

Dekarbonizacja sektora lotniczego

Decarbonization of the aviation sector



Hanna Dzido

Dr

Polskie Linie Lotnicze LOT
Europejska Fundacja Innowacji

h.dzido@gmail.com

Streszczenie: Dekarbonizacja w polityce i rozwoju nowoczesnych i zrównoważonych gospodarek stała się globalnym imperatywem i priorytetem. Sektor lotniczy z uwagi na swoją specyfikę zaliczany jest do obszarów trudniejszych dla wyzwań ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. Podejmowane kroki na szczeblu podmiotów rynkowych, organów regulacji i nadzoru, pozwalają (lub pozwolą w przyszłości) na ustanowienie znaczących postępów w dziedzinie dekarbonizacji lotnictwa. Artykuł przedstawia obecny stan zaawansowania procesu dekarbonizacji sektora lotniczego oraz czynniki mające na niego wpływ, sytuację prawną wraz z odwołaniem do Zielonego Europejskiego Ładu. W artykule zidentyfikowano najważniejsze wyzwania oraz bariery utrudniające gotowość i realne działania w procesie dekarbonizacji oraz rozwiązania wpisujące się w zieloną modernizację europejskiego lotnictwa, mające na celu przyspieszenie procesu.

Słowa kluczowe: Dekarbonizacja; Sektor lotniczy; Zielona modernizacja

Abstract: Decarbonization in the politics and development of modern and sustainable economies has become a global imperative and priority. Due to its specificity, the aviation sector is considered one of the more difficult areas to reduce the negative impact on the environment. Steps taken at the level of market entities, regulatory and supervisory authorities allow (or will allow in the future) significant progress in the field of decarbonization of aviation. The article presents the current state of progress of the decarbonization process of the aviation sector and the factors influencing it, the legal situation and the reference to the European Green Deal. The article identifies the most important challenges and barriers hindering readiness and real actions in the decarbonization process, as well as solutions that are part of the green modernization of European aviation, aimed at accelerating the process.

Keywords: Decarbonization; Aviation sector; Green modernization

Wstęp

Dostrzegalne zmiany w efektywności środowiskowej sektora lotniczego na przestrzeni ostatnich lat a także przyszłe wyzwania, przed którymi stoi branża lotnicza skłaniają do pogłębionej analizy i badań nad rozwiązaniami przyjaznymi środowisku z zachowaniem potencjału wysokiej mobilności. Europejczycy oprócz niekwestionowanych korzyści wynikających z lotnictwa w postaci dochodów dla gospodarki, miejsc pracy, łączności i stymulacji innowacyjności, mają również świadomość wpływu, jaki działalność lotnicza wywiera na jakość ich życia w koncepcjach zmian klimatu, poziomu hałasu czy jakości powietrza. Jednocześnie

poczucie odpowiedzialności za bezpieczeństwo środowiskowe przyszłych pokoleń, staje się ważnym elementem w kreowaniu rozwoju lotnictwa. Wobec wyzwania zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko przy jednoczesnym zwiększaniu udziału w rynku, podmioty z branży lotniczej muszą poszukiwać rozwiązań, które pozwolą skutecznie walczyć z postępującymi zmianami klimatu. Ma to ogromne znaczenie dla wzmocnienia istniejących środków i podjętych już działań w przemyśle lotniczym oraz zidentyfikowania nowych celów środowiskowych osiągalnych poprzez wypełnianie założeń Europejskiego Zielonego Ładu. Ważnym aspektem lotniczej działalności staje się także odkrywanie i wdra-

żanie nowych rozwiązań, przyjaznych środowisku i zaspokajających potrzeby mobilności.

Z europejskich sprawozdań dotyczących wpływu lotnictwa na środowisko wynika, że w ciągu ostatnich lat zauważono zmiany w efektywności środowiskowej sektora lotniczego. Emisja CO₂ wszystkich lotów z portów lotniczych UE-27+EFTA w 2019 roku osiągnęła poziom 147 mln ton, czyli o 34% więcej niż w 2005 roku. Jeszcze większy wzrost od 2005 roku - odpowiednio + 46% i + 40% - odnotowano dla emisji tlenków azotu (NO_x) oraz lotnych cząstek stałych PM (ang. Particulate Matter). Emisje tlenku węgla (CO), niespalonych węglowodorów (HC) i nielotnych cząstek stałych także wzro-

STOSOWANIE ZRÓWNOWAŻONYCH PALIW LOTNICZYCH (SAF)

Zrównoważone paliwa lotnicze (SAF) pochodzą ze zrównoważonych surowców, takich jak: oleje odpadowe, pozostałości rolnicze, organizmów bogatych w ropę, organizmów rolniczych lub gazów odpadowych bogatych w węgiel.

