



Otrzymano (Received): 06.11.2019

Otrzymano poprawioną wersję (Received in revised form): 19.12.2019

Zaakceptowano (Accepted): 19.12.2019

Opublikowano (Published): 31.12.2019

## GEOGRAFICZNO-EKONOMICZNE UWARUNKOWANIA SUSTENSYWNEJ TRANSFORMACJI W TRANSPORCIE – PRZYKŁAD ELEKTRYFIKACJI ŻEGLUGI PROMOWEJ

### *Geographical and economic conditions of the sustainable transitions in transport – the case of ferry shipping electrification*

Maciej Tarkowski

Zakład Rozwoju Regionalnego, Instytut Geografii, Uniwersytet Gdański, J. Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk

e-mail: maciej.tarkowski@ug.edu.pl

#### Cytacja:

Tarkowski M., 2019, Geograficzno-ekonomiczne uwarunkowania sustensywnej transformacji w transporcie – przykład elektryfikacji żeglugi promowej, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 22(4), 59–74.

**Streszczenie:** Jednym z kluczowych wyzwań sustensywnej transformacji jest głęboka redukcja emisji gazów cieplarnianych w transporcie. W tym celu doskonalone są nowe systemy napędowe – głównie hybrydowe i elektryczne. W ostatnich pięciu latach znajdują one coraz szersze zastosowanie na promach kursujących w portach oraz na wodach przybrzeżnych. Krótka trasa i stałe korzystanie z tych samych przystani promowych ułatwiają zastosowanie napędu hybrydowego lub elektrycznego. U podstaw niniejszego artykułu leży założenie, że cechy techniczno-eksploatacyjne tych promów są optymalizowane z uwzględnieniem warunków geograficzno-ekonomicznych. Jego celem jest natomiast identyfikacja tych warunków na podstawie analizy 15 przypadków wdrożenia promów hybrydowych lub elektrycznych na trasach portowych lub przybrzeżnych. Wskazano pięć głównych geograficznych uwarunkowań elektryfikacji żeglugi promowej: ukształtowanie linii brzegowej i warunki nautyczne, poziom rozwoju systemu transportowego, struktura zużycia pierwotnych nośników energii oraz poziom rozwoju systemu produkcji i dystrybucji energii elektrycznej, polityka rozwoju elektromobilności oraz zdolności projektowe i wytwórcze. Ostateczny kształt rozwiązań przyjętych dla konkretnej przeprawy promowej to efekt określonej konfiguracji tych współzależnych uwarunkowań. Zdecydowana większość studiów przypadków dotyczyła Europy, dlatego istnieje potrzeba dalszych badań kolejnych tego rodzaju inwestycji. Wraz z ich rozprzestrzenieniem się w innych częściach świata, możliwa będzie weryfikacja zidentyfikowanego katalogu uwarunkowań.

**Słowa kluczowe:** sustensywna transformacja, elektryfikacja transportu, żegluga promowa

**Abstract:** One of the key challenges of the sustainable transitions is the deep reduction of greenhouse gas emissions in transport. That is why new propulsion systems are being improved – mainly hybrid and electric ones. In the last five years, they have been increasingly used on ferries on ports and coastal waters. The short route and the use of the same ferry ports facilitate the use of hybrid or electric propulsion. The basis of this article is the assumption that the technical and operational features of these ferries are optimized considering geographical and economic conditions. Its purpose, however, is to identify these conditions based on 15 case studies of hybrid or electric ferry implementations on port or coastal routes. Five main geographical conditions of the electrification of ferry shipping are indicated: the shape of the shoreline and nautical conditions, the level of development of transport system, the structure of primary energy consumption and the level of development of the electricity production and distribution system, the policy of electromobility development as well as electric or hybrid ferry design and production capabilities. The final solutions for each ferry crossing are the result of a specific configuration of these interdependent conditions. Most case studies concerned Europe, which is why there is a need for further research into this type of investment. Along with their spread in other parts of the world, it will be possible to verify the identified catalog of conditions.

**Keywords:** sustainable transitions, transport electrification, ferry shipping

## Wstęp – sustensywna transformacja a geografia transportu

Upowszechniana od lat 60. XX w. koncepcja sustensywnego<sup>1</sup> rozwoju nie spowodowała głębokiej zmiany modelu funkcjonowania społeczeństwa. Zdiagnozowane w latach 70. XX w. bariery dla dalszego wzrostu cywilizacji przemysłowej (Meadows i in., 1973) pozostają w mocy (Meadows i in., 2005; Turner, 2008; Bardi, 2011). Kryzys klimatyczny, będący jednym z przejawów sięgnięcia granic wzrostu przez cywilizację, przyczynił się do intensyfikacji działań zmierzających do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Kolejne rundy międzynarodowych negocjacji (zapoczątkowane 40 lat temu w Genewie) owocują konkretyzacją zobowiązań poszczególnych państw w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Choć działania te uznawane są przez środowisko naukowe za niewystarczające do utrzymania stabilności systemu planetarnego Ziemi (Ripple i in., 2019), to nawet ich wdrożenie wymaga istotnych zmian nie tylko w funkcjonowaniu głównych sektorów gospodarki, ale także stylu życia – podróży, spędzania czasu wolnego, a nawet diety. Całość tych przemian, wykraczających poza sferę technologiczną, określa się mianem sustensywnej transformacji<sup>2</sup> (Hansen, Coenen, 2015). Pojęcie sustensywnej transformacji skupia się więc na sposobach osiągnięcia celu – wdrażaniu konkretnych rozwiązań służących urzeczywistnieniu modelu rozwoju sustensywnego. Takie podejście wydaje się być bardziej mobilizujące niż dość abstrakcyjne rozważania o dobrostanie przyszłych pokoleń. Może ono tym samym ułatwić przełamanie „marazmu antropocenu” (Bińczyk, 2018), po części powodowanego wagą, trudnością i złożonością wyzwań, przed jakimi kryzys klimatyczny stawia cywilizację przemysłową.

Dyskusja naukowa na temat sustensywnej transformacji prowadzona jest w dwóch głównych per-

spektywach – systemów innowacji technologicznych oraz wielopoziomowej (*multilevel*) (Coenen, Truffer, 2012). Oba podejścia osadzają postęp technologiczny ukierunkowany na ochronę klimatu w kontekście uwarunkowań społecznych. Pierwsze z podejść łączy ten zakres do relacji zachodzących pomiędzy ośrodkami badawczymi, przedsiębiorstwami i władzami różnych szczebli (tzw. potrójna helisa) (Bojar, Machnik-Słomka, 2014). Drugie podejście wyrasta z krytyki poprzedniego i rozszerza ten kontekst o pojęcie reżimu socjo-technologicznego będącego konstelacją wytworów techniki, infrastruktury, regulacji i praktyk użytkowników (model cztero- a nawet pięcioelementowej spirali wzbogaconej o uwarunkowania kulturowe oraz środowiskowe) (Bojar, Machnik-Słomka, 2014). Jak zauważają L. Coenen i B. Truffer (2012), reżimy socjotechniczne cechują się dużą stabilnością. Z równowagi mogą zostać wytrącone pod wpływem postępu technicznego lub presji społecznej. Zaburzenia te prowadzą do osiągnięcia kolejnego stanu równowagi. Sustensywna transformacja może być interpretowana właśnie w kategoriach procesu przejścia reżimu socjotechnologicznego z danego stanu równowagi do kolejnego.

Według L. Coenen i B. Truffer (2012), słabą stroną obu podejść jest płytkie i uproszczone traktowanie roli terytorialnego zróżnicowania składników konstytuujących te koncepcje. Kontekst przestrzenny jest traktowany jako pasywna zmienna, która raczej utrudnia budowę uogólnień naukowo-badawczych. Tymczasem koncepcje formułowane na gruncie wiedzy geograficzno-ekonomicznej wskazują, że lokalne uwarunkowania odgrywają aktywną rolę w procesach sustensywnej transformacji i tym samym przestrzennie różnicują jej ścieżki. Pogląd ten wpisuje się także w prowadzoną w Polsce dyskusję na temat roli i funkcji geografii człowieka jako dyscypliny nauki (Suliborski, 2016).

Choć sustensywna transformacja dotyczy wielu dziedzin gospodarki, to szczególne wyzwania dotyczą transportu (Przybyłowski, 2013). Energochłonność i mobilność środków transportu powoduje szczególne trudności w zastąpieniu paliw konwencjonalnych odnawialnymi źródłami energii. Ich upowszechnienie wymaga również rozbudowy infrastruktury, a także zmian organizacyjnych. O ile postępy w redukcji emisji w energetyce, produkcji przemysłowej i budownictwie są zauważalne, o tyle w transporcie trudno je osiągnąć (ryc. 1) właśnie z wymienionych powodów.

