwegia i Wielka Brytania, a wdrożone praktyki testowe również Hiszpania, Włochy i Grecja [14,15].

W pracy przedstawiono jedną z wielu stosowanych na świecie metod badawczych oceny skuteczności dyspergatorów. Do przeprowadzenia badań zgodnie z tą metodą wykorzystywane są „kolby z przegrodami”. W metodzie z użyciem „kolby z przegrodami” (BFT – „Baffled Flask” Test) stopień dyspergowalności ropy naftowej określa się poprzez porównanie całkowitej masy ropy, która została wprowadzona do syntetycznej wody morskiej z masą ropy naftowej, która znajduje się w warstwie wodnej pod górną warstwą ropy po przeprowadzeniu testu w określonych warunkach eksperymentalnych [22-25]. Badania prowadzono w oparciu o procedurę badawczą, w której zawartość ropy w wodzie oznacza się za pomocą spektroskopii UV-Vis [22].

W pracy przeprowadzono badania laboratoryjne oceny efektywności dyspergowania jednej z polskich rop naftowych przez dwa dyspergatory olejowe, których efektywność nie była do tej pory prezentowana w literaturze. Pierwszym z dyspergatorów był komercyjnie dostępny dyspergator olejowy EXOdis OS6 przeznaczony do zastosowań w otwartych akwenach wodnych [26]. Jako drugi był testowany środek skomponowany z produktów naturalnych o nazwie Solubol [27]. Warto zaznaczyć, że w nowych procedurach zatwierdzających dyspergatory do użytku na wodach morskich uwzględnia się nie tylko ocenę ich skuteczności, lecz także przeprowadza się badania dotyczące ekotoksyczności, biodegradowalności, a niekiedy również potencjału do bioakumulacji [28]. Nic więc dziwnego, że obecnie intensywnie prowadzi się prace badawcze nad ekologicznymi dyspergatorami olejowymi [29]. Zielone dyspergatory są preferowane w porównaniu z ich konwencjonalnymi odpowiednikami ze względu na lepszą

biodegradowalność, niższą cytotoksyczność i zrównoważoną produkcję. Jak podają dane literaturowe np. dyspergatory syntetyzowane z hydroksylowanej lecytyny sojowej, a także na bazie saponin mogą osiągać duże efektywności dyspergowania produktów naftowych [30-33].

MATERIAŁY I METODY

Materiały

Do badań efektywności działania dyspergatorów olejowych użyto ropę naftową ze złoża Magdalena (Karpacze, Polska) [34]. Jest to ropa o średniej gęstości, relatywnie niskiej zawartości siarki i niskiej liczbie kwasowej. Podstawowe parametry charakteryzujące tą ropę przedstawiono w Tab. 1.

Jako komercyjny syntetyczny dyspergator olejowy stosowano EXOdis OS6, który otrzymano od firmy PCC Exol SA (Brzeg Dolny, Polska). W jego skład wchodzi między innymi: 2-(2-butoksyetoksy)etanol, alkohole etoksylované (C12-C14), 2-aminoetanol oraz wodorotlenek sodu [26]. Jest to preparat przeznaczony do usuwania zanieczyszczeń pochodzenia ropopochodnego w akwenach otwartych powstałych w wyniku wycieków benzyny, oleju opałowego lub ropy naftowej [26]. Drugim dyspergatorem olejowym był Solubol (Les Jardins de Sainte-Hildegarde, Francja). W skład Solubolu wchodzi składniki pochodzenia naturalnego, w tym: gliceryna roślinna, woda, lecytyna sojowa, ekstrakty z orzecha kokosowego i dyni, kwas askorbinowy, kwas cytrynowy, octan witaminy E oraz ekstrakt z rozmarynu [27]. Środek ten jest według producenta przeznaczony do użytku spożywczego.

Chlorek sodu (cz.d.a) konieczny do sporządzenia syntetycznej wody morskiej oraz dichlorometan (cz.d.a) służący do procesu ekstrakcji zakupiono w firmie WARCHEM Sp. z o.o. (Polska).

