

Elektryczne promy morskie na przykładzie Norwegii

JEL: L95 DOI: 10.24136/atest.2018.519

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Norwegia jest światowym liderem wdrażania rozwiązań z zakresu e-mobilności (elektromobilności). W 2018 roku odbyła się ekspedycja naukowa projektu ELMAR w norweskich fiordach, podczas której zwizytowano wybrane promy pasażerskie oraz pasażersko-samochodowe. Zebrane przez autorów doświadczenia zostały przedstawione w artykule.

Słowa kluczowe: e-mobilność, elektromobilność, prom elektryczny, fiord, Norwegia.

Wstęp

Norwegia jest światowym liderem e-mobilności (ang. *e-mobility*) – w 2017 roku ponad połowę nowych pojazdów osobowych stanowiły samochody w pełni elektryczne, wodorowe oraz hybrydowe. Ponad 20% wszystkich zarejestrowanych pojazdów jest zeroemisyjnych (całkowicie elektrycznych i wodorowych) [11]. Właściciele samochodów elektrycznych korzystają ze wsparcia państwa, zarówno w postaci dużych ulg podatkowych przy zakupie pojazdu, a także przywilejów podczas eksploatacji, m.in.: nie ponoszą opłat za wjazd do centrów miast i parkowanie oraz za przejazdy autostradami i promami [14, s. 24]. Państwo inwestuje także w rozwój infrastruktury szybkiego ładowania.

Kierując się troską o środowisko naturalne władze norweskie podjęły decyzję o rozwijaniu również żeglugi w fiordach z wykorzystaniem promów morskich z napędem elektrycznym zasilanym z akumulatorów, z pełną świadomością, że wdrażanie w pełni elektrycznych promów w transporcie lądowo-morskim wymaga zastosowania innowacyjnych rozwiązań (produktowych, technologicznych, organizacyjnych, społecznych).

Rozwojowi e-mobilności morskiej poświęcony jest projekt ELMAR – *Supporting South Baltic SMEs to enter the international supply chains & sales markets for boats & ships with electric propulsion*, realizowany w latach 2017-2020 w ramach Programu Interreg Południowy Bałtyk 2014-2020 [4]. Konsorcjum tworzy 10 partnerów, wśród których są jednostki naukowo-badawcze, stowarzyszenia zrzeszające przedsiębiorstwa i organizacje gospodarcze. Celem projektu jest przekazywanie wiedzy i dobrych praktyk oraz nawiązywanie sieci współpracy pomiędzy przedsiębiorstwami z branży morskiej e-mobilności w obszarze Bałtyku Południowego.

Z tego powodu partnerzy projektu ELMAR (w tym Politechnika Gdańska i Instytut Elektrotechniki) podjęli decyzję o zorganizowaniu we wrześniu 2018 roku ekspedycji naukowej do fiordów w Norwegii, w których wykorzystywane są elektryczne promy pasażerskie i pasażersko-samochodowe. Podczas wizyty, w gronie ekspertów z Finlandii, Litwy, Niemiec, Norwegii i Polski, odbyły się seminaria oraz warsztaty praktyczne na elektrycznych jednostkach pływających. Z uczestnikami warsztatów swoją wiedzę podzielili również się konstruktorzy, dostawcy wyposażenia i operatorzy promów. Zebrane podczas wyprawy doświadczenia posłużyły autorom do przygotowania niniejszego artykułu.

1 E-mobilność w transporcie promowym

Podwyższanie sprawności ekonomicznej lądowo-morskich łańcuchów transportowych wymaga dążenia do uzyskania najkorzystniejszej relacji pomiędzy jakością usług transportowych a społecznymi kosztami przemieszczania [13, s. 9]. Ta zasada odnosi się także do transportu kombinowanego drogą morsko-lądową, realizowanego przez żeglugę promową na krótkich liniach, służącą do wahadłowego przewozu pasażerów, pojazdów kołowych i wagonów kolejowych. Żegluga promowa stwarza regularne połączenia między portami tego samego państwa lub różnych państw, zwykle w basenie jednego morza [7, s. 120]. Wyróżnić można promy [6, s. 113]:

- pasażerskie,
- kolejowe,
- samochodowe,
- pasażersko-samochodowe,
- pasażersko-samochodowo-kolejowe.