Sustensywna transformacja skutkuje systemowymi przekształceniami, które leżą w polu zainteresowań geografii transportu. Posługując się propozycją Ch. Liu i Q. Gui (2016), identyfikującą szkoły naukowe geografii transportu, problematyka sustensywnej

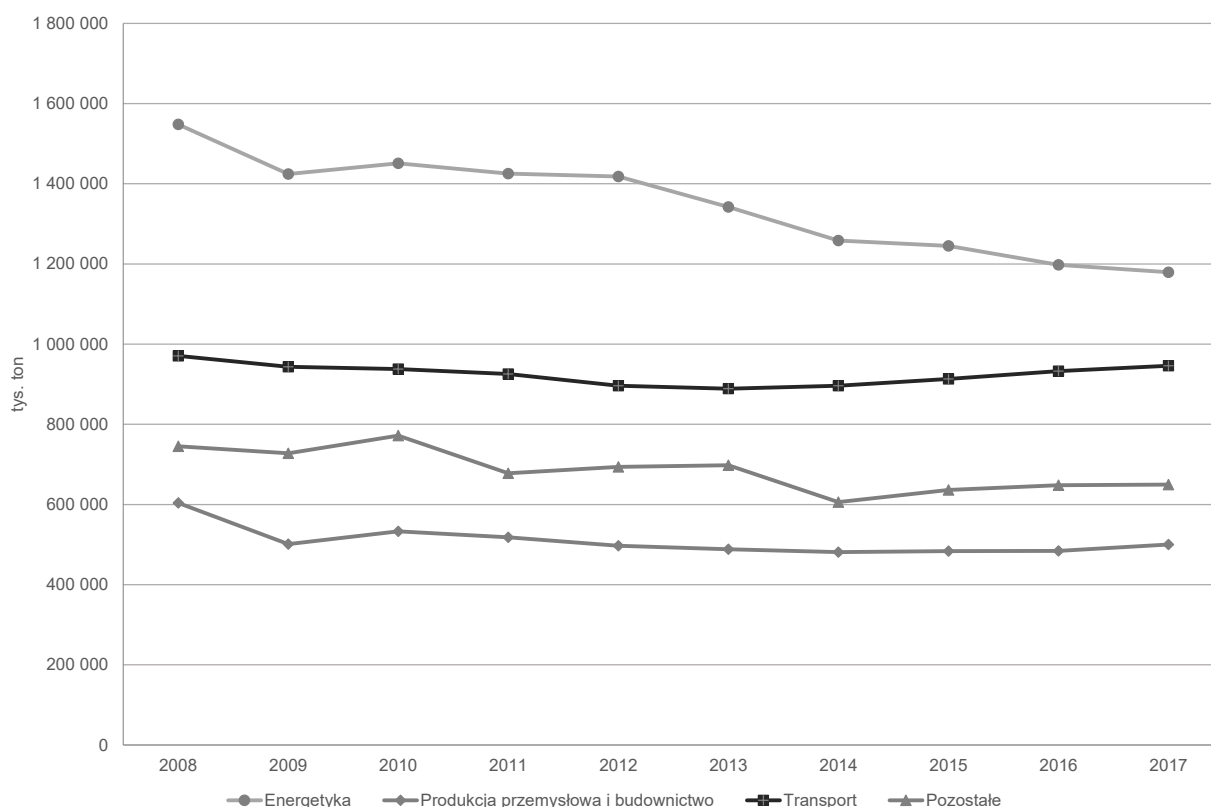
<sup>1</sup> Terminu *sustensywny* używam zamiast *zrównoważony* zgodnie z propozycją J. Zauchy (2012), jako precyzyjniej oddający istotę pojęcia. Jest on spotykany w polskiej literaturze przedmiotu (Janikowski, 2015, 2010; Herodowicz, 2016). Natomiast J.J. Parysek (2017) dystansuje się od tego typu zmian terminologicznych, uznając za niepotrzebne wprowadzenie do języka naukowego wyrazów w znaczeniu innym od ugruntowanego w języku codziennym. Zasadniczo stanowisko to uważam za słuszne, jednak pojęcie *rozwój zrównoważony* w języku codziennym używane jest w wielu znaczeniach, czasem wypaczających pierwotną istotę – np. *rozwój zrównoważony przestrzennie*.

<sup>2</sup> Będąc precyzyjnym należałoby mówić o procesie przejścia do modelu sustensywnego rozwoju (*sustainability transitions*). Jest to jednak określenie zbyt długie i złożone a przez to niewygodne w użyciu.

transformacji jest szczególnie bliska podejściu wywodzącemu się z nurtu planowania przestrzennego, a także ze szkoły nowej mobilności. Problemy sustensywnej transformacji są również obecne w badaniach z zakresu geografii transportu prowadzonych w Polsce, w ramach zagadnień takich jak: wyzwania zrównoważonego rozwoju w transporcie i łączności, transport miejski i polityki miejskie w zakresie kształtowania zachowań transportowych, innowacyjność i postęp techniczny w transporcie, efektywność energetyczna i bezpieczeństwo (Połom, Tarkowski 2016; Połom, 2017, 2018; Kołoś, Połom, 2018).

promowej ta zależność jest szczególnie widoczna. Parametry techniczno-eksploatacyjne jednostek pływających są rezultatem przyjęcia koncepcji i zastosowania rozwiązań technicznych dopasowanych zarówno do warunków nautycznych danego akwenu (długość trasy, falowanie, złodzenie), zapotrzebowania na pracę przewozową (pojemność i częstotliwość kursów), jak i nasilenia konkurencji ze strony alternatywnych środków transportu, dostępności kapitału czy przepisów prawa.

Zakres przedmiotowy ogranicza się zatem do identyfikacji uwarunkowań o największym wpływie



Ryc. 1. Emisja gazów cieplarnianych ze spalania paliw według głównych sektorów gospodarki krajów Unii Europejskiej (EU28) w latach 2008-2017.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostat. *Air Emission Inventories...*

## 1. Cel, zakres, metody badań i struktura artykułu

Celem artykułu jest identyfikacja, czyli wskazanie i wyjaśnienie roli, geograficzno-ekonomicznych uwarunkowań sustensywnej transformacji w transporcie na przykładzie żeglugi promowej. Jak już stwierdzono przebieg tej transformacji uzależniony jest m.in. od zróżnicowanych przestrzennie przyrodniczych, a przede wszystkim antropogenicznych cech środowiska geograficznego. W przypadku żeglugi

na kształt analizowanych przedsięwzięć i jednocześnie charakterystycznych dla obszaru eksploatacji promów. Analizę ograniczono również do publicznego transportu pasażersko-samochodowego. Pominięto żeglugę *stricte* turystyczną<sup>3</sup>, w której również wdra-

<sup>3</sup> Na marginesie głównych rozważań warto wspomnieć, że podejmowane są również próby wdrożenia napędu elektrycznego bądź hybrydowego na statkach towarowych. O dwóch takich przypadkach – kontenerowca dowozowego oraz drobnicowca – wspomina E. Czermański (2019).

żane są napędy elektryczne – począwszy od statków przeznaczonych do zwiedzania miast z wykorzystaniem sieci kanałów, po hybrydowe jednostki oceaniczne, wykorzystywane np. do turystycznej eksploracji Antarktyki. Dokonane ograniczenie jest częściowo sztuczne, gdyż publiczny transport promowy służy również obsłudze ruchu turystycznego, w stopniu zależnym od obecności i rangi walorów turystycznych w pobliżu trasy (Le-Klaehn, Hall, 2015). Sama przeprawa również może stanowić taki walor.

Ostatnie ograniczenie zakresu przedmiotowego wiąże się z rozumieniem pojęcia elektryfikacji, a więc z ewolucyjnym zróżnicowaniem rodzajów napędu elektrycznego stosowanego na statkach. Jego wykorzystanie ma bardzo długie tradycje – sięgające XIX w., a jego renesans obserwowany jest w drugiej dekadzie XXI w. (Desmond, 2017). Od dość dawna eksploatowane są hybrydowe układy napędowe, w których energię elektryczną wytwarza klasyczny silnik wysokoprężny. Następnie jest ona bezpośrednio przekazywana do elektromotorów. Takie rozwiązanie upowszechniło się szczególnie w przypadku pędników azymutalnych. Elektryczny układ przeniesienia napędu jest tańszy w budowie, eksploatacji i bardziej niezawodny niż mechaniczny. Pędniki azymutalne stosowane są głównie do napędu jednostek o wysokiej manewrowości. W niniejszym artykule pominięto przypadki promów napędzanych w taki sposób, chyba że zostały one zmodernizowane. Przedmiotem analizy są natomiast promy zmodernizowane lub wybudowane jako hybrydowe, których układ napędowy wyposażony jest dodatkowo w moduły bateryjne, podobnie jak jednostki wyposażone jedynie w silniki elektryczne zasilane z modułów ładowanych w trakcie postoju. Jednocześnie pominięto przykłady wykorzystania innych napędów alternatywnych wykorzystujących jako źródło energii wodór, biogaz i ciekły biogaz (Steen i in., 2019).

Zakres przestrzenny w najszerszym ujęciu dotyczy całego świata, choć przykłady spoza Europy stanowią margines analizy. To właśnie Europa, w szczególności zaś kraje nordyckie, należą do liderów elektryfikacji transportu pasażerskiego. Zwrócono uwagę także na Polskę. Polskie przedsiębiorstwa projektowe i produkcyjne zaangażowane są w budowę takich jednostek dla armatorów zagranicznych. Zakres przestrzenny analizowanych przypadków zaklasyfikować można do dwóch zasadniczych kategorii: żegluga promowej w portach i żegluga promowej po wodach przybrzeżnych. W tej drugiej wyróżnić można podtypy: żegluga krajowej i międzynarodowej.

Zasadniczy zakres czasowy opracowania obejmuje lata 2015-2018. W uzasadnionych przypadkach nieznacznie wykroczone poza te ramy czasowe. W 2015 r. oddano do eksploatacji pierwszy nowo wybudowany

prom o w pełni elektrycznym napędzie przeznaczony do żegluga przybrzeżnej, co przyczyniło się do popularyzacji takiego rozwiązania. Pod uwagę wzięto nie tylko projekty ukończone, ale także trwające.

Główną metodą badawczą stosowaną w pracy jest analiza studiów przypadków. Problematyka jest na tyle nowa, że nie nagromadzono i nie usystematyzowano jeszcze wiedzy na ten temat. Analiza rozproszonych źródeł informacji – nielicznej literatury naukowej, doniesień prasy specjalistycznej, stron internetowych armatorów, stoczni i producentów urządzeń, komunikatów władz lokalnych i regionalnych, a także wystąpień konferencyjnych, posłużyła wstępnej systematyzacji wiedzy ukierunkowanej na identyfikację geograficznych uwarunkowań transformacji żegluga promowej prowadzącej do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń<sup>4</sup>. Choć analiza studiów przypadków, jak każda metoda, ma swoje wady (ograniczony zasięg populacyjny), to jednak w kontekście dotychczasowego stanu wiedzy i charakteru poruszanej problematyki, wymagającej zniuansowanego oglądu rzeczywistości, jej zastosowanie wydaje się być uzasadnione. Analiza ta jest pierwszym krokiem do systematycznego tworzenia przykładów modelowych. Jak argumentuje B. Flyvbjerg (2005) bez niej dyscyplina naukowa jest nieefektywna – nie tworzy empirycznych podstaw do formułowania lub weryfikacji teorii. Dokonując doboru przypadków zastosowano strategię ich zróżnicowania, w celu uzyskania informacji o znaczeniu zmiennych uwarunkowań geograficznych (Flyvbjerg, 2005).

