

W labiryncie dekarbonizacji

**Czyli dokąd zmierza transport
w erze redukcji emisji CO₂**

Wrzesień 2025



Wciąż za wiele dróg do celu

Sektor transportu jest fundamentem współczesnej gospodarki, odgrywającym kluczową rolę w rozwoju ekonomicznym i społecznym Unii Europejskiej. Jest to jednocześnie jedyny sektor w UE, w którym od 1990 roku zaobserwowano wzrost całkowitych emisji CO₂, co stawia go w centrum uwagi unijnej polityki klimatycznej. Reagując na tę sytuację, Unia Europejska postawiła przed sektorem transportowym ambitne zadanie: zmniejszenie emisji o 90% do 2050 roku.

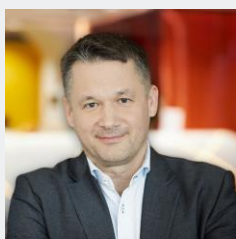
Realizacja tego celu stanowi bezprecedensowe wyzwanie. Obecna infrastruktura transportowa i **łańcuch wartości rozwijany od ponad 100 lat** są dostosowane do paliw konwencjonalnych, a **ich transformacja wymaga ogromnych nakładów kapitałowych**. Każdy rodzaj transportu – drogowy, lotniczy, wodny i kolejowy – ma swoją specyfikę i różne możliwości techniczne w zakresie dekarbonizacji, co komplikuje proces transformacji. Dodatkowo, **różne rodzaje transportu mogą konkurować o te same zasoby** niezbędne do dekarbonizacji.

Kluczowym aspektem oczekiwanej transformacji jest fakt, że wiele zmian musi zajść na poziomie indywidualnych decyzji użytkowników, które są w dużej mierze **dyktowane przesłankami ekonomicznymi, a nie ekologicznymi**. Równolegle, niezbędne są inwestycje w infrastrukturę, która umożliwi i wesprze te indywidualne wybory.

Biorąc powyższe pod uwagę, **możliwości dekarbonizacji transportu przypominają dziś prawdziwy labirynt**, a mnogość sugerowanych rozwiązań (bardziej lub mniej zasadnych) sprawia, że trudno wytyczyć właściwy kierunek działania.

Niniejszy raport ma na celu wsparcie procesu decyzyjnego podmiotów działających w sektorze transportowym poprzez analizę dostępnych ścieżek dekarbonizacji poszczególnych środków transportu – drogowego, lotniczego, żeglugi i kolei. Badamy w nim najnowsze technologie, regulacje i kierunki działań dążące do zrównoważonej mobilności. **Wskazujemy konkretne rozwiązania**, które nie tylko spełniają ambitne cele dekarbonizacyjne, ale również mają **sens ekonomiczny**, zapewniając **długoterminową konkurencyjność i stabilność sektora transportowego**.

Analizy prowadzimy na poziomie europejskiego sektora transportu, jednak od czasu do czasu pokazujemy w ramce perspektywę Polski – kraju, z którego pochodzą członkowie zespołu – autorzy niniejszego raportu.



Wojciech Słowiński
Partner
PwC Polska



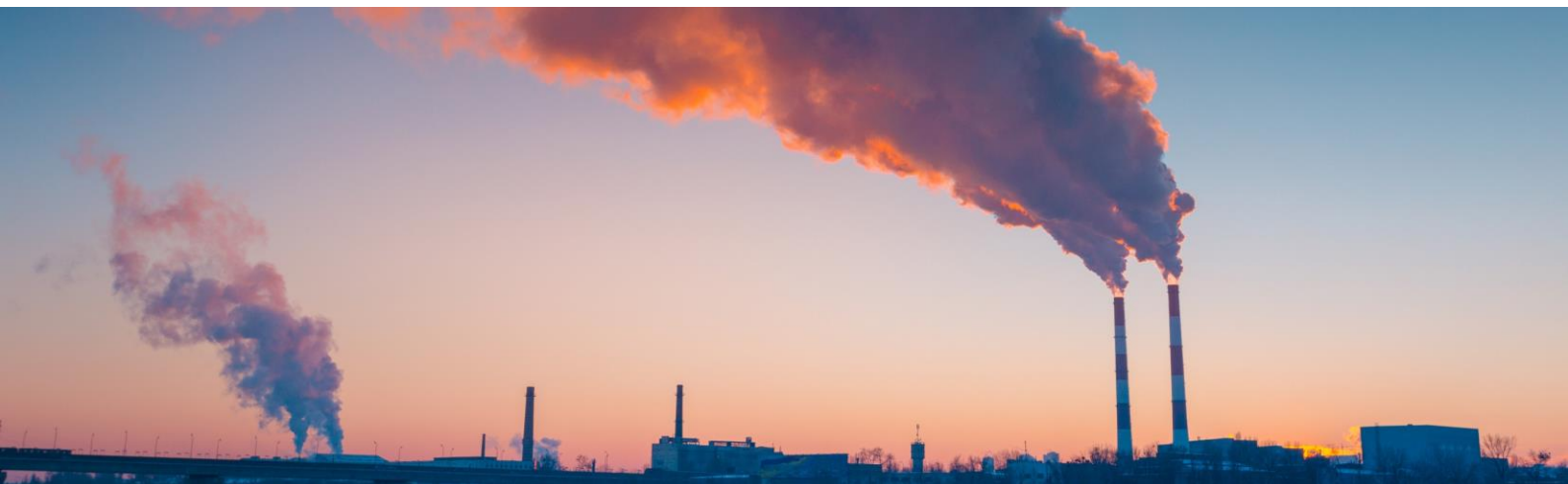
Bartosz Safiejko
Dyrektor
PwC Polska

Spis treści

1	Jak nawigować po labiryncie dekarbonizacji, czyli co wynika z naszych analiz?	4-5
2	Transport u progu zmian	6-9
3	Transport drogowy Nowa mobilność, czyli realne rozwiązania na zazielenienie dróg	10-20
4	Transport lotniczy Dekarbonizacja lotnictwa – najdroższa droga do najmniejszej zmiany?	21-25
5	Transport wodny Żegluga w stronę (bio)LNG	26-29
6	Transport kolejowy Kolej tak zielona, jak energia, która ją napędza	30-33
7	Na skróty przez labirynt, czyli które rozwiązania mają sens?	34
8	Słowniczek dekarbonizacji	35

Jak nawigować po labiryncie dekarbonizacji? Najważniejsze wnioski z naszych analiz:

- 1** **Osiągnięcie przez sektor transportowy unijnych celów dekarbonizacyjnych stanowi niezwykle wymagające zadanie**, zważywszy na istniejący, rozwijany od ponad 100 lat łańcuch wartości oparty na paliwach konwencjonalnych oraz potrzebę utrzymania konkurencyjności zarówno samej branży, jak i całej gospodarki europejskiej.
- 2** **Dostępne są trzy rodzaje działań mogących obniżyć emisję CO₂ w transporcie**: redukcja skali przewozów, przekierowanie ich z transportu drogowego i lotniczego na wodny i kolejowy oraz zmiana miksu paliwowego.
- 3** **Na ten moment nie widać na horyzoncie "paliwa przyszłości"** – jednego, uniwersalnego dla wszystkich rodzajów transportu oraz ekonomicznie korzystnego rozwiązania pozwalającego na znaczące ograniczenie emisji. W związku z tym, aby podejmować efektywne kosztowo działania i ograniczyć konkurencję różnych rodzajów transportu o te same zasoby, kluczowe jest wyznaczenie osobnych dla transportu drogowego, lotniczego, wodnego i kolejowego, klarownych, skutecznych i opłacalnych ścieżek zasilania.
- 4** **Transport drogowy odpowiada za niemal 3/4 emisji**, co czyni go najbardziej istotnym w kontekście dyskusji o dekarbonizacji. **Jego przyszłością jest napęd elektryczny** ze względu na wysoką efektywność energetyczną, zaawansowanie technologiczne, rosnącą dostępność infrastruktury i, w związku z tym, coraz bardziej korzystny rachunek ekonomiczny dla użytkownika. Jednak wciąż stosunkowo niewielka część kierowców wybiera elektryka. **Tradycyjne napędy spalinowe, wspierane przez biopaliwa i technologie hybrydowe, pozostaną w użyciu jeszcze długo po 2035 roku**, gdy w życie ma wejść zakaz sprzedaży pojazdów emitujących CO₂.





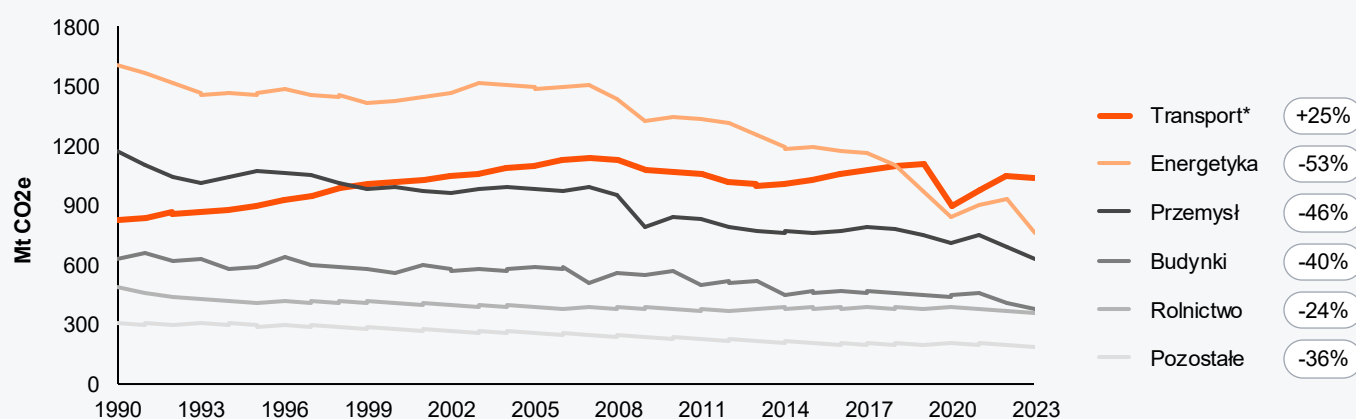
- 5** Preferowanym paliwem dla transportu wodnego już niedługo stanie się LNG, które będzie stopniowo **uzupełniane** o rosnący udział **bio-LNG**, co potwierdzają analizy napędów jednostek już obecnie produkowanych w światowych stocznich.
- 6** Sytuacja w sektorach kolejowym i lotniczym jest diametralnie różna. Podczas gdy **kolej dekarbonizuje się już od dziesięcioleci** poprzez zwiększanie stopnia elektryfikacji, **w lotnictwie nadal brak jest opłacalnych rozwiązań redukujących emisje**. W kontekście spodziewanych wielokrotnie wyższych cen paliw alternatywnych w porównaniu do obecnie używanej kerozyny należy zastanowić się, czy europejską gospodarkę stać na dekarbonizację branży lotniczej.
- 7** Produkcja i wykorzystanie zielonego wodoru i e-paliw w transporcie wymaga nawet 5-krotnie wyższego zużycia energii elektrycznej niż bezpośrednia elektryfikacja przewozów. Dlatego w kontekście ograniczonej podaży odnawialnej energii, to właśnie **elektryfikacja transportu, wspierana przez biopaliwa, jest w tym momencie jedynym racjonalnym rozwiązaniem**.
- 8** Choć branża transportowa spodziewa się intensywnej konkurencji o „zielone” zasoby energetyczne, takie jak biomasa czy energia odnawialna, **wnioski z raportu wskazują, że ten wyścig nie musi być aż tak zacięty**. Dla każdego rodzaju transportu wskazaliśmy tu własną, unikalną ścieżkę dekarbonizacji, których wdrożenie umożliwi rzeczywistą transformację – efektywną kosztowo i umożliwiającą utrzymanie konkurencyjności.

Transport u progu zmian

Sektor transportu stanowi fundament współczesnej ekonomii i codziennego funkcjonowania społeczeństw, zapewniając sprawny przepływ towarów i ludzi, i w rezultacie – funkcjonowanie gospodarki. W samej Unii Europejskiej odpowiada on bezpośrednio za około 5% PKB i daje pracę ponad 6 milionom osób. Dynamiczny wzrost gospodarczy, intensyfikacja międzynarodowego handlu oraz rosnące zapotrzebowanie na przemieszczanie towarów i ludzi na znaczne odległości sprawiają, że transport pozostaje zarówno beneficjentem, jak i kluczowym warunkiem dalszego rozwoju.

Unia Europejska dysponuje jedną z najgęstszych i najlepiej zintegrowanych sieci transportowych na świecie, pełniąc rolę jednego z kluczowych hubów globalnej logistyki. Ponad 5,5 milionów kilometrów dróg, około 200 tysięcy kilometrów linii kolejowych, niemal jedna czwarta światowego ruchu lotniczego oraz porty morskie zaliczane do największych na świecie pozycjonują UE w gronie najważniejszych ośrodków transportowych.¹

Emisje gazów cieplarnianych [GHG] wg sektora w UE, 1990-2023 [Mt CO₂e]



Źródło: EEA, Analiza PwC

*Transport uwzględnia międzynarodowy transport lotniczy i wodny

% wzrost emisji od 1990 roku

Jednocześnie, unijny sektor transportu jest obecnie największym źródłem emisji CO₂ i jedynym sektorem, w którym całkowite emisje od 1990 roku wzrosły – w ciągu ostatnich trzech dekad o blisko jedną czwartą. Ze względu na swoją kluczową rolę ekonomiczną, sektor transportu w UE stoi przed bezprecedensowym wyzwaniem – **dekarbonizacją**.

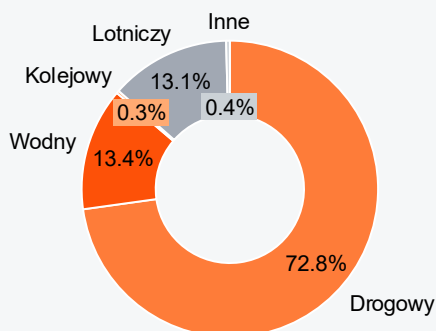
Wyzwanie to jest o tyle trudniejsze, że nie startujemy z czystą kartą. **Od ponad stu lat** całe pokolenia inwestowały ogromne środki w budowę i doskonalenie systemu transportowego opartego na paliwach kopalnych. Cały **ekosystem** – od wydobycia ropy, rurociągów, rafinerii i terminali paliwowych, przez sieć stacji benzynowych, aż po flotę milionów pojazdów, statków i samolotów z silnikami spalinowymi – **był przez lata budowany i optymalizowany pod kątem ropy naftowej**. Zmiana tego kręgosłupa gospodarki wiąże się z porzuceniem starych aktywów oraz astronomicznymi nakładami inwestycyjnymi na nową infrastrukturę, co ostatecznie znajdzie odzwierciedlenie w kosztach dla końcowego użytkownika.

¹ Eurostat

Zadanie komplikuje również fakt, że sektor transportu jest niejednorodny - wydzielić można 4 rodzaje transportu: **drogowy, lotniczy, wodny i kolejowy**, z których każdy ma swoją specyfikę i ograniczenia techniczne. Oprócz tego wyróżniamy **transport osobowy**, w którym decyzje o wyborze środka transportu podejmowane są każdego dnia przez miliony osób bazując w dużej mierze na osobistych możliwościach, ale również preferencjach i przekonaniach, oraz **transport towarowy**, w którym kluczem wyboru są czas i pieniądz.

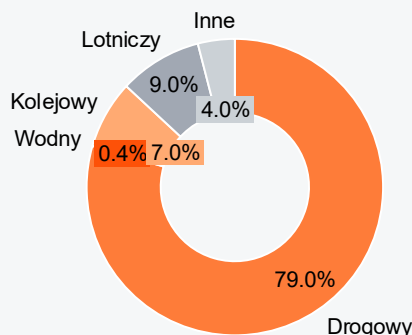
Na tle poszczególnych gałęzi to transport drogowy pozostaje największym źródłem emisji – odpowiada za niemal trzy czwarte całkowitego śladu węglowego transportu w UE. Jest jednocześnie najczęściej wybieranym środkiem przewozu osób i towarów, dlatego dekarbonizacja ruchu drogowego pozostaje priorytetem unijnej agendy. Żegluga i lotnictwo generują po ok. 13% emisji, pełniąc przy tym zupełnie odmienne funkcje systemowe: statki są filarem transportu ładunków, a samoloty odgrywają rosnącą rolę w przewozach pasażerskich. Na drugim biegunie jest kolej – gałąź o najniższej emisyjności. Wysoki poziom elektryfikacji pozwala już dziś ograniczać emisje, a właściwie outsource'ować zadanie ich ograniczania do sektora energetycznego, który dba o zwiększanie ilości zielonej energii w systemie.