W połączeniach promowych krótkiego zasięgu (np. w fiordach norweskich) dominują promy pasażerskie lub pasażersko-samochodowe, przystosowane do jednoczesnego przewozu pasażerów – pieszych lub podróżujących samochodami osobowymi i autobusami oraz samochodów z ładunkiem. Obsługiwane są zwykle stałe porty wahadłowo, z ustaloną częstotliwością zawinięć. Promy są wyspecjalizowanymi statkami, dostosowanymi do warunków eksploatacji (m.in. długości trasy, falowania, prądów), lądowej infrastruktury portowej (nabrzeża), natężenia ruchu pasażerskiego i towarowego, a także organizacji ruchu.

Elementami funkcjonalnymi każdego promu są [12, s. 190]:

- kadłub statku, zwłaszcza kształt części dziobowej i rufowej,
- urządzenia dostarczające energię do napędu i urządzenia pomocnicze,
- urządzenia do sterowania statkiem i zapewnienia bezpieczeństwa,
- pomieszczenia ładunkowe lub kabiny pasażerskie,
- pomieszczenia robocze i socjalne dla załogi.

Sprawne funkcjonowanie żeglugi promowej wymaga wyposażenia portów (nabrzeży) w odpowiednią infrastrukturę do obsługi promów, pasażerów oraz środków transportu, w skład której wchodzi przede wszystkim trzy podstawowe grupy elementów [6, s. 107]:

- drogi wszystkich gałęzi transportu,
- punkty transportowe (węzły),
- urządzenia pomocnicze służące bezpośrednio do obsługi dróg i punktów transportowych.

Obiekty i urządzenia infrastruktury punktowej zapewniają powiązania liniowych elementów infrastruktury transportu wodnego i lądowego w węzle portowym oraz obsługę ruchową wszystkich środków transportu występujących w danym porcie [12, s. 185].

Do napędu statków (w tym promów) używane są najczęściej paliwa węglowodorowe. Jednakże rosnący negatywny wpływ statków na środowisko naturalne, tj. zanieczyszczenie morza związkami ropopochodnymi, emisja do atmosfery spalin oraz generowanie hałasu i wibracji wymusza poszukiwanie innowacyjnych, alternatywnych źródeł energii [9]. Postęp techniczny w zakresie magazynowania energii elektrycznej rozszerzył możliwości aplikacyjne napędów elektrycznych na większe jednostki pływające [8].

Zastosowanie napędów elektrycznych na promach morskich wpisuje się zakres pojęcia e-mobilności (elektromobilności), która jest określana jako ogólny termin rozwoju elektrycznych, hybrydowych i zasilanych wodorowymi ogniwami paliwowymi układów napędowych w kontrze do napędów całkowicie zasilanych paliwami kopalnymi [1, s. 17].

W napędzie hybrydowym – spalinowo-elektrycznym, silniki spalinowe napędzają generatory prądu, którym zasilane są silniki elektryczne napędzające śruby. Natomiast w statkach elektrycznych (z napędem elektrycznym) źródłem energii są akumulatory, a także w pewnym zakresie panele fotowoltaiczne.

Z koncepcją e-mobilności (elektromobilności) związany jest także rozwój technologii w zakresie magazynowania energii (akumulatory), tym bardziej, że e-mobilność wiązana jest często z mobilnością niskoemisyjną (ang. *low-emission mobility*) i całkowicie bezemisyjną (ang. *zero-emission mobility, emission-free mobility*), oczywiście w miejscu eksploatacji.

E-mobilność oznacza transport przyjazny otoczeniu i środowisku naturalnemu, gdyż stosowanie napędu elektrycznego organicznie emisje pyłów i gazów szkodliwych dla zdrowia i środowiska oraz emisję dwutlenku węgla przez pojazd – eliminując proces spalania węglowodorów (benzyny, oleju napędowego) [3, s. 8]. Stopień, w jakim napęd elektryczny zmniejsza globalnie emisję zanieczyszczeń, zależy oczywiście od sposobu wytwarzania energii elektrycznej.

Zaletami napędu elektrycznego promów morskich, które uzupełniają i integrują połączenia lądowe są:

- brak emisji spalin,
- ograniczony hałas i wibracje,
- łatwiejsze precyzyjne manewrowanie,
- możliwość żeglugi przez rejony objęte ochroną środowiska (np. strefy ciszy),
- możliwość spełnienia warunków ograniczenia żeglugi w niektórych atrakcyjnych turystycznie regionach świata.

