
Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska

Patrycja Boratyńska

Uniwersytet Morski w Gdyni

e-mail: patrycjaboratynska29@gmail.com

ORCID: [0009-0007-1521-5636](https://orcid.org/0009-0007-1521-5636)

© 2025 Patrycja Boratyńska

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: Boratyńska, P. (2025). Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa* nr 7/2025 (s. 61–70). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOL: [10.71433/2025.96.3.05](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.05)

JEL Classification: R48

■ **Streszczenie:** Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska stanowi kluczowy element globalnych działań dla zapewnienia wzrostu efektywności gospodarczej i logistycznej. Przemysł morski stoi przed wieloma wyzwaniami środowiskowymi, takimi jak emisja gazów cieplarnianych do atmosfery, zanieczyszczenia wód oraz degradacja ekosystemów. Artykuł opisuje zanieczyszczenia, strategie i technologie mające na celu promowanie zrównoważonego rozwoju w żegludze, takie jak zastosowanie alternatywnych paliw (np. LNG, wodór, biopaliwa) oraz korzystanie z odnawialnych źródeł energii w postaci energii wiatrowej. Opisuje również aspekty międzynarodowych regulacji prawnych. Podkreśla także znaczenie innowacji, takich jak autonomiczne statki, narzędzia optymalizacji cyfrowej i mechanizmy oczyszczania spalin. Wnioski wskazują, że osiągnięcie zrównoważonego transportu morskiego wymaga współpracy wszystkich interesariuszy oraz właścicieli statków.

■ **Słowa kluczowe:** transport morski, środowisko, współczesne technologie

1. Wstęp

Transport morski odgrywa kluczową rolę w globalnej gospodarce. Odpowiada za 80% międzynarodowego handlu i umożliwia przewóz towarów i zasobów między portami. Jego efektywność, ekonomiczność i zdolność ładunkowa towarów ponadnormatywnych sprawiają, że stał się niezbędnym narzędziem współpracy międzynarodowej. Statki specjalistyczne marynarki handlowej pozwalają na przewóz miliardów ton surowców, produktów gotowych, żywności, elektroniki, a nawet ropy naftowej czy skroplonego gazu ziemnego służącego do napędu pojazdów kołowych oraz maszyn. Dzięki tej możliwości poszczególne państwa mogą się specjalizować w produkcji dóbr, w których mają przewagę komparatywną, co wspiera globalizację i tym samym zwiększa wydajność gospodarki. Transport drogą morską jest najbardziej opłacalnym środkiem przewozu

dużej ilości towarów na znaczne odległości, a wraz z rozwojem technologii i automatyzacji cyfrowej stał się jeszcze bardziej niezawodny i zrównoważony.

2. Wpływ transportu morskiego na środowisko naturalne

Problematyka środowiskowa naturalnego związana z transportem morskim jest aktualnym trendem pojawiającym się regularnie w środowisku infrastruktury morskiej. Statki morskie stanowią jedno z największych źródeł emisji gazów cieplarnianych w postaci dwutlenku węgla, tlenków siarki oraz azotu. Przemysł handlowy odpowiada za około 3% globalnych emisji dwutlenku węgla. Dodatkowo występują zanieczyszczenia przez tlenki siarki (SO_x) oraz tlenki azotu (NO_x), powstające w wyniku spalania paliw ciężkich o wysokiej zawartości siarki. Ma to znaczący wpływ na środowisko, prowadząc do powstania kwaśnych deszczy, degradacji ekosystemów oraz skażenia powietrza. Kwaśne deszcze powstają w wyniku reakcji tlenków siarki z wodą znajdującą się w atmosferze. Skutkiem kwaśnych deszczy jest uszkodzenie gleb i lasów poprzez zakwaszanie wody. Zakwaszenie środowiska wodnego może doprowadzić do wymierania organizmów wrażliwych na zmianę kwasowości, co z kolei degraduje ekosystem. Dla człowieka wdychanie tlenków siarki jest równie niebezpieczne, ponieważ prowadzi do zaostrzenia schorzeń układu oddechowego i sercowo-naczyniowego. Tlenki azotu powstają w wyniku spalania paliwa w wysokich temperaturach i pod wpływem wysokiego ciśnienia. Uwalnianie tlenków azotu powoduje powstanie smogu, a także ozonu troposferycznego odpowiedzialnego za choroby ludzi i zwierząt. Depozycja tlenków azotu do wody morskiej prowadzi do eutrofizacji, czyli nadmiernego wzrostu glonów, co skutkuje niedoborem tlenu w wodzie i śmiercią organizmów morskich.

Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza w art. 1 ust. 1, pkt 4 podaje następującą definicję pojęcia zanieczyszczenia morskiego: „zanieczyszczanie środowiska morskiego oznacza takie bezpośrednie lub pośrednie wprowadzanie przez człowieka substancji lub energii do środowiska morskiego, łącznie z estuariami, które powoduje lub może powodować takie szkodliwe następstwa, jak: szkody wyrządzone żywym zasobom i życiu w morzu, niebezpieczeństwa dla zdrowia człowieka, przeszkody w działalności na morzu, w tym w połowianiu i w innych zgodnych z prawem sposobach korzystania z morza, obniżanie jakości użytkowej wody morskiej i pogarszanie warunków wypoczynku”. Przyjęta definicja zaproponowana została przez Komitet Naukowy Badań Oceanicznych działający w strukturach Międzynarodowej Rady Organizacji Naukowych. Zanieczyszczenia wód morskich odbywają się głównie w wyniku wypłukiwania zanieczyszczeń z kadłubów jednostek morskich, na przykład metali ciężkich czy pozostałości farb przeciwkorozyjnych i przeciwpiorostowych. Znacznie gorszym scenariuszem dla środowiska morskiego są wypadki oraz kolizje, które prowadzą do wylewów paliw i olejów. Kwestia rozlewów olejowych regulowana i egzekwowana jest przez Międzynarodową Konwencję o Zapobieganiu Zanieczyszczaniu Morza przez Statki (Konwencja MARPOL). Konwencję tę przyjęto w roku 1973, natomiast została zmodyfikowana w roku 1978 na Międzynarodowej Konferencji w sprawie Bezpieczeństwa Zbiornikowców i Zapobiegania Zanieczyszczeniom. Również dzięki Konwencji MARPOL regulowane są zagadnienia dotyczące odpadów, ścieków, zanieczyszczeń szkodliwymi substancjami ciekłymi oraz substancjami przewożonymi w opakowaniach przez statki.

Zanieczyszczenia wód morskich dzielimy na:

- Chemiczne – substancje, które zmieniają właściwości wody: metale ciężkie (rtęć, ołów), ropa naftowa, związki organiczne (detergenty, farmaceutyki).
- Fizyczne – w postaci osadów zmieniających przezroczystość wody, plastik i mikroplastik, których fragmenty zagrażają organizmom morskim.
- Biologiczne – polegają na wprowadzaniu do wód substancji lub organizmów pochodzenia biologicznego, takich jak: bakterie i wirusy pochodzące z nieoczyszczonych ścieków oraz inwazyjne gatunki przedostające się przez balasty statków.
- Radioaktywne – powstają w wyniku działalności przemysłu nuklearnego.