Emisje GHG wg. rodzaju transportu w UE, 2023 [%]



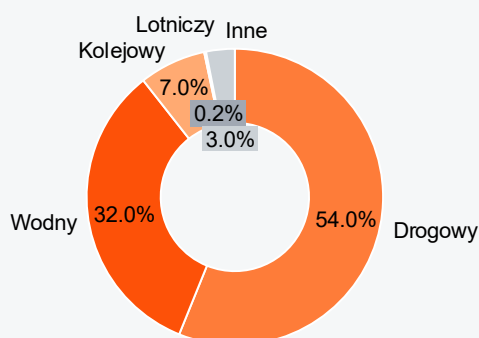
Źródło: EEA, Analiza PwC

Udział rodzaju transportu w transporcie osobowym w UE, 2023 [%]



Źródło: EEA, Analiza PwC

Udział rodzaju transportu w transporcie towarowym w UE, 2023 [%]



Źródło: EEA, Analiza PwC

Najważniejsze unijne cele i kamienie milowe wg rodzaju transportu

Cel nadrzędny: **29%** udziału OZE w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu w 2030 roku

	2025-2029	2030	2035	2040-2050
Drogowy	Redukcja emisji nowych HDV¹ i samochodów osobowych o 15%	Redukcja emisji nowych samochodów osobowych o 55% i HDV o 45%²	- Wymóg ZE³ dla nowych samochodów osobowych i dostawczych - Redukcja emisji nowych HDV o 65%⁴	Redukcja emisji nowych HDV o 90% do 2040
Lotniczy	2% SAF - Wycofanie darmowych uprawnień ETS dla lotnictwa do 2026	6% SAF, w tym 0,7% e-paliw⁵ - Rozszerzenie ETS na loty z UE poza jej obszar	20% SAF, w tym 5% e-paliw	Stopniowe zwiększanie udziału SAF do poziomu 70% (w tym 35% e-paliw) w 2050 roku
Morski	2% redukcji intensywności emisji - Stopniowe wprowadzanie ETS do poziomu 100% w 2026 roku⁶	6% redukcji intensywności emisji - OPS⁷ obowiązkowe we wszystkich portach TEN-T⁸	14,5% redukcji intensywności emisji - OPS obowiązkowe we wszystkich portach z dostępem do OPS	Stopniowa redukcja intensywności emisji do poziomu 80% w 2050
Kolejowy	-	Podwojenie ruchu kolejowego dużych prędkości	-	- Podwojenie ruchu towarowego - Potrojenie przewozów ekspresowych

¹ HDV (heavy-duty vehicles) – pojazdy ciężkie kategorii N2/N3 (>3,5 t) ² 90% dla nowych autobusów miejskich ³ Zeroemisyjność ⁴ Dla autobusów obowiązywać będzie wymóg zeroemisyjności ⁵ SAF – sustainable aviation fuel (zrównoważone paliwa lotnicze), e-paliwa – paliwa syntetyczne ⁶ 50% dla rejsów do krajów spoza UE ⁷ Onshore Power Supply ⁸ Transeuropejska sieć transportowa

W obliczu rosnących wyzwań klimatycznych, dekarbonizacja sektora transportu stała się kluczowym celem unijnych strategii, takich jak Europejski Zielony Ład. Sektor ten ma przejść **transformację, która do 2050 roku obniży jego emisje o 90% w porównaniu z poziomem z 1990 roku**. Wdrożenie tych ambitnych celów wymagałoby jednak intensyfikacji działań, gdyż analizy wskazują, że obecne inicjatywy mogą przynieść zaledwie 8% redukcji emisji do 2030 roku względem dzisiejszych poziomów.² Ta rozbieżność między dążeniami a prognozami rodzi pytanie o to, czy da się przyspieszyć transformację, aby osiągnąć neutralność klimatyczną, jednocześnie zachowując konkurencyjność europejskiej gospodarki.

² T&E, State of European Transport 2024



Osiągnięcie tak ambitnych celów wymaga fundamentalnej zmiany paradygmatu – prawdziwej rewolucji transportowej. Realnie, można wyróżnić trzy rodzaje działań wspierających dekarbonizację sektora:

1 Redukcja intensywności transportu oznacza dążenie do zmniejszenia wolumenu przewozów i eliminacji zbędnego ruchu, a tym samym emisji. Choć brzmi to intuicyjnie („mniej ruchu – mniej emisji”), wdrożenie jest trudne: transport jest silnie skorelowany z PKB, handlem i mobilnością, a decyzje o przemieszczaniu – od prywatnych przejazdów po globalne łańcuchy dostaw – są złożone. Radykalne cięcia mogłyby obniżyć sprawność gospodarki i zatrzymać jej rozwój, więc tę ścieżkę należy stosować rozważnie (jeśli w ogóle). Podsumowując, sama redukcja zapotrzebowania na transport byłaby trudna społecznie i ma ograniczony potencjał wpływu na realizację celów dekarbonizacyjnych UE.

Przykład: Konsolidacja dostaw w mieście Padwa we Włoszech poprzez budowę centralnego centrum logistycznego umożliwiła w latach 2005-2019 redukcję wolumenu przejazdów o 5 mln km, co pozwoliło zmniejszyć emisję o 1891 ton CO₂ i 442kg PM₁₀³.

2 Optymalizacja struktury transportu ma na celu maksymalizację efektywności ekologicznej i operacyjnej poprzez inteligentne wykorzystanie i przekierowanie istniejących przepływów wysoko bardziej emisyjnego transportu drogowego i lotniczego na przyjaźniejsze środowisku kolej i transport wodny. Kluczowym elementem tej transformacji jest promowanie transportu intermodalnego i ogromne, długoterminowe inwestycje w rozwój nowoczesnej infrastruktury kolejowej oraz portowej, umożliwiających efektywną integrację różnych form transportu. Istotne mogą być też decyzje polityczne, w tym ulgi podatkowe i inne formy wsparcia dla rozwiązań niskoemisyjnych. Przekształcenia tego typu mogą nie tylko wspierać dekarbonizację, ale również zwiększyć wydajność logistyczną i realnie obniżyć koszt transportu towarów, a w związku z tym, ceny na rynkach.

Przykład: Po uruchomieniu w 2008 roku kolei dużych prędkości w Hiszpanii na trasie Madryt-Barcelona, ruch lotniczy na tej trasie (będącą jedną z najbardziej ruchliwych na świecie) spadł o ok. 40%⁴.

3 Wdrażanie napędów i paliw alternatywnych stanowi kluczową ścieżkę dekarbonizacji sektora transportowego. Do paliw alternatywnych o mniejszym śladzie węglowym zaliczamy biopaliwa (takie jak m.in. bio-LNG, biodiesel, bio-metanol czy bio-SAF), wytwarzane z odnawialnych surowców organicznych. Ich uzupełnieniem są paliwa syntetyczne, czyli e-paliwa (np. e-diesel, e-metanol, e-LPG, e-SAF), produkowane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii i CO₂, często z zielonym wodorem jako kluczowym składnikiem. W obszarze napędów alternatywnych, szczególną rolę odgrywają systemy elektryczne bateryjne (BEV) i zasilane wodorem (FCEV), a także rozwój hybrydowych układów. W dłuższej perspektywie obejmuje to także badania nad innymi innowacyjnymi źródłami energii, takimi jak napędy jądrowe, energia słoneczna i wiatrowa, oraz technologie sekwestracji CO₂. Te technologie, mimo różnego stopnia zaawansowania i dostępności, oferują możliwość znacznego zmniejszenia śladu węglowego.

Przykład: Zakup 130 elektrycznych autobusów miejskich w Warszawie, które zastąpiły wysokoemisyjny tabor, przyczynia się do zmniejszenia emisji o 3 tys. ton CO₂ rocznie i przynosi dodatkowe korzyści w postaci redukcji hałasu i poprawy jakości powietrza w mieście⁵.

Mimo potencjalnie istotnej roli redukcji intensywności i optymalizacji struktury transportu, **w niniejszym raporcie skupimy się na** rozwiązaniach z trzeciej grupy działań, czyli **alternatywnych napędach**, które będziemy analizować w podziale na **4 rodzaje transportu: drogowy, lotniczy, wodny i kolejowy**.



³ Interporto Padova

⁴ Universidad Politécnica de Madrid, High-Speed Rail Versus Air Transportation Case Study of Madrid-Barcelona

⁵ Miejskie Zakłady Autobusowe, Zakup taboru elektrycznego

Transport drogowy

Cele UE:

55%

redukcji średnich emisji CO₂ z nowych pojazdów osobowych do 2030 roku i 100% do 2035

50%

redukcji średnich emisji CO₂ z nowych pojazdów dostawczych do 2030 roku i 100% do 2035

45%

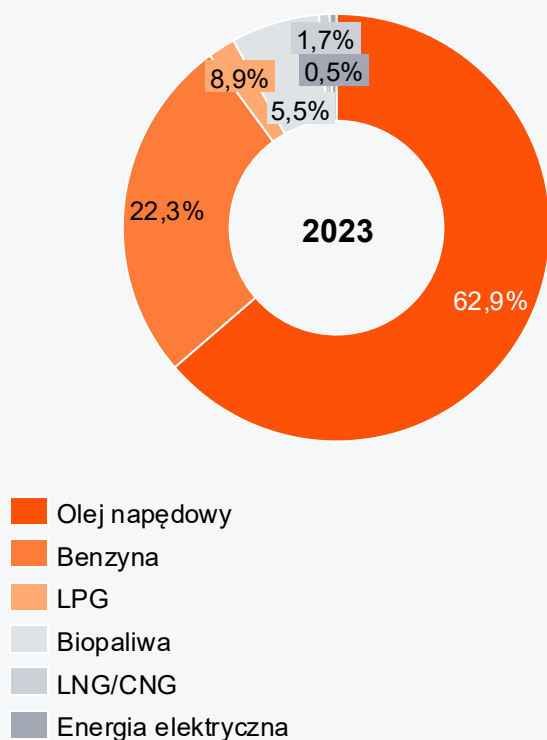
redukcji średnich emisji CO₂ z nowych pojazdów ciężkich (HDV) do 2030 roku i 90% do 2040

90%

redukcji średnich emisji CO₂ z nowych autobusów miejskich do 2030 roku i 100% do 2035

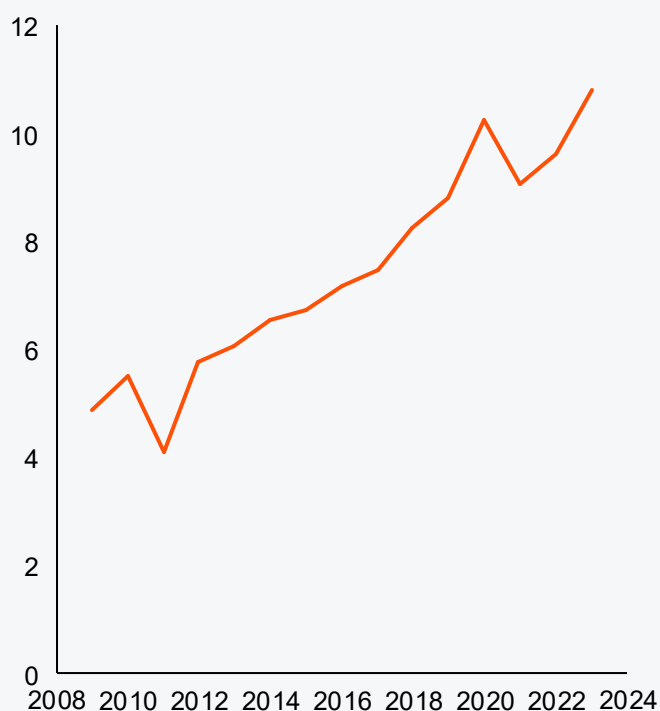
Transport drogowy jest niekwestionowanym filarem gospodarki i mobilności Unii Europejskiej, odpowiadającym za ponad połowę transportu towarowego oraz blisko 80% transportu pasażerskiego. Jednocześnie jego dominująca pozycja wiąże się z poważnymi wyzwaniami środowiskowymi – jest on głównym źródłem emisji gazów cieplarnianych w całym sektorze transportu. Sytuacja ta wynika z ogromnej zależności od paliw kopalnych. W 2023 roku olej napędowy i benzyna stanowiły łącznie ponad 85% końcowego zużycia energii w transporcie drogowym UE, podczas gdy udział OZE (biopaliw i energii elektrycznej) wciąż nie przekraczał 10%. **Ten niski wynik stanowi ogromne wyzwanie w kontekście celów wyznaczonych przez Dyrektywę w Sprawie Odnawialnych Źródeł Energii RED III (Renewable Energy Directive), która zobowiązuje państwa członkowskie do osiągnięcia 29% udziału OZE w transporcie do 2030 roku.**

Udział w końcowym zużyciu energii w transporcie drogowym w UE, 2023 [%]



Źródło: Eurostat, Analiza PwC

Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w transporcie w UE, 2009-2023 [%]



Źródło: Eurostat, Analiza PwC

Ta głęboka zależność od paliw kopalnych jest szczególnie problematyczna, ponieważ zderza się z nieustannie rosnącym popytem na usługi transportowe. Wzrost ten nie jest zjawiskiem przejściowym, lecz strukturalnym, napędzanym przez fundamentalne mechanizmy rozwoju gospodarki. Dekarbonizacja tego sektora jest więc podwójnie trudna – wymaga nie tylko zmiany technologicznej, ale również znalezienia sposobu na "rozłączenie" wzrostu gospodarczego od wzrostu emisji. Główne siły napędowe tego trendu to:

- **Stabilny wzrost gospodarczy**, który naturalnie zwiększa popyt na usługi transportowe i mobilność obywateli
- **Głęboko zintegrowany jednolity rynek**, intensyfikujący przepływ towarów między państwami członkowskimi
- **Rozwój handlu międzynarodowego i e-commerce**, generujący rosnące zapotrzebowanie na transport ostatniej mili
- **Wysoka konkurencyjność europejskiego sektora TSL**, który operuje na skalę całego kontynentu.⁶

Analiza struktury emisji pokazuje, że mimo dynamicznego rozwoju transportu towarowego, to wciąż pojazdy osobowe odpowiadają za największą ich część – ok. 60% – stanowiąc o pilności działań dekarbonizacyjnych osobówek. Transport towarowy, zarówno ciężki, jak i tzw. „ostatniej mili”, nie pozostaje daleko w tyle odpowiadając łącznie za ok. 37% emisji. Na tym tle transport miejski, z niespełna 2% udziałem, nie jawi się jako kluczowy obszar do dekarbonizacji, może natomiast stanowić rozwiązanie problemu emisji i zanieczyszczeń w obszarach najgęściej zaludnionych. **W niniejszym rozdziale szczegółowo analizujemy ścieżki dekarbonizacji dla tych trzech kluczowych segmentów transportu drogowego: transport osobowy, towarowy oraz transport zbiorowy**, biorąc pod uwagę ich unikalną specyfikę i potencjał technologiczny.

Porównanie różnych form transportu drogowego, 2023



	Transport osobowy		Transport towarowy	
	Transport osobowy	Transport publiczny	Transport lekki	Transport ciężki (HDV)
Liczba pojazdów w UE	249 mln	680 tys.	30 mln	6 mln
Udział w Emisjach CO ₂ z Transportu Drogowego UE	60%	~2%	12%	25%

Źródło: [European Environment Agency \(EEA\)](#), Analiza PwC

⁶ EEA, [Trends and projections in Europe 2024](#)

Transport osobowy w UE i jak go zdekarbonizować

Dekarbonizacja transportu osobowego wymaga fundamentalnej zmiany - obecnie ponad 70% podróży w UE odbywa się samochodem osobowym, z czego blisko 93% samochodami spalinowymi.⁷ **Ta preferencja przekłada się na znaczące emisje CO₂ - około 500 mln ton rocznie, co stanowi 12% całkowitych emisji gazów cieplarnianych w UE.** Skuteczna redukcja tego wolumenu emisji wymaga zatem wdrożenia portfolio różnorodnych rozwiązań – napędów alternatywnych, które będą w stanie sprostać tak wielowymiarowemu wyzwaniu. Możliwości jest wiele i obejmują wykorzystanie biopaliw, paliw syntetycznych, elektryfikację i wodoryzację transportu.

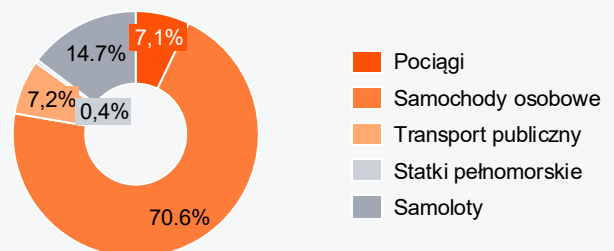
Biopaliwa obecnie dominują wśród OZE w transporcie drogowym, jednak ich szersze zastosowanie napotyka wyzwania. Dyrektywa RED III wyznacza maksymalne udziały biopaliw w miksie paliwowym. Wyzwaniami pozostają również ograniczona podaż zrównoważonej biomasy, rozwój infrastruktury produkcyjnej oraz zgodność biopaliw z wymaganiami technicznymi silników.

Tego problemu nie mają e-paliwa, które pod względem składu są zbliżone do paliw kopalnych. Ich produkcja wiąże się jednak z wysokim zużyciem energii, a co za tym idzie – wysokimi kosztami. **Koszt produkcji e-paliw może wynosić nawet 4-10 razy więcej niż tradycyjnego paliwa kopalnego.**⁸ Dodatkowo **efektywność wykorzystania energii elektrycznej w e-paliwach jest 4-5 razy niższa niż w samochodzie elektrycznym**, co pogłębia problem z dostępnością kluczowego dla e-paliw zasobu – energii elektrycznej.

Biopaliwa i e-paliwa, mimo ich zielonego pochodzenia, nie eliminują również problemu emisji CO₂ podczas spalania, co w świetle **przepisów UE zakazujących od 2035 roku sprzedaży samochodów emitujących CO₂**, czyni je rozwiązaniem przejściowym.

