

## ANALIZA ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH NAPĘDU GŁÓWNEGO ŚRÓDLĄDOWYCH JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH W ASPEKTCIE BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI I EKOLOGII

*W artykule omówiony został problem napędu głównego śródlądowych jednostek pływających w aspekcie bezpieczeństwa żeglugi i ekologii. Przedstawiono przykładowe rozwiązanie techniczne spełniające wymagania bezpieczeństwa żeglugi i przepisów ochrony środowiska.*

### WSTĘP

Udrożnienie szlaków wodnych Odry i Wisły wpisuje się w ideę utworzenia jednolitego, zintegrowanego europejskiego śródlądowego wodnego systemu transportowego. Podstawowe założenia, postulaty i wytyczne dla kierunków rozwoju systemu transportowego Unii Europejskiej zawarte są w opublikowanych Białych Księgach z 2001 i 2011 roku z późniejszymi modyfikacjami.

Ponieważ polityka transportowa Unii Europejskiej skierowana jest na zwiększenie stopnia wykorzystania transportu wodnego śródlądowego, w niniejszej pracy przedstawiono rozwiązania techniczne napędów stosowanych na jednostkach śródlądowych oraz alternatywnych rozwiązań. Ideę zrównoważonego rozwoju zdefiniowano jako odpowiedzialność za stosowanie rozwiązań technicznych dążących do wypełniania założeń Białych Ksiąg [1] w celu ochrony środowiska naturalnego od fazy projektowania urządzeń, ich produkcji, eksploatacji do procesu całkowitej utylizacji.

### 1. WYMAGANIA STAWIANE NAPĘDOM GŁÓWNYM ŚRÓDLĄDOWYCH JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH

Koncepcja zrównoważonego rozwoju transportu wprowadziła wiele zmian w krajach Unii Europejskiej. Europejska polityka transportowa ma zapewnić funkcjonowanie systemu transportowego, zarówno w skali lokalnej, regionalnej i międzynarodowej. Główne cechy tego systemu to sprawność, bezpieczeństwo, efektywność ekonomiczna oraz przyjazność środowisku i otoczeniu [6, 7, 15, 16].

Zgodnie z założeniami zawartymi w Białej Księdze 2011, określonych zostało dziewięć celów na rzecz utworzenia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportowego [5].

Cele europejskiej polityki transportowej do roku 2050 [1] wymagają wdrożenia nowych koncepcji i innowacyjnych rozwiązań we wszystkich gałęziach transportu, z akcentem na obszary, gdzie do tej pory występowały największe zaniedbania. Identyfikuje się bariery natury technicznej i organizacyjnej powodujące niski stopień wykorzystania danej gałęzi, tak jak ma to miejsce w przypadku transportu wodnego śródlądowego w Polsce.

W chwili obecnej rozwój transportu jest podporządkowany następującym determinantom [1]:

- poprawie efektywności energetycznej napędów we wszystkich środkach transportu,

- rozwojowi i wprowadzeniu ekologicznych paliw i systemów napędowych,
- optymalizacji działań multimodalnych i intermodalnych łańcuchów transportowych, w tym poprzez zastosowanie bardziej efektywnych ekonomicznie i ekologicznie środków transportu.

W transporcie przyjęto kierunki i sposoby gospodarowania i zarządzania zapewniające dostępność komunikacyjną w sposób bezpieczny, niezagrażający zdrowiu ludzi i środowisku naturalnemu. Transport wg zrównoważonego rozwoju, to ten który dąży do ograniczenia emisji spalin i odpadów, wykorzystuje odnawialne zasoby energii i charakteryzuje się minimalnym poziomem hałasu i przyjazny ludziom zamieszkującym tereny w pobliżu szlaków transportowych. Powinien być efektywny, spełniać oczekiwania społeczeństwa, być korzystnym ekonomicznie i ekologicznie [1].

Zrównoważony rozwój, powinien równoważyć szanse dostępu obywateli do środowiska, stymulować proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, gwarantujący zachowanie równowagi przyrodniczej oraz trwałość podstawowych procesów przyrodniczych [2].

Wprowadzenie nowych paliw i rozwiązań systemów napędowych zgodnych z zasadą zrównoważonego rozwoju [15], obejmujące aspekty środowiskowe i społeczne, nie zawsze są zgodne z wymiernym rachunkiem ekonomicznym. Przykładem może być żegluga śródlądowa w Polsce, charakteryzująca się bardzo różnicowanymi uwarunkowaniami geograficznymi i industrialnymi.