Mogą one mieć zastosowanie w istniejącej technologii paliw lotniczych po niewielkich modyfikacjach.



32%

ograniczenie emisji CO₂
do 2050 r. poprzez
powszechne stosowanie
paliw SAF

1. Stosowanie zrównoważonych paliw lotniczych

Źródło: opracowanie własne

70%

oszczędność emisji CO₂
w całym cyklu życia w
porównaniu z kopalnym paliwem
do silników odrzutowych

sły, lecz w wolniejszym tempie (odpowiednio od + 4% do + 13%). Wobec danych obrazujących oddziaływanie lotnictwa na środowisko konieczne było podjęcie kroków mających na celu ograniczenie jego rosnącego negatywnego wpływu wobec rosnącego zapotrzebowania na mobilność lotniczą. Opracowywane zostały scenariusze dla ruchu lotniczego, które w najbardziej optymistycznym wariantcie obejmującym wdrożenie technologii i optymalizacji zarządzania ruchem lotniczym doprowadziłyby w 2050 r. emisje NO_x do poziomów z 2019 roku.

Ustanowienie długoterminowych ścieżek redukcji hałasu i emisji gazów z przemysłu lotniczego oraz osiągnięcia celów aspiracyjnych dla europejskiego lotnictwa w zakresie środków łączących, wewnątrzsektorowych (np. technika, operacje, paliwa lotnicze) jak i pozasektorowych (np. rynkowych) będą służyły wspieraniu celów Europejskiego Zielonego Ładu. Warunkiem skutecznego wsparcia wdrażania prawodawstwa i planów polityki UE w zakresie zrównoważonego lotnictwa jest jednocześnie zaangażowanie sektora w planowanie: inwestycji niezbędnych do przejścia na zrównoważoną i neutralną dla klimatu gospodarkę, oraz zapewnienie solidnego unijnego systemu monitorowania wydajności środowiskowej europejskiego lotnictwa.

Potrzeba kompromisu pomiędzy emisjami CO₂ i zanieczyszczeniami

powodowanymi przez inne gazy i związku, wymaga opracowania solidnej metodyki oceny tychże emisji i zanieczyszczeń. Ważne jest także nieustannie wspieranie rozwiązań ograniczających oba te czynniki jednocześnie np. poprzez stosowanie odpowiednio zrównoważonych paliw lotniczych SAF (ang. Safety Aviation Fuel).

Lotnictwo ma zatem do odegrania trudną, ale kluczową rolę w osiąganiu celów zerowej emisji netto. Nadając priorytet krótko i długoterminowym wysiłkom, linie lotnicze i producenci OEM (ang. Original Equipment Manufacturer – producent oryginalnego wyposażenia, skrót oznacza firmę sprzedającą produkty innych firm pod własną marką), mogą udoskonalić rozwiązania w zakresie dekarbonizacji i zoptymalizować ich wyniki. Pomimo zobowiązań przemysłu lotniczego do osiągnięcia zerowej emisji netto do 2050 roku droga do osiągnięcia tego celu jest złożona. Branża lotnicza dostosowała się do większości ważnych działań niezbędnych do dekarbonizacji, w tym wymiany floty, wdrażania przełomowych technologii napędowych, wydajności operacyjnej, zrównoważonego wykorzystania paliwa lotniczego (SAF) i kompensacji emisji dwutlenku węgla.

W latach 2005–2019 przemysł lotniczy poprawił efektywność paliwową, jednak bezwzględny wzrost emisji jest zdecydowanie większy niż przyrost

wydajności. Osiągnięcie dekarbonizacji w opłacalny sposób wymaga przejrzystości i możliwości dostosowania w zakresie szerokiego zakresu środków ograniczających emisję dwutlenku węgla, a także wyraźnego skupienia się na inicjatywach krótkoterminowych i długoterminowych. Wiele firm w całym lotniczym łańcuchu wartości wyznaczyło cele, które należy zrealizować w perspektywie długoterminowej, ale istnieją działania, które można i należy podjąć już dziś, aby zbliżyć się do osiągnięcia tych celów. Optymalnym rozpoczęciem jest wskazanie priorytetu poszczególnym działaniom, aby uzyskać największy wpływ i efektywną kosztowo ścieżkę do zerowej emisji netto.