Aparatura

Szklane naczynie do testu "kolby z przegrodami"

Do badań użyto zakręcane kolby stożkowe z przegrodami o pojemności 150 cm³ (Wheaton, No. 355394, USA) zmodyfikowane zgodnie z wytycznymi normy ASTM F3251-17

Tab. 1. Charakterystyka ropy naftowej ze złoża Magdalena wg. [35] (*pomiar własny metodą piknometryczną)
 Tab. 1. Characteristics of crude oil from the Magdalena reservoir according to [35] (*own measurement using the pycnometric method)

Parametr	Wartość
Gęstość [g/cm ³]	0,8591; 0,8595*
Lepkość kinematyczna [20°C, m ² /s]	14,28 x10 ⁻⁶
Zawartość siarki [%]	0,19
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0,06
Zawartość parafin [%]	6,1
Zawartość BTX [mg/l]	
Benzen	184,9
Toluen	36,3
Ksyleny	222,2

Tab. 2. Dane do sporządzenia krzywych kalibracyjnych
 Tab. 2. Data for plotting calibration curves

Objętość dodanego roztworu wyjściowego [μl]	Teoretyczne stężenie ropy naftowej [mg/cm ³]	Pole powierzchni pod pasmem w zakresie 340-400 nm [-]		
		Ropa	Ropa + EXOdis OS6	Ropa + Solubol
0	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,057	3,472	3,503	6,05
50	0,143	8,665	9,052	8,824
70	0,201	10,480	14,074	13,03
100	0,287	12,862	18,170	19,853
150	0,430	20,006	29,592	31,489
200	0,573	26,613	38,699	42,787
250	0,716	32,818	49,934	52,887

Tab. 3. Efektywność dyspergatorów EXOdis OS6 and Solubol oraz dane do jej wyznaczenia
 Tab. 3. Efficiency of dispersants EXOdis OS6 and Solubol and data for its determination

Parametr	EXOdis OS6	Solubol
Pole powierzchni pod pasmem (340-400 nm) [-]	50,763	27,340
tga [-]	68,401	73,178
Masa zdyspergowanej ropy [mg]	59,371	29,899
Efektywność dyspergatora [%]	69,07	34,79

[18]. Przeróbka kolby przez zakład szklarski umożliwia, po odpowiednim czasie wytrząsania próbki, za pomocą kranika pobrać jej część z dna kolby nie naruszając górnej warstwy olejowej (Rys. 2).

Spektrofotometr UV-Vis

Rejestracji widm absorpcyjnych w zakresie UV-Vis dokonano za pomocą spektrofotometru UV-1700 (Shimadzu Inc.), sprzężonego z komputerem i sterowanego poprzez oprogramowanie UV Probe. Analizy prowadzono z wykorzystaniem kuwet kwarcowych o objętości 1 cm³, do których dozowano badane roztwory. Widma rejestrowano w zakresie długości fali od 200 do 700 nm.

Chromatograf gazowy

Zawartość BTX (benzen, toluen, ksylen) w ropie naftowej oznaczono za pomocą chromatografii gazowej z użyciem certyfikowanego materiału odniesienia (2000 μg/cm³ każdego składnika w metanolu) dostarczonego przez firmę Sigma Aldrich. Analiza została przeprowadzona przy użyciu chromatografu HP 5850 wyposażonego w detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID). Warunki pomiaru: temperatura dozwornika 300oC, przepływ gazu nośnego (helu) 3 cm³/min, temperatura detektora FID 320oC.

Metodyka badania oceny efektywności dyspergatorów olejowych z użyciem „kolby z przegrodami”

Przygotowanie serii roztworów wzorcowych przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną przez Venosa i in. [22], przy czym syntetyczną wodę morską stanowił 3,3% roztwór NaCl w wodzie destylowanej (zgodnie z normą ASTM F3251-17 [18]).

b) Zgodnie z procedurą wyjściowy roztwór ropy naftowej do sporządzenia krzywych kalibracyjnych otrzymywano mieszając: 18 cm³ dichlorometanu, 2 cm³ ropy naftowej i 80 μl dyspergatora.

c) Siedem roztworów wzorcowych sporządzano poprzez dodanie 20, 50, 70, 100, 150, 200 oraz 250 μl roztworu wyjściowego (przygotowanego zgodnie z pkt. b) do 30 cm³ 3,3% roztworu NaCl. Następnie przeprowadzano trójstopniową ekstrakcję z zastosowaniem dichlorometanu (3 × 5 cm³ dichlorometanu), a objętość końcowego ekstraktu doprowadzano do 20 cm³. Wszystkie roztwory wzorcowe przygotowywano w duplikacie w celu zapewnienia powtarzalności wyników.