Samochody wodorowe są bezemisyjne, ale nie rozwiązują problemu dostępności energii. Według badań T&E już 10% udziału FCEV do 2030 r. zwiększyłoby łączny popyt na odnawialną energię elektryczną o 12%⁹. Dziś stanowią tylko 0,002% floty aut osobowych w UE, więc przy obecnej technologii i infrastrukturze nie są realną alternatywą dla masowego transportu.

Najczęściej wybierane środki transportu w UE, 2023 [% udział w całkowitym wykonaniu transportu]



Źródło: [eurostat.eu](https://ec.europa.eu/eurostat)

Efektywność napędów samochodowych [% początkowej energii elektrycznej]

	Produkcja paliwa	Całkowita efektywność
BEV	94%	77%
wodór	68%	33%
e-diesel	55%	20%
e-benzyna	55%	16%

Źródło: [European Federation for Transport and Environment](https://www.eurofederation.eu)

⁷ alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu

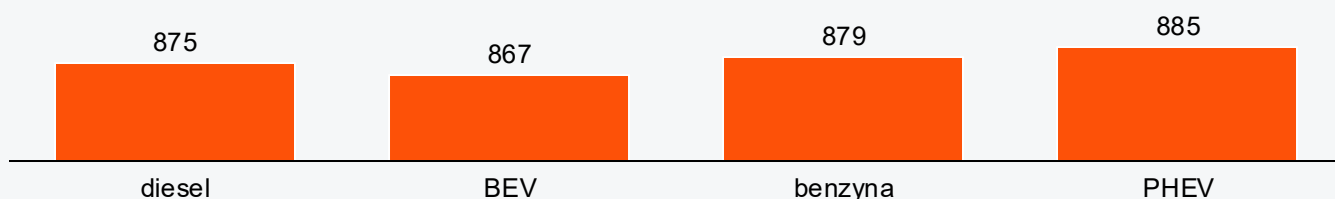
⁸ [Current and future cost of e-kerosene in the US and Europe](#)

⁹ [T&E, Electrofuels? Yes, we can... if we're efficient](#)

Samochody elektryczne jawią się jako kluczowe rozwiązanie w dekarbonizacji transportu osobowego, oferując coraz lepsze osiągi, zerową emisyjność podczas użytkowania i minimalizację zużycia zasobów. Ich rosnąca popularność w Unii Europejskiej potwierdza tę tendencję - w 2023 roku aż 23% nowo rejestrowanych samochodów stanowiły pojazdy elektryczne. Mimo początkowych wyższych kosztów zakupu, EV oferują niższe koszty eksploatacji niż pojazdy spalinowe i w wielu krajach UE ich całkowity koszt posiadania jest niższy lub zbliżony do samochodów spalinowych.¹⁰ Postęp w technologii baterii sugeruje, że różnica cenowa będzie się dalej zmniejszać – od 2013 roku średnia cena akumulatorów spadła o blisko 90%, a ceny baterii w niektórych regionach przekroczyły już próg 100 USD/kWh.

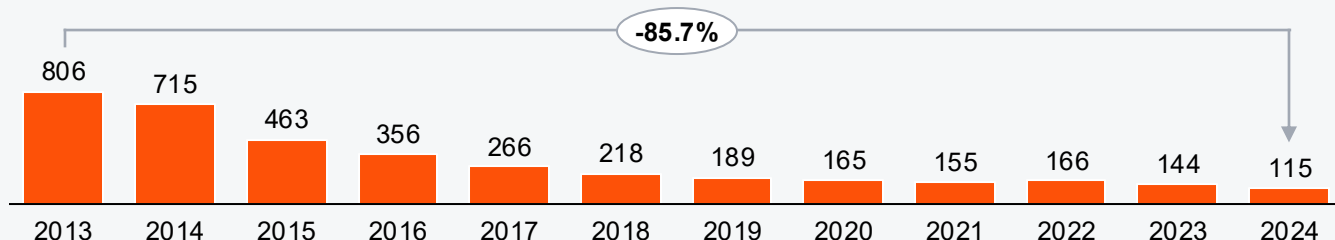
Jednakże, **do prawdziwej dekarbonizacji transportu drogowego na drodze elektryfikacji potrzebna jest dostępność coraz większej ilości energii ze źródeł odnawialnych, a także infrastruktury, która umożliwi ładowanie pojazdów.**

Średni miesięczny koszt posiadania samochodu segmentu C w UE, 2025 [EUR]



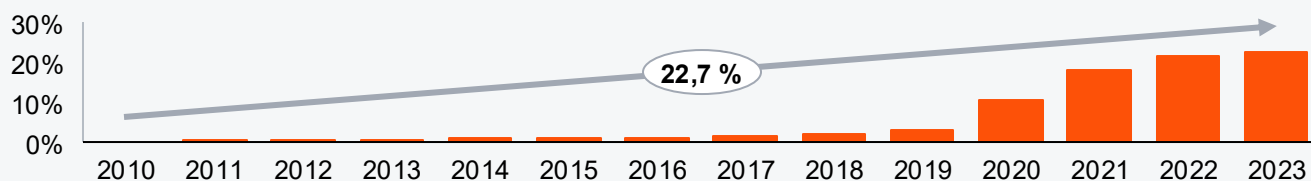
Źródło: [Car Cost Index 2025, Ayvens](#), Analiza PwC, średnia dla EU-27

Średnia cena akumulatorów do EV, 2013-2024 [2024 USD/kWh]



Źródło: [Bloomberg](#)

Udział rejestracji EV/PHEV w całkowitej rejestracji nowych samochodów osobowych EU-27, 2010-2023 [%]

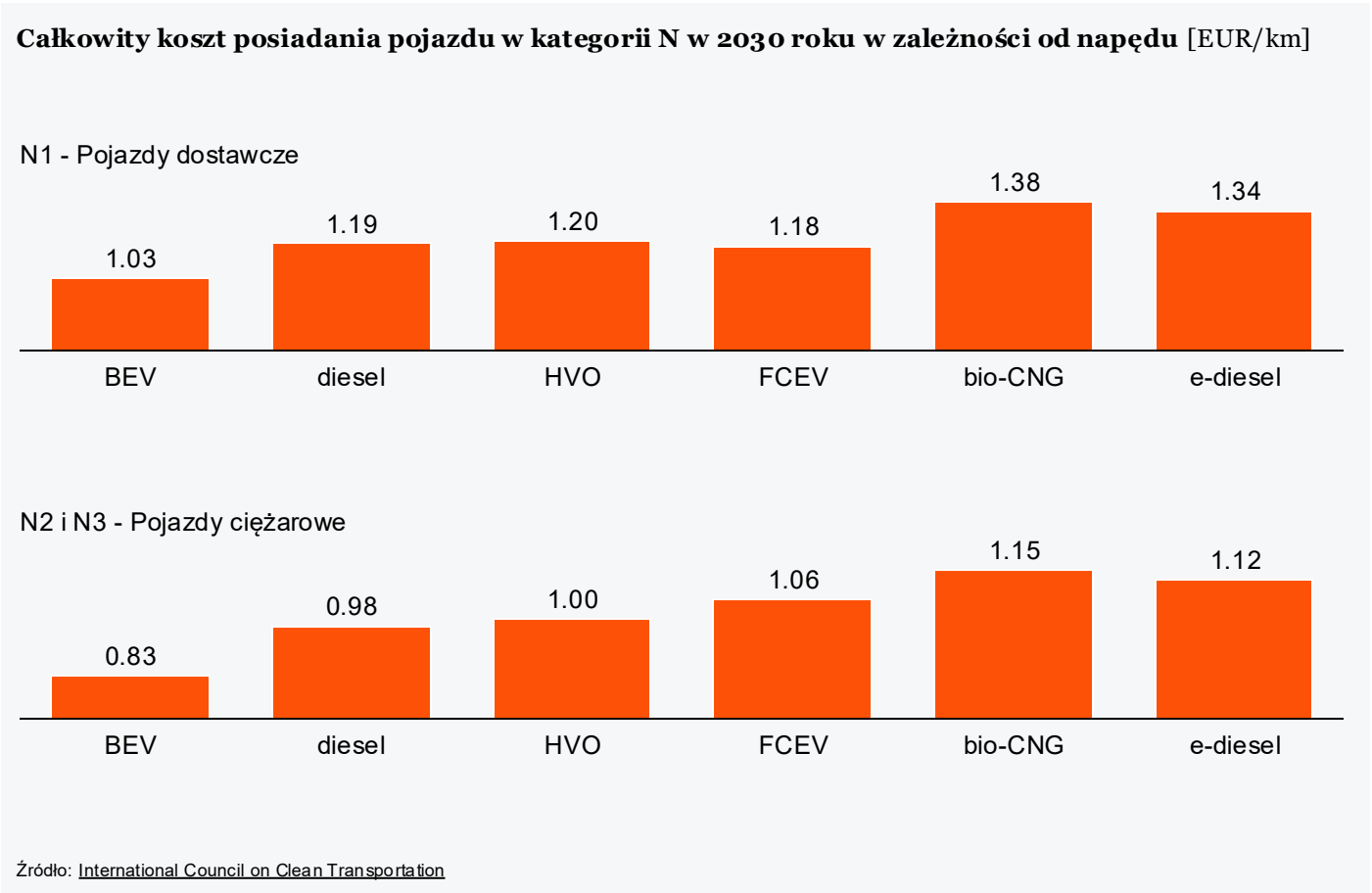


Źródło: [European Environment Agency \(EEA\)](#), Analiza PwC

¹⁰ [Ayvens, Car Cost Index 2025](#)

Ciężki transport na drodze do neutralności klimatycznej

Transport towarowy opiera się na dwóch filarach: flocie ponad 6 milionów pojazdów ciężarowych (>3,5 tony) (HDV, N2/N3) obsługujących długie dystanse oraz na kluczowej dla logistyki miejskiej i tzw. „ostatniej mili” armadzie blisko 30 milionów lekkich pojazdów dostawczych. Chociaż obie floty są zdominowane przez silniki diesla, wysoka intensywność pracy ciężarówek sprawia, że to transport ciężarowy (HDV) z ok. 27% wszystkich emisji CO₂ z transportu drogowego w UE jest jednym z najważniejszych i jednocześnie najtrudniejszych sektorów do zdekarbonizowania ze względu na niewystarczające zasięgi pojazdów elektrycznych i wysokie koszty zakupu identyfikowane przez operatorów logistycznych.

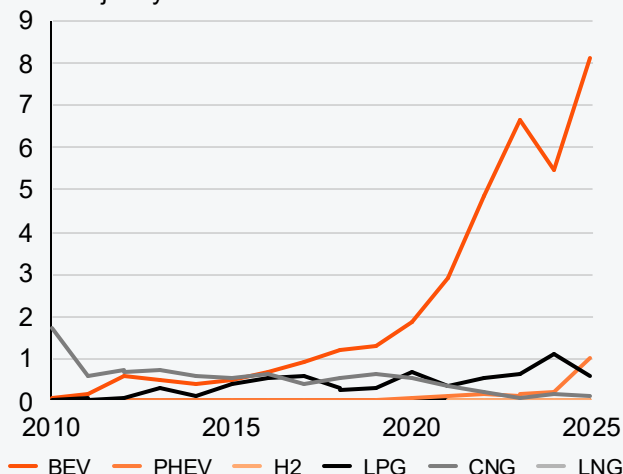


Unia Europejska, świadoma skali wyzwania, wprowadza coraz bardziej rygorystyczne ramy regulacyjne, aby przyspieszyć transformację tego sektora. Nowe normy emisji CO₂ dla ciężarówek wymagają redukcji od 45% do 2030 do 90% do 2040 r. W segmencie lekkich dostawczaków cele to odpowiednio 50% do 2030 r. oraz zakaz sprzedaży nowych aut spalinowych po 2035 r.¹¹ Regulacje te są uzupełniane przez zachęty ekonomiczne, takie jak znowlizowana dyrektywa o eurowiniętach (Eurovignette Directive), która uzależnia wysokość opłat drogowych od poziomu emisji CO₂. W ten sposób UE tworzy podwójną presję na operatorów: z jednej strony wymusza wprowadzanie na rynek pojazdów zeroemisyjnych, a z drugiej czyni eksploatację starych, emisyjnych pojazdów coraz mniej opłacalną. **Już dziś posiadanie elektrycznych ciężarówek (eHDV) opłaca się w Niemczech** (w których niskie ceny energii i niższe opłaty dla BEV działają na korzyść elektryków) **i Francji**¹², i szacuje się, że w 2030 w całej Europie będzie to najbardziej opłacalny środek drogowego transportu towarów¹³.

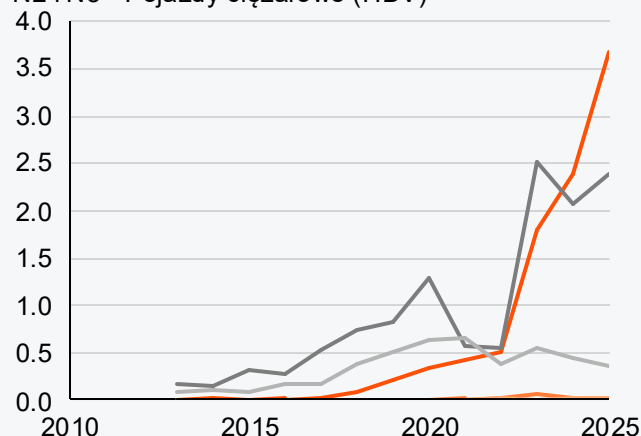
11 Rozporządzenia UE w sprawie norm emisji CO₂ (w ramach pakietu "Fit for 55")
12 IRU Intelligence Briefing
13 International Council on Clean Transportation

Udział pojazdów z alternatywnymi napędami w całkowitej liczbie rejestracji w EU w kategorii N, 2010-2025 [%]

N1 - Pojazdy dostawcze



N2 i N3 - Pojazdy ciężarowe (HDV)



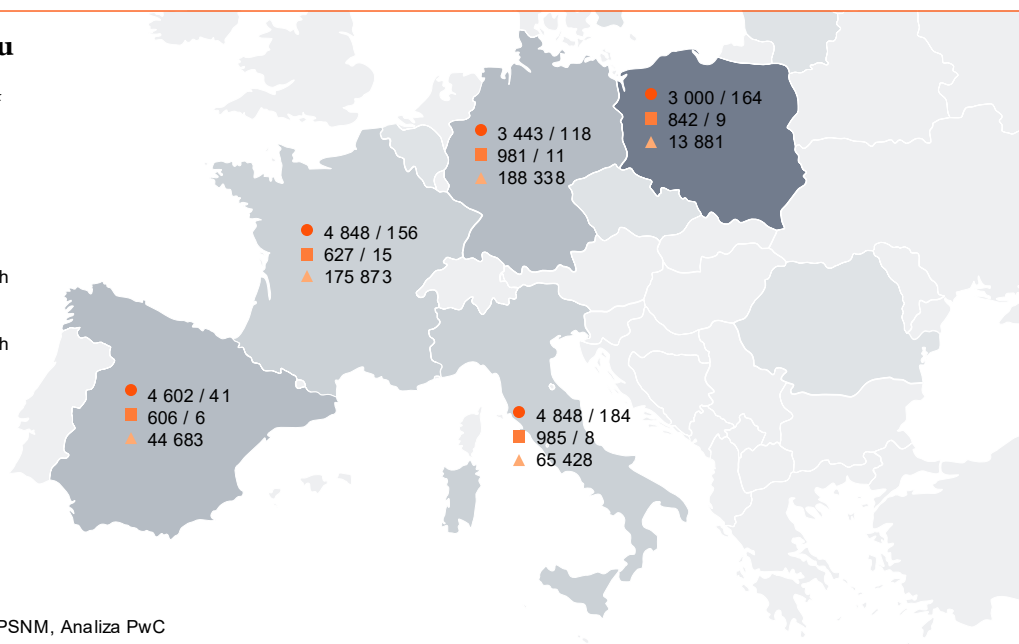
Źródło: Komisja Europejska, EAF0

Efekty presji regulacyjnej widać już dziś: **w 2024 r. elektryczne ciężarówki (eHDV) po raz pierwszy wyprzedziły wszystkie inne alternatywne napędy w kategoriach N2 i N3, detronizując CNG**. Ani CNG, ani jego bio-odpowiednik nie realizują celu odchodzenia od silników spalinowych, a zmienność na rynku gazu utrudnia przewidywanie kosztów operacyjnych. Dodatkowo, czołowi producenci ciężarówek już zapowiedzieli, że od 2040 roku zamierzają sprzedawać wyłącznie pojazdy zeroemisyjne. W kategorii N1 przewaga BEV jest jeszcze większa – **już co dwunasty nowo rejestrowany dostawczak jest w pełni elektryczny**.

Największym wąskim gardłem dla elektryfikacji transportu towarowego pozostaje jednak brak i nierównomierne rozłożenie infrastruktury ładowania, kluczowej dla organizacji logistyki. Problem ten ma jednak rozwiązać unijne rozporządzenie AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation), które zobowiązuje członków do budowy gęstej sieci publicznych stacji ładowania dużej mocy wzdłuż głównych korytarzy transportowych (TEN-T: Trans-European Transport Network), aby zapewnić operacyjność pojazdów na długich dystansach.