Struktura opracowania odzwierciedla tok postępowania badawczego. Omówiono dotychczasowy stan geograficzno-ekonomicznych badań nad elektryfikacją żegluga promowej. Następnie dokonano ogólnej charakterystyki wyselekcjonowanych przykładów wdrożenia promów z napędem hybrydowym i w pełni elektrycznym. Pogłębienie studiów przypadków pozwoliło na określenie głównych geograficznych uwarunkowań elektryfikacji żegluga promowej. Artykuł zamykają wnioski, w tym propozycje kierunków dalszych badań.

<sup>4</sup> Gazy cieplarniane występują naturalnie w środowisku. Sformułowania *gazy cieplarniane i inne zanieczyszczenia* używam jednak świadomie. Ich podwyższone stężenia są następstwem dodatkowych emisji antropogenicznych i mają destabilizujący wpływ na środowisko. Wywierają zatem, jak inne zanieczyszczenia, szkodliwy wpływ na przyrodę oraz ludzi.



## 2. Elektryfikacja żeglugi promowej – stan badań geograficzno-ekonomicznych

Badania dotyczące sustensywnej transformacji transportu ogniskują się, przynajmniej w odniesieniu do krajów wysokorozwiniętych, wokół rozpowszechnienia samochodów elektrycznych. Temu zagadnieniu poświęcona jest również większość publikacji naukowych, co w szerokim przeglądzie udokumentowali M.E. Biresselioglu i in. (2018). Natomiast literatura naukowa poświęcona rozwojowi żeglugi promowej w oparciu o napęd elektryczny lub hybrydowy, wykraczająca poza czysto techniczne problemy systemów napędowych, a więc dotycząca kwestii geograficzno-ekonomicznych jest skromna. Najszerzej aspekty rozwoju promów elektrycznych omówili E. Gagatsi i in. (2016). W artykule przybliżono koncepcję promu elektrycznego w kontekście sustensywnej transformacji. Dokonano przeglądu wdrożonych rozwiązań zwracając uwagę na ich ograniczenia skutkujące niewielkim zasięgiem tak napędzanych jednostek. Jednak z uwagi na duże tempo rozwoju, warstwa faktograficzna tej pracy zdążyła się już częściowo zdezaktualizować. Najciekawsza część dotyczy analizy przewag konkurencyjnych na polach: efektywności kosztowej, prędkości eksploatacyjnej, częstotliwości kursowania, ładowności, komfortu podróży, niezawodności oraz oddziaływania na środowisko. Wnioski sformułowano jednak na znacznym poziomie ogólności, w którym kwestia różnorodności uwarunkowań zależnych od obszaru eksploatacji nie została wyraźnie wyartykułowana.

Charakterystyki czynników prawno-organizacyjnych, zdolności produkcyjnych, rozwiązań technicznych stosowanych na promach oraz infrastruktury do ich obsługi, na przykładzie Norwegii dokonali M. Forkiewicz i L. Wolski (2018). Norwegia jest krajem, w którym w kompleksowy sposób prowadzona jest systematyczna modernizacja floty promów. Jej ważnymi filarami są postęp technologiczny i zapewnienie zdolności produkcyjnych, a także świadomie kształtowana polityka transportowa, której celem jest znaczna redukcja emisji gazów cieplarnianych. Procesy te znalazły się w polu zainteresowań badaczy. M. Steen i in. (2019) zastosowali koncepcję systemów innowacji do analizy stanu i perspektyw rozwoju żeglugi promowej wykorzystującej napęd elektryczny w Norwegii. Określili mocne strony systemu skupionego na wdrożeniu rozwiązań z omawianego zakresu. Zaliczyli do nich znaczne poparcie społeczne, klarowność głównych kierunków działań, względną dojrzałość rynku, dostępność zasobów, przedsiębiorczość otwartą na eksperymenty. Podkreślili też co należy wzmacniać: współpracę z wdrażającymi rozwiązania techniczne oparte na wodorze jako źródle

energii wykorzystywanej do napędu statków, edukację obecnych i przyszłych członków załóg w zakresie eksploatacji elektrycznych systemów napędowych, poprawę dostępu do wystandaryzowanej infrastruktury ładowania. Obok postępu technicznego, ważnym warunkiem sustensywnej transformacji są postawy i działania władz kompetentnych w dziedzinie transportu. Y. Bjerkan i in. (2019) omówili działania władz Norwegii wspierające elektryfikację transportu promowego. Jest on ważnym składnikiem systemu transportowego kraju. Jak wskazują autorzy, z myślą o modernizacji 250 połączeń promowych, wdrażane są procedury zielonych przetargów. Autorzy identyfikują główne problemy wdrożenia – zarówno proceduralne, jak i dotyczące świadczenia usług. Ważna kwestia proceduralna to czas trwania kontraktów. Armatorom zależy na możliwie długim okresie zapewniającym zwrot z inwestycji w promy o napędzie elektrycznym. Poważny problem z zakresu świadczenia usług stanowi udostępnienie infrastruktury do ładowania modułów bateryjnych akumulatorów. Dodatkowym wyzwaniem na obszarach o niskiej gęstości zaludnienia jest dostarczenie niezbędnej podaży energii elektrycznej.

Jednym z symboli Wenecji jest publiczny pasażerski transport wodny. Około 160 jednostek wykorzystujących 150 przystani stwarza znaczące możliwości redukcji negatywnego oddziaływania na środowisko poprzez modernizację floty ukierunkowaną na zastosowanie napędu elektrycznego. Takiej modernizacji poświęcona została praca autorstwa M. Morandin i in. (2015). Choć studium skupia się na aspektach eksploatacji napędu elektrycznego, to wskazuje na techniczne i organizacyjne możliwości jego wdrożenia w Wenecji. Autorzy podkreślają, że różnica pomiędzy kosztami budowy promu elektrycznego w stosunku do napędzanego klasycznym silnikiem Diesla może zwrócić się po trzech latach eksploatacji, z powodu znacznie niższych jej kosztów. Jako poważną barierę finansową wskazano koszty infrastruktury ładowania. W związku z tym ograniczenie nakładów inwestycyjnych może zostać osiągnięte poprzez zastosowanie na części tras promów o napędzie hybrydowym. Takie rozwiązanie pozwala zmniejszyć pojemność i moc silników diesla. W efekcie spada zużycie paliwa i emisja zanieczyszczeń. Praktyczna weryfikacja tych rozważań jest już dokonywana. Pierwsza jednostka o napędzie w pełni elektrycznym została oddana do użytku w 2016 r. Obsługuje linię łączącą historyczne centrum z portem lotniczym.

Literatura dotycząca elektryfikacji żeglugi pasażerskiej obejmuje również przykłady z Polski. Choć wykraczają poza zakres niniejszego opracowania warto je odnotować. D. Muszyńska-Jeleszyńska (2018) scharakteryzowała funkcjonowanie systemu Bydgo-

skiego Tramwaju Wodnego, który ukierunkowany jest jednak na obsługę ruchu turystycznego. Ponadto M. Kunicka i W. Litwin (2017) omówili techniczne aspekty zastosowania napędu elektrycznego, przewidzianego w projekcie małego promu pasażerskiego do obsługi linii łączącej brzegi Motławy w Gdańsku.

### 3. Charakterystyka i zarys procesu wdrażania wybranych przypadków elektryfikacji żeglugi promowej

Do analizy wybrano 15 przypadków elektryfikacji żeglugi promowej. Jest to większość znanych przykładów ze świata. Pominięto kilka lokalizacji na wczesnym, najczęściej koncepcyjnym lub eksperymentalnym etapie wdrożenia. Uwzględniono 12 linii już obsługiwanych przez jednostki o napędzie elektrycznym lub hybrydowym. Na trasy te promy wprowadzono sukcesywnie od 2013 do 2019 r. Wyposażenie trzech kolejnych linii, według treści zawartych umów, powinno nastąpić do 2020 r. Na 15 przypadków jedynie dwa pochodzą spoza Europy, co właściwie oddaje geograficzne prawidłowości rozmieszczenia. To kraje europejskie – przede wszystkim położone nad Morzem Norweskim, Północnym i Bałtyckim, takie jak Dania, Finlandia, Niderlandy, Norwegia i Szwecja, są liderami wdrażania napędów elektrycznych w żegludzie promowej. Z krajów tych pochodzi aż 11 przypadków. Proces wdrażania przebiega dwutorowo. Po pierwsze, poprzez modernizację eksploatowanych już jednostek. Cztery przypadki reprezentują właśnie ten sposób działania. Po drugie, poprzez budowę nowych jednostek, jak to pokazano w pozostałych przypadkach. W siedmiu na 15 analizowanych przykładów jako główne i jedyne źródło napędu zastosowano silniki elektryczne zasilane z zespołów baterii. W ośmiu przypadkach wykorzystano układ hybrydowy. Ostatni podział o decydującym

znaczeniu dla kształtu poszczególnych projektów dotyczy rodzaju akwenu, na którym funkcjonują przeprawy promowe. W ośmiu przypadkach są one realizowane w akwatoriach portowych lub wodach śródlądowych w miastach nadmorskich (tab. 1). Pozostałe siedem linii zaliczyć można do typowej żeglugi przybrzeżnej – łączą brzegi fiordów, cieśnin morskich oraz wysp w sąsiedztwie stałego lądu (tab. 2).