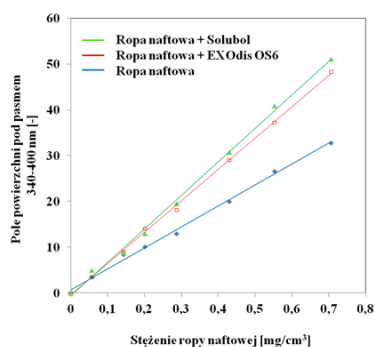
d) Dla uzyskanych ekstraktów roztworów wzorcowych mierzone widma UV-Vis w zakresie 200–700 nm. Otrzymane widma UV-Vis poddawano analizie i wyznaczano pole powierzchni pod pasmem w zakresie długości fali od 340 do 400 nm.

e) Krzywą kalibracyjną kreślono jako zależność teoretycznego stężenia ropy w sztucznej wodzie morskiej [mg/cm³] od pola powierzchni pod pasmem absorpcyjnym w zakresie 340–400 nm.

Przygotowanie próbek właściwych służących bezpośrednio do oceny efektywności dyspergatora odbywało się w sposób opisany poniżej:

a) Do kolby z przegrodami (Rys. 2), zawierającej 120 cm³ sztucznej wody morskiej (roztwór NaCl o stężeniu 3,3%), ostrożnie na powierzchnię wody dozowano 100 μl ropy naftowej. Następnie na środek plamy ropy наносzono 4 μl dyspergatora tak, aby zapewnić jego bezpośredni kontakt z fazą olejową bez uprzedniego kontaktu z wodą.

b) W dalszej kolejności kolba z próbką była wytrząsana na wytrząsarce orbitalnej firmy Steinberg Systems (Model



Rys. 3. Krzywa kalibracyjna (zależność pola powierzchni pod pasmem absorpcyjnym w zakresie 340–400 nm od stężenia ropy naftowej w 3,3% roztworze NaCl) dla: a) ropy naftowej ze złoża Magdalena, $R^2=0,997$; b) ropy naftowej z dodatkiem dyspergatora EXOdis OS6, $R^2=0,998$, c) ropy naftowej z dodatkiem dyspergatora Solubol, $R^2=0,997$

Fig. 3. Calibration curve (dependence of the relative integration of the absorption band in the range of 340–400 nm versus the concentration of crude oil in 3.3% NaCl solution) for: a) crude oil from the Magdalena reservoir, $R^2=0.997$; b) crude oil with the addition of EXOdis OS6 dispersant, $R^2=0.998$, c) crude oil with the addition of Solubol dispersant, $R^2=0.997$

SBS-LVS-100) z prędkością 200 obrotów na minutę przez 10 minut.

c) Po 10 minutowym czasie wytrząsania kolbę zdejmowano z wytrząsarki i odstawiano na kolejne 10 minut.

d) Po 10 minutowym czasie odstania, z dolnego kraniika kolby odprowadzano 3 cm^3 roztworu w celu usunięcia zalegającej w przestrzeni kraniika cieczy. Do właściwej analizy pobierano kolejne 30 cm^3 roztworu. Próbkę poddawano trzykrotnej ekstrakcji z zastosowaniem dichlorometanu ($3 \times 5 \text{ cm}^3$ dichlorometanu), a objętość końcowego ekstraktu doprowadzano do 20 cm^3 .

d) Dla uzyskanych końcowych ekstraktów mierzono widma UV-Vis w zakresie 200–700 nm. Otrzymane widma UV-Vis poddawano analizie i wyznaczano pole powierzchni pod pasmem w zakresie 340–400 nm.