Obecny stan dekarbonizacji lotnictwa

Przedpandemiczna emisja CO₂ pochodząca z sektora lotniczego stanowiła około 2,5 % całkowitych emisji na świecie. Sektor ten jest trudny do wprowadzenia szybkich i radykalnych zmian ze względu na wyjątkowe wymagania, np.: ograniczenia dotyczące zapotrzebowania na paliwo lotnicze dla obecnie użytkowanych samolotów, długie cykle innowacji, priorytetowe traktowanie bezpieczeństwa operacji lotniczych, a także dlatego, że kluczowe technologie, takie jak SAF, są stosunkowo kosztowne i nie zostały przyjęte na dużą skalę. Poza emisją CO₂ ze spalania paliwa, lotnictwo wpływa na klimat poprzez emisję tlenków azotu (NO_x), sadzy i pary wodnej, które między innymi tworzą smugi kondensacyjne. Według badań naukowców CO₂ emitowany przez spalaną podczas lotu naftę może pozostawać w górnych warstwach atmosfery od 50 do 100 lat, a NO_x przez kilka tygodni, destrukcyjnie wpływając na warstwę ozonową. Tym samym całkowite skutki dla lotnictwa mogą być w przybliżeniu dwa do czterech razy większe niż skutki emisji wyłącznie CO₂. Jednocześnie nauka na temat pozostałych skutków innych niż CO₂ znajduje się w fazie badań, dlatego większość linii lotniczych odnosi się wyłącznie do emisji czystego CO₂.



2. Transport lotniczy z wykorzystaniem zrównoważonych paliw

Źródło: opracowanie własne

Wiele zainteresowanych stron w łańcuchu wartości lotnictwa zobowiązało się do realizacji różnych celów w zakresie zrównoważonego rozwoju, w tym celów w zakresie: redukcji emisji, użytkowania SAF, inicjatyw obejmujących wynagradzanie członkostwa w koalicjach na rzecz działań w zakresie dekarbonizacji, zdefiniowanych m.in. w efekcie Porozumienia paryskiego.

Pomimo iż ambicje są jasne, podmioty sektora lotniczego są w dużym stopniu od siebie zależne tworząc łańcuch ogniw, także w odniesieniu do realizacji swoich zobowiązań w zakresie dekarbonizacji. Głównymi czynnikami wpływającymi na dekarbonizację dla przewoźników lotniczych jest efektywność użytkowanej floty w kontekście wykorzystywania paliw SAF. Z technologicznego punktu widzenia rozwój nowych ścieżek SAF o większym potencjale redukcji emisji, takich jak zaawansowane biopaliwa lub inne paliwa płynne, także pozostaje niepewny. Ścieżki biologiczne muszą zapewniać natychmiastową skalowalność w zakresie dostępności i gromadzenia surowców, a to wymaga bezpośredniego dostępu do dużych ilości energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Pozostają także inne niepewności w odniesieniu do postępu, jak np. nowa technologia napędowa czy zaawansowana analityka na potrzeby planowania lotu.

Dodatkowym elementem są tworzone przepisy prawa. Z regulacyjnego punktu widzenia podmioty działające w branży lotniczej będą zobowiązane dostosowywać się do kolejnych (cyklicznych) zmian regulacji. Poniekąd może to rekompensować wdrażanie regionalnych zachęt oraz kar, lub wdrożenie mechanizmu sprawiedliwej transformacji. Zgodnie z zapowiedziami, w latach 2021–2027 poczynione zostaną inwestycje o wartości co najmniej 100 miliardów euro, przy czym finansowanie będzie pochodzić z budżetu UE, współfinansowania przez państwa członkowskie, a także wkładów InvestEU i Europejskiego Banku Inwestycyjnego (EBI). Jednocześnie fundusze na rzecz innowacji i modernizacji, które nie stanowią części budżetu UE, ale są finansowane z części dochodów pochodzących z kluczowego narzędzia polityki tj. sprzedaży na aukcji uprawnień do emisji dwutlenku węgla w ramach unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji, zapewnią około 25 miliardów euro na rzecz przejścia UE na neutralność klimatyczną, ze szczególnym uwzględnieniem państw członkowskich o niższych dochodach w przypadku funduszu modernizacyjnego.

