
Alternatywne źródła statków a zrównoważony rozwój logistyki morskiej – studium przypadku na trasie Szwecja–Polska

Weronika Zimny

Szkoła Doktorska Politechniki Koszalińskiej

e-mail: weronika.zimny@s.tu.koszalin.pl

Vladyslav Liashuk

Politechnika Koszalińska

e-mail: u16187@s.tu.koszalin.pl

© 2025 Weronika Zimny, Vladyslav Liashuk

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Zimny, W., Liashuk, V. (2025). Alternatywne źródła statków a zrównoważony rozwój logistyki morskiej – studium przypadku na trasie Szwecja–Polska. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logiści w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 71–80). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.06](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.06)

JEL Classification: Q56, R41

■ **Streszczenie:** Przedmiot i cel pracy stanowiła ocena wpływu zastosowania paliwa alternatywnego RMD 80 na wielkość śladu węglowego w porównaniu z konwencjonalnym paliwem MGO w logistyce morskiej, ze szczególnym uwzględnieniem trasy Świnoujście-Ystad. W artykule wykorzystano takie metody, jak analiza porównawcza danych dotyczących zużycia paliwa i emisji CO₂ w okresie od 1 do 14 sierpnia, z wykorzystaniem pomiarów wielkości śladu węglowego dla paliw MGO i RMD 80, studium przypadku na trasie Polska-Szwecja. W rezultacie badań ustalono, że przy identycznym zużyciu paliwa wykazano istotną różnicę w emisji CO₂. Dla paliwa MGO całkowita emisja wyniosła 781,29 kg CO₂, natomiast dla RMD 80-704,81 kg CO₂, co oznacza redukcję o 76,48 kg CO₂ (9,79%). Oba paliwa charakteryzują się odmiennymi właściwościami – MGO ma gęstość 0,833 g/cm³ i współczynnik emisji 3,847 kg CO₂/kg paliwa, podczas gdy RMD 80 cechuje się gęstością 0,874 g/cm³ i współczynnikiem emisji 3,116 kg CO₂/kg paliwa. Zastosowanie paliwa RMD 80 jako alternatywy dla MGO prowadzi do znaczącej redukcji śladu węglowego w żegludze morskiej. W perspektywie długoterminowej może to się przyczynić do istotnej poprawy wskaźników środowiskowych w transporcie morskim, szczególnie w obszarach kontroli emisji (ECA). Mimo konieczności dostosowania infrastruktury portowej i wyposażenia statków w systemy grzania paliwa korzyści środowiskowe oraz ekonomiczne uzasadniają transformację w kierunku paliw alternatywnych.

■ **Słowa kluczowe:** ślad węglowy, paliwa alternatywne, RMD 80, MGO, logistyka morska, zrównoważony rozwój, emisja CO₂

1. Wstęp

Zrównoważony rozwój staje się kluczowym wyzwaniem dla współczesnej gospodarki, szczególnie w sektorze transportu, który generuje znaczący wpływ na środowisko. Logistyka morska, będąca integralnym elementem globalnego łańcucha dostaw, stoi przed koniecznością przekształceń, które pozwolą na redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz minimalizację zużycia zasobów naturalnych. Jednym z obszarów, w którym można wprowadzić innowacyjne rozwiązania, jest wykorzystywanie alternatywnych źródeł napędu statków, co jest przedmiotem niniejszego artykułu.

Celem tekstu jest ocena wpływu zastosowania paliwa alternatywnego na wielkość śladu węglowego w porównaniu z paliwem konwencjonalnym w logistyce morskiej. Problem badawczy sformułowano w postaci pytania: Czy zastosowanie paliwa alternatywnego w zasilaniu statków prowadzi do zmniejszenia śladu węglowego w porównaniu z paliwem konwencjonalnym? Postawiono także hipotezę badawczą: Zastosowanie paliwa alternatywnego do zasilania statków doprowadza do zmniejszenia śladu węglowego w porównaniu z paliwem konwencjonalnym, tym samym wpływając na zrównoważony rozwój logistyki morskiej.