REZULTATY

Ustalenie efektywności dwóch badanych dyspergatorów olejowych EXOdis OS6 oraz Solubolu dla ropy naftowej ze złoża Magdalena przebiegało dwuetapowo. Pierwszym etapem było wykonanie krzywych wzorcowych. Dane wykorzystane do sporządzenia tych krzywych przedstawiono w Tab. 2. Teoretyczne stężenie ropy naftowej (mg/cm^3) obliczono przyjmując, że jej gęstość wynosi $0,8595 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Tab. 1). Krzywe wzorcowe wykreślone na Rys. 3 przedstawiają zależność pola powierzchni pod pasmem absorpcyjnym w zakresie 340–400 nm od stężenia ropy w solance (3,3% roztwór NaCl). Rys. 3 dowodzi, że opracowanie odrębnych krzywych wzorcowych dla każdego z badanych dyspergatorów było uzasadnione, gdyż krzywa odpowiadająca próbce ropy naftowej z różnymi dyspergatorami różni się pod względem przebiegu. Drugim etapem oceny efektywności dyspergatorów było przeprowadzenie testu z wykorzystaniem kolb z przegrodami zgodnie z wcześniej zamieszczoną metodyką badań. Widma UV-Vis ekstraktów próbek, które uprzednio poddano testowi w kolbach z przegrodami, zarejestrowano w zakresie 700–200 nm. Następnie, analogicznie jak dla roztworów wzorcowych, dokonano całkowania powierzchni pod pasmem absorpcyjnym w zakresie długości fali 340–400 nm, a uzyskane wyniki pomiarów przedstawiono w Tab. 2.

Drugim etapem oceny efektywności dyspergatorów było przeprowadzenie testu z wykorzystaniem kolb z przegrodami

zgodnie z wcześniej zamieszczoną metodyką badań. Widma UV-Vis ekstraktów próbek, które uprzednio poddano testowi w kolbach z przegrodami, zarejestrowano w zakresie 700–200 nm. Następnie, analogicznie jak dla roztworów wzorcowych, dokonano całkowania powierzchni pod pasmem absorpcyjnym w zakresie długości fali 340–400 nm, a uzyskane wyniki pomiarów przedstawiono w Tab. 3.

Skuteczność dyspergatorów (β) w procentach (%) obliczono ze wzoru (1):

$$\beta = \frac{mR \cdot 100}{MR} \quad (1)$$

gdzie:

mR = masa zdyspergowanej ropy [mg],

MR = całkowita masa ropy [mg] wprowadzona do 3,3 % roztworu NaCl.

Masę zdyspergowanej ropy [mg] znajdującej się w dolnej warstwie próbki (po 10 minutach wytrząsania i 10 min odstania) obliczono ze wzoru (2):

$$mR = \frac{P \cdot 4 \cdot 20}{\text{tga}} \quad (2)$$

gdzie:

P = pole powierzchni pod pasmem absorpcyjnym w zakresie długości fali 340–400 nm dla próbki poddanej testowi „kolby z przegrodami”,

tga = nachylenie odpowiedniej krzywej wzorcowej.

W naszym przypadku całkowita masa ropy naftowej wprowadzona do 120 cm^3 solanki wynosiła każdorazowo $85,95 \text{ mg}$ ($MR=0,8595 \text{ mg}/\mu\text{l} \times 100 \mu\text{l} = 85,95 \text{ mg}$).

Przelicznik 4 we wzorze (2) wynika z faktu, że do procesu ekstrakcji dichlorometanem pobrano 30 cm^3 ze 120 cm^3 próbki, natomiast przelicznik 20 wynika z faktu, że całkowita objętość ekstraktu miała objętość 20 cm^3 .