### 2. ANALIZA PRZYKŁADOWYCH ROZWIĄZAŃ NAPĘDÓW STOSOWANYCH NA JEDNOSTKACH ŚRÓDLĄDOWYCH

Żegluga śródlądowa w porównaniu z innymi gałęziami transportu charakteryzuje się względnie niskim poziomem zagrożenia i określana jest jako proekologiczna. Jednak na drogach wodnych, gdzie odbywa się intensywny i wzmożony ruch statków, kumulacja emisji spalin wpływa negatywnie na środowisko. Zwraca się na ten fakt uwagę szczególnie na terenach objętych programem Natura 2000.

Prowadzi to poszukiwania i wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań na jednostkach transportu wodnego, co ma się przyczyniać do wzrostu ich efektywności wykorzystania i obniżenia kosztów eksploatacyjnych. Innowacje te mogą dotyczyć zarówno struktury technicznej jednostki pływającej (np. konstrukcja kadłuba, napęd

statku, rodzaje paliw, informatyczne systemy zarządzania statkiem), organizacyjnych (np. dotyczące nawigacji, eksploatacji statku, kompleksowej obsługi), jak i środowiskowych (np. strefa ciszy, wrażliwość na fale akustyczne, miejsca poboru wody pitnej, obszary łęgowe).

Środowiskowe uwarunkowania żeglugi śródlądowej utrudniają, wprowadzanie innowacji w tej gałęzi transportu. Możliwe jest zastosowanie w jednostkach napędowych tych samych rozwiązań energetycznych, co np. w transporcie samochodowym (np. napęd gazowy – metanowy, propan-butanowy, wodorowy lub napęd elektryczny), jednak radykalna zmiana jakościowych i ilościowych parametrów śródlądowych jednostek pływających lub parametrów szlaków wodnych jest bardzo utrudniona. Nie można, znacznie zwiększyć ani prędkości ani gabarytów jednostek pływających z uwagi na parametry torów wodnych jak i ochronę ich strefy brzegowej [3].

Coraz bardziej restrykcyjne przepisy pro-ekologiczne, spowodowały stosowanie coraz droższych, ekologicznych paliw. Dlatego też jednym z celów poszukiwania nowych technologii stało się dążenie do redukcji zużycia paliwa oraz emisji szkodliwych substancji, a w konsekwencji poszukiwanie nowych rozwiązań napędowych lub adaptowanie istniejących z innych gałęzi transportu.

Jednym z takich rozwiązań jest napęd w oparciu o metan – skroplony gaz ziemny (LNG) i sprężony gaz ziemny (CNG) [15]. Ten rodzaj napędu jest popularyzowany wśród armatorów, ze względów ekonomicznych i ekologicznych, a przy tym jest równie bezpieczny w eksploatacji, jak olej napędowy. przy mniejszej emisji tlenków siarki (SOx) i tlenków azotu (NOx).

Innym rozwiązaniem, powszechnie stosowanym w pewnych sektorach rynku, są jednostki pływające wykorzystujące silniki elektryczne. Powoduje to obniżenie poziomu hałasu i drgań [8, 11, 12] oraz większą elastyczność w umiejscowieniu silnika [4, 13].

Rozwiązaniami konstrukcyjnymi, coraz częściej spotykanymi na jednostkach śródlądowych, są panele z ogniw fotowoltaicznych (zapewniających energię elektryczną, przetworzoną z promieniowania słonecznego), ogniw paliwowych (przetwarzanie energii chemicznej na energię elektryczną) współpracujących z napędem elektrycznym, oraz wykorzystujący ciepło z różnych źródeł (silnik Stirlinga) [6, 14].

### 3. PRZYKŁADOWE KRYTERIA OCENY ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH NAPĘDÓW STOSOWANYCH NA JEDNOSTKACH ŚRÓDLĄDOWYCH.