E-mobilność w morskiej żegludze promowej jest więc rozumiana jako zastosowanie energii elektrycznej do napędzania jednostki pływającej. Energia elektryczna może być zmagazynowana w akumulatorze lub wytwarzana przez generator prądowłóczy napędzany najczęściej silnikiem spalinowym. Akumulatory ładowane są podczas postoju promu w porcie (z sieci energetycznej) lub z paneli fotowoltaicznych zamontowanych na promie. Ładowanie akumulatorów wymaga wyposażenie infrastruktury lądowej w nabrzeżny system ładowania lub lądowe magazyny energii, w oparciu o istniejącą sieć energetyczną.

2 E-mobilność morska w Norwegii

W gestii Norweskigo Zarządu Dróg Publicznych (nor. *Statens vegvesen*) jest 130 połączeń promowych i 200 promów, którymi przewożone jest rocznie ok. 21 milionów pojazdów. Operatorzy promów są kontraktowani długoterminowo w postępowaniu przetargowym przez zarządcę dróg.

Wdrażanie e-mobilności morskiej w połączeniach promowych jest inspirowane i wspomagane przez władze norweskie. Po sukcesie jakim był rozwój e-mobilności w transporcie drogowym, zaczęto wprowadzać przepisy, których celem jest rozwój technologii zerowej emisji i niskiej emisji w żegludze promowej, najczęściej w fiordach zachodniego wybrzeża Norwegii.

Przygotowując w październiku 2014 roku budżet na rok 2015, norweski parlament zdecydował, że wszystkie przyszłe postępowania przetargowe dla usług promowe powinny zawierać zapis o zastosowaniu technologii zerowej emisji (lub niskiej emisji), jeśli tylko lokalne uwarunkowania na to pozwalają.

W norweskiej Strategii morskiej „Maritime Opportunities – Blue Growth for a Green Future” z 2015 roku zapisano:

1. „Norwegia jest obecnie liderem w rozwoju i eksploatacji statków napędzanych gazem i promów zasilanych bateryjnie... Tę przewagę można wykorzystać i dalej rozwijać. Zielona zmiana w norweskim przemyśle morskim będzie ważna w norweskiej polityce klimatycznej i środowiskowej oraz będzie w stanie zapewnić norweskiemu przemysłowi morskiemu przewagę konkurencyjną.” [10, s. 22]
2. „Usługi promowe były i są ważnymi graczami w zakresie wdrażania nowej, przyjaznej dla środowiska technologii. Rozwój technologiczny prowadzący do rozwiązań o niskiej i zerowej emisji, stosowanych w operacjach promowych, może przyczynić się do obniżenia kosztów korzystania z takich rozwiązań w żegludze.” [10, s. 25]

Przy obecnym poziomie rozwoju technologii i obowiązujących przepisach, tylko zasilanie promów energią elektryczną spełnia wymogi zerowej emisji. Niezbędnym warunkiem jest oczywiście dostępność elektryczności. Natomiast zastosowanie biodiesla i biogazu są rozwiązaniami dla technologii o niskiej emisji. Norweski Zarząd Dróg Publicznych prowadzi obecnie postępowanie przygotowawcze dla promu wodorowo-elektrycznego, którego celem jest zarówno rozwój nowej technologii, jak i przepisów zastosowania wodoru, jako głównego nośnika energii.

Przyjęte kierunki rozwoju e-mobilności morskiej niosą za sobą następujące wyzwania:

- lepsze dostosowanie infrastruktury zasilania promów z lądu (dostosowanie pirsów do wielkogabarytowych urządzeń),
- zwiększenie mocy zasilania nabrzeży promowych (konieczność rozbudowy infrastruktury systemu energetycznego),
- planowanie odpowiednio długich czasów postoju promu (uzyskanie odpowiedniego poziomu naładowania akumulatorów),
- dostosowywanie promów do warunków trasy żeglugi (mniejsza zastępowalność jednostek na różnych trasach),
- gotowość na wypadek awarii za pomocą technologii hybrydowej o niskiej emisji lub konwencjonalnych statków z silnikiem spalinowym.

Kalkulacja opłacalności ekonomicznej proponowanych rozwiązań jest zagadnieniem złożonym, nie mniej jednak wymiernymi zaletami wdrażanych rozwiązań są:

1. Koszty energii do elektrycznych promów są znacznie niższe w porównaniu do oleju napędowego, zarówno ze względu na różnicę w cenie między olejem napędowym a energią elektryczną, ale także dlatego, że promy elektryczne mają znacznie niższe zużycie energii w porównaniu do promów spalinowych.
2. Zwiększone koszty inwestycji, związane z zastosowaniem nowej technologii już spadają, wraz ze wzrostem liczby nowo wybudowanych promów elektrycznych. Nadal trwają prace nad rozwojem technologii promów elektrycznych, zwłaszcza w systemach ładowania.