2. Zrównoważony rozwój w logistyce morskiej

Logistyka morska to kompleksowy system zarządzania przepływem ładunków i towarów realizowany przy użyciu transportu morskiego, obejmujący planowanie, organizowanie, kontrolowanie oraz optymalizację procesów związanych z przewozem dóbr na statkach na poziomie międzynarodowym i regionalnym (Pac, 2017, s. 13). W tradycyjnym ujęciu jej głównym celem jest dostarczenie ładunków efektywne pod względem kosztów, czasu oraz niezawodności (Wagner, 2014, s. 213). Współczesne wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi i rosnącą świadomością ekologiczną powodują jednak, że coraz większy nacisk kładzie się na integrację aspektów środowiskowych i społecznych w zarządzaniu logistyką morską. Logistyka morska obejmuje kilka kluczowych obszarów działalności. Przede wszystkim jest to transport morski, który realizuje przewozy na różnych trasach, od dalekich dystansów oceanicznych po krótkie odcinki żeglugi bliskiego zasięgu – *short sea shipping* (Marek, 2013, s. 39–40). Kolejnym elementem jest infrastruktura portowa, obejmująca porty, terminale kontenerowe i magazyny, umożliwiającą efektywny przeładunek i przechowywanie towarów. Ważną rolę odgrywa także zarządzanie łańcuchem dostaw, które koordynuje działania między spedytorami, armatorami, operatorami portowymi oraz odbiorcami towarów (Kalbarczyk, 2018, s. 470–471). Ostatnim, równie istotnym obszarem są technologie i innowacje, w tym systemy zarządzania flotą, automatyzacja procesów portowych oraz wdrażanie alternatywnych źródeł energii dla statków. Transport morski stanowi fundament globalnej gospodarki, odpowiadając za przewóz około 90% światowego handlu. Dzięki swojej efektywności kosztowej i ekologicznej w przeliczeniu na jednostkę towaru jest niezastąpionym środkiem transportu w zglobalizowanej ekonomii. Jednocześnie sektor ten staje przed istotnymi wyzwaniami, takimi jak redukcja emisji CO₂, ochrona ekosystemów morskich oraz konieczność dostosowania się do regulacji środowiskowych, takich jak Międzynarodowa Konwencja MARPOL.

Zrównoważony rozwój jest koncepcją, która integruje trzy wzajemnie powiązane wymiary: gospodarczy, środowiskowy i społeczny (Kłos, 2017, s. 95). Model ten, znany jako model trójfilarowy, stanowi podstawę nowoczesnych strategii zarządzania, również w sektorze logistyki morskiej (Wołczek, 2014, s. 207). W obliczu wyzwań globalnych, którymi są zmiany klimatyczne, rosnąca populacja i konieczność optymalizacji zasobów, wdrażanie tej koncepcji staje się nieodzownym elementem działań na rzecz zrównoważonej żeglugi. Logistyka morska odgrywa kluczową rolę w globalnej gospodarce, umożliwiając wymianę handlową na niespotykaną dotąd skalę. W ramach zrównoważonego rozwoju w tym sektorze priorytetem jest zapewnienie efektywności ekonomicznej przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko i społeczeństwo (Jurdziński, 2012, s. 20–21). Alternatywne źródła napędu statków, takie jak paliwa LNG (skroplony gaz ziemny) czy technologie hybrydowe, pozwalają obniżyć koszty operacyjne w długiej perspektywie, choć wymagają początkowo znacznych nakładów inwestycyjnych (Motowidlak, 2013, s. 346). Również modernizacja infrastruktury portowej, w tym automatyzacja i cyfryzacja, przyczynia się do wzrostu konkurencyjności sektora, wspierając jego rozwój gospodarczy. Wymiar środowiskowy zrównoważonego rozwoju koncentruje się na redukcji negatywnego wpływu żeglugi na ekosystemy morskie i atmosferę. Emisje gazów cieplarnianych, którymi są CO₂, SO₂ i NO_x, generowane przez żeglugę, stanowią istotne wyzwanie, wpływając na zmiany klimatyczne i jakość powietrza (Krakowski, 2019, s. 190). Innowacyjne technologie, takie jak napęd elektryczny, żagle hybrydowe czy paliwa z biomasy, pomagają zmniejszyć emisje i ślad środowiskowy sektora. Jednocześnie istotne jest zapobieganie degradacji ekosystemów poprzez unikanie obszarów wrażliwych ekologicznie i ograniczanie zrzutów zanieczyszczeń do morza, co wzmacnia ochronę bioróżnorodności.