Do najbardziej niebezpiecznych rodzajów zanieczyszczeń środowiska morskiego należą rozlewy olejowe. Rozlewy tworzą oleistą warstwę na powierzchni wody lub rozpuszczają się w niej i wchodzi w strukturę flory oraz fauny morskiej. W szczególności powstające ubytki tlenowe wywierają znacząco negatywny wpływ na faunę denną. Widoczne skutki rozlewów tworzą się na powierzchni akwenu. Zmniejszają one znacznie szanse na przeżycie zwierząt unoszących się na wodzie, co prowadzi do znacznego zmniejszenia biomasy morza. Poprzez występowanie prądów pływowych oraz silnych wiatrów powodujących znos jednostek pływających rozlewy natychmiastowo rozprzestrzeniają się. Liczne substancje chemiczne zawarte w rozlewach olejowych są toksyczne dla całego środowiska morskiego oraz mają poważne reperkusje dla środowiska nadmorskiego. Również paliwa napędowe, takie jak ropa naftowa, która stanowi mieszaninę wielu związków, w których w skład wchodzi węglowodory alkanowe, cykloalkanowe i arenowe, związki siarkoorganiczne, azotoorganiczne, tlenoorganiczne oraz substancje mineralne i woda, powodują znaczne pogorszenie się stanu środowiska naturalnego. Poprzez procesy niecałkowitego spalania paliw karbonowych stanowią największe niebezpieczeństwo zanieczyszczenia zarówno wód, jak i powietrza. Do środowiska trafiają z eksploatacji jednostek pływających, zrzutów wód balastowych i zęzowych, ścieków komunalnych, ścieków przemysłowych oraz na skutek szeroko rozumianych awarii statków zbiornikowych.

3. Międzynarodowe regulacje prawne dotyczące ochrony środowiska

Prawo morza stanowi dział prawa międzynarodowego publicznego, który określa status prawny obszarów oraz statków morskich. Opiera się na zwyczaju międzynarodowym i na umowach. Jedną z umów międzynarodowych jest Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza sporządzona 10 grudnia 1982 roku (tzw. Konwencja jamajska). Projekt Konwencji o prawie morza uchwalony został już 30 kwietnia 1982 roku, lecz złożenie podpisów potwierdzających nastąpiło w grudniu tego samego roku. Reguluje ona kwestie związane z administracją obszarów morskich wchodzących w skład terytorium państwowego, obszarów podlegających ograniczonej jurysdykcji i suwerenności państw oraz obszary poza granicami jurysdykcji państw.

Wyróżniamy tu takie regulacje prawne, jak:

1. Konwencja MARPOL (Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki).
2. Konwencja o ochronie różnorodności biologicznej (CBD).

3. Konwencja londyńska (1972) i protokoły dotyczące zatapiania odpadów w morzach.
4. Konwencja helsińska (HELCOM) dotycząca ochrony środowiska morskiego Morza Bałtyckiego.
5. Konwencja o prawie morza (UNCLOS).
6. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO).
7. Międzynarodowa Konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi BWM.
8. Inne porozumienia regionalne.

Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki (MARPOL) stanowi umowę międzynarodową przyjętą na Międzynarodowej Konferencji w sprawie Zanieczyszczania Mórz. Ma ona zastosowanie do statków uprawnionych do podnoszenia bandery stron konwencji oraz statków nieuprawnionych do podnoszenia bandery strony, ale eksploatowanych pod zarządkiem strony. Jej przepisy nie mają zastosowania do jakiegokolwiek okrętu wojennego, floty pomocniczej ani do innych statków stanowiących własność państwa lub eksploatowanych przez nie i używanych czasowo wyłącznie w rządowej służbie niehandlowej.

Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji została sporządzona dnia 29 grudnia 1972 roku w Londynie, Meksyku, Moskwie i Waszyngtonie. Umowa międzynarodowa zobowiązuje strony do podejmowania natychmiastowych działań mających na celu zwalczanie oraz zapobieganie zanieczyszczeniu mórz, które mogłoby „wyrządzić szkodę zasobom żywym, florze i faunie morskiej, pogarszać warunki rekreacyjne lub też utrudniać wszystkie inne prawnie dopuszczalne sposoby użytkowania morza”.