Norwegia, która dysponuje prawie w 100% ekologiczną energią [14, s. 25], dąży do osiągnięcia w 2030 roku stosowania wyłącznie promów o zerowej emisji, o ile będzie to technologicznie uzasadnione – poprzez zastosowanie promów elektrycznych.

Na podstawie doświadczeń z eksploatacji pierwszego promu elektrycznego „Ampere” opracowano profil operacyjny promu, dla którego opłacalne jest zastosowanie zasilania z akumulatorów, ładowany podczas postoju: czas przejścia poniżej 35 minut i obsługa co najmniej 20 kursów w ciągu 24 godzin (przy założeniu 10 minut na ładowanie akumulatorów). Na podstawie tej analizy stwierdzono, że przy obecnych rozwiązaniach technologicznych, opłacalne jest zastąpienie 127 na 180 norweskich promów rozwią-

zianami alternatywnymi, opartymi na zasilaniu bateryjnym (84 promy) lub hybrydowym (43 promy).

W produkcji promów elektrycznych w Norwegii specjalizuje się stocznia Fjellstrand AS (rys. 1), która została założona w 1928 roku w Omastrand, w Hardangerfjord, na zachodnim wybrzeżu Norwegii [5]. Jest to nowoczesna stocznia, która rozwija różne produkty, takie jak farmy wiatrowe, statki pomocnicze, statki offshore i promy ro-ro.

Stocznia zatrudnia około 100 pracowników i zmienną liczbę podwykonawców, w dużej części z Polski. Obiekty stoczni to około 7.000 m² ogrzewanych hal produkcyjnych, z zadaszoną powierzchnią magazynową o wielkości ok. 1.100 m². Fjellstrand koncentruje się na byciu liderem w dziedzinie odnawialnych technologii morskich i zyskało międzynarodowe uznanie za swoją pracę, będąc nominowanym do nagrody „Offshore Renewables Award 2014” i zdobywając tytuł „Ship of the year 2014” promem elektrycznym „ZeroCat”.



Rys. 1. Widok stoczni Fjellstrand AS

3 Elektryczne promy w Norwegii

Elektryczny prom pasażersko-samochodowy „Ampere”

Norled – jeden z największych przewoźników promowych w Norwegii, posiadający flotę ponad 80 promów – wygrał konkurs ogłoszony przez norweskie Ministerstwo Transportu w 2011 roku na przyjazny środowisku prom pasażersko-samochodowy, przeznaczony do obsługi relacji Lavik – Oppedal w fiordzie Sognefjord. Zaproponowana jednostka „ZeroCat 120”, której nazwa została później zmieniona na „Ampere” (rys. 2), to całkowicie elektryczny prom, który czerpie energię wyłącznie z akumulatorów ładowanych z lądowej sieci energetycznej podczas postoju (tab. 1).



Rys. 2. Elektryczny prom „Ampere”

Norled uzyskał koncesję na obsługę połączenie do 2025 roku. Prom „Ampere” kursuje wahadłowo jako jeden z trzech promów w relacji Lavik – Oppedal (pozostałe promy posiadają napęd spalinowy). Trasa o długości 5,6 km jest pokonywana 34 razy dziennie przez 365 dni w roku w ciągu 20 minut. Pojemność promu to 120 samochodów, a rocznie prom przewozi ich prawie milion.

Prom jest dwustronnym katamaranem o długości 80,8 m i szerokości 20,9 m, który posiada kadłub oraz nadbudowę wykonaną z lekkiego aluminium odpornego na wodę morską. Kształt kadłuba i wykorzystany materiał powodują oszczędności energii o około 9,1% przy prędkości 10 węzłów. Także wszystkie systemy pokładowe zostały zoptymalizowane pod kątem niskiego zużycia energii.

Prom został zbudowany przez norweską stocznnię Fjellstrand w Omastrand przy ścisłej współpracy z Siemensem, który dostarczył kompletne rozwiązanie zasilania napędu elektrycznego. Duża część dokumentacji projektowej powstała w biurze projektów Nelton sp. z

o.o. z Pruszcza Gdańskiego, a kadłub został wykonany w stoczni Aluship Technology sp. z o.o. w Gdańsku.