Logistyka morska oddziałuje również na społeczności lokalne, zwłaszcza w regionach portowych. Zrównoważony rozwój w wymiarze społecznym oznacza poprawę jakości życia mieszkańców i pracowników poprzez tworzenie miejsc pracy w sektorze zielonych technologii oraz modernizację warunków pracy w portach. Działania te minimalizują negatywne skutki działalności portowej, takie jak hałas, zanieczyszczenie i przeludnienie. Ważną rolę odgrywają także edukacja ekologiczna oraz wspieranie lokalnych inicjatyw na rzecz zrównoważonego rozwoju, co sprzyja wzrostowi świadomości i odpowiedzialności społecznej. Model trójfilarowy wskazuje na konieczność równoważenia celów ekonomicznych, ekologicznych i społecznych. W kontekście logistyki morskiej działania w jednym obszarze nie mogą negatywnie wpływać na pozostałe. Na przykład modernizacja floty statków powinna równocześnie ograniczać emisje oraz poprawiać warunki pracy załóg. Takie zintegrowane podejście umożliwia realizację długoterminowych celów zrównoważonego rozwoju, które wspierają globalną gospodarkę, chronią środowisko i poprawiają jakość życia społeczności (Pyć, 2014, s. 354–355).

3. Ślad węglowy w logistyce morskiej

Jednym z kluczowych elementów środowiskowego wymiaru zrównoważonego rozwoju w logistyce morskiej jest redukcja śladu węglowego, będącego miarą emisji gazów cieplarnianych (głównie CO₂) generowanych w wyniku działalności transportowej (Kulczycka i Wernicka, 2015, s. 133–134). Pomimo swojej efektywności w przeliczeniu na tonę przewożonego towaru

transport morski odpowiada za około 3% globalnych emisji dwutlenku węgla, co czyni go istotnym źródłem wpływu na zmiany klimatyczne. W związku z tym konieczne są działania mające na celu minimalizację tego negatywnego oddziaływania. Emisje gazów cieplarnianych w żegludzie wynikają głównie ze spalania paliw kopalnych, takich jak olej napędowy czy mazut, w silnikach statków (Zarczuk i Klepacki, 2021, s. 86–87). Główne źródła emisji obejmują eksploatację statków, operacje portowe oraz procesy logistyczne, takie jak transport lądowy związany z obsługą portów. Aby skutecznie ograniczać emisje, konieczne jest wdrażanie odpowiednich strategii redukcji śladu węglowego (Pyć, 2014, s. 1–4).

Jednym z kluczowych działań jest zastępowanie tradycyjnych paliw bardziej ekologicznymi, takimi jak LNG (skroplony gaz ziemny), metanol, wodór czy biopaliwa (Autzen i Chłopińska, 2018, s. 996–1001). Przykładowo wykorzystanie LNG pozwala na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla o około 20–30%, a wodór jako paliwo generuje jedynie wodę jako produkt spalania. Równie ważne są technologie niskoemisyjne, takie jak napędy elektryczne i hybrydowe, które ograniczają emisje szczególnie podczas manewrowania w portach i na krótkich trasach, oraz systemy optymalizacji pracy silników, pozwalające na bardziej efektywne zużycie paliwa (Forkiewicz i Wolski, 2018). Efektywność energetyczna w transporcie morskim może być poprawiona dzięki nowoczesnym projektom kadłubów, które redukują opory hydrodynamiczne, oraz zastosowaniu zagli hybrydowych czy turbin wiatrowych wspomagających napęd na dłuższych trasach. Zrównoważone operacje portowe – elektryfikacja nabrzeży, inwestycje w urządzenia zasilane energią odnawialną i modernizacja sprzętu przeładunkowego – również odgrywają istotną rolę w zmniejszaniu emisji. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) wspiera działania na rzecz redukcji emisji poprzez wprowadzanie regulacji, takich jak strategia redukcji gazów cieplarnianych, która zakłada zmniejszenie emisji CO₂ o co najmniej 40% do 2030 roku i 70% do 2050 roku w porównaniu do poziomu z 2008 roku. Redukcja śladu węglowego w logistyce morskiej nie tylko wspiera walkę ze zmianami klimatycznymi, ale także poprawia jakość powietrza w regionach portowych i chroni ekosystemy morskie. Inwestowanie w technologie niskoemisyjne, ekologiczne paliwa i efektywność energetyczną przyczynia się do realizacji długoterminowych celów zrównoważonego rozwoju, jednocześnie zwiększając konkurencyjność i innowacyjność sektora logistycznego. W efekcie minimalizacja śladu węglowego staje się zarówno obowiązkiem regulacyjnym, jak i szansą na rozwój sektora w zgodzie z ideą zrównoważonego rozwoju.