Warto także zauważyć, że inne gałęzie przemysłu, takie jak transport morski i drogowy, które pozyskują te same zrównoważone surowce pali-

wowe, również wpływają na sektor lotniczy. Owa konkurencja wpływa na równowagę podaży i popytu na SAF, a tym samym na ich cenę rynkową - zwłaszcza w miarę ewolucji systemów regulacyjnych i skłonności klientów do płacenia. Wiele wysiłków na rzecz dekarbonizacji wymaga również inwestycji o dłuższych terminach realizacji, które nie są zgodne z tradycyjnymi rocznymi cyklami planowania biznesowego linii lotniczych i jako takie wymagają innego spojrzenia na zyski ekonomiczne i środowiskowe. Pomimo, iż po trudnym okresie pandemii wiele linii lotniczych wykazało dobre wyniki finansowe w 2022 roku, perspektywy pozostają niepewne. Branża powraca do poziomów przepustowości sprzed pandemii Covid-19, co zmusza tradycyjne linie lotnicze do ograniczania bardziej ryzykownych inwestycji pomimo ich potencjalnego zysku. Te czynniki mają wpływ na działalność pozostałych (współtowarzyszących) przedsiębiorstw w całym ekosystemie lotniczym. Celem takiego postępowania jest sukcesywne wdrażanie licznych aktywności na rzecz dekarbonizacji w najbardziej opłacalny sposób, przy jednoczesnym zarządzaniu ryzykiem i niepewnością.

W miarę skracania harmonogramu osiągnięcia krótkoterminowych celów w zakresie emisji, podmioty lotnicze coraz częściej poszukują sposobów rekompensaty długiego czasu realizacji wielu inicjatyw dekarbonizacyjnych. Przykładem takiej aktywności jest zagwarantowanie wystarczającego dostępu do niedrogich samolotów napędzanych SAF, które zajmie kilka lat, a szybka wymiana floty linii lotniczych zależy od wieku i poziomu rezerwów



3. Projekt oznaczenia silnika samolotu komercyjnego informujący o wykorzystaniu paliwa SAF
Źródło: RR Robb Report

obecnie użytkowanych samolotów, zdolności produkcyjnych producentów samolotów oraz leasingodawców. Na początek linie lotnicze mogą także ocenić koszty redukcji emisji dwutlenku węgla oraz potencjał wpływu, opracowując własną zależność krańcowych kosztów redukcji emisji. Taka ocena jest pomocna w porównywaniu i ustalaniu kolejności różnych środków dekarbonizacji, a jednocześnie umożliwia wprowadzanie dostosowań i aktualizacji. Dodatkowo ułatwia określenie najlepszych i najbardziej opłacalnych rozwiązań w perspektywie krótko-, średnio- i długookresowej. Działania związane z dekarbonizacją w liniach lotniczych można zakwalifikować do trzech kategorii, wskazując trzy obszary:

1. środki operacyjne (w tym zarządzanie ruchem lotniczym),
2. wymiana floty
3. SAF.

Środki operacyjne zwiększające efektywność często wiążą się z ujemnymi lub niskimi kosztami (ze względu na powiązane oszczędności paliwa), niemniej ich wpływ jest ograniczony. Linie lotnicze mogą stosunkowo łatwo egzekwować inicjatywy pozostające pod ich kontrolą, takie jak np. wprowadzanie programów motywacyjnych dla pilotów, aby latali i kołowali w sposób bardziej oszczędny pod względem zużycia paliwa lub narzucali bardziej rygorystyczne limity masy samolotów w celu zmniejszenia zapotrzebowania na paliwo. Odważniejsze posunięcia np. ograniczenie lotów na bardzo długich dystansach, usunięcie części lub eliminacja cateringu w lotach na krótkich dystansach lub zagęszczenie kabin w celu uwzględnienia większej liczby miejsc, mogą jednak wpłynąć na komfort podróży pasażerów.