Zestaw akumulatorów litowo-jonowych promu przystosowany jest do szybkiego ładowania i rozładowywania. Objętość promowego magazynu energii to 10 m³, masa – 10 ton, żywotność 10 lat i jest on w stanie pomieścić milion watów energii. Akumulatory ładowane są podczas postoju promu z nabrzeżnego systemu energetycznego z wykorzystaniem pantografu (rys. 3), ekologiczną energią wytwarzaną w tym regionie wyłącznie przez elektrownie wodne.

Tab. 1. Zestawienie parametrów promu „Ampere”

Parametr	Wartość
Nazwa	Ampere
Typ promu	pasażersko-samochodowy
Stocznia	Fjellstrand AS
Rok rozpoczęcia eksploatacji	2015
Operator	Norled AS
Trasa	Lavik ↔ Oppedal
Długość trasy	5,6 km
Czas podróży	20 minut
Czas ładowania akumulatorów podczas postoju	10 minut
Długość	80,8 m
Szerokość	20,8 m
Wysokość do pokładu głównego	6,0 m
Powierzchnia pokładu	1.500 m ²
Liczba przewożonych samochodów osobowych	120 (4,3 m x 1,85 m, 1,3 t)
Liczba przewożonych samochodów ciężarowych	8 (19,5 m x 2,6 m, max 52,5 t)
Liczba pasażerów	350 (140 miejsc siedzących)
Prędkość maksymalna	14 węzłów
Prędkość podróżna	10 węzłów
Napęd	elektryczny
Moc głównego napędu	2 x 450 kW
Pojemność akumulatorów	2 x 520 kWh

Czas dostępny na ładowanie akumulatorów, podczas postoju promu to zaledwie 10 minut. Poziom niezbędnej mocy elektrycznej znacznie przekracza możliwości sieci energetycznej w wioskach Lavik i Oppedal, dlatego zainstalowano buforowe akumulatory w obu portach. Mogą być one ładowane z sieci w sposób ciągły z mocą 250 kW zapewniając następnie szybkie przekazanie energii do akumulatorów promu. Podczas postoju w nocy, prom ma do dyspozycji siedem godzin na naładowanie akumulatorów.



Rys. 3. Dwa systemy ładowania nabrzeżnego promu „Ampere”

W porównaniu do analogicznych połączeń promowych, eksploatacja elektrycznego promu „Ampere” daje oszczędności rzędu miliona litrów oleju napędowego rocznie oraz realną redukcję emisji spalin. Oprócz wyraźnych korzyści dla środowiska, prom funkcjonuje również przy niższych kosztach eksploatacji i obsługi technicznej.

Elektryczny prom pasażersko-samochodowy „Kommandøren” – w budowie

Niewątpliwy sukces promu „Ampere” stał się inspiracją do projektowania podobnych rozwiązań dla innych relacji promowych. Następcą promu „Ampere”, budowanym również w stoczni Fjellstrand, jest oznaczony identyfikatorem „Hull 1698” prom „Kommandøren”. Jest to w pełni elektryczny prom pasażersko-samochodowy, którego kadłub został również wykonany z aluminium (rys. 4). W pracach projektowych brało również udział biuro Nilton a kadłub promu został ponownie wyprodukowany w Aluship Technology.



Rys. 4. Prom „Kommandøren” w stoczni

Prom „Kommandøren” jest następnym krokiem w ewolucji promów elektrycznych – przy niewiele zmienionych wymiarach zewnętrznych katamaranu, zwiększone zostały zasięg i prędkość (tab. 2). Jednakże pokład główny nie jest dzielony jak w promie „Ampere” (który posiada oddzielny pas dla pojazdów uprzywilejowanych), a bardziej komfortowa i większa część pasażerska została przeniesiona do nadbudówki. Prom jest budowany dla operatora Fjord1 i będzie obsługiwał trasę Halhjem – Våge w fiordzie Bjørnafjorden od 2019 roku.