Alternatywne źródła zasilania statków odgrywają kluczową rolę w logistyce morskiej w kontekście dążenia do redukcji emisji gazów cieplarnianych i ochrony środowiska. Tradycyjne paliwa kopalne (olej napędowy czy mazut) są coraz częściej zastępowane bardziej ekologicznymi rozwiązaniami, które minimalizują ślad węglowy, jednocześnie wpisując się w globalne cele zrównoważonego rozwoju. Jednym z najpopularniejszych rozwiązań jest LNG (skroplony gaz ziemny). Paliwo to pozwala na redukcję emisji CO₂ o 20–30%, niemal całkowitą eliminację emisji SO₂ i znaczące ograniczenie emisji NO_x. Do zalet LNG należą mniejsze emisje gazów cieplarnianych oraz rozwijająca się infrastruktura bunkrowa, jednak nadal emituje ono CO₂ i wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych (Forkiewicz i Wolski, 2018).

Kolejnym przykładem jest napęd wodorowy oferujący potencjał zerowej emisji CO₂, szczególnie przy wykorzystaniu wodoru zielonego, produkowanego z energii odnawialnej. Technologia ta

przyciąga uwagę czystością procesu, generując jedynie wodę jako produkt spalania. Wyzwaniem pozostają jednak wysokie koszty produkcji i magazynowania wodoru oraz ograniczona infrastruktura do jego przechowywania i dystrybucji. Z kolei dla krótkich tras, takich jak żegluga promowa, optymalnym rozwiązaniem są statki elektryczne zasilane bateriami. Eliminują one emisje gazów cieplarnianych podczas użytkowania, pod warunkiem że energia pochodzi ze źródeł odnawialnych. Statki elektryczne są ciche i tanie w eksploatacji, jednak ograniczony zasięg i wysokie koszty baterii wciąż stanowią wyzwanie (Ubowska, 2018, s. 146–147).

Alternatywnym rozwiązaniem są także biopaliwa produkowane z odnawialnych surowców, takich jak oleje roślinne czy odpady rolnicze, mogące być stosowane jako zamiennik tradycyjnych paliw. Ich zaletą jest łatwość wdrożenia w istniejących silnikach i mniejsze emisje, choć produkcja biopaliw może konkurować z uprawami żywności i generować własne emisje podczas procesu wytwarzania. Do alternatywnych rozwiązań zaliczyć można także energię wiatru wykorzystywaną za pomocą żagli hybrydowych i turbin wiatrowych, która powraca jako ekologiczne wsparcie tradycyjnych napędów. Brak emisji podczas użytkowania oraz ograniczenie zużycia paliwa na długich trasach to główne korzyści tego rozwiązania, choć jego efektywność zależy od warunków pogodowych. Ostatni przykład stanowią paliwa syntetyczne (e-paliwa), produkowane z energii odnawialnej, które dzięki zdolności do wykorzystania w istniejących silnikach są obiecującą alternatywą dla tradycyjnych paliw, choć ich produkcja jest obecnie kosztowna i wymaga dalszego rozwoju technologicznego (Komisja Europejska, 2006).

Konkludując, należy stwierdzić, że alternatywne źródła zasilania są kluczowe dla transformacji sektora transportu morskiego w kierunku zrównoważonego rozwoju. Ich wdrażanie pozwala zmniejszyć emisje gazów cieplarnianych, chronić ekosystemy morskie i spełniać międzynarodowe regulacje, takie jak wytyczne IMO. Choć każda technologia ma swoje ograniczenia, inwestycje w rozwój i infrastrukturę umożliwiają coraz szersze zastosowanie tych rozwiązań, a w rezultacie logistyka morska może nie tylko ograniczać wpływ na środowisko, ale również poprawiać efektywność i konkurencyjność sektora na globalnym rynku.