Dekarbonizacja transportu w krajach EU z największą pracą przewozową

- Całkowita liczba pojazdów ciężarowych (N1) / z napędem alternatywnym [tys.]
- Całkowita liczba pojazdów ciężarowych (N2 i N3) / z napędem alternatywnym [tys.]
- ▲ Liczba stacji ładowania EV
- Niska łączna praca przewozowa
- Największa łączna praca przewozowa



Źródło: Komisja Europejska, Eurostat, PEI, PSNM, Analiza PwC

Jak transport publiczny napędza czyste miasta

Mimo swojego niewielkiego udziału w emisjach, miejski transport publiczny odgrywa strategiczną rolę w europejskiej agendzie dekarbonizacji. Jest jednocześnie narzędziem do zmiany nawyków transportowych (jeden, w pełni załadowany autobus może zastąpić na drodze nawet do 50 samochodów osobowych), a także sposobem na poprawę jakości powietrza (mniej tlenków azotu i pyłów zawieszonych) oraz zmniejszenia hałasu w miastach – obszarach o największym zagęszczeniu ludności i najwyższym poziomie zanieczyszczeń.

Głównym narzędziem w walce z emisjami transportu publicznego jest **Dyrektywa o Czystych Pojazdach (Clean Vehicles Directive, CVD)**, która zobowiązuje podmioty publiczne do zakupu określonego udziału pojazdów nisko- i zeroemisyjnych przy wymianie floty. Działania te są wzmacniane przez coraz powszechniejsze wdrażanie **Stref Czystego Transportu w centrach miast, które w praktyce wymuszają na operatorach przechodzenie na „eko-tabor”**. Transformacja ta jest również silnie wspierana finansowo przez fundusze unijne, takie jak Instrument na rzecz Odbudowy i Zwiększania Odporności czy Fundusz Spójności, które oferują miliardy euro na zakup zeroemisyjnych autobusów i budowę niezbędnej infrastruktury.

Udział mieszkańców deklarujących użycie danego środka transportu w wybranych miastach Europejskich, 2023 [%]



	Transport publiczny	Samochód	Rower	Pieszo
Berlin	51%	40%	17%	22%
Wiedeń	53%	37%	16%	32%
Paryż	62%	32%	13%	41%
Kopenhaga	36%	34%	35%	23%
Amsterdam	37%	35%	38%	28%
Warszawa	56%	46%	12%	24%

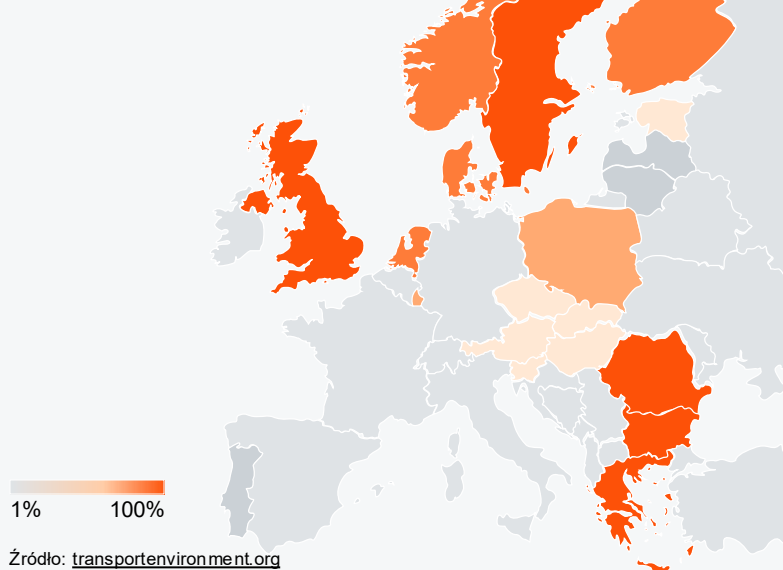
Źródło: [Report on the quality of life in European cities](#)

W dekarbonizacji autobusów miejskich dominują obecnie dwie główne ścieżki technologiczne: elektryfikacja (BEV) oraz, w mniejszym stopniu, wodoryzacja (FCEV).

Autobusy elektryczne stały się rozwiązaniem wiodącym ze względu na dojrzałość technologiczną, niższe koszty eksploatacji (0,15 EUR/km vs. 0,95 EUR/km dla FCEV¹⁴) oraz relatywnie prostszą infrastrukturę ładowania.

Elektryfikację wspiera również postęp w dziedzinie baterii - pierwsze autobusy elektryczne w Luksemburgu, wprowadzone w 2017 r., miały nominalną pojemność baterii 76 kWh, dziś nominalna pojemność dostępna na rynku wzrosła do około 500 kWh¹⁴.

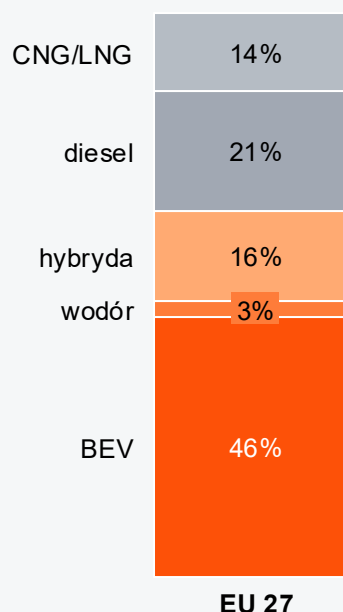
Udział sprzedaży zeroemisyjnych autobusów miejskich w danym kraju, 2021–23 [%]



Z kolei autobusy wodorowe, oferujące większy zasięg i krótszy czas tankowania, są postrzegane jako rozwiązanie komplementarne, dostosowane do dłuższych tras podmiejskich lub w miejscach z ograniczonym dostępem do sieci energetycznej. Bariery ich wdrożenia jest wysoki koszt zakupu (o 150-200 tys. EUR więcej niż BEV¹⁴) oraz ograniczona i droga w budowie infrastruktura tankowania - obecnie w UE działa 318 punktów tankowania wodorem, w porównaniu z ponad milionem punktów ładowania EV¹⁵.

Przyspieszenie transformacji technologicznej jest najlepiej widoczne w najnowszych statystykach rynkowych dla autobusów miejskich - już połowa nowo sprzedawanych autobusów miejskich w UE w 2024 roku miała napęd zeroemisyjny, z czego aż 46% stanowiły pojazdy w pełni elektryczne, plasując BEV jako wyraźnie wiodącą technologię napędową.

Udział poszczególnych napędów w nowo rejestrowanych autobusach miejskich, 2024 [%]



Źródło: transportenvironment.org

¹⁴ Automotive-iq, [Comparing Zero-Emission Bus Technologies: Battery Electric vs. Hydrogen Fuel Cell Electric](#)

¹⁵ Komisja Europejska, [EAFQ](#)

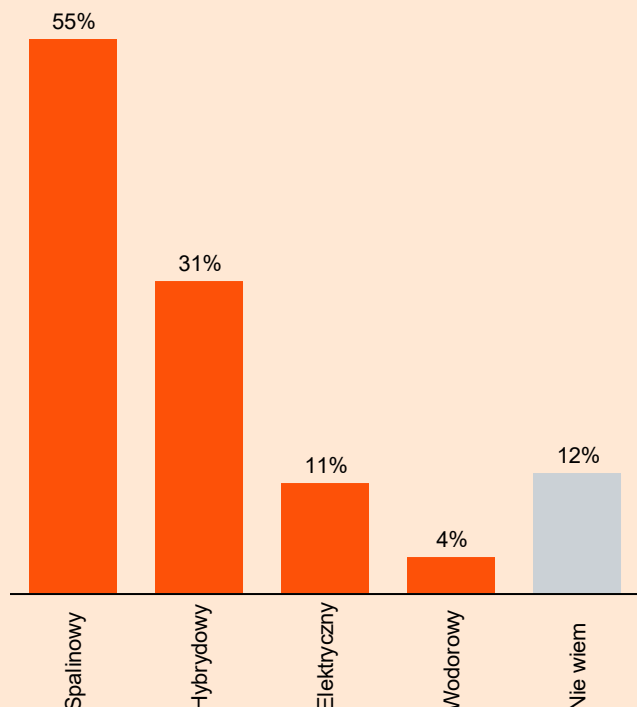
Perspektywa Polski



Dekarbonizacja transportu drogowego w Polsce jest nierozzerwalnie związana z koniecznością zmiany głęboko zakorzenionych nawyków konsumenckich. Jak pokazują przeprowadzone badania, **samochód prywatny jest zdecydowanie najczęściej wybieranym środkiem transportu – aż 7 na 10 Polaków korzysta z niego co najmniej 3 razy w tygodniu**. Skala wyzwania potęgowana jest przez strukturę polskiej floty pojazdów, która jest jedną z najstarszych w Europie. Rynek jest wciąż zdominowany przez import pojazdów używanych, które w ogromnej większości są starsze i bardziej emisyjne. Choć sprzedaż samochodów elektrycznych dynamicznie rośnie (wzrost o ponad 51% w 2023 r.)¹⁶, ich udział w rynku wciąż pozostaje marginalny, a **tempo elektryfikacji jest hamowane przez wysokie koszty zakupu, ograniczony zasięg tańszych i bardziej dostępnych modeli i wciąż niewystarczającą infrastrukturę ładowania**. Jak wskazują nasze badania, to właśnie te bariery, a nie brak świadomości ekologicznej, są głównymi przeszkodami w podejmowaniu decyzji o zakupie pojazdów zeroemisyjnych¹⁷.

Dynamiczny wzrost rejestracji oraz postęp w technologii i infrastrukturze sugerują, że EV mają potencjał, aby zdominować rynek w najbliższej przyszłości. Spośród ankietowanych, którzy rozważają zakup samochodu z napędem alternatywnym ponad 30% osób wskazuje chęć zakupu hybrydy, a co jedenasta osoba elektryka. Samochód wodorowy rozważa jedynie 4% osób¹⁷.

Gdybyś miał kupić nowy samochód w najbliższym czasie, jaki rodzaj napędu byś wybrał?



Źródło: Badanie ilościowe na próbie 1101 osób przeprowadzone w dniach od 03-09.10.2024 roku metodą CAWI na zlecenie PwC

Jakie są główne powody, które zniechęcają Cię do zakupu samochodu elektrycznego?



Źródło: Badanie ilościowe na próbie 1101 osób przeprowadzone w dniach od 03-09.10.2024 roku metodą CAWI na zlecenie PwC

¹⁶ Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego. Raport branży motoryzacyjnej 2024/2025

¹⁷ Badanie ilościowe na próbie 1101 osób przeprowadzone w dniach od 03-09.10.2024 roku metodą CAWI na zlecenie PwC

Perspektywa Polski

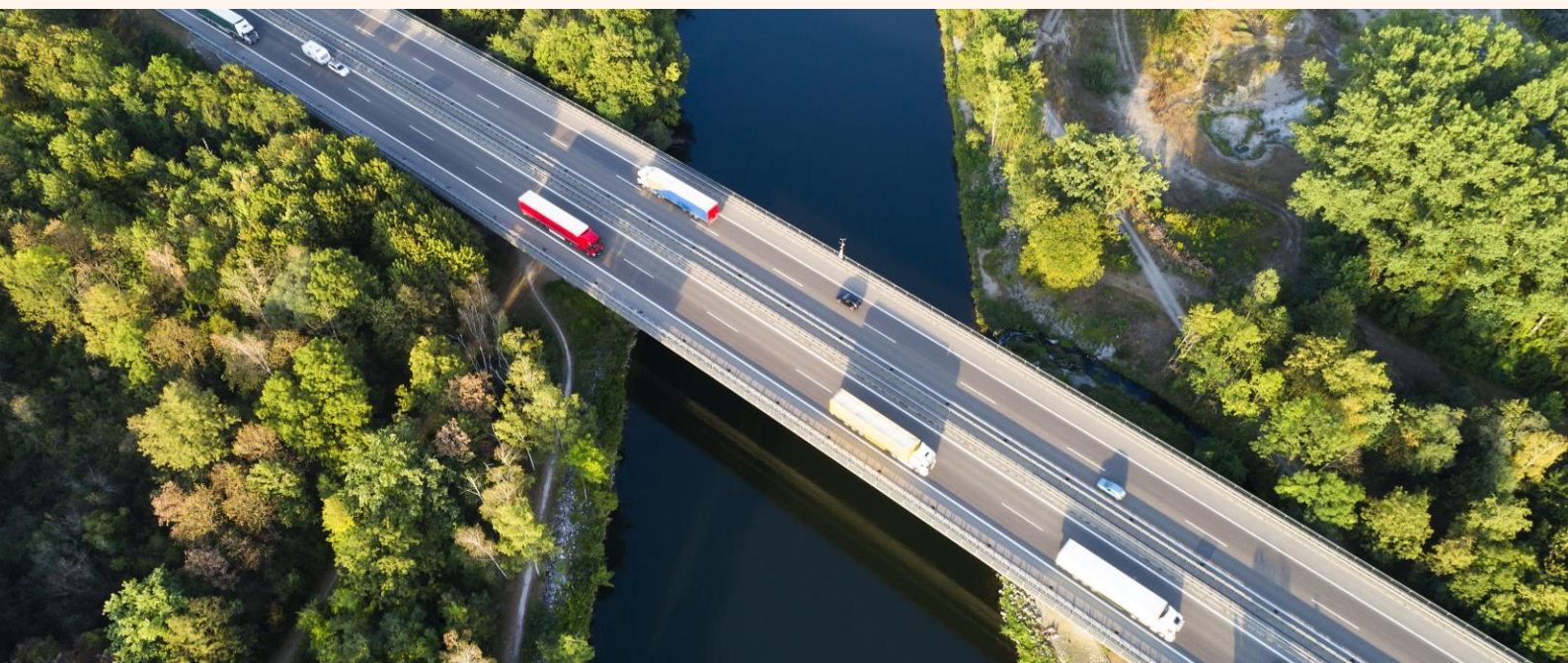


Polska jest również liderem europejskiego transportu ciężarowego (HDV), posiadając największą flotę pojazdów w UE (18% udziału w 2023 roku)¹⁸. Sektor transportu, spedycji i logistyki przez lata był motorem napędowym gospodarki, jednak dziś stoi przed fundamentalnym wyzwaniem: koniecznością dekarbonizacji, wymuszana przez unijne regulacje. Nakłada się to na już istniejące trudności w branży, która zmaga się z rosnącymi kosztami operacyjnymi, niepewnością gospodarczą i niedoborem kierowców. W tej sytuacji, nowe, rygorystyczne normy emisji CO₂ oraz mechanizmy finansowe, jak dyrektywa o eurowinietach, sprawiają, że transformacja w kierunku pojazdów zeroemisyjnych staje się nie tylko ekologiczną koniecznością, ale przede wszystkim warunkiem utrzymania konkurencyjności. Mimo, że na polskich drogach pojawiają się pierwsze elektryczne ciężarówki, ich liczba jest wciąż symboliczna. **Głównymi barierami są koszty zakupu eHDV, brak subwencji oraz brak publicznej infrastruktury ładowania dużej mocy wzdłuż korytarzy TEN-T.** Programy wsparcia, takie jak te oferowane przez NFOŚiGW, są krokiem w dobrą stronę, ale bez systemowych inwestycji w infrastrukturę, polscy przewoźnicy ryzykują utratę dominującej pozycji na europejskim rynku.

Na tle wyzwań w transporcie osobowym i ciężarowym, to właśnie publiczny transport miejski jawi się jako lider dekarbonizacji drogowej w Polsce. Według badań PwC, **Polacy bardzo pozytywnie postrzegają rolę transportu publicznego i aż 48% ankietowanych uważa go za środek mający najbardziej pozytywny wpływ na dekarbonizację mobilności**¹⁹. Transformacja w tym segmencie jest napędzana przez jasne cele polityczne (np. Ustawa o elektromobilności) oraz dedykowane programy wsparcia, takie jak „Zielony Transport Publiczny”. Dzięki funduszom krajowym i unijnym, polskie miasta dynamicznie inwestują w zeroemisyjne autobusy – głównie elektryczne, ale pojawiają się też pierwsze floty wodorowe, a w 2024 roku ponad połowa nowo rejestrowanych autobusów miejskich miała napęd alternatywny.