Pierwsza Konwencja helsińska została podpisana 22 marca 1974 roku w Helsinkach, a weszła w życie 3 maja 1980 roku i obejmowała ona cały obszar Morza Bałtyckiego z Cieśninami Duńskimi. Po ratyfikacji Konwencji przez Europejską Wspólnotę Gospodarczą w dniu 24 września 1992 roku stronami jej zostało dziewięć państw nadbałtyckich. Należy wspomnieć, iż Konwencja obejmująca obszar Morza Bałtyckiego ma zastosowanie do ochrony wód i dna morskiego, łącznie z ich żywymi zasobami i innymi formami życia w morzu. Konwencja helsińska wprowadziła pojęcie najlepszej praktyki ekologicznej, która uwzględnia zasady zapobiegania, unikania zanieczyszczających działań, ryzyka dla środowiska związanego z wyborem danego wytworu, potencjalne korzyści i szkody związane z użyciem materiałów, skalę użycia.

Międzynarodowa konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami (BWM) została sporządzona w Londynie 13 lutego 2004 roku. Konwencja BWM jest pierwszym międzynarodowym instrumentem prawnym i technicznym opisującym ryzyko wynikające z przemieszczania się organizmów w wodach balastowych. Wprowadzona została poprzez przywołanie Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza z 1982 roku, Konwencji o różnorodności biologicznej z 1992 roku, Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Środowiska i Rozwoju z roku 1992 oraz Komitetu Ochrony Środowiska Morskiego. Przedmiotowa umowa międzynarodowa weszła w życie 8 września 2017 roku. Do Konwencji przystąpiło 86 państw, których floty handlowe stanowią łącznie około 91% pojemności brutto światowej floty handlowej. Głównym celem tego dokumentu jest zapobieganie, zminimalizowanie i ostatecznie wyeliminowanie ryzyka dla środowiska, ludzkiego zdrowia, mienia i zasobów, związane z przenoszeniem szkodliwych organizmów morskich oraz patogenów, jak również unikanie

skutków ubocznych tego zjawiska. Uważa się, iż przedostanie się gatunków obcych do nowych, nieprzystosowanych do nich środowisk może doprowadzić do zmiany struktury ekosystemów morskich oraz jej dynamiki.

Regulacje prawne w zakresie ochrony środowiska naturalnego są istotnym narzędziem ograniczania negatywnego wpływu działalności człowieka na przyrodę. Obejmują one zarówno normy międzynarodowe, jak i szczegółowe przepisy krajowe i lokalne. Ich efektywne wdrażanie wymaga zaangażowania, współpracy na wszystkich szczeblach technologicznych oraz finansowych.

4. Innowacyjne technologie na rzecz zrównoważonego transportu morskiego

Głównym założeniem wspomnianej Konwencji o zarządzaniu wodami balastowymi jest stosowanie na statkach morskich technologii oczyszczania wód tak, aby skutecznie zapobiec wprowadzaniu gatunków inwazyjnych do nowych ekosystemów. Do jednej z metod chemicznych należy neutralizacja elektrochemiczna polegająca na zainstalowaniu elektrolitycznej komory przepływowej wód balastowych z elektrodami zasilającymi prądem stałym. Niszczenie organizmów tą metodą odbywa się poprzez wydzielanie czynników neutralizujących (np. rodników wodorotlenowych). Zastosowanie metod fizycznych ogranicza się do zastosowań lamp UV lub ultradźwięków. Promieniowanie UV jest jedną z najpopularniejszych metod wykorzystywanych na statkach, uważaną za efektywną i przyjazną środowisku. Stosowane są w niej lampy wyładowcze niskociśnieniowe, wykonane ze szkła kwarcowego z niską zawartością rtęci, dzięki czemu wytwarzają one stabilne promieniowanie. Organizmy, które dostaną się wraz z wodą balastową na jednostkę morską, są neutralizowane poprzez utlenianie. Zastosowanie fal ultradźwiękowych powoduje powstanie zjawiska kawitacji, czyli zaniku pęcherzyków powietrza na skutek zmiany ciśnienia cieczy. Siły hydrodynamiczne skutecznie rozrywają ścianki organizmów żywych, powodując ich neutralizację.

