



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Wodór - nowy nośnik w transporcie kolejowym

Wodór jest jednym z najważniejszych nowych nośników w transporcie kolejowym. Praktyczne wykorzystanie wodoru jako strategicznego nośnika energii na przykładzie sektora kolejowego. Perspektywy zastosowania technologii wodorowych w lotnictwie komunikacyjnym. Czy miejskie wyspy ciepła są zagrożeniem dla transportu lotniczego? Koncepcja włączenia miasta Karczew w sieć kolejową

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

„Przegląd Komunikacyjny” publikuje artykuły związane z szeroko rozumianym transportem oraz infrastrukturą transportu. Obejmuje to zagadnienia techniczne, ekonomiczne i prawne. Akceptowane są także materiały związane z geografią, historią i socjologią transportu.

Artykuły publikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” dzieli się na: „wnoszące wkład naukowy w dyscypliny: inżynieria lądowa i transport; ekonomia i finanse; nauki prawne; nauki socjologiczne. Prosimy Autorów o deklarację (w zgłoszeniu), do której dyscypliny zaliczyć ich prace.

Materiały do publikacji: zgłoszenie, artykuł oraz oświadczenie Autora, należy przesyłać w formie elektronicznej na adres redakcji:

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

W zgłoszeniu należy podać: imię i nazwisko autora, adres mailowy oraz adres do tradycyjnej korespondencji, miejsce zatrudnienia, zdjęcie, tytuł artykułu oraz streszczenie (po polsku i po angielsku) i słowa kluczowe (po polsku i po angielsku). Szczegóły przygotowania materiałów oraz wzory załączników dostępne są na stronie:

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

W celu usprawnienia i przyspieszenia procesu publikacji prosimy o zastosowanie się do poniższych wymagań dotyczących nadsyłanego materiału:

1. Tekst artykułu powinien być napisany w jednym z ogólnodostępnych programów (np. Microsoft Word). Wzory i opisy wzorów powinny być wkomponowane w tekst. Tabele należy zestawić po zakończeniu tekstu. Ilustracje (rysunki, fotografie, wykresy) najlepiej dołączyć jako oddzielne pliki. Można je także wstawić do pliku z tekstem po zakończeniu tekstu. Możliwe jest oznaczenie miejsc w tekście, w których autor sugeruje wstawienie stosownej ilustracji lub tabeli. Obowiązuje odrębna numeracja ilustracji (bez rozróżniania na rysunki, fotografie itp.) oraz tabel.
2. Całość materiału nie powinna przekraczać 12 stron w formacie Word (zalecane jest 8 stron). Do limitu stron wlicza się ilustracje załączane w odrębnych plikach (przy założeniu że 1 ilustracja = ½ strony).
3. Format tekstu powinien być jak najprostszy (nie stosować zróżnicowanych stylów, wcięć, podwójnych i wielokrotnych spacji itp.). Dopuszczalne jest pogrubienie, podkreślenie i oznaczenie kursywą istotnych części tekstu, a także indeksy górne i dolne. **Nie stosować przypisów.**
4. Nawiązania do pozycji zewnętrznych - cytaty (dotyczy również podpisów ilustracji i tabel) oznacza się numeracją w nawiasach kwadratowych [...]. Numerację należy zestawić na końcu artykułu (jako „Materiały źródłowe”). Zestawienie powinno być ułożone alfabetycznie.
5. Jeżeli Autor wykorzystuje materiały objęte nie swoim prawem autorskim, powinien uzyskać pisemną zgodę właściciela tych praw do publikacji (niezależnie od podania źródła). Kopie takiej zgody należy przesłać Redakcji.

Artykuły wnoszące wkład naukowy w dyscypliny: inżynieria lądowa i transport, inżynieria lądowa i transport; ekonomia i finanse; nauki prawne; nauki socjologiczne podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNIŚW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego oraz uwzględnić w ewaluacji jakości działalności naukowej (Dz.U. 2019 poz. 392).