4. Alternatywne źródła zasilania statków na trasie Polska–Szwecja – studium przypadku

Badanie dotyczące czasu przeprawy na trasie promowej Świnoujście–Ystad zostało przeprowadzone w pierwszej połowie sierpnia 2024 roku (od 1 do 14 sierpnia). Przeprawa promem na tej trasie trwa średnio od 6 do 8 godzin, przy czym dokładny czas rejsu uzależniony jest od dwóch głównych czynników: typu jednostki pływającej oraz aktualnych warunków atmosferycznych. Promy obsługujące to połączenie osiągają prędkość w przedziale od 15 do 25 węzłów (jeden węzeł odpowiada jednej mili morskiej na godzinę). Celem weryfikacji postawionej hipotezy badawczej dokonano analizy porównawczej śladu węglowego produkowanego przez paliwo MGO oraz RMD 80.

Marine Gas Oil (MGO) to tradycyjne paliwo okrętowe powszechnie stosowane w transporcie morskim. Jest to destylat o niskiej zawartości siarki, nieprzekraczającej 0,1%, charakteryzujący się jasnożółtą lub przezroczystą barwą oraz niską lepkością. MGO znajduje szerokie zastosowanie

szczególnie na statkach operujących w obszarach kontroli emisji (ECA), takich jak Morze Bałtyckie i Morze Północne. Jest wykorzystywane zarówno w pomocniczych silnikach okrętowych, jak i głównych jednostkach napędowych. W porównaniu z cięższymi paliwami okrętowymi MGO spala się znacznie czystiej i wymaga mniej skomplikowanych systemów podgrzewania oraz przygotowania przed użyciem, co przekłada się na mniejsze zanieczyszczenie środowiska. Pod względem parametrów technicznych MGO charakteryzuje się gęstością około $0,833 \text{ g/cm}^3$. Jest to rodzaj paliwa tradycyjnego. W celu obliczenia śladu węglowego dokonano następujących przeliczeń:

$$\text{Gęstość paliwa} = 0,833 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Współczynnik emisji to } 3,206 \text{ kg CO}_2/\text{l paliwa MGO}$$

$$\text{Przekształcenie gęstości} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ g/l} = 1 \text{ kg/l} \quad 1 \text{ } 0,8330 \text{ g/cm}^3 = 0,8330 \cdot 1000 \text{ g/l} = 0,8330 \text{ kg/l}$$

$$\text{Przeliczenie współczynnika emisji} = 3,206 \text{ kg CO}_2/\text{l } 0,8330 \text{ kg} = 3,847 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa}$$

Gęstość paliwa wynosi $0,8330 \text{ kg/l}$; współczynnik emisji to $3,847 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa MGO}$

Drugi rodzaj paliwa, RMD 80, jest alternatywnym paliwem wobec morskiego oleju napędowego MGO, który charakteryzuje się gęstością $0,874 \text{ g/cm}^3$ i wymaga podgrzewania przed użyciem w silnikach okrętowych. Ze względu na wysoką lepkość RMD 80 wymaga specjalnego przygotowania przed podaniem do silnika – musi być podgrzewane do temperatury $100\text{--}140^\circ\text{C}$, aby osiągnąć odpowiednią płynność umożliwiającą prawidłowe rozpylenie w komorze spalania. Jest przeznaczone dla statków morskich wyposażonych w system grzania paliwa. Podobnie jak w przypadku pierwszego paliwa dokonano następujących przeliczeń:

$$\text{Gęstość paliwa} = 0,8740 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Współczynnik emisji to } 2,723 \text{ kg CO}_2/\text{l paliwa RMD}$$

$$\text{Przekształcenie gęstości: } 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ g/l} = 1 \text{ kg/l} \quad 1 \text{ } 0,8740 \text{ g/cm}^3 = 0,8740 \cdot 1000 \text{ g/l} = 0,8740 \text{ kg/l}$$

$$\text{Przeliczenie współczynnika emisji: } \text{współczynnik emisji} = 2,723 \text{ kg CO}_2/\text{l} / 0,8740 \text{ kg} = 3,116 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa}$$

Gęstość paliwa wynosi $0,8740 \text{ kg/l}$, współczynnik emisji to $3,116 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa RMD}$

Na podstawie powyższych danych dokonano obliczeń wielkości śladu węglowego dla paliwa MGO (tabela 1).