Aktualnie wielu działaczy „Green Ships” inwestuje w systemy kontrolujące w czasie rzeczywistym trasy statku oraz jego parametry, co ma znacznie zredukować zanieczyszczenia wytwarzane przez jednostkę morską. Urządzenia te wykorzystują satelitarne systemy monitoringu oraz systemy zarządzania emisjami. Strategią europejskiego Zielonego Ładu (*Green Deal*) jest zredukowanie łącznej emisji spalin CO₂. Ponadto w roku 2020 Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) wyznaczyła nowy poziom dozwolonej emisji siarki na 0,50%, zmieniając tym samym załącznik IV Konwencji MARPOL dotyczący norm emisji. Jedną z metod redukcji utleniania siarki zawartej w paliwie jest dodanie olejów smarnych do silnika, który tworzy neutralne związki wapnia, pozwalające na neutralizowanie spalin. Metoda ta nie likwiduje całej uwalnianej siarki w czasie zużycia paliwa, lecz tylko wspomaga jej ograniczenie.

Wzrost zapotrzebowania na zrównoważony rozwój transportu morskiego wiąże się z potrzebą wprowadzenia paliw alternatywnych, takich jak skroplony gaz ziemny (LNG), biopaliwa, wodór czy też amoniak. Aktualnie przeprowadzane są badania nad rozwojem technologicznym poprawiającym efektywność energetyczną zarówno dla maszyn (układów napędowych), jak i pokładów statków (m.in. oświetlenie, mechaniczne urządzenia pokładowe). Większość statków obecnie eksploatowanych wykorzystuje paliwo ciężkie (HFO – *Heavy Full Oil*), które

jest stosunkowo niedrogie. Napęd statkowy zasilany amoniakiem dotychczas nie został jeszcze zastosowany. Stanowi to nowy i innowacyjny pomysł, który przez ostatni czas skupił uwagę naukowców z całego świata.

W dalszej części tekstu opisano zastosowane dotychczas alternatywne typy paliw na statkach w celu zmniejszenia ich wpływu na środowisko oraz ich korzyści:

- skroplony gaz ziemny (LNG) – spalanie skroplonego gazu ziemnego powoduje zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, emisję dwutlenków siarki oraz tlenków azotu;
- biopaliwo – produkowane jest z biomasy, którą stanowią oleje roślinne czy tłuszcze zwierzęce, co oddziałuje neutralnie na emisję dwutlenku węgla oraz znacząco obniża dwutlenek siarki i tlenek azotu;
- metanol – produkowany z gazu ziemnego, biomasy, dzięki czemu jego spalanie nie tworzy emisji dwutlenku węgla, jednak jest toksyczny i wymaga zastosowania środków ostrożności podczas jego przechowywania;
- wodór – używany jako paliwo ogniwo paliwowych, który wytwarza energię elektryczną, nie emituje dwutlenku węgla, lecz jego przechowywanie jest skomplikowane i kosztowne, wymaga dużych zbiorników;
- amoniak – nie powoduje emisji dwutlenku węgla, lecz jest toksyczny i wymaga zastosowania środków ostrożności w celu jego przechowywania;
- paliwa syntetyczne – produkowane poprzez syntezę wodoru i dwutlenku węgla, dlatego są neutralne pod względem emisji CO₂, jednak wymagają dużych nakładów energetycznych.

Na statkach morskich wciąż dominuje zastosowanie olejów opałowych ciężkich (HFO), olejów napędowych (MGO i MDO), jednakże w ostatnich latach rośnie zainteresowanie paliwami alternatywnymi, które pozwalają na znaczne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Każde z wyżej wymienionych paliw ma swoje wady i zalety, a wybór odpowiedniego napędu zależy od dostępności produktów, kosztów, infrastruktury oraz regulacji środowiskowych.