¹⁸ Eurostat

¹⁹ Badanie ilościowe na próbie 1 101 osób przeprowadzone w dniach od 03-09.10.2024 roku metodą CAWI na zlecenie PwC



Realne rozwiązanie na dekarbonizację na drogach

Porównanie napędów alternatywnych i rozwiązań dekarbonizacyjnych w transporcie drogowym

Transport drogowy	Paliwa konwencjonalne	Biopaliwa	E-paliwa	Wodór	Napęd elektryczny	Napęd jądrowy	Napęd wiatrowy/słoneczny	Wychwyt CO ₂ ze spalin
Dostępność surowców	●●●●	●○○○	●●●○	●●●○	●●●○			
Efektywność ekonomiczna	●●●●	●●●○	○○○○	●○○○	●●●●			
Możliwość wykorzystania obecnej infrastruktury	●●●●	●●●○	●●●○	●○○○	●●●○			
Zasięg	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●○			
Możliwość wykorzystania istniejących napędów	●●●●	●●●○	●●●●	○○○○	○○○○			
Redukcja emisji w produkcji paliwa	●○○○	●●●●	●●●○	●●●○	●●●○			
Redukcja spalin w transporcie	●○○○	●○○○	●○○○	●●●●	●●●●			

Poziom spełnienia kryterium oceny przez dane rozwiązanie:

○○○○ Brak ●○○○ Niskie ●●●○ Średnie ●●●● Wysokie ○ Potencjał zmian w dłuższym horyzoncie czasu ■ Optymalne rozwiązanie dekarbonizacyjne □ Rozwiązanie niedostępne dla tego rodzaju transportu

Źródło: Analiza PwC

Dekarbonizacja transportu drogowego to proces, którego ostateczny kształt zależy od milionów indywidualnych decyzji. Aktualnie, dane rynkowe i preferencje konsumentów w Unii Europejskiej wyraźnie wskazują, że to **elektryfikacja oparta na pojazdach bateryjnych (BEV) jest ścieżką, która zyskuje największe poparcie**. Ten trend jest widoczny w całej Wspólnocie – od rynków pionierskich po te rozwijające się, jak Polska, gdzie sprzedaż EV rośnie w imponującym tempie. Atrakcyjność pojazdów elektrycznych nie wynika już tylko z zerowej emisji w miejscu użytkowania, ale coraz częściej z twardej ekonomii – mimo wyższego kosztu zakupu, niższe koszty eksploatacji tworzą solidne podstawy do osiągnięcia przewagi w całkowitym rachunku posiadania. W tym kontekście, **rozwiązania takie jak hybrydy czy biopaliwa postrzegamy jako technologie pomostowe**. Ich rola będzie maleć, zwłaszcza w świetle unijnego celu wycofania sprzedaży nowych aut emitujących CO₂ od 2035 roku. Niemniej jednak, po 2035 wciąż po europejskich drogach poruszać się będą pojazdy spalinowe, a bio- i e-paliwa jawią się jako jedyne możliwe rozwiązanie na ich zazielenienie.

Jednakże, aby ta preferowana przez konsumentów ścieżka mogła w pełni zmaterializować swój potencjał, cała Unia Europejska musi sprostać dwóm fundamentalnym, systemowym wyzwaniom. Po pierwsze, dekarbonizacja transportu jest nierozdzielnie spleciona z transformacją energetyki. **Pełne korzyści klimatyczne z pojazdów elektrycznych zostaną osiągnięte tylko wtedy, gdy będą one zasilane zeroemisyjną energią, której dostępność jest wciąż ograniczona**. Po drugie, **kluczowym wąskim gardłem pozostaje publicznie dostępna infrastruktura ładowania**. Jej nierównomierny rozwój w poszczególnych krajach członkowskich stanowi realną barierę dla swobodnego, transgranicznego ruchu i hamuje tempo adopcji EV.

Czy mimo tych przeszkód, dekarbonizacja transportu drogowego jest realna? Uważamy, że tak, a kluczowym czynnikiem napędzającym ten optymizm, obok unijnych regulacji, jest sam postęp technologiczny. Baterie do pojazdów elektrycznych z każdym rokiem tanieją i oferują większe pojemności, co naturalnie będzie czynić EV coraz bardziej atrakcyjnymi dla konsumentów. Dlatego to właśnie **połączenie presji regulacyjnej (jak AFIR), postępu technologicznego oraz determinacji w mobilizacji kapitału na inwestycje infrastrukturalne tworzy realne fundamenty pod transformację na skalę całego kontynentu**.

Transport lotniczy

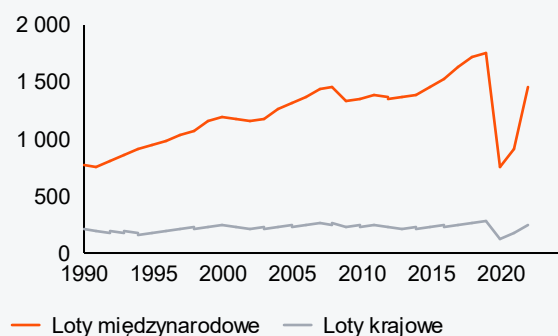
Cele UE:

6% Udziału SAF w paliwach lotniczych do 2030 roku, w tym **1,2% e-SAF**

70% Udziału SAF w paliwach lotniczych do 2050 roku, w tym **35% e-SAF**

Lotnictwo należy do najtrudniejszych sektorów do dekarbonizacji: dziś niemal w całości (ok. 99%) opiera się na paliwach kopalnych, przede wszystkim kerozynie lotniczej (JET)²⁰. W UE sektor ten odpowiada za ok. 13% emisji gazów cieplarnianych z transportu, czyli ponad 100 mln ton CO₂ rocznie. Jednocześnie to najszybciej rosnące źródło emisji w transporcie: **od 1990 r. emisje z lotów międzynarodowych wzrosły o ok. 150%, a do 2050 r. ruch pasażerski z europejskich lotnisk wzrosnąć o 40%** względem 2019 r.²¹ Transport lotniczy stoi więc przed ogromnym wyzwaniem dekarbonizacyjnym, które wymaga fundamentalnej transformacji technologicznej i **zdywersyfikowanego portfela rozwiązań**, dostosowanego do różnych horyzontów czasowych.

Ewolucja końcowego zużycia energii w transporcie lotniczym w UE, 1990-2023 [PJ]

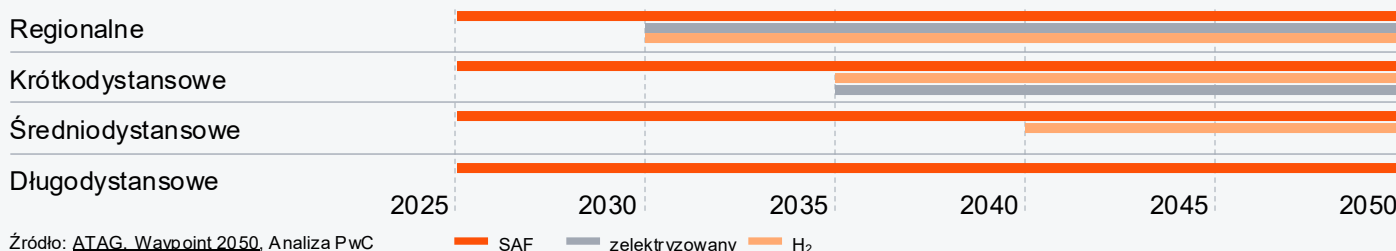


Źródło: Eurostat, Analiza PwC

W najbliższej perspektywie największy potencjał ograniczenia emisji tkwi w optymalizacji istniejących rozwiązań. Zwiększanie sprawności energetycznej silników turbinowych, poprawa aerodynamiki płatowca oraz szersze wykorzystanie lżejszych materiałów kompozytowych mogą przynieść zauważalne, sięgające kilkunastu procent redukcje zużycia paliwa i emisji. Są to zmiany ewolucyjne, o wysokiej wykonalności operacyjnej: dają się wdrażać w naturalnych cyklach odnowy i modernizacji floty, co ogranicza ryzyko inwestycyjne i pozwala na stopniową, lecz trwałą redukcję śladu węglowego. Co więcej, wyższa efektywność często ma niski, a nawet ujemny koszt wdrożenia dzięki oszczędnościom paliwowym i operacyjnym. **Same działania efektywnościowe nie wystarczą jednak do realizacji celu UE – redukcji emisji o 90% do 2050 względem poziomów z 2019 roku.**

W dłuższej perspektywie, kluczowe dla osiągnięcia neutralności klimatycznej będą więc przełomowe, alternatywne systemy paliwowe i napędowe. Możliwe są trzy ścieżki: napędy elektryczne, wodorowe oraz zrównoważone paliwa lotnicze (SAF). Choć napędy elektryczne i wodorowe teoretycznie umożliwiają loty bezemisyjne, dziś ograniczają je istotne bariery technologiczne i infrastrukturalne. W przypadku elektryfikacji kluczowym wyzwaniem jest niska gęstość energetyczna baterii, co obecnie ogranicza ich zastosowanie do małych samolotów i bardzo krótkich tras. Wodór wymaga natomiast bezpiecznych, lekkich zbiorników kriogenicznych na pokładzie oraz budowy od podstaw infrastruktury tankowania na lotniskach. Według analiz branżowych **upowszechnienie rozwiązań elektrycznych i wodorowych na szeroką skalę jest mało prawdopodobne przed 2035 r., dlatego ich wkład w realizację celów UE na 2030 r. będzie ograniczony.** W tym czasie, zgodnie z ReFuelEU Aviation (rozporządzenie ws zrównoważonych paliw lotniczych), **kluczową rolę w redukcji emisji odgrywać ma SAF.**²²

Oczekiwane wdrożenie technologii o niskiej i zerowej emisji dwutlenku węgla w samolotach



Źródło: ATAG, Waypoint 2050, Analiza PwC

SAF zelektryzowany H2

²⁰ Eurostat

²¹ EUROCONTROL, Aviation Long Term Outlook

²² ATAG, Waypoint 2050



Portfolio SAF obejmuje zarówno biopaliwa (produkowane m.in. z zużytego oleju roślinnego czy biomasy), jak i syntetyczne e-paliwa (produkowane z zielonego wodoru i CO₂). Najważniejszą zaletą SAF jest ich kompatybilność z istniejącą flotą i infrastrukturą tankowania bez konieczności dużych modyfikacji. Obecne przepisy pozwalają na blending do 50% SAF do JET w zależności od technologii produkcji, a trwające badania mają na celu zwiększenie limitu do 100%.

Wybrane metody wytwarzania bio- oraz e-SAF

Technologia HEFA

(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) – **bioSAF**

Przetwarzanie olejów roślinnych i odpadowych tłuszczów, poprzez uwodornienie. Proces usuwa tlen, rozbija związki na węglowodory i izomeryzuje je, tworząc wysokiej jakości paliwo lotnicze.

Technologia ABtL

(Advanced Biomass to Liquid) – **bioSAF**

Przekształcanie biomasy w gaz syntezowy poprzez procesy termochemiczne, np. zgazowanie. Gaz ten jest następnie rafinowany i przetwarzany w paliwa lotnicze.

Technologia AtJ

(Alcohol-to-Jet) – **bioSAF**

Przekształcanie bio-surowców na alkohole, a następnie odwodnienie alkoholi, oligomeryzację, uwodornienie i frakcjonowanie, tworząc komponent paliwa.

Technologia PtL

(Power-to-Liquid) – **e-SAF**

Wykorzystanie zielonego wodoru z elektrolizy (zasilanej OZE) i CO₂ do produkcji paliwa lotniczego. Stosowana jest synteza Fischera-Tropscha lub metanolowa. Obecnie jest to najdroższa metoda produkcji.

Źródło: CAAFI, Analiza PwC

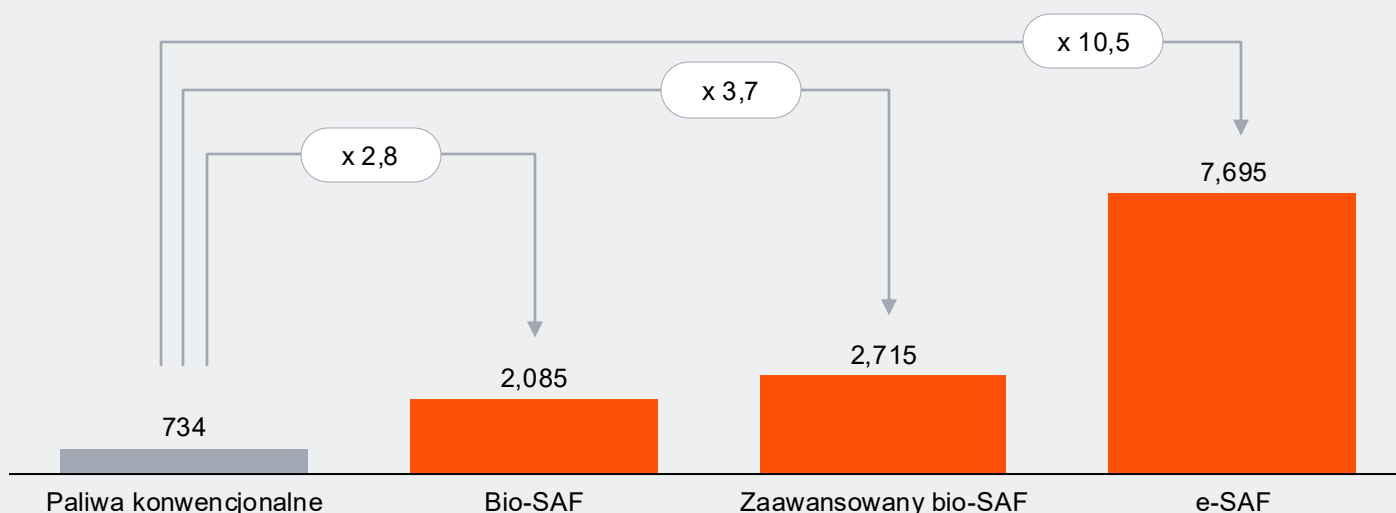


Czy stać nas na dekarbonizację lotnictwa?

Aby sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na SAF, Europa musi zainwestować w budowę własnych łańcuchów dostaw i zdolności produkcyjnych. Szacuje się, że aby spełnić cele stawiane przez UE na 2050 rok, konieczne są inwestycje przekraczające 250 miliardów EUR.²³

Sama produkcja zrównoważonych paliw lotniczych jest również bardzo kosztowna – e-SAF może być aż o 10,5 razy droższy niż jego kopalny odpowiednik. Jeżeli taka różnica w cenach się utrzyma, **wypełnienie relatywnie niskich celów unijnych w 2030 roku** (6% SAF w tym 1,2% e-SAF) **oznaczać będzie wzrost kosztów paliwa lotniczego aż o ok. 19%**. Jednocześnie, wprowadzenie 6% paliwa zeroemisyjnego do miksu paliw lotniczych wpłynie na obniżenie całkowitych emisji w UE zaledwie o 0,2%. Należy więc postawić sobie pytanie, **czy SAF, a w szczególności e-SAF, to słuszna droga dekarbonizacji?**

Referencyjne ceny paliw lotniczych, 2024 [EUR/t]



Źródło: [EASA. 2024 Aviation Fuels Reference Prices for ReFuelEU Aviation](#)

Pytanie to jest szczególnie zasadne w kontekście rywalizacji o ograniczone zasoby odnawialne. Produkcja syntetycznego odpowiednika JET opiera się w dużej mierze na wykorzystaniu energii elektrycznej, co w połączeniu z niską efektywnością energetyczną produkcji tego paliwa (ok. 35-40%) oznacza konieczność ogromnych inwestycji w OZE – szacuje się, że zastąpienie jedynie 1,2% zużywanego w UE paliwa JET jego syntetycznym odpowiednikiem wymagać będzie dodatkowych 17 TWh energii elektrycznej.²⁴ Jednocześnie wykorzystanie tej samej energii do zasilenia samochodów elektrycznych nie tylko wymaga mniejszych inwestycji, ale również ma większy wpływ na dekarbonizację całego transportu. **Wykorzystanie jednej megawatogodziny do napędzenia elektrycznych osobowych przyczynia się do blisko 10-krotnie większej redukcji emisji CO₂ niż spożytkowanie jej do produkcji e-SAF.**

²³ SKYNRG. [Disentangling ReFuelEU: How will it shape the SAF market?](#)

²⁴ Analiza PwC, przy założeniu zużycia energii na poziomie 28-37 MWh/t; źródło: [Sienna. Are e-fuels a solution for decarbonising air and sea transport?](#)

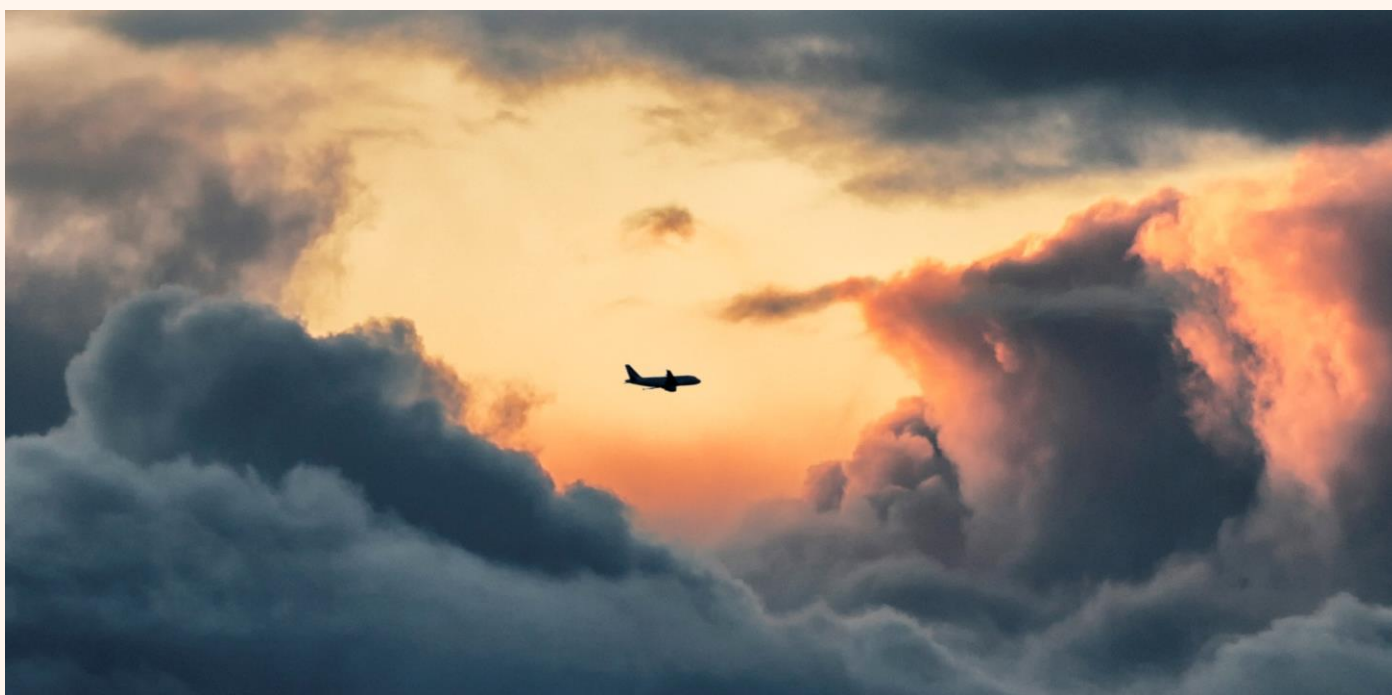
Perspektywa Polski



Polski rynek lotniczy odnotowuje rekordowe wyniki – w samym 2024 roku polskie lotniska obsłużyły ponad 59 milionów pasażerów, co stanowi wzrost o ponad 20% w stosunku do poziomów przed pandemią, a polscy przewoźnicy wykonali ponad 426 tysięcy operacji lotniczych. Ten dynamiczny rozwój, napędzany głównie przez rosnący ruch międzynarodowy (wzrost o niemal 15% rok do roku), jest widoczny na kluczowych lotniskach, takich jak Lotnisko Chopina w Warszawie, które po raz pierwszy przekroczyło próg 21 milionów pasażerów. Ten sukces gospodarczy przekłada się jednak na rosnące emisje – transport lotniczy odpowiada już za ponad 5% emisji w polskim sektorze transportu. Biorąc pod uwagę niemal całkowitą zależność od kerozyny lotniczej i perspektywę dalszego wzrostu, w tym planowane uruchomienie Centralnego Portu Komunikacyjnego, wdrożenie skutecznej strategii redukcji śladu węglowego staje się pilną koniecznością, w szczególności w kontekście coraz bardziej rygorystycznych celów Unii Europejskiej.