#### 3.1. Żegluga promowa w portach

Do obsługi połączeń promowych w miastach portowych wykorzystywane są najczęściej stosunkowo niewielkie jednostki pełniące funkcje tramwaju wodnego. Ich długość z reguły mieści się w przedziale od 22 do 24 m, a liczba miejsc pasażerskich zamyka się w granicach od 80 do 150 (tab. 1). Często mogą one przewozić niewielką liczbę rowerów, wózków dziecięcych lub inwalidzkich. Z uwagi na korzystne warunki nautyczne, wymogi bezpieczeństwa dają się dość łatwo pogodzić z potrzebami funkcjonalnymi. Niewielkie rozmiary ułatwiają manewry, nisko położony pokład przyspiesza wymianę pasażerów na przystaniach a duże okna zapewniają dobrą widoczność, co w połączeniu z zaletami napędu elektrycznego (niższe natężenie hałasu i wibracji) wydatnie poprawia komfort podróży. Promy w portach najczęściej operują na krótkich – kilkusetmetrowych odcinkach. Stałe miejsca postoju i krótki dystans to podstawowe czynniki ułatwiające zastosowanie napędu elektrycznego. Taki napęd zastosowano w pięciu z ośmiu analizowanych przypadków. Pojemność baterii nie przekracza 500 kWh, co czasem pozwala nawet na pominięcie ładowania w trakcie niektórych postojów (tab. 1). Napęd hybrydowy stosowanych jest w przypadku bardzo wysokiej intensywności eksploatacji, niepozostawiającej czasu na naładowanie baterii lub występowania bariery finansowej.

Tab. 1. Charakterystyka wybranych przypadków elektryfikacji portowej żeglugi promowej (stan na koniec 2018 r.).

Obszar eksploatacji	Charakterystyka przeprawy	Rozpoczęcie eksploatacji	Charakterystyka techniczno-eksploatacyjna promu	Charakterystyka napędu promu
Lorient i Pen-Mané (Francja)	częstotliwość: 28 rejsów dziennie	2013	długość: 22 m miejsca pasażerskie: 113; pojemność ład.: 10 rowerów, 3 wózki inwalidzkie	superkondensatory; czas pracy: 7 min; czas ład.: 4 min
Sztokholm: Movitz Ferry (Szwecja)	rejsy w sezonie letnim	2014	po głębokiej modernizacji; długość: 23 m; miejsca pasażerskie: 100; prędkość: 16 km/h	napęd el.: 2x125 kW; poj. baterii: 180 kWh; czas pracy: 1 h; czas ład.: 10 min

Sztokholm: Sjovagen Ferry (Szwecja)	częstotliwość: 8 rejsów dziennie (10 przystanków);  czas rejsu: 50 min	2015	miejsca pasażerskie: 150;  pojemność ład.: 15 rowerów, 6 wózków inwalidzkich i 8 dziecięcych	napęd el.: 2x160 kW;  poj. baterii: 500 kWh;  ład. w nocy i 2 razy w ciągu dnia
Amsterdam (Niderlandy)	czas rejsu: 5 min	2016-2017	2 egz.; długość: 34 m; miejsca pasażerskie: 310;  pojemność ład.: rowery i motorowery	napęd Diesel: 4x133 kW;  napęd el.: 2x250 kW;  poj. baterii: 2x68 kWh
Kaohsiung (Tajwan)	dystans: 650 m;  częstotliwość: co 15 min	2017	po modernizacji; długość: 23 m	napęd Diesel: 2x225 kW;  napęd el.: 130 kW (prąd stały);  poj. baterii: 100 kWh
Londyn: Woolwich – North Woolwich (Wielka Brytania)	czas rejsu: 5 min	2018	2 egz.; długość: 62 m;  miejsca pasażerskie: 150;  pojemność ład.: 45 samochodów osobowych	napęd hybrydowy;  poj. baterii: 181 kWh
Trondheim (Norwegia)	dystans: 100 m	2019 (plano- wana)	mały prom autonomiczny;  długość: 8-10 m;  pojemność ład.: 12 osób, rowery i wóz- ki inwalidzkie	napęd el.: 4x4 kW
Kopenhaga (Dania)	dobowy czas pracy: 16 h	2020 (plano- wana)	5 egz. Damen Ferry 2306 E3;  długość: 23 m;  miejsca pasażerskie: 80;  pojemność ład.: 8 rowerów	napęd el.: 2x55 kW;  poj. baterii: 120 kWh;  ład. na skrajnych przystankach: po 7 min

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rozproszonych.

### 3.2. Przybrzeżna żegluga promowa

W typowej żegludze przybrzeżnej wykorzystuje się jednostki większe – o długości od ok. 43 m do nawet 184 m, choć najczęściej projektowane są promy o długości od 80 do 100 m (tab. 2). Większe rozmiary podyktowane są ostrzejszymi wymogami bezpie-

czeństwa, a także funkcjonalnością. Takie promy mają za zadanie przewozić nie tylko pasażerów, ale również pojazdy. Pojemność ładunkowa typowych konstrukcji mieści się w przedziale od 90 do 120 samochodów osobowych (mogą zabierać również ciężarowe – odpowiednio mniej). Najczęściej obsługują one trasy o długości od 4 do 6 km. Instalowane

Tab. 2. Charakterystyka wybranych przypadków elektryfikacji przybrzeżnej żeglugi promowej (stan na koniec 2018 r.).

Obszar eksploatacji	Charakterystyka przeprawy	Rozpoczęcie eksploatacji	Charakterystyka techniczno-eksploatacyjna promu	Charakterystyka napędu promu
Skye – Raasay (Szkocja)	dystans: 5 km	2013	długość: 43 m; miejsca pasażerskie: 150; pojemność ład.: 23 samochody osobowe; prędkość: 16 km/h	napęd Diesel: 2x450 kW; napęd el.: 2x375 kW; poj. baterii: 2x350 kWh
Sognefjord (Norwegia)	dystans: 6 km; czas rejsu: 20 min; częstotliwość: 34 razy na dobę; postój: 10 min	2015	długość: 80 m; miejsca pasażerskie: 360; pojemność ład.: 120 samochodów osobowych; prędkość: 18 km/h	napęd el.: 2x450 kW; poj. baterii: 1000 kWh

Archipelag Turku (Finlandia)	dystans: 1,6 km; częstotliwość: 25 razy na dobę	2017	długość: 97 m; miejsca pasażerskie: 370; pojemność ład.: 90 samochodów os.; prędkość: 20 km/h	napęd Diesel: 3x420 kW; napęd el.: 2x900 kW; poj. baterii: 1000 kWh
Helsingor (Dania) – Helsingborg (Szwecja)	dystans: 4 km	2017	2 zmodernizowane bliźniacze jednostki; dł.: 111 m; miejsca pasażerskie: 1250; pojemność ład.: 240 samochodów osobowych. prędkość: 26 km/h	napęd Diesel: 4x2460 kW; napęd el.: b.d.; poj. baterii: 4160 kWh
Søby – Fynshav i Søby – Faaborg (Dania)	dystans: 18 km	2019	długość: 60 m; miejsca pasażerskie: 198 (147 zimą); pojemność ład.: 31 samochodów osobowych; prędkość: 24 km/h	napęd el.: 2x750 kW; poj. baterii: 4300 kWh
Goeteborg (Szwecja) – Friederikshavn (Dania)	dystans: 96 km	2019	po modernizacji; długość: 184 m; miejsca pasażerskie: 1500; pojemność ład.: 550 samochodów osobowych	napęd Diesel: 4x6480 kW; napęd el.: b.d.; poj. baterii: 1000 kWh
Ontario (Kanada)	dystans: 5,4 km	2020	długość: 98 m; miejsca pasażerskie: 399; pojemność ład. 90 samochodów osobowych; prędkość: 20 km/h	napęd Diesel: 2x565 kW; napęd el.: 4x520 kW; poj. baterii: 4000 kWh

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rozproszonych.

na takich promach zespoły baterii mają pojemność rzędu 1000 kWh, choć nowsze projekty zakładają nawet czterokrotne zwiększenie pojemności (tab. 2). W niektórych z tych promów montowane są również generatory elektryczne napędzane silnikiem Diesla. Mają być one jednak wykorzystywane incydentalnie. Pokonanie większych odległości wymagają zastosowania napędu hybrydowego lub znaczącego zwiększenia pojemności baterii, jak ma to miejsce w przypadku promu obsługującego duńskie wyspy.

#### 4. Główne geograficzne uwarunkowania elektryfikacji żeglugi promowej

Analiza studiów przypadków pozwoliła na wyodrębnienie pięciu kategorii uwarunkowań. Dwa pierwsze – ukształtowanie linii brzegowej oraz poziom rozwoju infrastruktury transportu – są współzależne i wprost wynikają ze zróżnicowania środowiska geograficznego. Efekt elektryfikacji żeglugi promowej w postaci redukcji emisji gazów cieplarnianych zależy także od

struktury źródeł energii pierwotnej. Poszczególne kraje wyraźnie różnią się pod tym względem. Istotne znaczenie odnawialnych źródeł energii w produkcji prądu zachęca do elektryfikacji transportu, w tym żeglugi promowej. Polityka rozwoju elektromobilności, choć funkcjonuje w ramach międzynarodowych ram, jest odmienna w poszczególnych krajach. Konkretnie rozwiązania mogą także różnić się lokalnie i zależeć od polityki transportowej oraz klimatycznej jednostek terytorialnych, a także od zdolności do mobilizacji kapitału pozwalającego sfinansować te przedsięwzięcia. Istotnym geograficznym zróżnicowaniem cechuje się również rozmieszczenie sił wytwórczych. Choć gotowy prom można przetransportować na znaczne odległości, to jak pokazują przeanalizowane przypadki, tego typu jednostki do tej pory budowane były w północnej Europie z przeznaczeniem do obsługi tras w blisko położonych krajach. Pierwsze zamówienia z Kanady pokazują, że stocznie, które już posiadają doświadczenie w budowie promów elektrycznych mogą zyskać kontrahentów na całym świecie.



#### 4.1. Ukształtowanie linii brzegowej i warunki nautyczne

Ukształtowanie linii brzegowej – występowanie wysp, zatok, fiordów, ujść rzecznych – w oczywisty sposób stwarza warunki do rozwoju żeglugi promowej. W przypadku żeglugi wykorzystującej promy elektryczne szczególnie ważną cechą ukształtowania jest odległość między brzegami, które potencjalnie wymagają połączenia. Dystans do 6 km jest stosunkowo łatwy do pokonania przy zastosowaniu istniejących rozwiązań technicznych. Jak jednak pokazuje przykład duńskiego połączenia Søby – Fynshav i Søby – Faaborg możliwe jest już przebycie trasy o długości 39 km pod warunkiem ograniczenia prędkości podróży z 28 do 24 km/h (*E-ferry: Prototype...*, 2019).