Akweny śródlądowe posiadają różną charakterystykę. Różnią się obszarem, głębokością, parametrami falowania wody, prądami, florą, fauną, infrastrukturą, stopniem zagospodarowania i użytkowania. Dlatego też poszukiwanie optymalnych rozwiązań wiąże się z koniecznością oceny według wybranych przykładowych kryteriów [6, 14]:

Rozwiązanie techniczne napędu (RTN):

- konstrukcja, zasada działania, sposób przetwarzania energii, użyte materiały (ich dostępność, technologia, obciążenie środowiska, pracochłonność, koszty wytwarzania),

Energia zasilania (EZ) - rodzaj energii, źródło energii, dostępność, magazynowanie, proces przetwarzania przed użyciem (np. paliwo ciekłe, paliwo gazowe, energia rozproszona, energia odnawialna, biopaliwo)

Zasięg pływania (ZP) – czas pracy napędu, dzielność morska, przystosowanie do akwenu

Emisja (E)- chemiczna, termiczna

Wartości użytkowe (WU) – korzyści

Niezawodność (N) – zdolność do bezawaryjnej pracy między obsługami planowanymi [9, 10]

Wymagane obsługi (WO) – rodzaje obsług podnoszących bezpieczeństwo eksploatacyjne [9, 10]

Czynniki ekonomiczne (CzE):

- koszty inwestycyjne – cena zakupu jednostki (cena surowców, przetwarzania, produkcji, energii zużytej do produkcji)
- koszty eksploatacyjne - koszty paliwa, materiałów eksploatacyjnych (oleje, filtry, płyn chłodzący) [13], części wymienne, koszty obsługi, koszty utylizacji (obciążenie środowiska)
- koszty społeczne - wyższe ceny żywności spowodowane produkcją biopaliw, energia wiatrowa - hałas, obniżenie walorów krajobrazowych, energia wody (turbina wodna – ładowanie akumulatorów),

Zagrożenia uszkodzenia (ZU) – wrażliwe obszary podczas eksploatacji napędu

Zasadność aplikacyjna (ZA) – uzasadnienie wyboru danego napędu

Uwagi – informacje uzupełniające

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie cech napędów zasilanych paliwem węglowodorowym (HC) i napędów alternatywnych.

W tabeli użyto skrótów:

- napędy zasilane paliwem węglowodorowym (NPWW)
- silnik spalinowy tłokowy (SST)
- silnik spalinowy tłokowy zasilany węglowodorowym paliwem ciekłym (SSTPC)
- silnik spalinowy tłokowy gazowy (SSTG) (LNG, LPG, CNG)
- Turbina parowa zasilana węglowodorowym paliwem ciekłym (TPPC)
- silnik spalinowy – silnik elektryczny (SS-SE)
- silnik elektryczny - ogniwa fotowoltaiczne (SE-OF) [21]
- silnik elektryczny – ogniwa paliwowe (SE-OP) [20]
- silnik Stirlinga- (SSTYR) [19]

Opisane w Tabeli 1. cechy napędów mogą tworzyć bazę danych podczas analizy doboru typu napędu do charakterystyki akwenu, w tym zajmowanego obszaru, głębokości, parametrów falowania wody, prądów, flory, fauny, infrastruktury, intensywności żeglugi.

Idea zrównoważonego rozwoju oprócz wartości policzalnych, np. ekonomicznych, zawiera w sobie również czynniki niewymierne, do których należą: czynnik społeczny (uwarunkowania historyczne i kulturowe, poziom kultury technicznej – zdolność do obsługi urządzeń zaawansowanych technicznie, stopień bezrobocia, zamożność), walory edukacyjne zmieniające sposób postrzegania otaczającego człowieka środowiska. Biorąc to pod uwagę często trzeba liczyć się z dodatkowymi kosztami finansowymi i przygotowaniem społeczeństwa do akceptacji ponoszenia tych kosztów. Pośrednio wiąże się to z solidarnością społeczną, ponieważ najczęściej projekty takie wymagają wsparcia państwa, którego budżet jest wypracowywany przez całe społeczeństwo.

Dla bezpieczeństwa żeglugi najważniejszy jest dobór mocy napędu głównego zarówno do wielkości jednostki pływającej jak i do możliwych oporów stawianych przez czynniki zewnętrzne takie jak:

- środowiskowe - prądy, wiatry, falowanie wody, duże przestrzenie
- infrastruktura – dostępność paliwa lub energii elektrycznej.

Dlatego też, przy analizie macierzy wyboru koncepcji (WK) napędu:

{WK}: {RTN, EZ, ZP, E, WU, N, WO, CzE, ZU, ZA}

należy oszacować wartości poszczególnych czynników, lub macierz powiększyć o dalsze czynniki np. przydatność eksploatacyjną (PE). Wymienione wartości są zmienne, również w proporcjach względem siebie i zależą od aplikacji rodzaju napędu.