Tabela 1. Wielkość śladu węglowego dla paliwa MGO na trasie Świnoujście–Ystad

Data	Zużycie MGO (w litrach)	Ślad węglowy (kg CO ₂)
1 sierpnia	26,30	84,31
2 sierpnia	22,80	73,1
3 sierpnia	16,80	53,86
4 sierpnia	20,40	65,40
5 sierpnia	19,10	61,23
6 sierpnia	19,70	63,16

7 sierpnia	18,20	58,35
8 sierpnia	17,50	56,10
9 sierpnia	15,70	50,33
10 sierpnia	16,20	51,94
11 sierpnia	17,70	56,75
12 sierpnia	15,10	48,41
13 sierpnia	16,40	52,58
14 sierpnia	16,90	54,18

SUMA = 781,29 kg CO₂

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 2 przedstawiono obliczenia dotyczące paliwa RMD 80.

Tabela 2. Wielkość śladu węglowego dla paliwa RMD 80 na trasie Świnoujście–Ystad

Data	Zużycie RMD 80 (w litrach)	Ślad węglowy (kg CO ₂)
1 sierpnia	26,30	71,62
2 sierpnia	22,80	62,10
3 sierpnia	16,80	45,75
4 sierpnia	20,40	55,56
5 sierpnia	19,10	52,01
6 sierpnia	19,70	53,65
7 sierpnia	18,20	49,57
8 sierpnia	17,50	47,66
9 sierpnia	15,70	42,76
10 sierpnia	16,20	44,12
11 sierpnia	17,70	48,20
12 sierpnia	15,10	41,123
13 sierpnia	16,40	44,66
14 sierpnia	16,90	46,1

SUMA = 704,81 kg CO₂

Źródło: opracowanie własne.

Analiza porównawcza śladu węglowego paliw MGO i RMD 80 na trasie Świnoujście–Ystad prowadzi do szeregu istotnych wniosków dotyczących aspektów środowiskowych, jak i ekonomiczno-logistycznych w żegludze morskiej. zarówno

W perspektywie środowiskowej redukcja emisji CO₂ o 76,48 kg (9,79%) przy zastosowaniu paliwa RMD 80 zamiast MGO stanowi znaczący krok w kierunku bardziej zrównoważonej żeglugi. Szczęólnego znaczenia nabiera to w kontekście obszaru Morza Bałtyckiego, które jako akwen szczególnie wrażliwy ekologicznie objęte jest restrykcyjnymi regulacjami dotyczącymi emisji (strefa ECA). Przy założeniu, że statek wykonuje około 300 rejsów rocznie na tej trasie, redukcja emisji CO₂ mogłaby wynieść około 23 ton w skali roku dla jednego statku. W szerszej perspektywie, gdyby wszystkie promy operujące na Bałtyku przeszły na paliwo RMD 80, roczna redukcja emisji mogłaby sięgać setek ton CO₂.

Z punktu widzenia ekonomicznego niższy ślad węglowy RMD 80 w połączeniu z jego niższą ceną rynkową tworzy atrakcyjną propozycję dla armatorów. Jednak implementacja tego rozwiązania wymaga znaczących inwestycji w infrastrukturę – zarówno na statkach (systemy grzania paliwa), jak i w portach (systemy bunkrowania). Te początkowe nakłady inwestycyjne mogą być barierą dla mniejszych przedsiębiorstw żeglugowych, mimo długoterminowych korzyści ekonomicznych i środowiskowych.

W kontekście logistycznym przejście na RMD 80 wymaga reorganizacji łańcucha dostaw paliwa. Kluczową rolę odgrywają tu dostępność paliwa w portach oraz konieczność utrzymywania odpowiednich temperatur podczas transportu i bunkrowania. Jednocześnie może to stymulować rozwój lokalnych producentów paliw, jak pokazuje przykład Lotos Asphalt, który jako jedyny polski producent dostarcza RMD 80.

Warto również zauważyć wpływ na bezpieczeństwo żeglugi – stosowanie RMD 80 wymaga dodatkowych procedur bezpieczeństwa związanych z podgrzewaniem paliwa, co przekłada się na potrzebę dodatkowych szkoleń załogi i modyfikacji procedur operacyjnych. Z drugiej strony, wyższa lepkość RMD 80 może pozytywnie wpływać na trwałość silników przy odpowiednim przygotowaniu paliwa.