Tab. 2. Zestawienie parametrów promu „Kommandøren”

Parametr	Wartość
Nazwa	Kommandøren
Typ promu	pasażersko-samochodowy
Stocznia	Fjellstrand AS
Rok rozpoczęcia eksploatacji	2019 (planowany)
Operator	Fjord1 ASA
Trasa	Halhjem ↔ Våge
Długość trasy	12,1 km
Czas podróży	35 minut
Czas ładowania akumulatorów podczas postoju	10 minut
Długość	87,5 m
Szerokość	20,8 m
Wysokość do pokładu głównego	6,7 m
Wielkość pokładu	ok. 1.800 m ² (dwupoziomowy)
Liczba przewożonych samochodów osobowych	120 (4,3 m x 1,85 m, 1,3 t)
Liczba przewożonych samochodów ciężarowych	12 (19,5 m x 2,6 m, max 52,5 t)
Liczba pasażerów	296 miejsc siedzących
Prędkość maksymalna	ok. 16,0 węzłów
Prędkość podróżna	ok. 13,0 węzłów
Napęd	elektryczny
Moc głównego napędu	2 x 750 kW

Napęd promu stanowią dwa silniki elektryczne o mocy 750 kW wyposażone w azymutalny system śrubowy dostarczony przez Rolls-Royce. Żywotność użytych baterii CorvusEnergy szacowana jest na 10 lat. Prom osiągać będzie prędkość maksymalną 16 węzłów, a prędkość podróżną – na poziomie 13 węzłów. Akumulatory będą ładowane systemem z nabrzeża o mocy do 5MW.

W porównaniu z promem „Ampere” nowy prom „Kommandøren” charakteryzuje się większymi parametrami żeglugowymi:

- dłuższym zasięgiem o 120%,
- wyższą prędkością o 15%,
- większą ładownością o 20%,

co umownie można określić jako 3 krotnie większe zdolności przewozowe niż „Ampere” (2,2 x 1,15 x 1,2) nowego promu.

Elektryczny prom pasażerski „Future of the Fjord”

W odgałęzieniach najdłuższego norweskiego fiordu Sognefjord – fiordach Aurlandsfjord oraz Nærøyfjord, który jest wpisany na listę światowego dziedzictwa UNESCO, pomiędzy małymi wioskami Flåm i Gudvangen, na dystansie 32 km, kursują wahadłowo dwa turystyczne promy pasażerskie: „Vision of the Fjords” i „Future of the Fjords”. Są to siostrzane promy przyjazne dla środowiska, z których „Vision of the Fjords” jest promem hybrydowym, zbudowanym w 2016 roku, a „Future of the Fjords” – w pełni elektrycznym promem, eksploatowanym od 2018 roku. Operatorem obu jednostek jest przedsiębiorstwo transportu morskiego The Fjords. Każdy z promów wykonuje ok. 700 rejsów w ciągu roku.

Obie jednostki są nowocześnie zaprojektowanymi katamaranami, o długości 40 m i szerokości 15 m, wykonanymi z lekkich materiałów kompozytowych z włókna węglowego. Kształt promu został zainspirowany szlakiem na stromym zboczu góry (rys. 5), którego odzwierciedleniem są ścieżki spacerowe na wyższe pokłady (pasażerowie mogą okrążyć około 80% zewnętrznej części statku i podziwiać przepiękne widoki fiordów). Konstrukcja promu umożliwia podziwianie atrakcji turystycznych niezależnie od pogody – na najwyższym pokładzie lub w przestronnych i komfortowych wnętrzach inspirowanych stylem nordyckim z dużymi panoramicznymi oknami. Każdy z promów może przewozić 400 turystów na dwóch pokładach.



Rys. 5. Hybrydowy prom pasażerski „Vision of the Fjords”

Prom hybrydowy „Vision of the Fjords” został zbudowany w stoczni Brødrene w 2016 roku i wkrótce otrzymał nagrodę „Ship of Year 2016”. Zaletą zastosowanego napędu hybrydowego jest możliwość przełączenia napędu na elektryczny zasilany za akumulatorów, gdy prom dotrze do najbardziej malowniczej części fiordu, umożliwiając turystom czerpanie przyjemności z natury w niemal całkowitej ciszy, poruszając się z prędkością około 8 węzłów (tab. 3).

Tab. 3. Zestawienie parametrów promu „Vision of the Fjord”

Parametr	Wartość	
Nazwa	Vision of the Fjord	
Typ promu	pasażerski – turystyczny	
Stocznia	Brødrene Aa	
Rok rozpoczęcia eksploatacji	2016	
Operator	The Fjords	
Trasa	Flåm ↔ Gudvangen	
Długość	40 m	
Szerokość	15 m	
Liczba pasażerów	400 (399 miejsc siedzących)	
Prędkość maksymalna	19,5 węzłów	
Prędkość rejsu z napędem elektrycznym	8 węzłów	
Napęd	hybrydowy	
Moc głównego napędu	spalinowego	2 x MAN 749 kW
	elektrycznego	2 x 150 kW
Pojemność akumulatorów		600 kWh

System Onboard DC Grid, który zarządza przepływem energii między silnikami, śrubą napędową i stacją ładującą został dostar-

czony przez ABB. Sieć pokładowa prądu stałego jest kluczowym czynnikiem umożliwiającym efektywne zintegrowanie magazynów energii z nowoczesnymi morskimi systemami energetycznymi poprzez zastosowany system zarządzania mocą i energią. Ładowanie akumulatorów następuje podczas pracy silników spalinowych oraz podczas postoju promu przy nabrzeżu.