Aby przeciwdziałać zanieczyszczeniom powietrza przez stosowanie paliw w postaci olejów napędowych, wymagane jest posiadanie systemów oczyszczania spalin na jednostkach morskich. Scrubbery, czyli płuczki spalin, zamontowane są w maszynie i kominie statku. W skład systemu wchodzi: pompy, chłodnice, zbiorniki na osady i zbiorniki cyrkulacyjny, oczyszczacz wody, system monitoringu gazu/wody oraz sam scrubber. Systemy oczyszczania spalin dzielimy na mokre i suche. System mokry wykorzystuje wodę morską oraz słodką do absorbowania lub wychwytywania zanieczyszczeń. Scrubbery suche wykorzystują zaś materiały sorpcyjne w postaci suchego proszku, np. wapnia lub wodorowęglanu sodu, które reagują z zanieczyszczeniami. System oczyszczania paliw spełnia regulacje IMO 2020, które ograniczają maksymalną zawartość siarki w paliwie do 0,5%.

5. Zarządzanie efektywnością transportu morskiego

Aby zarządzać efektywnością transportu morskiego, należy się skupić na podstawowych kategoriach mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa pracy oraz życia na morzu wraz z uwzględnieniem ochrony środowiska naturalnego (zob. tab. 1). Do najważniejszych kategorii

Tabela 1. Kategorie zarządzania efektywnością transportu morskiego

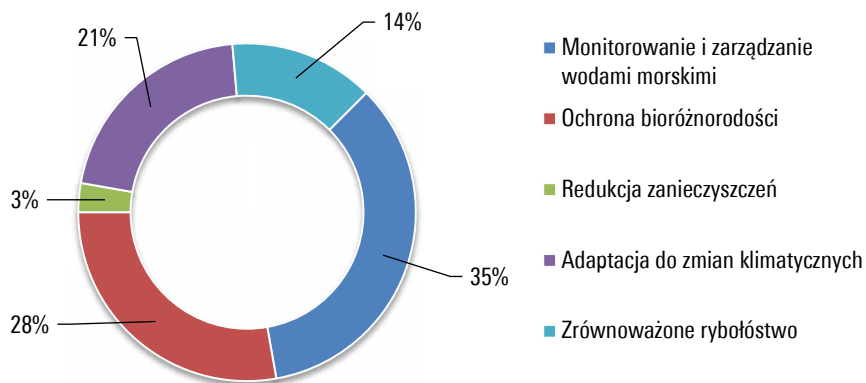
Kategoria	Opis	Przykłady działań
Planowanie tras żegludowych	Optymalizacja tras i zasobów, aby zmniejszyć koszty i czas dostaw	▪ Wykorzystanie systemów GPS ▪ Tworzenie harmonogramu dostaw ▪ Wykorzystanie map meteorologicznych ▪ Wykorzystanie ortodromy na trasach oceanicznych
Monitorowanie i analiza	Stałe śledzenie wskaźników efektywności transportu	▪ Monitorowanie oraz analiza zużycia paliwa w czasie podróży ▪ Monitorowanie czasu dostaw towarów
Optymalizacja kosztów dostaw	Redukcja kosztów operacyjnych przy zachowaniu jakości usług	▪ Konsolidacja ładunków ▪ Negocjacja umów z dostawcami
Technologia i automatyzacja	Wdrożenie narzędzi cyfrowych wspierających zarządzanie transportem	▪ Wprowadzenie systemów służących do analizowania oraz redukcji uwalnianych zanieczyszczeń do środowiska morskiego
Wskaźnik efektywności ochrony środowiska	Pomiar wydajności systemów służących do ochrony środowiska	▪ Analiza przebytej trasy pod względem zużycia paliwa, wody słodkiej, smarów ▪ Analiza ilości wykorzystanego paliwa alternatywnego
Zarządzanie flotą morską	Efektywne zarządzanie statkamiorskimi	▪ Regularne inspekcje sprzętu oraz ich konserwacja ▪ Wymiana zniszczonych części na nowe

Źródło: opracowanie własne.

należą planowanie tras żeglownych i ich optymalizacja, monitorowanie i analiza efektywności transportu, optymalizacja kosztów dostaw, technologia i automatyzacja, zarządzanie flotą morską oraz wskaźnik efektywności ochrony środowiska. Zastosowanie powyższych kategorii w zarządzaniu infrastrukturą morską może doprowadzić do optymalizacji operacji oraz inwestycji w zrównoważony dalszy rozwój. Realizacja tych celów wymaga jednak współpracy międzysektorowej oraz ciągłego monitorowania postępu, co stanowi zarówno wyzwanie, jak i szansę dla przyszłości transportu morskiego.