W perspektywie przyszłościowej obserwowana redukcja śladu węglowego przy stosowaniu RMD 80 może stanowić krok pośredni w transformacji żeglugi w kierunku paliw całkowicie bezemisyjnych. Doświadczenia zdobyte przy adaptacji floty i infrastruktury do RMD 80 mogą być wartościowe podczas przyszłych zmian technologicznych w kierunku np. wodoru czy amoniaku. Dane wskazują również na sezonowość zużycia paliwa – widoczne są wahania w dziennym zużyciu, co może być związane z warunkami pogodowymi, obciążeniem statku czy innymi czynnikami operacyjnymi. Informacja ta może być wartościowa dla optymalizacji harmonogramów rejsów i zarządzania zapasami paliwa.

5. Podsumowanie

Cel badawczy artykułu, którym było dokonanie analizy porównawczej wielkości śladu węglowego podczas wykorzystania paliwa alternatywnego RMD 80 w stosunku do konwencjonalnego paliwa MGO w logistyce morskiej, został osiągnięty. Pozytywnie zweryfikowano hipotezę

badawczą: zastosowanie alternatywnego paliwa RMD 80 prowadzi do redukcji śladu węglowego w porównaniu z konwencjonalnym paliwem MGO, co możliwe było dzięki przeprowadzonym badaniom empirycznym na trasie Świnoujście–Ystad.

Badania przeprowadzone w okresie od 1 do 14 sierpnia wykazały, że przy identycznym zużyciu paliw w litrach całkowita emisja CO₂ dla MGO wyniosła 781,29 kg, podczas gdy dla RMD 80 było to 704,81 kg, co oznacza redukcję o 76,48 kg CO₂ (9,79%). Wyniki te jednoznacznie potwierdzają, że zastosowanie paliwa RMD 80 przyczynia się do zmniejszenia śladu węglowego w żegludzie morskiej.

Sektor transportu morskiego stoi obecnie przed wieloma wyzwaniem z koniecznością redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz dostosowaniem się do coraz bardziej restrykcyjnych norm środowiskowych, szczególnie w obszarach kontroli emisji (ECA), takich jak Morze Bałtyckie. W tym kontekście zastosowanie paliwa RMD 80 jako alternatywy dla MGO stanowi istotny krok w kierunku zrównoważonego rozwoju logistyki morskiej.

Należy podkreślić, że transformacja w kierunku paliw alternatywnych wymaga znaczących inwestycji w infrastrukturę portową oraz dostosowania jednostek pływających, jednak długoterminowe korzyści środowiskowe i ekonomiczne uzasadniają te nakłady. Szczególnego znaczenia nabiera to w kontekście rosnącej presji na dekarbonizację transportu morskiego oraz dążenia do osiągnięcia neutralności klimatycznej.

Przeprowadzone badania wskazują również na potrzebę dalszej analizy możliwości optymalizacji zużycia paliw w żegludzie morskiej oraz rozwoju innowacyjnych rozwiązań technologicznych, które pozwolą na jeszcze większą redukcję emisji gazów cieplarnianych. Jest to wyjątkowo ważne w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu regulacyjnym i w związku z rosnącą świadomością ekologiczną uczestników łańcuchów dostaw.

Bibliografia

- Autzen, A., Chłopińska, E. (2018). Analiza ekonomiczna wykorzystania paliwa niskosiarkowego w transporcie morskim. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 220(6), 996–1001.
- Forkiewicz, M., Wolski, L. (2018). Elektryczne promy morskie na przykładzie Norwegii. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19.
- Jurdziński, M. (2012). Innowacje technologiczne na statkach morskich w celu redukcji zużycia energii i emisji CO₂. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 77, 16–26. <https://sj.umg.edu.pl/sites/default/files/ZN178.pdf>
- Kalbarczyk, M. (2018). Infrastruktura punktowa transportu morskiego w Polsce – stan obecny i perspektywy rozwoju. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (12), 469–486. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-bcf3a5a1-fd45-4d50-a49d-625c0ea16d63>
- Karaś, A. (2018). Innowacje i nowoczesne technologie w funkcjonowaniu portów morskich. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (12), 487–498. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-4e6cc1c3-19cf-44bb-9200-b6ea1ce283cd>
- Kłós, A. (2017). Instrumenty finansowe w realizacji polityki zrównoważonego rozwoju. *Studia Ekonomiczne*, (319), 94–103. <https://www.sbc.org.pl/dlibra/publication/304451/edition/287635>
- Komisja Europejska. (2006). *Komunikat Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego. Utrzymać Europę w ruchu – zrównoważona mobilność dla naszego kontynentu*. Bruksela.
- Krakowski, R. (2019). Wybrane aspekty rozwoju napędów alternatywnych dla jednostek morskich. *Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy*, 32(3), 187–199.