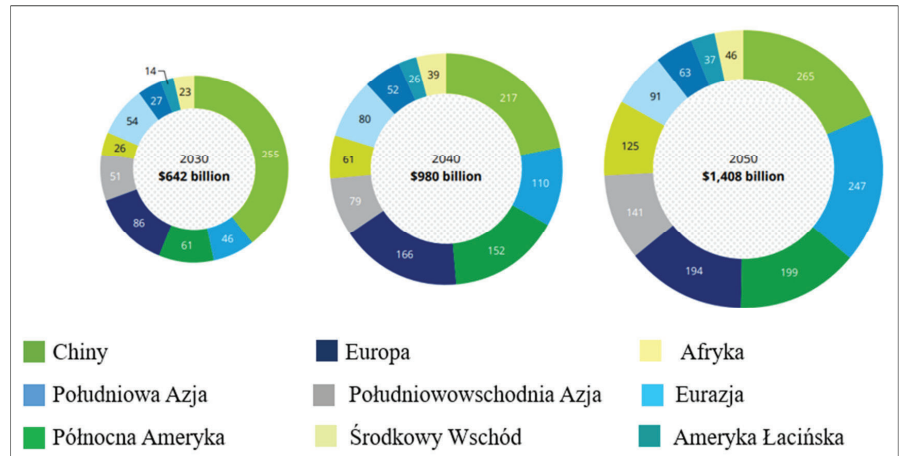
Optymalizacja wykorzystania przestrzeni powietrznej na rzecz efektywności zależy od współpracy kilku zainteresowanych stron. Program Jednolitej Europejskiej Przestrzeni Powietrznej, w którego skład wchodzi państwa UE, ma na celu modernizację infrastruktury kontroli ruchu lotniczego dla ograniczenia emisji nawet o 10 procent. Jednocześnie rzeczywiste oszczędności w

zakresie emisji CO₂ linii lotniczej zależą od jej ekspozycji na daną przestrzeń powietrzną w której najczęściej operuje a redukcja emisji nie gwarantuje uzyskania poziomu niższego o 10 procent.

1. Przyspieszone przenoszenie (wymiana) floty może wiązać się z ujemnymi krańcowymi kosztami redukcji emisji, szczególnie przy uwzględnieniu wpływu działań regulacyjnych (podatki, limity środowiskowe). W zależności od stanu floty linii lotniczej ewolucyjne przejście na już dostępne typy samolotów zapewnią potencjał dekarbonizacji wynoszący od 15 do 20 procent. Oczekuje się, że samoloty nowej generacji, takie jak Airbus A320neo czy maszyny rodziny Boeing 777-X, w ciągu najbliższych dziesięciu lat zastąpią znaczną część samolotów starszej generacji. W dłuższej perspektywie zarówno producenci, jak i linie lotnicze mogłyby odnieść korzyści z przejścia na bardziej oszczędne samoloty i dostosować swoje ceny, aby odzwierciedlały większą efektywność paliwową.
2. SAF czyli zrównoważone paliwa lotnicze, stanowią zdecydowanie najbardziej wpływową inicjatywę dla skutecznej dekarbonizacji. Skutki finansowe dla linii lotniczych wobec potencjału wytwarzania SAF różnią się w zależności od finansowania ich rozwoju w poszczególnych państwach UE. Powszechne stosowanie SAF stało się rzeczywistą alternatywą dla paliw konwencjonalnych, jednak niezbędne jest zapewnienie wspierania wyłącznie takich paliw i surowców, które nie mają negatywnego wpływu na dostawy żywności i ekosystemy, przy zastosowaniu solidnego systemu certyfikacji zrównoważonego rozwoju. Ważna jest dostępność biomasy jako surowca oraz unikanie wszelkich potencjalnych zmian w użytkowaniu gruntów oraz spełnienie wymogów w zakresie norm technicznych tj. norm specyfikacji paliw spełniających wymogi bezpieczeństwa i użyteczności dla