W obliczu długiego horyzontu czasowego dla wdrożenia technologii wodorowych czy elektrycznych w lotnictwie, jedyną realną i dostępną w perspektywie najbliższych lat ścieżką dekarbonizacji są paliwa SAF. Rozporządzenie ReFuelEU Aviation wymusza na wszystkich unijnych portach lotniczych, które obsługują rocznie ponad 800 tys. pasażerów lub 100 tys. ton cargo, stosowania SAF w ilości stanowiącej co najmniej 2% całkowitej masy paliwa lotniczego już od tego roku. **Obecnie, pierwsze tony importowanego SAF oferowane są jedynie na trzech z 8 objętych rozporządzeniem lotniskach** – w Warszawie, Krakowie i Katowicach. Pomimo budowy pierwszej instalacji produkującej bio-SAF w Płocku, dostępność tego paliwa i surowca do jego produkcji, czyli zużytych olejów, jest ograniczona, a szacowana cena trzykrotnie przewyższa cenę paliwa JET. Jeszcze większe wyzwanie stawia cel na 2030 rok dotyczący e-SAF, który na ten moment w Polsce nie jest produkowany.

Polska staje więc przed trudnym wyzwaniem dekarbonizacji szybko rosnącego rynku lotniczego. Rodzime inwestycje w technologie produkcji SAF, mogą stać się motorem napędowym innowacji, jednak często to sprowadzane z regionów o niższej bazie kosztowej paliwa będą bardziej opłacalne dla przewoźników.



Najdroższa droga do najmniejszej zmiany?

Porównanie napędów alternatywnych i rozwiązań dekarbonizacyjnych w transporcie lotniczym

Transport lotniczy	Paliwa konwencjonalne	Biopaliwa	E-paliwa	Wodór	Napęd elektryczny	Napęd jądrowy	Napęd wiatrowy/słoneczny	Wychwyt CO ₂ ze spalin
Dostępność surowców	●●●●	●○○○	●●○○	●●○○	●●○○			
Efektywność ekonomiczna	●●●●	●○○○	○○○○	●○○○	●○○○			
Możliwość wykorzystania obecnej infrastruktury	●●●●	●●○○	●●○○	●○○○	●○○○			
Zasięg	●●●●	●●●●	●●●●	●○○○	●○○○			
Możliwość wykorzystania istniejących napędów	●●●●	●●○○	●●○○	○○○○	○○○○			
Redukcja emisji w produkcji paliwa	●○○○	●●●●	●●○○	●●○○	●●○○			
Redukcja spalin w transporcie	●○○○	●○○○	●○○○	●●●●	●●●●			

Poziom spełnienia kryterium oceny przez dane rozwiązanie:

○○○○ Brak ●○○○ Niskie ●●○○ Średnie ●●●● Wysokie ○ Potencjał zmian w dłuższym horyzoncie czasu ■ Optymalne rozwiązanie dekarbonizacyjne □ Rozwiązanie niedostępne dla tego rodzaju transportu

Źródło: Analiza PwC

Choć transport lotniczy jest często w centrum debaty klimatycznej, jego udział w całkowitych emisjach gazów cieplarnianych jest stosunkowo niewielki. Analiza dostępnych technologii pokazuje, że w perspektywie najbliższych dekad jedynym realnym instrumentem jego dekarbonizacji pozostają zrównoważone paliwa lotnicze (bio-SAF i e-SAF). Przełomowe napędy wodorowe czy elektryczne, choć obiecujące, wciąż dzieli wiele lat od komercjalizacji na szeroką skalę. Wdrożenie ścieżki opartej na SAF wiąże się jednak z ogromnymi wyzwaniem inwestycyjnymi. Szczególnie e-SAF jest technologią niezwykle kapitałochłonną, a koszty jego produkcji wielokrotnie przewyższają cenę tradycyjnej kerozyny. Dlatego **w najbliższych latach kluczowe znaczenie będzie miało skupienie się na działaniach zwiększających efektywność operacyjną**, takich jak modernizacja floty czy optymalizacja tras przelotów, które pozwalają na realne ograniczenie zużycia paliwa już dziś.

W tym kontekście kluczowe staje się znalezienie racjonalnego kompromisu między ambicjami dekarbonizacji sektora o relatywnie niedużym udziale w emisjach a ogromnymi kosztami tej transformacji. **Polityka klimatyczna powinna wspierać te rozwiązania, które przynoszą największy efekt ekologiczny przy akceptowalnym koszcie ekonomicznym.**

Transport wodny

Cele EU:

6%

redukcji intensywności emisji CO₂
w żegludze do 2030 roku

14,5%

redukcji intensywności emisji CO₂
w żegludze do 2035 roku

80%

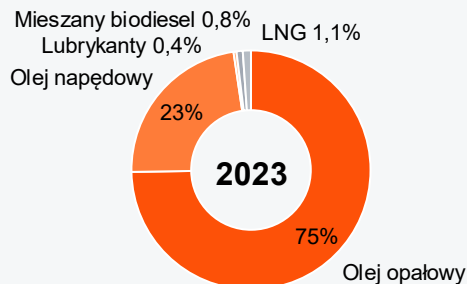
redukcji intensywności emisji CO₂
w żegludze do 2050 roku

Transport wodny w UE wciąż opiera się niemal w całości na paliwach ropopochodnych – oleju opałowym i napędowym. Mieszanki bio-diesla stanowią mniej niż 1%, a mniej emisyjne alternatywy, takie jak LNG, pozostają w fazie wczesnego wdrażania. Taki **miks paliwowy wpływa na wysoką emisyjność sektora, sięgającą blisko 140 mln ton CO₂ w 2023 roku**. Choć żegluga krajowa stanowi blisko połowę ruchu na wodach UE, emisje generuje głównie segment międzynarodowy – niemal 90%²⁵ całkowitych emisji, z czego 60% przypada na relacje do i spoza UE. Transport wodny odpowiedzialny jest również za ok. jedną czwartą łącznych emisji SO_x i NO_x w UE²⁶ dodatkowo pogarszając jakość powietrza w portach i stan środowiska morskiego. Zmiany w segmencie są więc pilnie potrzebne. Kierunek tych zmian wyznaczają regulacje: IMO zakłada dojście do zera netto do 2050 r., a UE wzmacnia ten kurs rozporządzeniem FuelEU Maritime (rozporządzenie ws. paliw w żegludze wprowadzającym stopniowy wzrost udziału paliw odnawialnych i niskoemisyjnych) oraz objęciem żeglugi systemem EU ETS (EU Emissions Trading System) od 2024 r., co wprowadza koszt CO₂ do działań operacyjnych armatorów.

Realizacja ambitnych celów klimatycznych wymaga szeroko zakrojonych zmian, które opierają się na dwóch filarach: poprawie efektywności energetycznej statków, która do 2030 może przynieść aż 16% redukcję zużycia paliw²⁷, **oraz przejściu na paliwa i napędy niskoemisyjne**. Wysokie koszty inwestycyjne i długi cykl życia statków (20-25 lat dla statków towarowych i aż 40 dla statków pasażerskich²⁸) sprawiają, że pełna wymiana floty na jednostki niskoemisyjne jest procesem wieloletnim i kosztownym, a dobór odpowiedniego napędu jest kluczowy dla późniejszej efektywności ekonomicznej transportu wodnego.

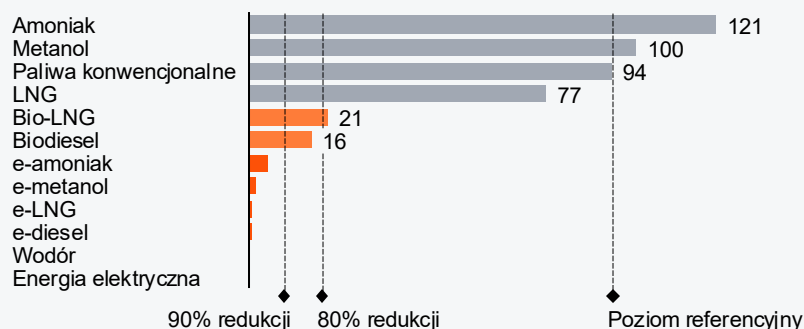
Oprócz standardowych możliwości elektryfikacji i wodoryzacji, a także zastosowania bio- i e-paliw, statki mają dodatkowo możliwość wdrażania napędów jądrowych, słonecznych i wiatrowych, a także wychwytu CO₂ ze spalin. Napęd jądrowy, który choć sprawdzony w jednostkach wojskowych, napotyka na bariery regulacyjne i społeczne w zastosowaniach komercyjnych, a wspomaganie napędu energią słoneczną lub wiatrową, wciąż nie oferuje wystarczającej mocy dla dużych statków handlowych. Wychwyt CO₂ ze spalin może drastycznie obniżyć emisje, ale generuje wyzwanie związane z magazynowaniem przechwyconego dwutlenku węgla.

Udział w końcowym zużyciu energii w transporcie wodnym w UE, 2023 [%]



Źródło: Eurostat, Analiza PwC

Intensywność emisji w transporcie wodnym w zależności od wykorzystywanego paliwa [g CO₂e/MJ]



Źródło: T&E IMO - Sustainable Fuel Criteria, Analiza PwC,

²⁵ EEA

²⁷ DNV, Maritime Forecast to 2050 Energy Transition Outlook 2024

²⁶ EEA

²⁸ DNV, Five-year dry-docking scheme for Bahamas-flagged passenger ships aged 20+

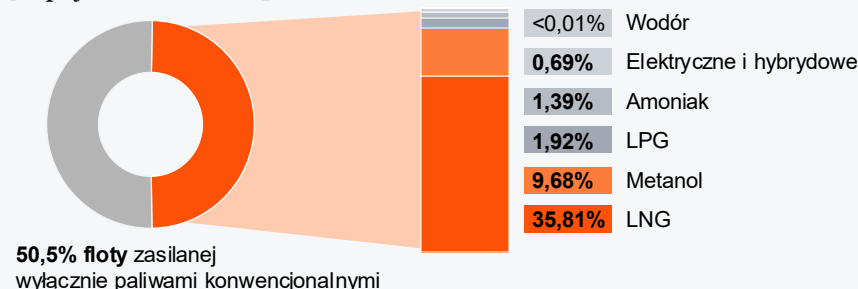
Napęd elektryczny, ze względu na niską gęstość energii w bateriach, sprawdzić się może na krótkich dystansach. Dziś na świecie działa ponad 800 jednostek zasilanych bateryjnie, z czego ok. 60% w Europie²⁹, która charakteryzuje się gęstą siecią których tras morskich i śródlądowych.

Obecnie, realnymi rozwiązaniami dla transportu morskiego pozostają więc paliwa

alternatywne (niskoemisyjne odpowiedniki LNG, metanolu, amoniaku czy konwencjonalnego diesla oraz wodór). Potwierdzają to globalne zamówienia na nowe statki, z których blisko połowa dotyczy jednostek przystosowanych do zasilania takimi paliwami. Wśród nich dominującą rolę w odgrywają LNG i metanol.

Globalna flota statków w zamówieniu i budowie, 2024

[% pojemności brutto]



Źródło: DNV, Maritime Forecast to 2050 Energy Transition Outlook 2024

Jak infrastruktura portowa napędza zieloną transformację?

Aby dostosować transport wodny w UE do nowych paliw i technologii niskoemisyjnych, kluczowy jest rozwój infrastruktury portowej, która umożliwi ich dystrybucję, magazynowanie i bunkrowanie. Choć infrastruktura dla LNG jest już stosunkowo rozwinięta, a paliwa takie jak metanol czy biodiesel mogą częściowo korzystać z istniejących obiektów, to zaplecze dla amoniaku i wodoru pozostaje na wczesnym etapie rozwoju ze względu na wysokie wymagania technologiczne i bezpieczeństwa. Porty w UE czynią postępy w dostosowywaniu się do nowych wymogów, z widocznym naciskiem na LNG, jednak pełne przygotowanie do obsługi pełnego spektrum paliw przyszłości wymaga dalszych, znaczących inwestycji.

Wysokopoziomowe przyporządkowanie poziomu gotowości infrastruktury w UE do różnych rodzajów paliw

Rodzaj paliwa	Dystrybucja i magazynowanie	Bunkrowanie
Bio-diesel E-diesel	Możliwość wykorzystania istniejących obiektów dla paliw destylowanych	Możliwość wykorzystania istniejących obiektów dla paliw destylowanych
LNG Bio-LNG E-LNG	Najbardziej rozwinięta infrastruktura spośród wszystkich paliw alternatywnych	Bunkrowanie LNG jest już dostępne w dynamicznie rozwijającej się, globalnej sieci blisko 200 portów
Metanol Bio-metanol E-metanol	Możliwość rozbudowy istniejących obiektów z globalnej sieci terminali, wykorzystywanych do globalnego handlu/transportu metanolu	Infrastruktura bunkrowania częściowo rozwinięta w 90 portach na całym świecie
Amoniak Bio-amoniak E-amoniak	Możliwość rozbudowy istniejących obiektów z globalnej sieci terminali, wykorzystywanych do globalnego handlu/transportu amoniaku	Nie istnieje
Wodór	Nie istnieje	Nie istnieje
Energia elektryczna	Możliwość wykorzystania istniejącej sieci, ale wymaga inwestycji w modernizację oraz zwiększenie mocy przyłączy portowych	Brak istniejącej, wystandaryzowanej infrastruktury do ładowania o dużej mocy dla statków morskich.