- Kulczycka, J., Wernicka, M. (2015), Metody i wyniki obliczania śladu węglowego działalności wybranych podmiotów branży energetycznej i wydobywczej. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, (89), 133–142.
- Marek, R. (2013). Koncepcja logistyki morskiej w kontekście konteneryzacji. *Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego*, Gdańsk.
- Motowidlak, U. (2013). LNG jako alternatywne paliwo dla transportu. *Handel Wewnętrzny*, 1(6A), 343–352. <https://bazekon.uek.krakow.pl/gospodarka/171299449>
- Pac, B. (2017). Koncepcja oceny strategicznego potencjału gospodarki morskiej. *Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego*, 14, 13–31. <https://doi.org/10.26881/sim.2017.4.01>
- Pyc, D. (2014). Zrównoważony system transportu morskiego jako cel Międzynarodowej Organizacji Morskiej. *Gdańskie Studia Prawnicze*, (XXXII), 55–61. <http://dx.doi.org/10.17402/400>
- Sobolewski, M. (2020). Europejski Zielony Ład – w stronę neutralności klimatycznej. *Infos Zagadnienia Społeczno-Gospodarcze*, (9). https://www.debiut.buzek.pl/wp-content/uploads/2022/10/Tekst_ZROWNOWAZONY_17x24cm_wer2.pdf
- Ubowska, A. (2018). Redukcja emisji gazów cieplarnianych ze statków – amoniak jako paliwo przyszłości. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, (108), 143–152. https://sj.umg.edu.pl/sites/default/files/12_108.pdf
- Wagner, N. (2014). Syntetyczny miernik konkurencyjności portów morskich oraz infrastruktury liniowej na ich zapleczu. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki*, 842(27), 209–222. <https://bibliotekanauki.pl/articles/319937>
- Wołczek, P. (2014). Ewolucja podejścia do koncepcji zrównoważonego rozwoju na arenie międzynarodowej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 338, 206–218. <https://www.dbc.wroc.pl/dlibra/publication/29022/edition/26194?language=en>
- Zarczuk, J., Klepacki, B. (2021). Pojęcie, znaczenie i pomiar śladu węglowego (carbon footprint). *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 6(1), 85–95. <https://doi.org/10.22630/EIOL.2021.6.1.8>

Alternative Vessel Fuels and Sustainable Development of maritime logistics – a Case Study of the Sweden-Poland Route

- **Abstract:** Subject and purpose of work was the assessment of the impact of alternative fuel RMD 80 on the carbon footprint compared to conventional MGO fuel in maritime logistics, with particular focus on the Świnoujście-Ystad route. Used materials and methods were comparative analysis of fuel consumption and CO₂ emissions data from the 1st of August to the August 14th, using carbon footprint measurements for MGO and RMD 80 fuels, case study. With identical fuel consumption, a significant difference in CO₂ emissions was demonstrated. For MGO fuel, total emissions amounted to 781.29 kg CO₂, while for RMD 80 – 704.81 kg CO₂, representing a reduction of 76.48 kg CO₂ (9.79%). Each type of fuel has different properties – MGO has a density of 0.833 g/cm³ and an emission factor of 3.847 kg CO₂/kg fuel, while RMD 80 has a density of 0.874 g/cm³ and an emission factor of 3.116 kg CO₂/kg fuel. Conclusions is the use of RMD 80 fuel as an alternative to MGO leads to a significant reduction in the carbon footprint in maritime shipping. In the long term, this can contribute to a significant improvement in environmental indicators in maritime transport, especially in Emission Control Areas (ECA). Despite the need to adapt port infrastructure and equip ships with fuel heating systems, the environmental and economic benefits justify the transformation towards alternative fuels.
- **Keywords:** carbon footprint, alternative fuels, RMD 80, MGO, maritime logistics, sustainable development, CO₂ emissions