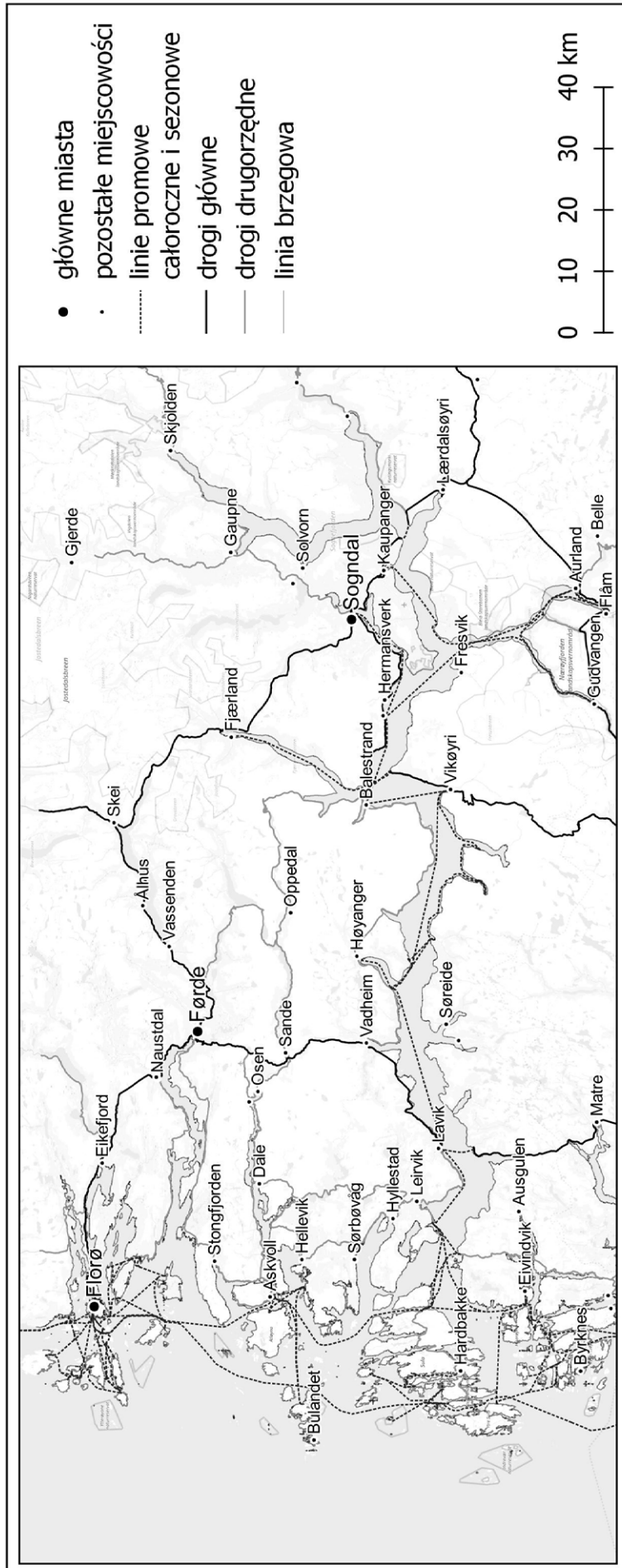
Zakres występujących na danym akwenu wiatrów i falowania znajduje przede wszystkim odzwierciedlenie w rozmiarach jednostki i kształcie kadłuba. Muszą one zapewniać bezpieczeństwo żeglugi i sterowność jednostki w trudnych warunkach. Wymagania te mają wpływ na wysokość i pojemność pokładu ładunkowego, a także układ i rodzaj urządzeń umożliwiających wymianę pasażerów i ładunków. Ponadto falowanie i wiatr mogą zwiększać opory wody i powietrza, a tym samym wpływać na wzrost zużycia energii elektrycznej.

Istotne znaczenie dla rozwoju żeglugi promowej z napędem elektrycznym mają także warunki temperaturowe, decydujące o obecności zlodzenia na obsługiwanym akwenu. Występowanie niskich temperatur wymusza ogrzewanie części pasażerskiej, co zużywa część zapasów energii. Może też skutkować ograniczeniem liczby miejsc pasażerskich w sezonie zimowym, co ma miejsce w przypadku wspomnianego wyżej promu. Okresowe występowanie zlodzenia jest poważnym problemem dla jednostek zasilanych energią elektryczną z baterii. Pokonanie zalodzonego akwenu znacznie zwiększa zużycie energii. Dlatego prom obsługujący połączenie w archipelagu Turku wyposażony został w napęd hybrydowy, baterie o dużej pojemności i silniki elektryczne o stosunkowo dużej mocy. System ten umożliwia żeglugę na zapla-

nowanej trasie z wykorzystaniem jedynie napędu elektrycznego. Silnik wysokoprężny ma być wykorzystywany wspomagająco, w przypadku trudności w pokonaniu zalodzonego akwenu (*The Elektra...*, 2018). Ponadto żegluga w warunkach zlodzenia wymaga odpowiednio wytrzymałej konstrukcji kadłuba. Lepiej sprawdza się kadłub stalowy niż aluminiowy, który ma jednak większą masę powodującą wzrost zużycia energii.

#### 4.2. Poziom rozwoju systemu transportowego

Określone ukształtowanie linii brzegowej staje się ważnym uwarunkowaniem rozwoju żeglugi promowej wtedy, kiedy stanowi barierę transportową. Istotne jest więc ukształtowanie linii brzegowej w stosunku do struktury przestrzennej sieci osadniczej i sieci transportu. Wyrazistym przykładem tej współzależności jest najdłuższy norweski fiord – Sognefjord. Sięga on ponad 200 km w głąb lądu, przerywając ciągłość trzech dróg o znaczeniu krajowym (ryc. 2). U uruchomienie przepraw promowych nie stanowi jedynie funkcji celu, jakim jest zapewnienie spójności sieci drogowej. Wynika także ze zdolności ponoszenia nakładów na utrzymanie i modernizację infrastruktury transportu oraz poziomu zaspokojenia potrzeb transportowych wyższego rzędu. W przypadku Norwegii, Finlandii, Danii, Kanady czy innych krajów o wysokim poziomie rozwoju gospodarczego, utrzymywanie przepraw promowych nie tylko na najważniejszych ciągach transportowych, ale również na tych o niższej randze mieści się w możliwościach budżetowych. Z rangą drogi wiąże się z reguły natężenie ruchu, a co za tym idzie popyt na usługi promowe. Jak pokazuje większość studiów przypadków, promy elektryczne lub hybrydowe wprowadzane są na linie o wysokiej częstotliwości kursowania. Prom elektryczny obsługujący przeprawę przez Sognefjord kursuje 34 razy na dobę, a jednostka pływająca w archipelagu Turku – 25 razy na dobę (tab. 2). Promy kursujące w miastach również są intensywnie eksploatowane.



Ryc. 2. Połączenia promowe w południowej części okręgu Sogn og Fjordane w Norwegii.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych OpenStreetMap.

Elektryfikacja połączeń promowych o dużej częstotliwości kursowania jest najbardziej opłacalna ekonomicznie. Wysokie koszty wybudowania takiej jednostki zwracają się szybciej, kiedy prom jest intensywnie wykorzystywany. To następstwo znacznie niższych kosztów operacyjnych (nawet o 80% – Lambert, 2018), w stosunku do promów napędzanych silnikami wysokoprężnymi. Redukcja ta wynika nie tylko z korzystniejszej ceny energii elektrycznej. Niższe koszty eksploatacji wiążą się również z zastosowaniem aluminiowej konstrukcji kadłuba, oświetlenia LED, paneli fotowoltaicznych oraz systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji z odzyskiem energii. Znacznie prostsza konstrukcja mechaniczna zmniejsza ryzyko awarii i koszty remontów klasowych. Jedyne poważny koszt w trakcie eksploatacji to wymiana baterii. Współzależność pomiędzy długością trasy promowej a intensywnością eksploatacji promów legła u podstaw analizy perspektyw elektryfikacji rynku promowego w Norwegii. Korzystne relacje, z punktu widzenia zwrotu z inwestycji, stwierdzono w przypadku 61 przepraw promowych, które spełniają warunki do obsługi przez statki elektryczne i 32 połączeń, w przypadku których bardziej korzystna byłaby obsługa przez promy hybrydowe (*Electric operation makes...*, 2015). Prawdopodobny spadek kosztów inwestycyjnych, będący następstwem postępu technicznego i korzyści skali w produkcji, może spowodować rozszerzenie tego zbioru.

Dla upowszechnienia promów o napędzie elektrycznym bardzo duże znaczenie ma wcześniejsze funkcjonowanie floty promów o napędzie konwencjonalnym. Zdecydowana większość analizowanych przypadków elektryfikacji żeglugi promowej dotyczy połączeń już istniejących. Jest to dość oczywiste, a zarazem istotny wniosek. Elektryfikacja istniejącej floty jest wtedy jednym z kolejnych kroków modernizacyjnych, prowadzonych w ustalonych i sprawdzonych warunkach prawnych, organizacyjnych, finansowych, przy adekwatnym do potrzeb poziomie wiedzy praktycznej. Utworzenie pojedynczego połączenia promowego wymaga działań od podstaw na wszystkich z tych pól. Przykład koncepcji utworzenia linii promowej z Gdańska na Hel ukazuje te trudności. Koncepcja połączenia, obsługiwanego przez w pełni elektryczny prom dwukierunkowy zrodziła się na fali zaangażowania trójmiejskich przedsiębiorstw w projektowanie i budowę promów elektrycznych (2015 r.). Projekt koncepcyjny przygotował Nelton – podmiot uczestniczący w budowie promu pływającego przez Sognefjord. Niestety nie nastąpiły dalsze konieczne działania w kierunku jej urzeczywistnienia. Nie jest jasne ani w jaki sposób budowa promu miałaby być sfinansowana, ani kto i na jakich zasadach byłby operatorem tego połączenia. Ponadto wątpliwości

budzić może pomysł przewożenia na Półwysep Helski samochodów (poza upoważnionymi), szczególnie w szczycie ruchu turystycznego.