Tab. 1. Tabela zbiorcza cech napędów HC i napędów alternatywnych [6]

L.p.	KRYTERIA PORÓW- NANIA NAPĘDÓW MORSKICH	RODZAJE NAPĘDÓW ALTERNATYWNYCH DO NAPĘDÓW ZASILANYCH PALIWEW WĘGLOWODOROWYM (NPWW)			
		NPWW	SE-OE	SE-OP	SSTYR
1.	Energia zasilania	Paliwo HC	Promieniowanie słoneczne	Związki wodoru, tlen	Ciepło
2.	Osiągana moc	Bardzo duża	Bardzo mała	Mała	mała
3.	Zasięg, magazynowa- nie paliwa, energii	Bardzo duży	Mały	Duży	Duży
4.	Szkodliwa emisja	wysoka	brak	brak	brak
5.	Wartości użytkowe	Łatwość obsługi, dopracowane technologie, elastyczność zastosowania w przedziale mocy małe – bardzo duże	Brak szkodliwych produktów przemian energetycznych, nie wymaga tlenu	Czysta energia, cicha praca	Czysta energia, cicha praca
6.	Ograniczenia	Konieczny dostęp do tlenu i duże zużycie tlenu	Noc, brak promieniowania słonecznego, podatność na czystość atmosfery	Małe moce, utrudnione magazynowanie paliwa	Małe moce, wymagana duża szczelność układu
7.	Wymagane obsługi	Łatwa wymiana części	Minimalna obsługa	Wyspecjalizowany serwis	Wyspecjalizowany serwis
8.	Ekonomiczne	Relatywnie do innych napędów niskie koszty eksploatacyjne, duża sprawność 35 – 65 %	Wysokie koszty inwestycyjne, bardzo mała sprawność 10 –30 %	Wysokie koszty inwestycyjne, bardzo duża sprawność 50 –90 %	Wysokie koszty inwestycyjne, duża sprawność 30 –40 %
9.	Zasadność aplikacyjna	Długotrwała praca bez uzupełniania źródła energii, duża niezależność od lądu	Uzupełnienie innych rodzajów napędów, praca w warunkach obostrzonych przepisów ochrony środowiska	Czysta energia, cicha praca, brak powietrza	Czysta energia, cicha praca, brak powietrza
10.	Przydatność eksploatacyjna	Bardzo duży zakres mocy, duża elastyczność aplikacyjna	Mała ze względu małe moce jak na warunki morskie, wymagane duże powierzchnie	Mała ze względu małe moce jak na warunki morskie	Mała ze względu małe moce jak na warunki morskie, może pracować na różnych źródłach ciepła

## WNIOSKI

Funkcjonowanie systemu transportowego szczególnie w obszarach objętych uwarunkowaniami prawnymi np. Natura 2000 generuje wiele kosztów, w tym społecznych i środowiskowych. Dlatego też istotnym jest poszukiwanie i wdrażanie takich rozwiązań, które pozwolą na minimalizację tych kosztów i będą sprzyjały ochronie środowiska naturalnego.

Obserwowany w ostatnich latach trend wprowadzania innowacyjnych rozwiązań na śródlądowych jednostkach pływających, w celu obniżenia kosztów, podniesienia efektywności i wydajności ich pracy jak i ograniczenia emisji szkodliwych związków w tym (SOx, COx, NOx, metali ciężkich) jest zgodny z założeniami zintegrowanego rozwoju transportu. Nowe rozwiązania wiążą się najczęściej z zastosowaniem paliw pochodzenia roślinnego, alkoholi, alternatywnych do węglowodorowych paliw gazowych NG, PG.

Ze względu na specyficzne cechy niektórych akwenów, takich jak silne wiatry, silne rzeczne prądy, wysoki poziom falowania wody szczególnie eksploatacja relatywnie dużych jednostek pływających o napędzie solarnym, zasilanym ogniwami paliwowymi i innymi umożliwiającymi stosowanie technik kogeneracji ciepła, np. zastosowanie silników Stirlinga jest możliwa w bardzo ograniczonym stopniu. Są to rozwiązania, możliwe do wykorzystania na małych jednostkach na wodach spokojnych. Zawsze trzeba brać pod uwagę czynniki wymierne i niewymierne ekonomicznie, w zależności od aplikacji jednostki pływającej. Najlepszym tego przykładem jest wykorzystanie innowacyjnych technologii (wymagających czasami ogromnych kosztów) w zastosowaniu militarnym (przy generowaniu energii w procesach beztlenowych) [19], podczas wstępnych badań nowych technologii kosmicznych lub jako środków ratunkowych.