Jak prezentuje Tab. 3 przeprowadzone badania laboratoryjne mające na celu zbadanie skuteczności dyspergowania ropy naftowej dla dwóch próbek dyspergatorów metodą „kolby z przegrodami” wskazały na dużo wyższą skuteczność dyspergatora EXOdis OS6, dedykowanego do usuwania zanieczyszczeń pochodzenia ropopochodnego. Jego efektywność

wynosi 69,07%. Dla dyspergatora o nazwie Solubol osiągnięto prawie dwukrotnie gorszy wynik, który wyniósł 34,79%. Należy mieć jednak na uwadze, że badania zostały przeprowadzone dla jednej ropy naftowej. Aby poznać szerzej działanie poddanych badaniom laboratoryjnym dyspergatorów wskazane byłoby rozszerzenie tych badań i przetestowanie rop, czy produktów naftowych o innych właściwościach fizykochemicznych. Dane literaturowe wskazują, że przeprowadzenie testu jednego dyspergatora dla różnych rop naftowych może prowadzić do różnic w wynikach efektywności nawet o kilkadziesiąt procent [24].

WNIOSKI

Dyspergatory olejowe są jedną z alternatyw możliwą do zastosowania w usuwaniu skutków wycieków ropy naftowej i jej pochodnych w otwartych akwenach wodnych. W Polsce na wodach Morza Bałtyckiego dozwolone jest używanie dyspergatorów olejowych do usuwania wycieków ropy naftowej. Niemniej jednak, ze względu na wciąż budzący kontrowersje wpływ stosowania dyspergatorów na środowisko naturalne zastosowanie dyspergatorów traktowane jest jako konieczność [14,15]. W Polsce obecnie nie obowiązuje żaden zstandaryzowany system badań laboratoryjnych ani zatwierdzeń dyspergatorów [14,15].

W pracy przedstawiono jedną ze stosowanych na świecie procedur badawczych służących ocenie efektywności działania dyspergatora olejowego na plamę ropy naftowej. Prezentowana

metoda badawcza opiera się na teście wykorzystującym „kolbę z przegrodami” („baffled flask”), a pomiar zawartości zdyspergowanej ropy w kolumnie wodnej pod warstwą olejową odbywa się za pomocą spektroskopii UV-Vis [22].

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone w celu oceny skuteczności dwóch dostępnych komercyjnie dyspergatorów tj. EXOdis OS6 oraz Solubolu. Oba badane dyspergatory zostały użyte do dyspergowania ropy naftowej ze złoża Magdalena. Efektywność dyspergatora EXOdis OS6 wyniosła 69,07%. Środek o nazwie Solubol również wykazał działanie dyspergujące w stosunku do badanej ropy naftowej, które było jednak dużo niższe i wyniosło 34,79%. W celu lepszego poznania działania dyspergatorów poddanych analizie laboratoryjnej, warto byłoby w przyszłości rozszerzyć zakres badań i przeprowadzić testy z użyciem ropy lub produktów naftowych o odmiennych właściwościach fizykochemicznych.

PODZIĘKOWANIA

Projekt badawczy został częściowo sfinansowany w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Badania te były częściowo finansowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu (nr 16.16.190.779). Autor składa podziękowania dla firmy PPC Exol SA za nieodpłatne udostępnienie do badań próbki dyspergatora EXOdis OS6.