● Wysoki poziom dojrzałości ◇ Zidentyfikowano rozwiązania ● Niski poziom dojrzałości

²⁹ European Maritime Safety Agency

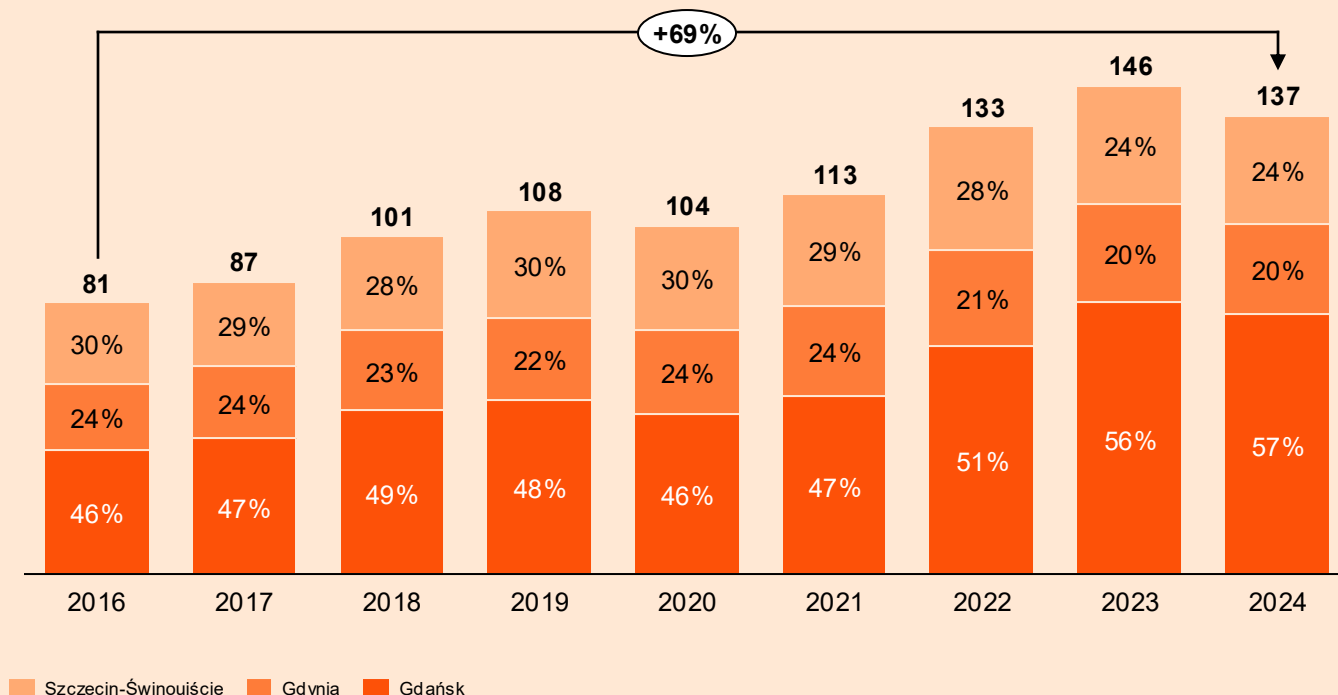
Perspektywa Polski



Dynamiczny wzrost przeładunków, sięgający niemal 70% w skali ostatnich 8 lat, umacnia rosnącą strategiczną rolę polskich portów w europejskiej logistyce. Ten sukces wiąże się jednak z rosnącym ruchem statków, które niemal w całości opierają się na wysokoemisyjnych paliwach. Wprowadzenie rygorystycznych unijnych regulacji, takich jak system EU ETS i FuelEU Maritime, sprawia, że dekarbonizacja staje się dla polskiego sektora morskiego nie tylko ekologiczną koniecznością, ale przede wszystkim warunkiem utrzymania konkurencyjności.

W obliczu tych regulacji i globalnych trendów, kluczowa staje się adaptacja do paliw niskoemisyjnych. Analiza globalnych zamówień na nowe statki pokazuje, że preferowanym kierunkiem w średnim terminie jest LNG (i jego odnawialny odpowiednik, bio-LNG). Dla Polski, z jej rosnącym znaczeniem i dostępem do terminali LNG i potencjałem produkcji bio-metanu, stwarza to wyjątkową szansę na zostanie regionalnym liderem w bunkrowaniu (tankowaniu) statków paliwami niskoemisyjnymi. Jednakże, aby ten potencjał wykorzystać, niezbędne są pilne i strategiczne inwestycje w infrastrukturę portową. Obecnie na polskim wybrzeżu brakuje dedykowanych jednostek do bunkrowania LNG, a infrastruktura dla paliw przyszłości, takich jak amoniak czy wodór, jest dopiero w bardzo wczesnej fazie planowania.

Przeładunek w głównych polskich portach [mln ton], 2016-2023



Źródło: Port Monitor, Raport – Polskie porty morskie w 2024 roku, Analiza PwC

Rejs w Stronę LNG i Bio-LNG

Porównanie napędów alternatywnych i rozwiązań dekarbonizacyjnych w transporcie wodnym

Transport wodny	Paliwa konwencjonalne	Biopaliwa	E-paliwa	Wodór	Napęd elektryczny	Napęd jądrowy	Napęd wiatrowy/słoneczny	Wychwyt CO ₂ ze spalin
Dostępność surowców	● ● ● ●	● ○ ○ ○	● ● ● ○	● ● ● ○	● ● ● ○	● ○ ○ ○	● ● ● ●	Nie dotyczy
Efektywność ekonomiczna	● ● ● ●	● ● ● ○	○ ○ ○ ○	● ● ● ○	● ● ● ○	● ○ ○ ○	● ● ● ○	● ○ ○ ○
Możliwość wykorzystania obecnej infrastruktury	● ● ● ●	● ● ● ○	● ● ● ○	○ ○ ○ ○	● ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
Zasięg	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ○ ○ ○	● ● ● ●	● ○ ○ ○	● ● ● ●
Możliwość wykorzystania istniejących napędów	● ● ● ●	● ● ● ○	● ● ● ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	● ○ ○ ○
Redukcja emisji w produkcji paliwa	● ○ ○ ○	● ● ● ●	● ● ● ○	● ● ● ○	● ● ● ○	● ● ● ●	● ● ● ○	Nie dotyczy
Redukcja spalin w transporcie	● ○ ○ ○	● ○ ○ ○	● ○ ○ ○	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●

Poziom spełnienia kryterium oceny przez dane rozwiązanie:

○ ○ ○ ○ Brak ● ○ ○ ○ Niskie ● ● ● ○ Średnie ● ● ● ● Wysokie ○ Potencjał zmian w dłuższym horyzoncie czasu ■ Optymalne rozwiązanie dekarbonizacyjne □ Rozwiązanie niedostępne dla tego rodzaju transportu

Źródło: Analiza PwC

Transport wodny, ze względu na swoją specyfikę – głównie międzynarodowy i międzykontynentalny charakter oraz długi cykl życia statków – wymaga unikalnego podejścia do dekarbonizacji. W przeciwieństwie do transportu drogowego, elektryfikacja jest tu opcją marginalną, zarezerwowaną dla krótkich tras, a unikalność tego sektora pozwala na rozważanie rozwiązań niedostępnych gdzie indziej. Są to technologie takie jak napędy jądrowe, wiatrowe, słoneczne czy wychwyt CO₂. Napotykać one jednak na szereg wyzwań i nie stanowią obecnie realnej opcji dekarbonizacji.

Dlatego też wierzymy, że kluczem do transformacji będą paliwa alternatywne. Globalne trendy w zamówieniach na nowe statki jasno pokazują, że armatorzy stawiają na nowe paliwa, z LNG i jego odnawialnym odpowiednikiem, bio-LNG, na czele. Stanowią one ponad 35% wszystkich zamówień na nowe jednostki, co jest pragmatyczną odpowiedzią na rosnącą presję regulacyjną. To właśnie w tym obszarze, w przeciwieństwie do np. lotnictwa, widzimy realny, rynkowy ruch w kierunku paliw o niższej emisyjności.

Uważamy, że cele dekarbonizacyjne dla transportu morskiego, choć ambitne, są realne do osiągnięcia, pod warunkiem masowych inwestycji w infrastrukturę do bunkrowania (tankowania) nowych paliw. I tu pojawia się ogromna szansa dla Polski. Dynamiczny, niemal 70-procentowy wzrost przeładunków w ostatnich latach i status polskich portów jako jednych z największych na Bałtyku, stwarzają unikalny potencjał do stania się regionalnym hubem bunkrowania paliw niskoemisyjnych. Aby jednak ten potencjał wykorzystać, konieczne są strategiczne i szybkie decyzje inwestycyjne. Brak dedykowanych jednostek do bunkrowania LNG czy infrastruktury dla paliw przyszłości (jak metanol czy amoniak) to dziś największe wąskie gardło, które może sprawić, że ta szansa zostanie bezpowrotnie utracona na rzecz bardziej dynamicznych portów w regionie.

Transport kolejowy

Transport kolejowy w Unii Europejskiej charakteryzuje się najniższą emisyjnością spośród wszystkich gałęzi transportu,

generując jedynie 0,3% całkowitych emisji gazów cieplarnianych w sektorze. To czyni go najbardziej ekologiczną formą transportu masowego.

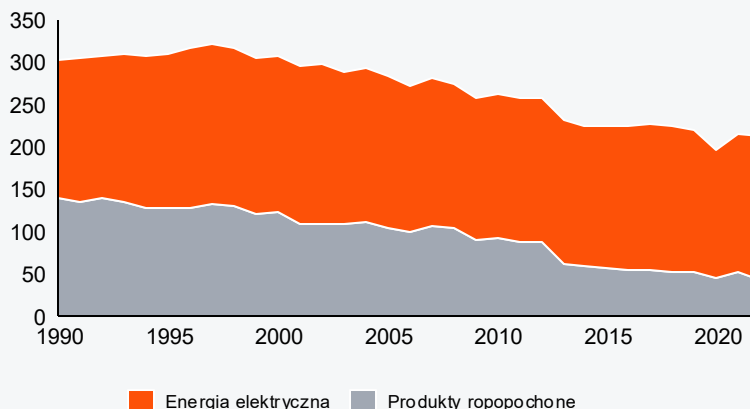
Co charakterystyczne, w przeciwieństwie do innych sektorów transportu, Unia Europejska nie ustanowiła konkretnych celów dekarbonizacyjnych dla kolei do 2030 czy 2050 roku, uznając jej niskoemisyjny charakter.

Niska emisyjność transportu kolejowego wynika przede wszystkim z wysokiego stopnia

elektryfikacji sieci - 73 % energii zużywanej przez transport kolejowy pochodzi z energii elektrycznej,

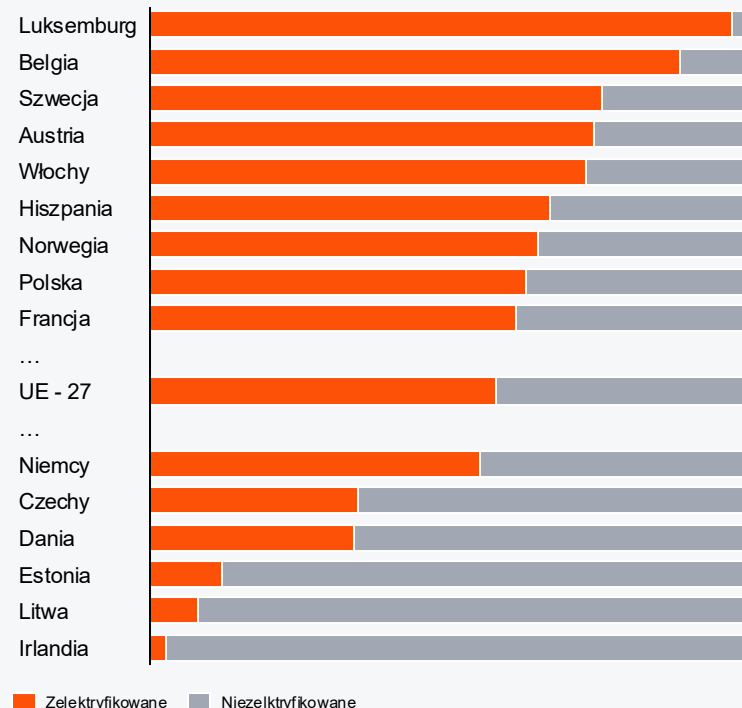
a na koniec 2023 roku długość zelektryfikowanych linii kolejowych w krajach UE osiągnęła 115 tysięcy kilometrów, co stanowi 57% całkowitej sieci kolejowej (wzrost z 40% w 1990 roku).³⁰ Ten systematyczny postęp w elektryfikacji pokazuje wyraźny kierunek modernizacji sektora w stronę jeszcze większej ekologiczności. Istnieje jednak znacząca nierównomierność w poziomie elektryfikacji między krajami członkowskimi UE – od 20% w krajach bałtyckich i Irlandii do blisko 100% w Luksemburgu. Wyrównanie tych różnic i dalsza elektryfikacja sieci w całej UE jest kluczem do maksymalizacji potencjału kolei jako nośnika zrównoważonej mobilności i skutecznego przesunięcia ruchu z bardziej emisyjnych środków transportu.

Ewolucja końcowego zużycia energii w transporcie kolejowym UE, 1990-2023 [PJ]



Źródło: Eurostat, Analiza PwC

Udział zelektryfikowanych linii kolejowych w wybranych krajach UE, 2023 [% wszystkich linii kolejowych]



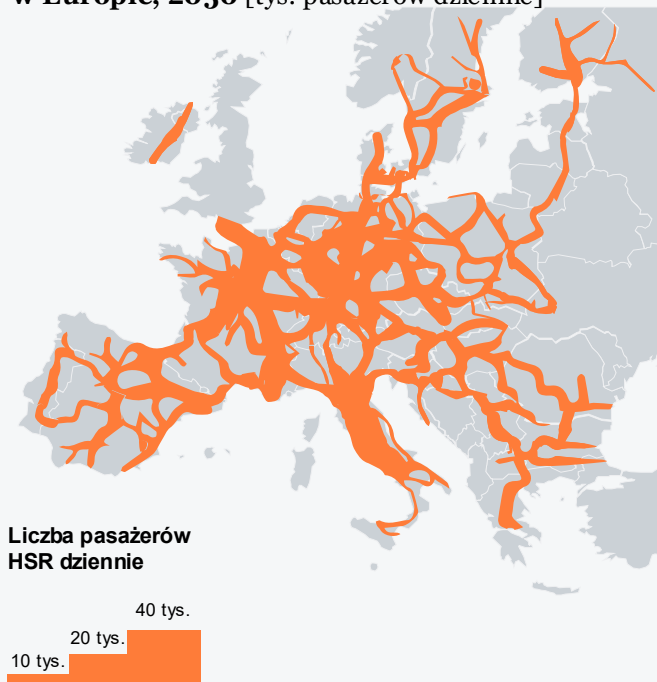
Źródło: Eurostat, Analiza PwC

³⁰ Eurostat

Największy potencjał dekarbonizacyjny kolei leży jednak w zastąpieniu bardziej emisyjnych środków transportu. Kolej emituje o 75% mniej CO₂ niż transport drogowy i znacząco mniej niż transport lotniczy, co czyni ją idealnym rozwiązaniem dla przejęcia części ruchu pasażerskiego z najbardziej emisyjnych gałęzi transportu. Komisja Europejska zakłada **wzrost przewozów towarowych koleją o 50% do 2030 oraz o 100% do 2050 roku**³¹,

a rozbudowa kolei dużych prędkości (HSR) ma w tym kluczową rolę. Koleje dużych prędkości będą służyć nie tylko połączeniom międzynarodowym, ale przede wszystkim tworzeniu efektywnej "sieci metropolitarnej", łączącej główne ośrodki miejskie i umożliwiając konkurencję z transportem lotniczym na dystansach do 800 km. Planowana w ramach Zielonego Ładu rozbudowa zakłada niemal trzykrotne zwiększenie długości linii umożliwiających prędkość co najmniej 200 km/h – z obecnych 11,3 do ponad 32 tys. km w 2050 roku. Ambitny plan obejmuje połączenie 230 regionów metropolitalnych, zapewniając dostęp do kolei dużych prędkości 60% obywatelom UE.³²

Prognozowany przepływ pasażerów sieci HSR w Europie, 2050 [tys. pasażerów dziennie]



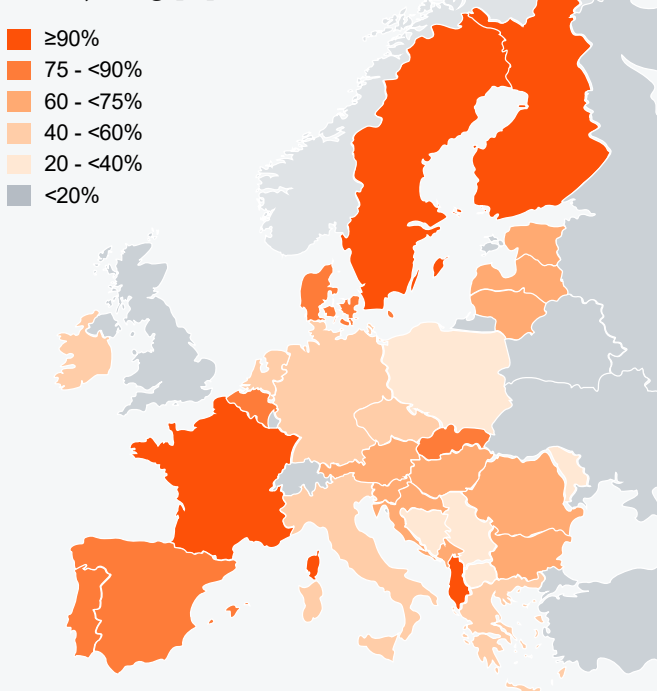
Źródło: Studie Metropolitan Network, A Stron European railway data, Analiza PwC

Kolej tak zielona, jak energia, która ją napędza

Aby nazwać kolej w pełni zdekarbonizowaną nie wystarczy pełna elektryfikacja sieci. Konieczne jest bowiem zasilanie jej przez zeroemisyjne źródła energii. W 2024 roku aż 71% energii elektrycznej w UE pochodziło z takich źródeł, w tym 47% z OZE i blisko 24% z energii jądrowej. Tu również występuje duża nierównomierność między krajami Wspólnoty – od 31% w Polsce do 99% w Szwecji. Pełna zeroemisyjność kolei wymaga więc dodatkowych nakładów inwestycyjnych w nowe źródła energii.

Niektórzy przewoźnicy już korzystają jedynie z OZE do zasilania swoich pociągów - holenderski NS od 2017 roku wykorzystuje w 100% energię wiatru, a szwajcarski SBB przeszedł na OZE w 2025, inni wyznaczają ambitne cele. Łączący kraje zachodniej Europy Eurostar w 2030 roku ma być zasilany w 100% z energii odnawialnej, a niemiecki DB planuje stopniowe zwiększanie udziału od 80% w 2030 do 100% w 2038.