samolotów już eksploatowanych oraz samolotów przyszłej generacji. Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) jako europejski organ nadzoru lotniczego uczestniczy w procesie zatwierdzania SAF, zapewniając spełnianie związanych z tym norm zdatności do lotu. Ponadto Komisja Europejska przewidziała bardziej aktywną rolę dla EASA w kontekście przepisów ReFuelEU Aviation mających na celu zwiększenie zarówno podaży, jak i popytu na SAF, zgodnie z propozycją zawartą w pakiecie „Gotowi na 55”. W Polsce działania na rzecz produkcji SAF, zdają się pozostawać w sferze planów. Informacje publikowane przez główny polski koncern paliwowy PKN ORLEN wskazują, że e-paliwa produkowane są poprzez syntezę chemiczną wodoru, wytworzonego w procesie elektrolizy zasilanej odnawialną energią elektryczną i dwutlenku węgla, który może być wychwytywany ze źródeł przemysłowych (pochodzenia kopalnego albo biogenicznego lub bezpośrednio z powietrza). Z założenia paliwa syntetyczne mają zredukować emisję gazów cieplarnianych, przy czym największy potencjał w zakresie ilości unikniętych emisji tego typu posiada stosowanie bioCO₂ albo dwutlenku węgla wychwyconego bezpośrednio z powietrza, jako surowca do produkcji tych paliw. W Polsce dzięki realizowanej w Płocku instalacji uwodornienia olejów roślinnych PKN ORLEN od 2025 roku zamierza oferować liniom lotniczym niskoemisyjne zrównoważone paliwo lotnicze. Innowacyjny produkt ma być wytwarzany z posmażalniczych olejów spożywczych. Za bazę wyjściową do produkcji paliw przyjęto międzynarodowe standardy określone przez Joint Inspection Group (JIG), IATA Fuel Quality Pool (IFQP). Paliwo SAF pozwala na ograniczenie do 80 proc. emisji w całym cyklu życia w porównaniu z tradycyjnym paliwem lotniczym i jest odpowiednie

dla obecnie stosowanych silników odrzutowych. PKN ORLEN i PLL LOT podpisały porozumienie o współpracy przy wdrażaniu prośrodowiskowych rozwiązań pozwalających na spełnienie wymagań unijnego pakietu Fit for 55. Propozycje te będą przedstawiane i omawiane podczas planowanego w październiku br. spotkania z udziałem przedstawicieli zewnętrznych podmiotów zaangażowanych w proces produkcji, przechowywania, dystrybucji i kontroli jakości paliw lotniczych.



4. Szacowana wielkość rynku czystego wodoru w latach 2030 – 2050 (w mld dolarów rocznie)
Źródło: opracowanie własne na podst. analiz Deloitte w oparciu o model HyPE.

Wobec wszelkich porozumień i obietnic współpracy, kluczowym elementem pozostaje zharmonizowany krajobraz polityczny zapewniający równe szanse dla wszystkich - zarówno w odniesieniu do produkcji paliw jak i konieczności ich stosowania w państwach członkowskich UE. Ten aspekt w obliczu sytuacji geopolitycznej - zorientowania na działalność związaną z bezpieczeństwem militarnym w kontekście trwającej wojny rosyjsko-ukraińskiej i zaangażowania gospodarczego i finansowego UE w pomoc dla Ukrainy odsuwa Europejski Zielony Ład na dalszy plan. Tym samym podejście do dobrowolnych zobowiązań linii lotniczych oraz gotowości podróżnych do ponoszenia w cenach biletów lotniczych dodatkowych kosztów za dekarbonizację, może okazać się trudne do osiągnięcia. Koszty produkcji i harmonogram nowych technologii SAF oraz odpowiedzialności za przewodnictwo i finansowanie działań na rzecz procesu dekarbonizacji w UE w bieżącej sytuacji może być trudny do oszacowania oraz uzyskania kompromisu w tych kwestiach. Producenci paliw SAF będą musieli skalować różne technologie ich produkcji poza obecnie stosowane, z uwagi na ograniczoną dostępność surowców, takich jak np. oleje odpadowe. Dodatkowo nowe technologie, często znajdują się wciąż w fazie rozwoju, czyli wymagają finansowania, co wraz z kosztami kluczowych parametrów wejściowych: energii odnawialnej, czy ekologicznego wodoru, będą miały wpływ na koszty produkcji SAF.

Jednym z kluczowych elementów mających wpływ na powodzenie projektu dekarbonizacji w przemyśle lotniczym są zmiany przepisów prawa. Niezbędne są rozwiązania, które obejmą wszystkie podmioty lotnicze adekwatnie do pełnionych przez nie funkcji w łańcuchu sektora lotniczego. Rozwiązania muszą uwzględniać nie tylko docelowy stan osiągnięcia poziomu dekarbonizacji, ale przede wszystkim wytyczne i zasady działań w okresie przejściowym, jako decydującym o osiągnięciu końcowego efektu dekarbonizacji. Przejrzystość zasad, odpowiednia diagnoza rynku podmiotów lotniczych oraz wsparcie we wdrażaniu rozwiązań z pewnością przyczynia się do powodzenia procesu. Wskazanie organów dedykowanych i odpowiedzialnych za wdrażanie i nadzorowanie działań na rzecz dekarbonizacji na szczeblu państw członkowskich, to niezbędny krok umożliwiający rozpoczęcie efektywnej polityki zrównoważonego rozwoju branży lotniczej.