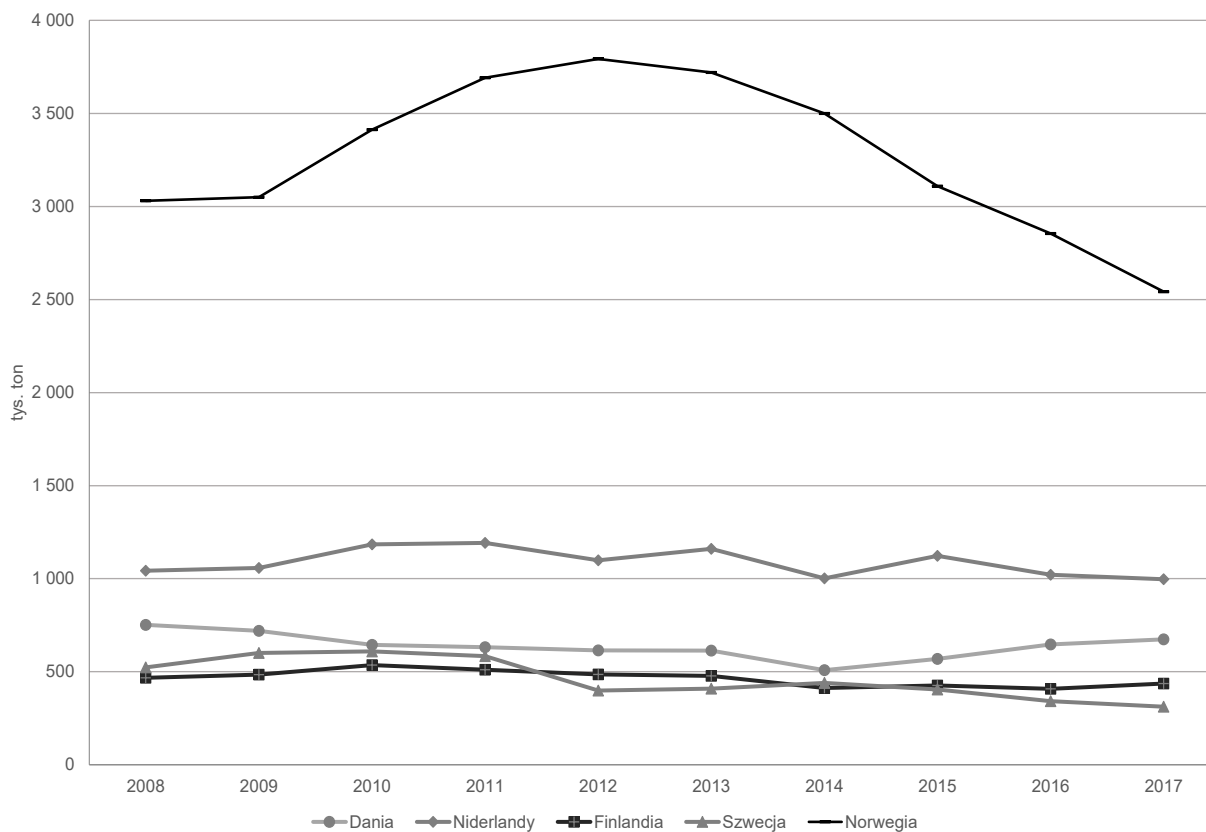
#### 4.3. Struktura zużycia pierwotnych nośników energii oraz poziom rozwoju systemu produkcji i dystrybucji energii elektrycznej

Przewodnym motywem elektryfikacji transportu, w tym żeglugi promowej jest dążenie do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Warunkiem powodzenia – globalnego ograniczenia emisji dla całej gospodarki – jest możliwość wykorzystania w transporcie energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Dlatego elektryfikacja żeglugi promowej jest efektywna w krajach o względnie wysokim udziale tych źródeł w produkcji pierwotnej. Kraje, w których do eksploatacji wdrażane są promy elektryczne w większości spełniają ten warunek. Jedyne Niemcy nie przekraczają udziału 30% odnawialnych źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej (*EU Energy in Figures...*, 2018).

Ważnym uwarunkowaniem jest jednak nie tylko zdolność do produkcji energii ze źródeł odnawialnych, ale także możliwości jej dostarczenia do urządzeń ładujących baterie zlokalizowanych przy przystaniach promowych. Jak wskazali Y. Bjerkan i in. (2019), może to być trudne na obszarach peryferyjnych o niskiej gęstości zaludnienia, gdzie brakuje sieci elektroenergetycznych o odpowiednich parametrach.

#### 4.4. Polityka rozwoju elektromobilności

Od 2013 r. Komisja Europejska wdraża strategię ograniczania emisji gazów cieplarnianych powstających w transporcie morskim (*Integrating maritime transport...*, 2013). Działania te wpisują się w długookresową strategię Międzynarodowej Organizacji Morskiej, których celem jest redukcja emisji gazów cieplarnianych przez żeglugę o 50% w 2050 r. (w stosunku do poziomu z 2008 r.) (*Initial IMO Strategy...*, 2018). Można by przypuszczać, że ze względu na swoją uniwersalność powyższe propozycje nie stanowią uwarunkowań geograficznie różnicujących dynamikę sustensywnej transformacji w transporcie morskim. Jednak poszczególne kraje z różnym zaangażowaniem podchodzą do tego wyzwania. Nie w każdym można też, w perspektywie średniookresowej, osiągnąć spektakularny sukces, jakim może być na przykład elektryfikacja całej floty promowej. Takie możliwości zarysowują się w Norwegii. Emisje pochodzące z żeglugi wewnętrznej mają tam względnie duży udział (6,6% w 2017 r.) w emisji gazów cieplarnianych powstających w wyniku produkcji energii ogółem. Ich sukcesywna redukcja od 2013 r. ma więc zauważalny wpływ na całkowitą emisję Norwegii (ryc. 3).



Ryc. 3. Emisja gazów cieplarnianych w żegludze wewnętrznej w wybranych krajach północnej Europy w latach 2008-2017.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostat. *Air Emission Inventories...*

W przypadku promów operujących na akwenach portowych polityka elektryfikacji przyczynia się do zmniejszenia ruchu samochodowego, redukcji zanieczyszczenia powietrza i wód, ograniczenia hałasu, czyli wpisuje się w działania zmieniające model mobilności w miastach. Jak pokazują przeanalizowane przypadki, wdrożenie promów elektrycznych wymaga nie tylko determinacji władz wynikającej ze zrozumienia zagrożeń jakie niesie zmiana klimatu. Potrzebne są także umiejętności zarządzania rynkiem przewozów promowych, w tym zdolność do organizacji tzw. zielonych przetargów, czyli procedur, w których kryteria wyboru nie ograniczają się jedynie do kwestii ceny i jakości usługi, ale także wpływu jej świadczenia na stan środowiska przyrodniczego, a także szerzej – roli w zachowaniu stabilności systemu planetarnego Ziemi. Ważną rolę odgrywa także umiejętność montażu finansowego – pozyskania środków z różnych źródeł, w celu pokrycia ciągle wysokich kosztów budowy promów o napędzie elektrycznym. Różnorodne konfiguracje tych warunkowań skutkować mogą odmienną zdolnością lokalnych społeczności do elektryfikacji żeglugi promowej.

Przeprowadzone studia przypadków dostarczają trzech interesujących przykładów polityki transportowej ukierunkowanej na rozwój elektrycznych połączeń promowych. Pierwszy pochodzi z Niderlandów. GVB – zarząd transportu miejskiego w Amsterdamie przyjął strategię równoważenia mobilności, której jednym z celów jest wymiana całej floty autobusów na zeroemisyjne do 2025 r. Cel ten dotyczy również promów, choć obok jednostek o w pełni elektrycznym napędzie dopuszcza się promy hybrydowe. Narzędziem transformacji jest program inwestycyjny ELENA realizowany w latach 2017-2020. W segmencie promów inwestycje szacowane są na kwotę 33 mln Euro. Efektem ma być redukcja rocznej emisji CO<sub>2</sub> na poziomie 4,5 tys. ton ekwiwalentnych, tlenków azotu na poziomie 50 ton oraz ograniczenie zużycia energii o 13,5 GWh na rok. Pięć ponad osiemdziesięcioletnich promów zostanie zastąpionych jednostkami w pełni elektrycznymi do 2022 r. Z kolei 12 promów do 2025 r. otrzyma napęd hybrydowy. Zbudowane zostaną również trzy nowe jednostki o takim napędzie (Koek, 2018).

Drugi przykład dotyczy regionu Hordaland w Norwegii, w którym funkcjonuje flota 20 promów (2018).



Ich średni wiek wynosi 29 lat. W trakcie użytkowania emitują szkodliwe związki w ilości odpowiadającej emisji wszystkich autobusów wykorzystywanych w regionalnym transporcie publicznym. Bieżące kontrakty przewozowe wygasają w latach 2018-2020. Skyss – organizator transportu publicznego w regionie – uznał, że jest to dobra okazja do głębokiej modernizacji floty promowej, która ma skutkować znaczącą redukcją energochłonności tego środka transportu, a co za tym idzie także istotnym ograniczeniem emisji zanieczyszczeń. Organizator transportu publicznego wybrał do współpracy przy realizacji omawianego przedsięwzięcia DNV GL – podmiot mający kompetencję i doświadczenie we wdrażaniu technologii przyjaznych środowisku w gospodarce morskiej. Pomógł on w stworzeniu mechanizmu przetargowego, wyłaniającego operatorów połączeń promowych na okres 10 lat. Ważnym kryterium przetargu – o wadze 30% – była efektywność środowiskowa (zużycie energii i emisja CO<sub>2</sub>), co miało skłonić operatorów do poszukiwania innowacyjnych rozwiązań. Mechanizm przetargowy zaprojektowano jako neutralny technologicznie – nie wymagał z góry rozwiązań z pełnym napędem elektrycznym – nie mniej operator transportu publicznego postanowił tak zmodyfikować rozkład rejsów, aby wydłużyć postoje, w czasie których możliwe jest naładowanie baterii. To niewielka, ale kluczowa zmiana organizacyjna sprzyjająca elektryfikacji żeglugi promowej. Mechanizm przetargowy umożliwił również operatorom skorzystanie z pomocy publicznej przeznaczonej na inwestycję na rzecz ochrony środowiska. Zapewniło to przewidywalne wsparcie finansowe dla armatorów, o wysokości zależnej od zastosowanych rozwiązań technologicznych. Wynik przetargu okazał się satysfakcjonujący dla wszystkich zaangażowanych stron. Wszystkie kontrakty dotyczą w pełni elektrycznych promów, co początkowo uznawano za nierealistyczne. W zależności od potrzeb będą to jednostki o różnej wielkości – od 12 do 130 ekwiwalentnych samochodów (CEU). W kolejnym etapie prowadzono negocjacje doprecyzowujące rozwiązania techniczne mające zapewnić opłacalność inwestycji publicznej w wysokości prawie 900 mln Euro na usługi promowe, w tym nowe promy, a także 140 mln Euro na technologię niskoemisyjną. Suma ta obejmowała systemy akumulatorów na statkach, infrastrukturę do ładowania na lądzie, w tym automatyczne systemy cumownicze utrzymujące promy w bezruchu i oszczędzające energię podczas ładowania, akumulatory buforowe i ulepszenia sieci energetycznej (Wold, 2018).