Prom „Vision of the Fjords” stał się prototypem dla w pełni elektrycznego promu „Future of the Fjords” (rys. 6), zbudowanego również przez stocznię Brødrene w 2018 roku. Zachowany został kształt promu, natomiast kadłub i nadbudówka zostały zbudowane z laminatów warstwowych z cienkiego włókna węglowego, w celu zmniejszenia wagi o 50%. Prom „Future of the Fjords” jest pierwszym w pełni elektrycznym statkiem, pływającym po akwenach objętych ochroną UNESCO. Jest cichy, nie generuje wibracji i nie emituje żadnych zanieczyszczeń (tab. 4).



Rys. 6. Elektryczny prom pasażerski „Future of the Fjords”

Prom elektryczny „Future of the Fjord” wyposażony jest przez dwa silniki elektryczne napędzające śruby Servogear Ecoflow. Każdy z silników elektrycznych ma moc 450 kW. Układ napędowy umożliwia płynięcie z prędkością maksymalną 16 węzłów. Silniki są sterowane przez system zarządzania energią eSEAmatic Blue dostarczany przez firmę Westcon Power & Automation. Firma Westcon jest również odpowiedzialna za dostarczenie systemu konwersji mocy e-SEA® Drive, zintegrowany system automatyki i rozdzielni energetycznych promu.

Tab. 4. Zestawienie parametrów promu „Future of the Fjord”

Parametr	Wartość
Nazwa	Future of The Fjord
Typ promu	pasażerski – turystyczny
Stocznia	Brødrene Aa
Rok rozpoczęcia eksploatacji	2018
Operator	The Fjords
Trasa	Flåm ↔ Gudvangen
Długość trasy	32 km
Czas podróży	90 minut
Czas ładowania akumulatorów podczas postoju	20 minut
Długość	40 m
Szerokość	15 m
Liczba pasażerów	400 (399 miejsc siedzących)
Prędkość maksymalna	16 węzłów
Prędkość podróżna	10 węzłów
Napęd	elektryczny
Moc głównego napędu	2 x 450 kW
Pojemność akumulatorów	1.800 kWh

Ważnym elementem lądowej infrastruktury punktowej, niezbędnym do realizacji funkcji transportowej promu „Future of the Fjord”, jest magazyn energii – pierwsza morska stacja dokująca o nazwie PowerDock o pojemności 700 kWh i mocy ładowania 2.500 kW, w której statek uzupełnia energię w ciągu 20 minutowego postoju (rys. 7).

Prom elektryczny „Future of the Fjord” kosztował ok. 17 milionów USD, czyli o 60% więcej niż jego poprzednik – prom hybrydowy „Vision of the Fjords”. Prom został sfinansowany ze środków przed-

siębiorstwa The Fjords, a należące do Norweskiego Ministerstwa Ropy Naftowej i Energii, przedsiębiorstwo Enova, pozyskało 2,1 miliona USD na wsparcie budowy tego statku.



Rys. 7. Morska stacja dokująca dla promu „Future of the Fjords”.

Wkrótce po rozpoczęciu eksploatacji promu, parlament norweski przyjął rezolucję, zmierzającą do zatrzymania emisji gazów cieplarnianych ze statków wycieczkowych i promów w norweskich fiordach, będących światowym dziedzictwem UNESCO, tak szybko jak pozwoli na to technologia, jednak nie później niż do 2026 roku.

Podsumowanie

Wysokie nakłady na innowacyjne rozwiązania techniczne w elektrycznych promach morskich wymagają perspektywicznego planowania ich rozwoju. Obserwując wdrażane w Norwegii rozwiązania technologiczne można zauważyć ich stopniową ewolucję, zarówno w promach pasażersko-samochodowych, jak również pasażerskich – turystycznych, w których kolejki jednostki i infrastruktura ładowania wykorzystują doświadczenia z eksploatacji promów starszych.