6. Scenariusze transportu morskiego do 2050 roku

Transport morski do roku 2050 ma szansę stać się sektorem całkowicie zrównoważonym i efektywnym w globalnym łańcuchu dostaw. W wizjach przyszłości zakłada się całkowite przejście na alternatywne źródła energii, takie jak paliwa alternatywne, nazywane również zeroemisyjnymi. Dzięki sukcesywnemu wprowadzeniu cyfryzacji oraz rozwojowi sztucznej inteligencji procesy zarządzania flotą, planowania i monitorowania tras z operacjami ładunkowymi stały się w pełni zautomatyzowane, co przyczynia się do wzrostu efektywności w minimalizacji negatywnego oddziaływania na środowisko naturalnego. Porty przyszłości będą działać jako inteligentne węzły logistyczne, a aktywność „zielonych portów” pozwoli na zrównoważony rozwój przestrzennej infrastruktury.



Rys. 1. Procentowy udział różnych kategorii w ochronie środowiska morskiego do roku 2050

Źródło: (Portal Morski, b.d.).

Analizując wykres na rys. 1 prezentujący procentowy udział kategorii składających się z monitorowania i zarządzania wodami morskimi, ochrony bioróżnorodności, redukcji zanieczyszczeń, adaptacji do zmian klimatycznych oraz zrównoważonego rybołówstwa, można dostrzec znaczny spadek redukcji zanieczyszczeń. Dzieje się tak, ponieważ ochrona środowiska i wprowadzenie poszczególnych regulacji czy innowacyjnych systemów jest normą, która sprawi, iż do 2050 roku będziemy w stanie skutecznie zmniejszyć negatywne oddziaływanie na środowisko oraz zrealizować plan obniżenia temperatury Ziemi o 1,5 stopnia Celsjusza.



Rys. 2. Statki przyszłości

Źródło: (Portal Morski, b.d.).

Statki przyszłości (zob. rys. 2), pomimo innych konstrukcji oraz zastosowanych technologii, mają wspólny cel – ochronę środowiska morskiego oraz zrównoważony rozwój transportu morskiego. Coraz bardziej popularna jest koncepcja powrotu do napędu wiatrowego, który wytwarza dodatkową energię napędową, co znacznie zmniejsza wykorzystywanie napędu tradycyjnego w postaci paliwa napędowego bądź paliw alternatywnych. Żagle wirnikowe wykorzystują efekt Magnusa, który pozwala na generowanie siły napędowej. Kiedy cylinder obraca się w strumieniu powietrza, wytwarzając różnicę ciśnień, po dwóch stronach powietrze będzie poruszało się znacznie szybciej po jednej stronie cylindra, co wygeneruje poprzeczną siłę do kierunku wiatru, wytwarzając dodatkową energię. Odzyskanie energii wiatrowej tym sposobem wynosi około 50% możliwości jej pozyskania.

Statki bezzałogowe, inaczej autonomiczne, funkcjonujące bez udziału załogi na pokładzie, to najnowocześniejsze rozwiązanie w transporcie morskim. Dzięki nowoczesnym technologiom tego typu statki mogą być sterowane zdalnie w pełni lub częściowo. Brak załogi na pokładzie statku pozwala na oszczędności w kosztach operacyjnych, takich jak utrzymanie załogi i wynagrodzenie za wykonywane obowiązki. Dodatkowo jednostki autonomiczne mają minimalizować ryzyko popełniania błędów przez ludzi, co ma znacząco zwiększyć bezpieczeństwo na morzu, bowiem błędy ludzkie są najczęstszym powodem katastrof i incydentów morskich. Rozwój tej technologii ma jednak wielu przeciwników. Stoi przed nim również wyzwania, w tym dotyczące regulacji prawnych, kwestii cyberbezpieczeństwa oraz budowy odpowiedniej infrastruktury portowej.