Ważne jest, aby rozpoznać pełny i przekrojowy wpływ wdrażanych przepisów. Wskazywanie jedynie obowiązków i nakazów np. zwiększenie oferowania SAF na europejskich lotniskach, czy bezwzględne egzekwowanie stosowania SAF przez linie lotnicze, bez racjonalnego dostosowania procesu wdrażania, zachęt w postaci ograniczania kosztów krańcowych dla linii lotniczych nie rozwiązuje problemu dekarbonizacji. W kontekście rozwoju przewoźników lotniczych (uruchamia-

nia nowych połączeń, wymiany floty, rozwijania baz w poszczególnych rejonach świata) aspekt kosztów związanych z procesem dekarbonizacji, w znaczącej mierze będzie przyczyniał się lub wręcz ograniczał potencjał przewoźników lotniczych. Jednocześnie w ramach wewnętrznych zależności rynku lotniczego oraz sektorów wspomagających, podatki węglowe, takie jak unijny system handlu uprawnieniami do emisji CO₂, wzmacniają zidentyfikowane działania. W miarę wzrostu prowadzenia działalności w tradycyjny sposób (bez rozwoju działań dekarbonizacyjnych) prowadzenie działalności lotniczej staje się droższe, natomiast implementacja strategii redukcji emisji powoduje zmniejszanie kosztów.

Dodatkowo dane konieczne do uwzględnienia w badaniach i symulacjach kosztów nie są statyczne, a co roku wyglądają inaczej. Chociaż potencjalne możliwości łagodzenia skutków dla sektora lotnictwa są stosunkowo dobrze znane, możliwości redukcji emisji i efektywne koszty dla linii lotniczych nie są dokładnie określone ilościowo i w dużej mierze wpływają na nie wiele niepewności na rynku.

Końcowym odbiorcą zachodzących zmian są podróżni. W ceny biletów lotniczych w kalkulowane są koszty ponoszone przez przewoźników. Badania rynkowe z 2023 roku wskazują, że 85 procent podróżnych na całym świecie jest skłonnych zapłacić co najmniej 2 procent więcej za bilety lotnicze neutralne pod względem emisji dwutlen-

ku węgla. Stanowi to znaczny wzrost w porównaniu z poprzednimi latami: w latach 2019 i 2021, kiedy aprobatę dla ponoszenia dodatkowych kosztów wykazało odpowiednio 46 i 39 procent podróżnych. Pomimo optymistycznych prognoz, należy pamiętać że rzeczywiste zachowanie konsumentów może się jednak różnić. Na podstawie innych badań z pozostałych rodzajów transportu dane wykazują, że tylko 14 procent podróżnych faktycznie płaci podczas podróży więcej za zrównoważone rozwiązania. Decyzje konsumentów są uzależnione nie tylko od czynników ekonomicznych, ale występuje również niedobór zrównoważonych opcji rezerwacji i niejasnych informacji związanych ze zrównoważonym rozwojem. W związku z tym podniesienie cen biletów może zmniejszyć popyt lub skłonić konsumentów do wyboru substytucyjnych środków transportu (kolei szybkich prędkości) tam gdzie są one dostępne. Pomimo występujących obaw, czołowi przewoźnicy są w stanie ograniczyć utratę klientów, zapewniając przejrzystość, rozdzielając produkty i oferując spersonalizowane, zrównoważone oferty w oparciu o wyraźną segmentację rynku podróżnych.

Oprócz uwzględnienia redukcji emisji CO₂ i kosztów niektórych działań, linie lotnicze mogą uwzględnić w procesie podejmowania decyzji dodatkowe źródła i kryteria, np. zastosowanie rozwiązań zmniejszających ciężar wyposażenia samolotu w celu zmniejszenia emisji CO₂ może mieć konsekwencje dla konkurencyjności linii lotniczej i doświadczenia jej klientów.