Stymulowany przez państwo norweskie rozwój innowacji w morskiej e-mobilności, zaowocował powstawaniem nowych, sprawniejszych elektrycznych promów morskich, dzięki którym następuje faktyczne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do środowiska. Pomimo, iż Norwegia nie jest członkiem Unii Europejskiej, stała się wzorem dla pozostałych krajów europejskich w rozwoju i wdrażaniu rozwiązań e-mobilności morskiej.

Analiza opłacalności zastosowania w praktyce promów z napędem elektrycznym w łańcuchach logistyczno-transportowych wymaga uwzględnienia nie tylko kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, ale także kosztów i korzyści zewnętrznych. W analizie opracowanej przez Siemens i fundację Bellona [2] obliczono, że zastąpienie w Norwegii 70% promów jednostkami z alternatywnym zasilaniem baterijnym lub hybrydowym, wymagać będzie poniesienia dodatkowych nakładów w wysokości ok. 384 milionów EUR w porównaniu z kosztami budowy promów zasilanych olejem napędowym (łącznie z niezbędną infrastrukturą nabrzeżną). Szczególnie wzrost kosztów wynikać będzie z zastosowania lżejszych kadłubów aluminiowych. Oszczędności oszacowano w wysokości 77 milionów EUR rocznie, z tytułu redukcji zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla i tlenków azotu. Oznacza to, iż poniesione nakłady mogą się zwrócić po ok. 5 latach.

Praca współfinansowana przez Unię Europejską z Programu Interreg Południowy Bałtyk 2014-2020 w projekcie „ELMAR – Supporting South Baltic SMEs to enter the international supply chains & sales markets for boats & ships with electric propulsion”.

Bibliografia:

- Burdzik R., Folega P., Konieczny Ł., Jaworski R., E-mobilność – wyzwanie teraźniejszości, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport 2017, z. 118.

2. Electric operation makes seven out of ten ferries more profitable – a feasibility study, Bellona & Siemens, Oslo 2015.
3. Elektromobilność w Polsce, Perspektywy rozwoju, szanse i zagrożenia, Zespół Doradców Gospodarczych TOR, Warszawa 2017.
4. ELMAR – *Supporting South Baltic SMEs to enter the international supply chains & sales markets for boats & ships with electric propulsions*, Program Interreg Południowy Bałtyk 2014-2020, strona internetowa projektu, electric-water-mobility.eu/pl (data dostępu 20.10.2018).
5. Fjellstrand AS, strona domowa stoczni, www.fjellstrand.no (data dostępu 30.10.2018).
6. Gołemska E. (red.), *Kompendium wiedzy o logistyce*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
7. Kujawa J. (red.), *Organizacja i technika transportu morskiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2001.
8. Leśniewski W., Litwin W., *Napęd i zasilanie hybrydowe niewielkich jednostek pływających*, „Napędy i Sterowanie” 2013, nr 5.
9. Łosiewicz Z., *Analiza przydatności innowacyjnych źródeł energii do napędów urządzeń w zastosowaniu morskim, jako rozwiązań alternatywnych do napędów zasilanych paliwami węglowodorowymi*, „Logistyka” 2015, nr 2.
10. *Maritime Opportunities – Blue Growth for a Green Future*, The Government's Maritime Strategy, Norwegian Ministry of Trade, Industry and Fisheries, Oslo 2015.
11. *Norwegia królestwem elektromobilności*, Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych, psa.com.pl (data dostępu: 30.10.2018).
12. Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.), *Transport*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
13. Szwanowski S., *Łądowo morskie łańcuchy transportowe*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1998.
14. Zielińska A., *Norweski lider elektromobilności*, „*Ekomobilność. Zagadnienia transportu niskoemisyjnego*” 2017, nr 1.

Electric marine ferries – a Norwegian example

When it comes to the implementation of e-mobility (electro-mobility) solutions, Norway is a world leader. The scientific expedition to the Norwegian fjords, organised as part of the ELMAR project in 2018, created an opportunity to visit selected passenger ferries and car and passenger ferries. The experience gained by the authors during that visit is presented in this article.

Keywords: e-mobility, electro-mobility, electric ferry, fjord, Norway.

Autorzy:

dr inż. **Marcin Forkiewicz** – Politechnika Gdańska, Wydział Zarządzania i Ekonomii, E-mail: marcin.forkiewicz@zie.pg.gda.pl

mgr inż. **Leszek Wolski** – Instytut Elektrotechniki, Bałtycka Pracownia Technologii Energoelektronicznych (*BaPTE*), E-mail: leszek.wolski@iel.pl