Udział OZE oraz energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej w UE, 2023 [%]



Źródło: Eurostat, Analiza PwC

³¹ Komisja Europejska. Mobility Strategy.

³² Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej. Zrównoważony transport – droga do neutralności klimatycznej

Perspektywa Polski



Na koniec 2023 roku, długość polskiej sieci kolejowej wyniosła 19,5 tys. km, z czego zelektryfikowane, eksploatowane linie normalnotorowe i szerokotorowe stanowiły 62,5%. Największy udział zelektryfikowanych kolei występuje w województwach: śląskim – 92,8%, łódzkim – 92,3% i małopolskim – 83,4%. Mimo iż obecnie kolej jest już najbardziej ekologicznym środkiem transportu, dążenie do zrównoważonego rozwoju transportu kolejowego jest jednym z kluczowych narzędzi do osiągnięcia celów klimatycznych Unii Europejskiej. Dlatego też, rosnącym trendem jest dalsza modernizacja polskich linii kolejowych w kierunku elektryfikacji, która przekłada się także na rozwój i modernizację inwentarza lokomotyw oraz zespołów trakcyjnych elektrycznych i elektryczno-spalinowych³³.

19,5 tys. km

Długość polskiej sieci kolejowej ogółem, na koniec 2023

62,5%

Udział zelektryfikowanych linii kolejowych w całkowitej długości, na koniec 2023

Zasilanie trakcji energią elektryczną z OZE jest szansą na szybką dekarbonizację kolei

Przejęcie polskiego transportu kolejowego na zasilanie energią elektryczną pochodzącą z odnawialnych źródeł (OZE) stanowi istotną szansę na szybkie dostosowanie się do wymogów oraz strategii ograniczania emisji CO₂ na poziomie krajowym i regionalnym. Program „Zielona Kolej”, opracowany przez podmioty z branży kolejowej odpowiedzialne za ok. 95% zużycia kolejowej energii trakcyjnej w Polsce i zrzeszone w Centrum Efektywności Energetycznej Kolei (CEEK), zakłada zmianę pochodzenia energii trakcyjnej wykorzystywanej przez polskich przewoźników. Zgodnie z założeniami Programu, do 2030 roku 85% kolejowej energii trakcyjnej ma pochodzić z OZE, w tym głównie z farm fotowoltaicznych i farm wiatrowych, a w dalszej perspektywie – nawet 100%, zakładając wdrożenie zasilania wodorowego tam, gdzie nie będzie możliwości elektryfikacji szlaków kolejowych. Oznacza to bezpośrednią redukcję emisji CO₂ nawet o 8 mln ton do 2030 roku³⁴.

Cel programu „Zielona Kolej” na 2030 r.



Źródło: Open Railway Map, Analiza PwC

³³ GUS, Transport – wyniki działalności w 2023 roku

³⁴ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Zielona Kolej w Polsce – klimat, energetyka, transport

Kolej jako lider zielonej rewolucji

Porównanie napędów alternatywnych i rozwiązań dekarbonizacyjnych w transporcie kolejowym

Transport kolejowy	Paliwa konwencjonalne	Biopaliwa	E-paliwa	Wodór	Napęd elektryczny	Napęd jądrowy	Napęd wiatrowy/słoneczny	Wychwyt CO ₂ ze spalin
Dostępność surowców	●●●●	●○○○	●●●○	●●●○	●●●○			
Efektywność ekonomiczna	●●●●	●●●○	○○○○	●○○○	●●●●			
Możliwość wykorzystania obecnej infrastruktury	●○○○	●●●○	●●●○	●○○○	●●●○			
Zasięg	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●○			
Możliwość wykorzystania istniejących napędów	●●●○	●●●○	●●●●	○○○○	●●●○			
Redukcja emisji w produkcji paliwa	●○○○	●●●●	●●●○	●●●○	●●●○			
Redukcja spalin w transporcie	●○○○	●○○○	●○○○	●●●●	●●●●			

Poziom spełnienia kryterium oceny przez dane rozwiązanie:

○○○○ Brak

●○○○ Niskie

●●●○ Średnie

●●●● Wysokie

○ Potencjał zmian w dłuższym horyzoncie czasu

■ Optymalne rozwiązanie dekarbonizacyjne

■ Rozwiązanie niedostępne dla tego rodzaju transportu

Źródło: Analiza PwC

Transport kolejowy, odpowiadający za zaledwie 0,3% emisji gazów cieplarnianych w sektorze, jest już dziś niekwestionowanym liderem zrównoważonego transportu w Unii Europejskiej. Jego niska emisyjność wynika z wysokiego stopnia elektryfikacji – już teraz ponad 70% energii zużywanej przez kolej pochodzi z sieci trakcyjnej. Dlatego też, w przeciwieństwie do innych gałęzi transportu, głównym wyzwaniem nie jest zmiana samego napędu, ale dekarbonizacja źródła zasilania. Kluczowe staje się więc zapewnienie, aby energia elektryczna napędzająca europejskie pociągi pochodziła w całości ze źródeł odnawialnych. Równolegle, konieczne jest kontynuowanie procesu elektryfikacji pozostałych linii, zwłaszcza w regionach UE, gdzie udział ten wciąż jest niski, aby w pełni wyeliminować zależność od paliw kopalnych.

Jednak największy wkład kolei w dekarbonizację całego systemu transportowego leży w jej zdolności do przejęcia ruchu z bardziej emisyjnych gałęzi, jak transport drogowy i lotniczy. Aby to przejście stało się możliwe, Unia Europejska stawia na dwa strategiczne kierunki inwestycyjne. Po pierwsze, na masową rozbudowę sieci kolei dużych prędkości (HSR), która ma stać się realną i atrakcyjną alternatywą dla lotów krótkodystansowych, łącząc kluczowe europejskie metropolie. Po drugie, na zwiększenie gęstości i przepustowości sieci konwencjonalnej oraz budowę nowoczesnych terminali intermodalnych. Ma to na celu usprawnienie i uatrakcyjnienie przewozów towarowych, co jest niezbędne do osiągnięcia ambitnego celu przeniesienia 75% drogowego transportu towarowego na kolej. To właśnie w tej synergii – dalszej dekarbonizacji samej kolei i uczynieniu jej kręgosłupem zintegrowanego, niskoemisyjnego systemu transportowego w Europie – tkwi jej największy potencjał.

Na skróty przez labirynt, czyli które rozwiązania mają sens?

	Biopaliwa	E-paliwa	Wodór	Napęd elektryczny	Napęd jądrowy	Napęd wiatrowy/słoneczny	Wychwyt CO ₂ ze spalin
Drogowy							
Lotniczy							
Morski							
Kolejowy							

Rozwiązanie optymalne
 Rozwiązanie nieoptymalne, wymuszone regulacjami
 Rozwiązanie przejściowe lub dla specyficznych zastosowań
 Rozwiązanie o niskim prawdopodobieństwie szerokiej komercjalizacji

Obecnie możliwości dekarbonizacji transportu przypominają skomplikowany labirynt, a różnorodność proponowanych rozwiązań – zarówno uzasadnionych, jak i mniej – utrudnia wskazanie właściwej drogi działania. Niepewność technologiczna oraz brak jednoznaczności co do opłacalności tych opcji prowadzą do paraliżu w podejmowaniu decyzji dotyczących dekarbonizacji transportu. Zarówno indywidualni konsumenci, jak i operatorzy logistyczni czy linie lotnicze, stają przed strategicznym dylematem: w którą technologię inwestować swoje ograniczone środki? Wybór niewłaściwej – na przykład zakup floty pojazdów, która za kilka lat okaże się nieopłacalna, niezgodna z regulacjami lub niedopasowana do nowej infrastruktury – wiąże się z ogromnym ryzykiem finansowym i groźbą utraty konkurencyjności. Ten strach przed „kosztownym błędem” w naturalny sposób spowalnia tempo dobrowolnej transformacji i sprawia, że jest ona krytycznie uzależniona od kalkulacji ekonomicznych oraz silnych, jednoznacznych i stabilnych sygnałów ze strony regulatorów.

Iluzją jest jednak poszukiwanie jednej, uniwersalnej recepty na dekarbonizację transportu. Każda jego gałąź to odrębny świat z unikalną specyfiką, dostępnymi opcjami technologicznymi i horyzontem czasowym możliwych zmian. To, co jest dziś preferowanym rozwiązaniem dla samochodów osobowych – elektryfikacja bateryjna – jest technologicznie niemożliwe do zastosowania w lotach dalekodystansowych. Biopaliwa, które mogą być kluczem dla żeglugi, mają z kolei marginalne znaczenie dla kolei. Zrozumienie tych fundamentalnych różnic jest kluczowe dla zaprojektowania skutecznych i racjonalnych ekonomicznie strategii transformacji poszczególnych segmentów sektora transportowego.

Wreszcie, transformacja energetyczna tworzy zupełnie nowe pole rywalizacji o ograniczone zasoby przyszłości. Różne gałęzie transportu – a wraz z nimi cały dekarbonizujący się przemysł, energetyka i budownictwo – już rozpoczynają konkurowanie o te same, kluczowe źródła energii: czystą energię elektryczną czy zrównoważoną biomasę.

Aby odpowiednio alokować ograniczone zasoby (energetyczne, ale również finansowe, ludzkie) i znaleźć wyjście z paraliżu decyzyjnego istotne jest, abyśmy jak najszybciej zrozumieli, które z rozważanych rozwiązań w zakresie dekarbonizacji transportu mają szansę na rzeczywiste powodzenie rynkowe i zapewnienie europejskim gospodarkom długoterminowej konkurencyjności. Propozycję takiej mapy nawigacyjnej przedstawiliśmy Wam w niniejszym raporcie.

Słowniczek dekarbonizacji

Paliwa konwencjonalne to paliwa energetyczne pochodzące z nieodnawialnych surowców kopalnych (ropy naftowej, i gazu ziemnego), wykorzystywane w ugruntowanych technologiach i istniejącej infrastrukturze. Do paliw konwencjonalnych zalicza się m.in. benzynę, olej napędowy (diesel), olej opałowy, **kerozynę lotniczą** (JET), **LPG** (skroplony gaz pochodzący z procesów przerobu ropy naftowej, mieszanina propanu i butanu).

Paliwa alternatywne to paliwa stanowiące zamiennik paliw konwencjonalnych, które w całym cyklu życia pozwalają znacząco ograniczyć emisje gazów cieplarnianych i/lub zanieczyszczeń powietrza. Paliwa alternatywne obejmują **część paliw kopalnych**, stanowiących lepszą środowiskowo alternatywę, **biopaliwa**, **paliwa syntetyczne** (e-paliwa) oraz **wodór**.

1 Alternatywne paliwa kopalne to paliwa, które mimo kopalnego pochodzenia stanowią lepszą środowiskowo alternatywę dla paliw konwencjonalnych. Zalicza się do nich **LNG/CNG** (skroplony/ sprężony gaz ziemny) oraz wyprodukowane z gazu ziemnego **metanol i amoniak**.

2 Biopaliwa to paliwa ciekłe lub gazowe wytwarzane z biomasy, czyli materii organicznej pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego (w tym odpadów i pozostałości), stanowiące zamiennik paliw kopalnych w transporcie. Zalicza się do nich **bioetanol, biodiesel, HVO** (uwodornione tłuszcze/oleje), biometan (i jego skroploną i sprężoną formę **bio-LNG i bio-CNG**), **bio-metanol, bio-amoniak** i biopaliwa lotnicze (tzw. **bio-SAF**).

3 E-paliwa to paliwa syntetyczne, czyli wytwarzane drogą syntezy chemicznej z prostych składników, najczęściej z wodoru i dwutlenku węgla. W kontekście dekarbonizacji e-paliwami określa się węglowodory produkowane z zielonego wodoru (z elektrolizy zasilanej OZE) i wychwyconego dwutlenku węgla. Zalicza się do nich **e-benzynę, e-diesel, e-LPG, e-LNG/CNG, e-metanol, e-amoniak** i e-paliwa lotnicze (tzw. **e-SAF**).

4 Wodór to nośnik energii i surowiec chemiczny, który przy wykorzystaniu w ogniach paliwowych lub spalaniu nie emituje CO₂ na miejscu użycia. Wyróżnia się różne rodzaje wodoru w zależności od sposobu jego wytwarzania, w tym **szary wodór** – produkowany z paliw kopalnych, **niebieski wodór** – szary wodór z wychwytem CO₂ z procesu produkcji, **zielony wodór** – produkowany w procesie elektrolizy wody zasilanej energią z OZE, **bio-wodór** – produkowany z biomasy.

SAF (ang. Sustainable Aviation Fuel) to łączna nazwa dla zrównoważonych paliw lotniczych. Zalicza się do nich biopaliwa lotnicze (**bio-SAF**) oraz e-paliwa lotnicze (**e-SAF** lub **SAF RFNBO**). Dopisek RFNBO (Renewable Fuel of Non-Biological Origin) oznacza, że paliwo jest odnawialne, ale niebiologicznego pochodzenia, czyli powstało w procesie syntezy zielonego wodoru i wychwyconego CO₂.

Napędy alternatywne to układy napędowe stanowiące alternatywę dla klasycznego silnika spalinowego.

Do napędów alternatywnych zalicza się **BEV** (napęd elektryczny z zasilaniem bateryjnym), **HEV** (hybrydowy układ napędowy, łączący silnik spalinowy z samoladującym się silnikiem elektrycznym), **PHEV** (hybrydowy układ napędowy, łączący silnik spalinowy z silnikiem elektrycznym zasilanym „z gniazdka”), **FCEV** (silnik elektryczny zasilany ogniwami paliwowymi, do których paliwem jest zazwyczaj wodór).

Odnawialne źródła energii (OZE) to naturalne zasoby, które odnawiają się w skali ludzkiego życia i mogą być przekształcane w energię elektryczną, ciepło lub paliwa przy niskiej emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia. Zalicza się do nich energię słoneczną, energię wiatru, energii wodną, geotermię, biomasę i energię mórz.

Informacje o PwC



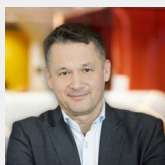
PwC wspiera organizacje w osiągnięciu zrównoważonego modelu biznesowego, oferując doradztwo w zakresie dekarbonizacji i transformacji energetycznej. Systematycznie monitorujemy trendy rynkowe i regulacyjne, aby je zrozumieć i przekładać na realizację projektów strategicznych, kształtowanie modeli biznesowych, programów inwestycyjnych oraz map drogowych transformacji. W sektorze transportu pomagamy klientom opracowywać strategie redukcji emisji, analizować ślad węglowy i wdrażać rozwiązania wspierające cele klimatyczne.

Łączymy wiedzę branżową z ekspertyzą technologiczną i regulacyjną, wspierając podmioty publiczne i prywatne w projektach transformacyjnych. Pomagamy wdrażać innowacyjne modele transportu, optymalizować łańcuchy dostaw oraz pozyskiwać finansowanie na zieloną infrastrukturę.

PwC to globalna sieć firm w ponad 150 krajach, zatrudniająca ponad 327 tys. specjalistów. W Polsce działamy jako niezależne podmioty w ramach PricewaterhouseCoopers International Limited. Naszą misją jest budowanie zaufania i rozwiązywanie kluczowych wyzwań – również w obszarze zrównoważonego transportu.

Dowiedz się więcej na <https://www.pwc.pl>.

Autorzy raportu



Wojciech Słowiński

Partner
PwC Polska



Bartosz Safiejko

Dyrektor
PwC Polska



Aleksandra Chełmińska

Menedżerka
PwC Polska

Konsultanci PwC

Maria Kowal-Bisińska

Starsza Konsultantka
PwC Polska

Michał Okniński

Konsultant
PwC Polska

Konrad Wejman

Starszy Konsultant
PwC Polska

Julia Kwaśniewska

Konsultantka
PwC Polska

Piotr Tatarek

Konsultant
PwC Polska



© 2025 PwC. Wszystkie prawa zastrzeżone. W tym dokumencie nazwa "PwC" odnosi się do polskich podmiotów wchodzących w skład sieci PricewaterhouseCoopers International Limited, w której każdy podmiot lub spółka stanowi odrębny i niezależny podmiot prawny. Niniejsza publikacja została przygotowana dla celów ogólnoinformacyjnych i nie stanowi profesjonalnej porady. Nie powinni Państwo działać na podstawie informacji zawartych w tej publikacji bez uzyskania konkretnej i profesjonalnej porady. Z publikacją nie wiążą się żadne (wyraźne lub dorozumiane) zapewnienia ani gwarancje, w tym co do dokładności lub kompletności informacji w niej zawartych. W zakresie dozwolonym przez prawo, nie ponosimy i nie przyjmujemy w stosunku do kogokolwiek żadnej odpowiedzialności w związku z niniejszym opracowaniem, w tym za konsekwencje podjętych lub zaniechanych na jego podstawie działań. Naszym celem w PwC jest budowanie zaufania wśród społeczeństwa i odpowiadanie na kluczowe wyzwania współczesnego świata. Jesteśmy siecią firm działającą w 155 krajach. Zatrudniamy ponad 327 tysięcy osób, dostarczających naszym klientom usługi audytu, doradztwa biznesowego, jak również doradztwa podatkowego i prawnego. Dowiedz się więcej na www.pwc.pl.