Stosowanie napędów kombinowanych spalinowo elektrycznych wiąże się z każdorazową oceną, czy napęd elektryczny będzie generował moc zapewniającą pokonanie oporów i będzie zapewniał sterowność.

## BIBLIOGRAFIA

1. Biała księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego systemu transportu- dążenia do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, KOM(2011) 144 wersja ostateczna, Bruksela 2011.
2. Borys T.: Aspekty regionalne i lokalne polityki ekologicznej w Polsce, w: Polityka ekologiczna w gospodarce rynkowej, Red. S. Czaja, B. Fiedor, Biblioteka Ekonomia i Środowisko, 1999 nr 25.
3. Burniewicz J., Innovative Perspective of Transport and Logistics, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2009.
4. Elektryfikacja - przyszłość floty? [www.portalmorski.pl](http://www.portalmorski.pl)
5. Filina-Dawidowicz L., Kaup M., Wiktorowska-Jasik A.: Zintegrowany transport wodny i lądowy, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2014.
6. Łosiewicz Z., Analiza przydatności innowacyjnych źródeł energii do napędów urządzeń w zastosowaniu morskim, jako rozwiązań alternatywnych do napędów zasilanych paliwami węglowodorowymi, Logistyka Nr 3/2015..
7. Łosiewicz Z.: Wpływ czynnika ludzkiego na bezpieczną eksploatację statku w aspekcie różnych faz życia statków, Technika Transportu Szybowego Nr 12/2015.
8. Łosiewicz Z.: Przykładowe uszkodzenia na statkach morskich spowodowane drganiem – w aspekcie stochastycznych warunków

- ków eksploatacyjnych i ich wpływ na bezpieczeństwo statku, Technika Transportu Szybowego Nr 12/2015.
9. Łosiewicz Z.: Bezpieczeństwo pracy na morzu - weryfikacja kompetencji załóg w realnych warunkach zagrożenia pożarowego statku, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6/2016.
  10. Łosiewicz Z.: Zbiory parametrów diagnostycznych do identyfikacji stanów technicznych okrętowego tłokowego silnika spalinowego, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6/2016.
  11. Łosiewicz Z. Banaszek A.: Węzły funkcjonalne okrętowego silnika spalinowego wolnoobrotowego wodzikowego jako źródła drgań, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6/2016, s. 986-988, Lista B, ISSN 1509-5878, 7 pkt
  12. Łosiewicz Z., Cioch W., Drgania na statku morskim – W aspekcie bezpieczeństwa eksploatacyjnego, Technika Transportu Szybowego Nr 12/2015.
  13. Łosiewicz Z., Kamiński W., Practical Application of Ship Energy Efficiency Management Plan, Logistyka Nr 3/2014.
  14. Łosiewicz Z., Kaup M., Analiza innowacyjnych rozwiązań napędów stosowanych na jednostkach śródlądowych w aspekcie zrównoważonego rozwoju transportu, Logistyka Nr 6/2014.
  15. Łosiewicz Z., Mironiuk W.: Bezpieczeństwo w transporcie gazu naturalnego – analiza wg wybranych Kryteriów, TTS Technika Transportu Szybowego, Nr 9/2012.
  16. Łosiewicz Z., Mironiuk W.: Ocena bezpieczeństwa statków handlowych różnych typów w warunkach morskich - wg przyjętych kryteriów, Technika Transportu Szybowego Nr 12/2015.
  17. Miłaszewicz D., Ostapowicz B.: Warunki Zrównoważonego rozwoju transportu w świetle dokumentów UE, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania US, nr 24, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2011.
  18. Przybyłowski A.: Rozwój transportu w polskich regionach w kontekście Koncepcji zrównoważonego transportu UE, Czasopismo Logistyka 2/2012.
  19. <http://www.defence24.pl>
  20. <http://www.ogniwa-paliwowe.info>
  21. <http://www.planetsolar.org>

## Analysis of technical solutions for main propulsion inland vessels navigation safety and ecology

*Paper discussed the problem of main propulsion inland waterway vessels in terms of shipping safety and ecology. This is an example of a technical solution that meets shipping safety and environmental regulations.*

Autorzy:

dr inż. st.of.mech.okr. **Zbigniew Łosiewicz** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie – Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Energetyki, Zakład Inżynierii Bezpieczeństwa, [zbigniew.losiewicz@zut.edu.pl](mailto:zbigniew.losiewicz@zut.edu.pl).