Literatura – References

1. Surygała, J., Śliwka, E. (1999) Wycieki ropy naftowej, *Przemysł Chemiczny*, 78(9), 323-325.
2. Li, W., Yu, Y., D. Xiong, D., Qi, Z., Wang, W., Qi, Y. (2022) Effects of oil properties on the formation of oil-particle aggregates at the presence of chemical dispersant in baffled flask tests, *Journal of Hazardous Materials*, 436, 129227. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129227>.
3. https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_brochure_2024.pdf. Dostęp 10.07.2025.
4. Pavlov, V., James, N.A., Masden, E.A., Martins de Aguiar V.C., Hole, L.R., Liimatainen, H.E., Pongrácz, E. (2023) Impacts of offshore oil spill accidents on island bird communities: A test run study around Orkney and Svalbard archipelagos, *Environmental Pollution*. 334, 122193. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122193>.
5. Prince, R.C., Butler, J.D. (2014) A protocol for assessing the effectiveness of oil spill dispersants in stimulating the biodegradation of oil. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 9506–9510. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2053-7>.
6. Guo, F., Stebbins, D.L., Toomey, R.G., Alcantar, N.A., (2019) Interfacial phenomena of natural dispersants for crude oil spills. *Langmuir*, 35 (48), 15904–15913. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b02036>.
7. Fernandes, J.C., Agrawal, N.R., Aljirafi, F.O., Bothun, G.D., McCormick, A.V. (2019) Does the solvent in a dispersant impact the efficiency of crude-oil dispersion? *Langmuir* 35(50), 16630–16639. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b02184>.
8. Gaździk B., Pajda M. (2013) Wpływ środków powierzchniowo czynnych o działaniu dyspergującym na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne inhibitorów parafin do wysokoparafinowych rop naftowych, *Nafta-Gaz*, 69(4), 323-325.
9. Dudek, M., Ruwoldt, J., Øye, G. (2022) Characterization and assessment of wax and wax inhibitors systems in microfluidic oil-in-water coalescence experiments, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 636, 128186. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128186>.
10. Kokal, S.L., Sayegh, S.G. Asphaltenes: The Cholesterol of Petroleum. Paper presented at the Middle East Oil Show, Bahrain, March 1995. doi: <https://doi.org/10.2118/29787-MS>.
11. Paczuski, M. Modification of Asphaltene Dispersions in Crude Oil, in book: *Physicochemistry of Petroleum Dispersions in Refining Technology*. 2024, London, UK, IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.113214.
12. Jarosiński, P., Lorek, A. (2018) Asfalteny naftowe – przegląd wybranych zagadnień, *Nafta-Gaz*, 74(9), 690-697. <https://doi.org/10.18668/NG.2018.09.08>.
13. Jarosiński, P., Gościński Ł. (2019) Ocena możliwości zastosowania estrów benzytowych kwasów tłuszczowych jako dyspergatorów asfaltenów w wysokowrzących produktach naftowych, *Przemysł Chemiczny*, 7, 121307. <http://dx.doi.org/10.15199/62.2019.7.10>.
14. Overview of national dispersant testing and approval policies in the EU, EMSA - European Maritime Safety Agency, 2016, file:///C:/Users/admin/Downloads/Overview%20of%20dispersant%20tests%20in%20Europe-2.pdf.
15. Inventory of national policies regarding the use of oil spill dispersants in the EU Member States, EMSA - European Maritime Safety Agency, 2022, <https://www.emsa.europa.eu/publications/inventories/item/4942-dispersants-2022.html>.
16. Bonn Agreement (2016) The Bonn Agreement Oil Appearance Code, in *Bonn Agreement Aerial Operations Handbook*, Part 3, Annex, A Revision April 2016, pp. 18 https://www.bonntagreement.org/site/assets/files/1081/aerial_operations_handbook.pdf.
17. Bonn Agreement (2020) Bonn Agreement Counter Pollution Manual, Update November 2020. <https://www.bonntagreement.org/publications>.
18. ASTM F3251-17 Standard Test Method for Laboratory Oil Spill Dispersant Effectiveness Using the Baffled Flask, 2021.
19. AFNOR (Association Française de Normalisation), NF T90–345 - IFP efficiency measurement, Testing water. Dispersive products. Evaluation of the effectiveness for petroleum dispersion, 1990.
20. Holder, E.L., Conmy, R.N., Venosa, A.D. (2015) Comparative laboratory-scale testing of dispersant effectiveness of 23 crude oils using four different testing protocols. *Journal of Environmental Protection*, 6, 628–639. <https://doi.org/10.4236/jep.2015.66057>.
21. Sühling, R., Smith, A., Emerson, H., Doran, D., Mellor, P., Kirby, M.F., Christie, B. (2018) Qualification of oil spill treatment products – adopting the baffled flask test for testing of dispersant efficacy in the UK. *Marine Pollution Bulletin*, 129(2), 609–614. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.038>.
22. Venosa, A.D., King, D.W., Sorial, G.A. (2002) The Baffled Flask Test for Dispersant Effectiveness: A Round Robin Evaluation of Reproducibility and Repeatability, *Spill Science & Technology Bulletin*, 7(5–6), 299-308. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(02\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(02)00072-5).
23. Chandrasekar, S., Sorial, G.A., Weaver, J.W. (2005) Dispersant Effectiveness on Three Oils Under Various Simulated Environmental Conditions, *Environmental Engineering Science*, 22(3), 324-336. <https://doi.org/10.1089/ees.2005.22.3>.