Podsumowanie

Konkluzją dla sprawnego prowadzenia procesu dekarbonizacji lotnictwa powinna być świadomość, iż większość inicjatyw będzie wymagać współpracy różnych podmiotów w branży. Producenci komponentów i części lotniczych do samolotów, porty lotnicze, agenci obsługi naziemnej, podmioty odpowiedzialne za organizację ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej, a także podmioty zajmujące się utylizacją. Wszystkie podmioty stanowią

elementy łańcucha dostaw i są zależne od linii lotniczych podejmujących działania mające na celu poprawę efektywności operacyjnej dla wykorzystania własnego potencjału dekarbonizacji. Podmioty te muszą współpracować z liniami lotniczymi w celu zagregowania zapotrzebowania na SAF. Niezbędne jest zaangażowanie i wsparcie w opracowaniu i testowaniu technologii napędu wodorowego. Dynamiczne i elastyczne podejście do dekarbonizacji pozwala zainteresowanym stronom uwzględniać zmiany na rynku i wyciągać konsekwencje z zewnętrznej niejednoznaczności. Po ustaleniu celów i priorytetów firmy rynku lotniczego mogą podjąć kroki, aby uczynić te cele bardziej dostępnymi. Kwestią podstawową pozostaje rozpoznanie nieodłącznej niepewności związanej z krajobrazem regulacyjnym, zachowaniami podróżnych, rozwojem technologii, dostępnością i cenami SAF oraz emisjami. Następnym krokiem jest opracowanie scenariuszy i określenie działań, które w krótkim okresie (od roku do trzech lat) nie będą drastycznie wpływać na efektywność kosztową czy utratę pasażerów. Przedsiębiorstwa lotnicze, które uwzględnią wysiłki na rzecz dekarbonizacji w swoich stałych cyklach planowania biznesowego, mogą zmniejszyć ryzyko zrównoważonej transformacji i osiągnąć zoptymalizowane koszty dekarbonizacji. Chociaż dekarbonizacja przemysłu lotniczego jest jednym z największych wyzwań, przed jakimi kiedykolwiek stanęła branża, odległe terminy realizacji niektórych inwestycji sprawiają, że firmy w całym lotniczym łańcuchu wartości muszą działać bardzo sprawnie, aby zapewnić sobie lepszą pozycję w przyszłości. Linie lotnicze zapewniające radykalną przejrzystość swoich opcji dekarbonizacji i zbadają partnerstwa z innymi uczestnikami łańcucha wartości w branży lotniczej, mogą określić przyszłość ekologicznego lotnictwa. ◀

Materiały źródłowe

[1] Europejski Zielony Ład, <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/>

[european-green-deal_pl](https://european-green-deal.pl)

- [2] H. Dzido, Europejska infrastruktura krytyczna, Wyd. SPATIUM, Radom, 2022
- [3] Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040, Załącznik do uchwały nr 149 Rady Ministrów z dnia 2 listopada 2021 r. (poz. 1138)
- [4] Porozumienie paryskie do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonej w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., przyjęte w Paryżu dnia 12 grudnia 2015 r., <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170000036>
- [5] The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans, 2020, <https://www.fch.europa.eu/publications/opportunities-hydrogen-energy-technologies-considering-national-energy-climate-plans>.
- [6] EUROCONTROL, "Press release - Inefficiency in the European air traffic management network," 8 grudnia 2020, <https://www.eurocontrol.int/press-release/inefficiency-european-atm-network-resultingadditional-fuel-burn> <https://www.easa.europa.eu/en>
- [7] H. Webber and S. Job, "Realising Zero-Carbon Emission Flight. Primary Energy Source Comparison and Selection,"
- [8] Ekologiczne paliwo ORLENU zasili samoloty LOT-u, <https://www.orlen.pl/pl/o-firmie/media/komunikaty-prasowe/2022/lipiec/Ekologiczne-paliwo-ORLENU-zasili-samoloty-LOT-u>
- [9] Dzido H., Analiza ryzyka w procesie zarządzania bezpieczeństwem, Przegląd Sił Zbrojnych Nr 4/2019, ISSN: 2353-1975
- [10] McKinsey, Decarbonizing aviation: Executing on net-zero goals, Report 2023
- [11] Shell, Cutting emissions from flying <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/decarbonising-aviation.htm>