Trzeci przykład dotyczy projektu promu obsługującego linie Søby – Fynshav i Søby – Faaborg w Danii. Projekt miał charakter eksperymentalny, a zarazem demonstracyjny. Finansowany był z programu UE

Horyzont 2020. Jego łączna wartość wynosiła 21,3 mln Euro, z czego 15 mln to dofinansowanie UE. Celem przedsięwzięcia było zaprojektowanie, budowa i pokazowa eksploatacja w pełni elektrycznego – bez emisyjnego w użytkowaniu promu. Przedsięwzięcie ma promować efektywny energetycznie, ograniczający do zera emisję gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń powietrza, transport wodny dla społeczności na wyspach, obszarach przybrzeżnych oraz na wodach śródlądowych w Europie i poza nią (*E-ferry: Prototype...*, 2019).

#### 4.5. Zdolności projektowe i wytwórcze

Elektryfikacja żeglugi promowej wymaga zdolności projektowych i produkcyjnych umożliwiających modernizację istniejących lub budowę nowych jednostek. Kluczowe znaczenie na tym polu odgrywają stocznie. Przeanalizowane przykłady pozwoliły na wskazanie prekursorów. To norweska stocznia Fjellstrand, duńska Søby Verte, holenderskie Holland Shipyards oraz Damen, a także polskie – Remontowa Shipbuilding oraz Crist. Stocznia należąca do grupy Damen, w której budowane są promy dla Kopenhagi również znajduje się w Polsce – w Kędzierzynie-Koźlu. Wszystkie statki, w tym promy są bardzo skomplikowanymi produktami. Podobnie jak w innych gałęziach przemysłu stocznie coraz powszechniej działają w oparciu o model elastycznej produkcji (Jiang i in., 2016). W takim kształcie działalności stocznia jest organizatorem produkcji i wykonawcą niektórych kluczowych jej etapów. Poza tym korzysta z wyspecjalizowanych usług zewnętrznych oraz poddostawców gotowych podzespołów i całych systemów. W przypadku budowy promów elektrycznych, co potwierdzają przeanalizowane studia przypadków, kluczową rolę odgrywają podmioty odpowiedzialne za integrację systemów elektrycznych, producenci silników, baterii, ładowarek oraz automatycznych systemów cumowniczych. Obserwuje się również specjalizację niektórych biur projektowych (np. Multi Maritime and Havyard Ship Technology) w projektowaniu promów elektrycznych i hybrydowych. Większość z tych przedsiębiorstw ma siedziby na terenie krajów północnej Europy – przede wszystkim w krajach nordyckich, a także w Niderlandach i Niemczech.

#### Wnioski

Postęp techniczny na polu magazynowania energii elektrycznej stworzył praktyczne możliwości zastosowania napędu elektrycznego na statkach. Najbardziej podatna na tego rodzaju innowację okazała się żegluga promowa. Krótki dystans oraz korzystanie ze stałych przystani ułatwia zastosowanie tego rozwią-

zania, ograniczając niezbędną pojemność modułów bateryjnych, co zmniejsza koszty samego systemu napędowego. Stałe przystanie minimalizują ponadto problemy organizacyjne i nakłady inwestycyjne konieczne dla zapewnienia infrastruktury do ładowania baterii.

Analiza 15 studiów przypadków zastosowania promów o napędzie hybrydowym lub elektrycznym miała na celu identyfikację geograficznych uwarunkowań elektryfikacji transportu promowego. Założono, że ostateczny kształt każdego systemu, na który składa się prom i infrastruktura umożliwiająca jego funkcjonowanie, jest jedynie po części efektem postępu technicznego, czyli coraz korzystniejszych parametrów eksploatacyjnych i kosztów poszczególnych podzespołów: modułów bateryjnych, ładowarek, systemów zarządzania energią, elektromotorów czy automatycznych systemów cumowniczych. Przyjęto, że charakterystyka techniczno-eksploatacyjna promów i infrastruktury do ich obsługi wynika także z uwzględnienia specyficznych uwarunkowań poszczególnych akwenów i regionów przybrzeżnych. Zidentyfikowano pięć kategorii takich uwarunkowań: ukształtowanie linii brzegowej i warunki nautyczne; poziom rozwoju transportu; struktura zużycia pierwotnych nośników energii i poziom rozwoju systemu produkcji oraz dystrybucji energii elektrycznej; polityka rozwoju elektromobilności; zdolności projektowe i wytwórcze. Ostateczny kształt rozwiązań przyjętych dla konkretnej przeprawy promowej to efekt określonej konfiguracji wymienionych uwarunkowań. Ważne jest podkreślenie ich współzależności. Relacja między ukształtowaniem linii brzegowej a poziomem rozwoju transportu określa poziom ekonomicznej rentowności zastosowania napędu elektrycznego lub hybrydowego. Krótkie trasy o wysokiej częstotliwości kursowania pozwalają z jednej strony ograniczyć koszty inwestycyjne (pojemność modułów bateryjnych), z drugiej strony zmaksymalizować stopę zwrotu z inwestycji, wynikającą z różnicy w kosztach promów elektrycznych lub hybrydowych w stosunku do napędzanych tylko silnikami wysokoprężnymi. Rozpowszechnienie transportu promowego, struktura zużycia pierwotnych nośników energii wpływają z kolei na efektywność polityki elektromobilności. Z punktu widzenia redukcji emisji gazów cieplarnianych w skali danego kraju elektryfikacja żeglugi promowej przynosi efekt wtedy, kiedy istnieje możliwość wykorzystania odnawialnych źródeł energii do zasilania modułów bateryjnych nowych promów i jak dużą redukcję emisji przyniesie ich zastosowanie. Katalizatorem elektryfikacji może być także lokalna polityka ukierunkowana nie tylko na redukcję emisji gazów cieplarnianych, ale zanieczyszczeń powietrza i emisji hałasu, których źródłem jest

transport miejski. Sama polityka elektromobilności nie spowoduje jednak realnej zmiany bez zdolności projektowych i wytwórczych, które ją urzeczywistnią. Istnienie miejscowych wytwórców zwiększa jednocześnie efektywność polityki elektromobilności, która kreując popyt na innowacyjne produkty sprzyja wzmocnieniu pozycji konkurencyjnej producentów. Ponadto udane projekty, szczególnie na pionierskim etapie elektryfikacji, mają bardzo poważny potencjał promujący dany kraj, region czy miasto.

Pomyślne wdrożenia, których większość omówiono w niniejszym artykule, dokonały przełomu na rynku przybrzeżnych przewozów promowych. Intensywne działania zmierzające do elektryfikacji floty podejmuje Norwegia, za nią podąża Kanada. Kolejne nadmorskie aglomeracje również zmierzają w tym kierunku. Przykładem może być nie tylko wspomniany Kaohsiung na Tajwanie, ale także Kalkuta czy Koczin w Indiach. Rosnące zamówienia na promy o napędzie elektrycznym sprzyjają rozszerzeniu produkcji na inne regiony. W ostatnim czasie (2018-2019) zaangażowane zostały w nią stocznie Damen w Gałaczu (Rumunia), Tersan Shipyard i Cemre Shipyard (Turcja) oraz Cochin Shipyard (Indie).

Przeprowadzone postępowanie badawcze miało charakter wstępny, co jest w znacznej mierze skutkiem wczesnego etapu rozwoju żeglugi promowej wykorzystującej napęd elektryczny lub hybrydowy. Istnieje potrzeba studiów kolejnych przypadków. Różnorodność warunków geograficznych może skutkować zastosowaniem innych rozwiązań niż przedstawione. Tym bardziej, że większość opisanych przykładów, mimo ich różnorodności, pochodzi z obszarów o podobnym rysie uwarunkowań geograficznych – przyrodniczych (klimat umiarkowany) i antropogenicznych (wysoki poziom rozwoju gospodarczego). Może to prowadzić do nadmiernych, a przez to zniekształconych uogólnień dotyczących prawidłowości rozwoju (Domański, 2004) tego środka transportu w skali świata. Jednocześnie różnorodność i złożoność uwarunkowań daje asumpt do rozbudowy relacyjnego i holistycznego podejścia, stanowiącego atut geografii społeczno-ekonomicznej jako dyscypliny nauki (Stryjakiewicz, 2016). Duża dynamika elektryfikacji transportu promowego wydaje się być interesującym polem dla renesansu badań nad procesami dyfuzji innowacji, być może w zyskującym na znaczeniu nurcie geografii ewolucyjnej. W końcu wątkiem wymagającym dalszych analiz, który w niniejszym opracowaniu został jedynie wzmiankowany, jest zagadnienie rozwoju zdolności wytwórczych stoczni i złożonej sieci kooperantów. Mogą one przynieść interesujące wyniki w kontekście roli bliskości, w tym bliskości geograficznej w formowaniu się sieci przedsiębiorstw (Micek, 2017) oraz

lokalnych przewag konkurencyjnych w powstawaniu i ewolucji okręgów przemysłowych (Porter, 2001). Zresztą samo zagadnienie przemysłu okrętowego należy do stosunkowo słabo rozpoznanych przez geografów społeczno-ekonomicznych, szczególnie w Polsce (Czapliński, 2018). Poruszana problematyka wpisuje się także w szersze ujęcia relacyjne, coraz bardziej popularne w badaniach geograficzno-ekonomicznych (Domański, 2016). Jak zauważono powyżej, rozwój elektrycznej żeglugi promowej jest ściśle powiązany ze zdolnościami projektowymi i wytwórczymi sieci przedsiębiorstw położonych nie tylko w pobliżu obszarów eksploatacji takich promów. Zainteresowane ich wdrożeniem i rozwojem rośnie także poza Europą. Okoliczności te wydają się przemawiać za stosowaniem instrumentarium badań globalno-lokalnych relacji społeczno-gospodarczych (Castree i in., 2004; Kuciński, 2011), co może sprzyjać nie tylko wzbogaceniu wiedzy faktograficznej, ale także doskonaleniu teorii i metodologii geografii społeczno-ekonomicznej.