24. Grechishcheva, N., Kuchierskaya, A., Semenov, A. Kuryashov, D., Meritsidi, I., Mingazov, R. (2022) Evaluation of the dispersant effectiveness using the baffled flask test, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 30(1), 106–113.
25. Sorial, G.A., Venosa, A.D., Miller, K.M., Holder, E. and King, D.W. (2004) Oil Spill Dispersant Effectiveness Protocol. Part II. Performance of the Revised Protocol. *Journal of Environmental Engineering Division*, 130, 1085-1093. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:10\(1085\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:10(1085)).
26. <https://www.products.pcc.eu/pl/id/1227363/exodis-os6-4/>.
27. <https://www.ogrodyhildegardy.pl/solubol-60cm3-p363>.
28. Manfra, L., Mannozi, M. & Onorati, F. (2023) Current knowledge of approval procedures of dispersant use at sea: looking for potential harmonization from global to Mediterranean scale. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 18380–18394. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23462-2>.
29. Giwa, A., Chalermthai, B., Shaikh, B., Taher, H. (2023) Green dispersants for oil spill response: A comprehensive review of recent advances. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115118. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115118>.
30. Nyankson, E., DeCuir, M.J., Gupta, R.B. (2015) Soybean Lecithin as a Dispersant for Crude Oil Spills, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3 (5), 920-931. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00027>.
31. Adofo, Y.K., Nyankson, E., Agyei-Tuffour, B. (2022) Dispersants as an oil spill clean-up technique in the marine environment: A review. *Heliyon*. 8(8), e10153. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10153>.
32. Nyankson, E., Agyei-Tuffour, B., Efavi, J.K., Yaya, A., Onwona-Agyeman, B., Konadu, D.S., Amedalor, R., Frimpong, B.K., Bensah, Y.D. (2020) Potential Application of Dioctyl Sodium Sulfosuccinate Salt (DOSS)–Saponin Binary Dispersant in Oil Spill Remediation: Synergistic Interaction Between DOSS and Saponin. *Water Air Soil Pollution*, 231, 76. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4445-x>.
33. Nyankson, E., Demir, M., Gonen, M., Gupta, R.B. (2016) , Interfacially active hydroxylated soybean lecithin dispersant for crude oil spill remediation, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4 (4), <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01403>.
34. Karnkowski, P., (1993) *Złoża Gazu Ziemi i Ropy Naftowej w Polsce, Karpaty i Zapadlisko Przedkarpackie*, Tom 2, 41-42, Wyd. Towarzystwo Geosynoptyków „GEOS” AGH, Kraków.
35. Owsik, W. (1971) *Fizyczne Podstawy Technologii Wydobycia Ropy i Gazu*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice.

Experimental Studies of the Evaluation of the Effectiveness of Oil Dispersants Using the „Baffled Flask”

The study presents one of the many research methods used worldwide to evaluate the effectiveness of oil dispersants, which are one of the alternative solutions for removing crude oil and its derivatives from open water. The described procedure is based on experiments using the Baffled Flask Test (BFT), where the degree of oil dispersion is determined by comparing the total mass of oil introduced into synthetic seawater with the mass of oil found in the water column beneath the upper oil layer after conducting the test under specified experimental conditions.

Laboratory tests were carried out to assess dispersant effectiveness using the Baffled Flask Test method for two commercially available dispersants: EXODis OS6 (a product designed for use in open water bodies) and Solubol (a food-grade product composed of naturally derived ingredients). Both dispersants were used to disperse crude oil from the Magdalena reservoir (Carpathians, Poland) in the 3,3% wt. solution of NaCl. The effectiveness of EXODis OS6 dispersant was 69.07%. However, Solubol, although also demonstrating the ability to disperse the analyzed crude oil, had a significantly lower efficiency of 34.79%.

Keywords: oil dispersant, dispersant effectiveness, oil spill, “baffled flask” test