7. Wnioski

Zrównoważony rozwój transportu morskiego jest szansą na modernizację i innowacje w branży żeglugowej. Adaptacja alternatywnych paliw, takich jak skroplony gaz ziemny, wodór czy biopaliwa, oraz zastosowanie odnawialnych źródeł energii znacząco ograniczają emisję gazów cieplarnianych do atmosfery oraz zmniejszają negatywny wpływ na środowisko naturalne. Regulacje międzynarodowe, takie jak Konwencja MARPOL, i cele wyznaczone przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) zawierają przepisy, do których należy się stosować, a skuteczność tych działań jest ściśle monitorowana. Osiągnięcie najwyższej efektywności transportu wymaga współpracy wszystkich interesariuszy i osób pracujących w infrastrukturze morskiej. Wspólne inwestycje w badania są kluczowe do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju, który musi uwzględniać kwestie zarówno środowiskowe, jak i ekonomiczne. Inwestycje w ekologiczne rozwiązania mogą wygenerować długoterminowe oszczędności finansowe oraz energetyczne, jednocześnie podnosząc konkurencyjność przedsiębiorstw na arenie międzynarodowej.

Bibliografia

- Bolałek, J. (2016). *Ochrona środowiska morskiego. Od teorii do praktyki*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- HELCOM. (2018). *State of the Baltic Sea-Second HELCOM Holistic Assessment 2011-2016*. Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission.

- Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza. Montego Bay. 1982.12.10. Porozumienie w sprawie implementacji części XI Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza z dnia 10 grudnia 1982 r. (Dz.U.2002.59.543)
- Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z 9 kwietnia 1992 r. [Konwencja helsińska]. (Dz.U.2000.28.346.)
- Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji. [Konwencja londyńska]. (Dz.U.1961.28.135)
- Ławniczak, A. E., Mioduszewski, W. (2013). *Woda w środowisku: zagrożenia, ochrona, zrównoważone użytkowanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Międzynarodowa konwencja o gotowości do zwalczania zanieczyszczeń morza olejami oraz współpracy w tym zakresie (OPRC). (Dz.U. 2004 nr 36, poz. 1903)
- Międzynarodowa konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami. [Konwencja BWM]. (Dz.U.2020.1800)
- Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczenia morza przez statki z 1973 r. [MARPOL 73/78]. Międzynarodowa Organizacja Morska (t.j. Dz.U.2023.1072)
- Najwyższa Izba Kontroli. (2004). *Informacja o wynikach kontroli realizacji postanowienia Konwencji Helsińskiej*. NIK.
- Portal Morski. (b.d.). <https://www.portalmorski.pl>
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 roku o prawie wodnym (Dz.U. 2017, poz. 1566)

Sustainable Development of Maritime Transport for Environmental Protection

- **Abstract:** Sustainable development in maritime transport is a critical component of global efforts to protect the environment while ensuring economic growth and efficient logistics. The maritime industry faces significant environmental challenges, including greenhouse gas emissions, marine pollution, and the degradation of ecosystems. This paper explores strategies and technologies aimed at promoting sustainability in shipping, such as the adoption of alternative fuels (e.g., LNG, hydrogen, and biofuels), the implementation of energy-efficient ship designs, and the use of renewable energy sources like wind and solar power. Emphasis is placed on innovations such as autonomous vessels, digital optimization tools, and scrubbers mechanisms. The study concludes that achieving sustainable maritime transport requires a collaborative approach among stakeholders, encompassing ship owners, policymakers, and technology providers, to balance environmental, economic, and social priorities effectively.
- **Keywords:** maritime transport, environmental, modern technology