## Piśmiennictwo

- Bardi U., 2011, *The limits to growth revisited*, Springer Science & Business Media, Nowy Jork Dordrecht–Heidelberg–Londyn.
- Bińczyk E., 2018, *Epoka człowieka: retoryka i marazm antropocenu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Biresselioglu M.E., Kaplan M.D., Yilmaz B.K., 2018, Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109, 1-13.
- Bjerkan Y., Karlsson K.H., Sondell R.S., Damman S., Meland S., 2019, Governance in Maritime Passenger Transport: Green Public Procurement of Ferry Services, *World Electric Vehicle Journal*, 10(74), 1-15.
- Bojar M., Machnik-Słomka J., 2014, Model potrójnej i poczwórnej helisy w budowaniu współpracy sieciowej dla rozwoju innowacyjnych projektów regionalnych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, 76, 99-111.
- Castree N., Coe N., Ward K., Samers M., 2004, *Spaces of Work: Global Capitalism and Geographies of Labour*, SAGE Publications, Londyn.
- Coenen L., Truffer B., 2012, Places and Spaces of Sustainability Transitions: Geographical Contributions to an Emerging Research and Policy Field, *European Planning Studies*, 20(3), 367-374.
- Czapliński P., 2018, Polish Geography of Industry in Sea Research, *Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society*, 32(4), 123-134.
- Czermański E., 2019, *Morska żegluga kontenerowa a zrównoważony rozwój transportu*, Wydawnictwo Instytutu Transportu i Handlu Morskiego Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Desmond K., 2017, *Electric Boats and Ships: A History*, McFarland & Company Inc., Publishers, Jefferson.
- Domański B., 2004, Krytyka pojęcia rozwoju a studia regionalne, *Studia Regionalne i Lokalne*, 2(16), 7-23.
- Domański B., 2016, Istota i przyszłość geografii człowieka – głos w dyskusji, [w:] A. Suliborski (red.), *Stan, perspektywy rozwoju i strategia rozwoju geografii społeczno-ekonomicznej w najbliższych latach (do 2030 r.)*. Dyskusja międzypokoleniowa, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 83-86.
- E-ferry: Prototype and full-scale demonstration of next generation 100% electrically powered ferry for passengers and vehicles, <http://e-ferryproject.eu/> [dostęp: 22.09.2019].
- Electric operation makes seven out of ten ferries more profitable – a feasibility study, 2015, Siemens, Bellona, Oslo.
- EU Energy in Figures: Statistical Pocketbook 2018, 2018, Publications Office of the European Union, Luksemburg.
- Eurostat. Air Emission Inventories (Source: EAA), <https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/air-emissions-inventories/database> [dostęp: 13.10.2019].
- Flyvbjerg B., 2005, Pięć mitów o badaniach typu studium przypadku, *Studia Socjologiczne*, 2(177), 41-69.
- Forkiewicz M., Wolski L., 2018, Electric marine ferries – a Norwegian example, *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19(12), 890-895.
- Gagatsi E., Estrup T., Halatsis A., 2016, Exploring the potentials of electrical waterborne transport in Europe: the E-ferry concept, *Transportation Research Procedia*, 14, 1571-1580.
- Hansen T., Coenen L., 2015, The geography of sustainability transitions: Review, synthesis and reflections on an emergent research field, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 17, 92-109.
- Herodowicz T., 2016, Interwencja środowiskowa polityki spójności w Polsce – merytoryczne ukierunkowanie i regionalne zróżnicowanie, *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 33, 95-116.
- Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions From Ships, 2018, International Maritime Organization, Londyn.
- Integrating maritime transport emissions in the EU's greenhouse gas reduction policies, 2013, European Commission, Bruksela.
- Janikowski R., 2010, Przemysły kultury jako czynnik zrównoważonego rozwoju miast i aglomeracji, *Prace Naukowe*, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, 52-64.
- Janikowski R., 2015, Sustensywne kształtowanie antropopresji, *Gospodarka w Praktyce i Teorii*, 1(38), 23-33.
- Jiang G., Feng D., Zhu W., 2016, Toward efficient merchant shipbuilding based on the lean production methodology, *Journal of Ship Production and Design*, 32(4), 245-257.
- Koek T., 2018, *Funding Sustainable Public Transport in Amsterdam*, <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/>



- documents/2.2\_smart\_city\_mobility\_final.pdf [dostęp: 20.09.2019]
- Kołoś A., Połom M., 2018, 25 lat Komisji Geografii Komunikacji PTG: 1993-2018 – powstanie, działalność i trudności, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 21(1), 80-87.
- Kuciński K., 2011, Glokalizacja jako indygenizacja globalizacji, *Rocznik Żyrardowski*, 9, 15-39.
- Kunicka M., Litwin W., 2017, Projekt małego promu pasażerskiego z napędem hybrydowym – koncepcja napędu i wybrane problemy gospodarowania energią, *Napędy i Sterowanie*, 10, 124-128.
- Lambert F., 2018, *All-Electric Ferry Cuts Emission by 95% and Costs by 80%. Brings in 53 Additional Orders*, <https://electrek.co/2018/02/03/all-electric-ferry-cuts-emission-cost> [dostęp: 20.09.2019].
- Le-Klaehn D-T., Hall M.C., 2015, Tourist use of public transport at destinations – a review, *Current Issues in Tourism*, 18(8), 785-803.
- Liu Ch., Gui Q., 2016, Mapping intellectual structures and dynamics of transport geography research: a scientometric overview from 1982 to 2014, *Scientometrics*, 109(1), 159-184.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W., 1973, *Granice wzrostu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Micek G., 2017, *Bliskość geograficzna przedsiębiorstw zaawansowanego przemysłu i usług a przepływy wiedzy*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- Morandin M., Bolognani S., Campostrini P., Ferrari A., Guarnieri M., 2015, Electric waterborne public transportation in Venice: A case study, *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 1-8.
- Muszyńska-Jeleszyńska D., 2018, The use of solar technology on vessels for development of water tourism and recreation – Bydgoszcz Water Tram case study, *AIP Conference Proceedings 2040*, 070011.
- OpenStreetMap*, <https://www.openstreetmap.org/> [dostęp: 13.10.2019].
- Parysek J.J., 2017, Metafory i neologizmy współczesnego języka nauk społecznych i ekonomicznych, *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny*, 79(3), 175-192.
- Połom M., 2017, II Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy i wyzwania geografii komunikacji” w Gdańsku (6-7.04.2017 r.), *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 20(2), 79-82.
- Połom M., 2018, III Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy i wyzwania geografii komunikacji” w Gdańsku (10-11.05.2018 r.), *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 21(3), 95-97.
- Połom M., Tarkowski M., 2016, I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy i wyzwania geografii komunikacji” – Gdańsk – 21.04.2016 r., *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 19(2), 81-83.
- Porter M.E., 2001, *Porter o konkurencji*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Przybyłowski A., 2013, *Inwestycje transportowe jako czynnik zrównoważonego rozwoju regionów w Polsce*, Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia.
- Ripple W.J., Wolf Ch., Newsome T.M., Barnard P., Moomaw W.R., 2019, World Scientists' Warning of a Climate Emergency, *BioScience*, biz088, 1-5.
- Steen M., Bach H., Bjørgum Ø., Hansen T., Kenzhegaliyeva A., 2019, *Greening the fleet: A technological innovation system (TIS) analysis of hydrogen, battery electric, liquefied biogas, and biodiesel in the maritime sector*, SINTEF Digital, Trondheim.
- Stryjakiewicz T., 2016, Stan, perspektywy i strategia rozwoju geografii społeczno-ekonomicznej w najbliższych latach (do 2030 r.), [w:] A. Suliborski (red.), *Stan, perspektywy rozwoju i strategia rozwoju geografii społeczno-ekonomicznej w najbliższych latach (do 2030 r.)*. Dyskusja międzypokoleniowa, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 69-76.
- Suliborski A. (red.), 2016, *Stan, perspektywy i strategia rozwoju geografii społeczno-ekonomicznej w najbliższych latach (do 2030 r.)*. Dyskusja międzypokoleniowa, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- The Elektra: Finland's First Hybrid-Electric Ferry*, 2018, <https://www.ship-technology.com/features/elektra-finlands-first-hybrid-electric-ferry> [dostęp: 21.03.2019].
- Turner G.M., 2008, A comparison of the Limits to Growth with 30 years of reality, *Global Environmental Change*, 18(3), 397-411.
- Wold M.C., 2018, *Dawn of a New Era – DNV GL*, <https://www.dnvgl.com/maritime-impact/Dawn-of-a-new-era.html> [dostęp: 21.09.2019].
- Zaucha J., 2012, Synteza aktualnego stanu wiedzy dotyczącej rozwoju sustensywnego i spójności terytorialnej w planowaniu przestrzennym. Analiza dokumentów UE, BSR i polskich, *Institute for Development Working Papers*, 001, 1-33.