Liczba uwzględnianych punktów wg listy czasopism punktowanych przez MNIŚW wynosi 20.

Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki. Zasady kwalifikowania lub odrzucenia publikacji i ewentualny formularz recenzencki są podane do publicznej wiadomości na stronie internetowej czasopisma lub w każdym numerze czasopisma. Nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji/numerów nie są ujawniane.

Przygotowany materiał powinien obrazować własny wkład badawczy autora. Redakcja wdrożyła procedurę zapobiegania zjawisku Ghostwriting (z „ghostwriting” mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie publikacji, bez ujawnienia swojego udziału jako jeden z autorów lub bez wymienienia jego roli w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji). Tekst i ilustracje muszą być oryginalne i niepublikowane w innych miejscach (w tym w internecie). Możliwe jest zamieszczanie artykułów, które ukazały się w materiałach konferencyjnych i podobnych (na prawach rękopisu) z zaznaczeniem tego faktu i po przystosowaniu do wymogów publikacyjnych „Przeglądu Komunikacyjnego”.

Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne wersje artykułów wraz ze streszczeniami w języku polskim (od 2010) i angielskim (od 2016) jako OPEN ACCESS. Pod koniec 2018 roku „Przegląd Komunikacyjny” rozpoczął indeksowanie artykułów angielskich z użyciem numerów cyfrowych DOI. Czasopismo ubiega się o partycypowanie w bazie SCOPUS. Rejestrowane jest w międzynarodowej bazie DOAJ <https://doaj.org/>.

Redakcja pisma oferuje objęcie patronatem medialnym konferencji, debat, seminariów itp.

Ceny są negocjowane indywidualnie w zależności od zakresu zlecenia. Możliwe są atrakcyjne upusty. Patronat obejmuje:

- ogłaszanie przedmiotowych inicjatyw na łamach pisma,
- zamieszczanie wybranych referatów / wystąpień po dostosowaniu ich do wymogów redakcyjnych,
- publikację informacji końcowych (podsumowania, apele, wnioski),
- kolportaż powyższych informacji do wskazanych adresatów.

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

Sponsor strategiczny zawiera umowę z wydawcą czasopisma na okres roku kalendarzowego z możliwością przedłużenia na kolejne lata. Uprawnienia wydawcy do zawierania umów posiada Spółka Wydawnictwa SITK RP sp. z o.o..

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

- zamieszczenie logo sponsora w każdym numerze,
- zamieszczenie reklamy sponsora w jednym, kilku lub we wszystkich numerach,
- publikacja jednego lub kilku artykułów sponsorowanych,
- publikacja innych materiałów dotyczących sponsora,
- zniżki przy zamówieniu prenumeraty czasopisma.

Możliwe jest także zamieszczenie materiałów od sponsora na stronie internetowej czasopisma.

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

Szczegółowy zakres świadczeń oraz detale techniczne (formaty, sposób i terminy przekazania) są uzgadniane indywidualnie.

Osoba kontaktowa w tej sprawie:

Hanna Szary

hanna.szary@sitkrp.org.pl

ul. Świętokrzyska 14 A, lok. 150, 00-050 Warszawa, tel.: (22) 336 12 06, 506 116 966

Cena za świadczenia na rzecz sponsora uzależniana jest od uzgodnionych szczegółów współpracy. Zapłata może być dokonana jednorazowo lub w kilku ratach (na przykład kwartalnych). Część zapłaty może być w formie zamówienia określonej liczby prenumerat czasopisma.





Na okładce: "Mireo Plus H - tor testowy Wegberg-Wildenrath"

Szanowni P.T. Czytelnicy

Przekazujemy kolejny numer *Przeгляdu Komunikacyjnego*, który jest poświęcony m.in. problemom wykorzystania paliwa wodorowego w pojazdach stosowanych w infrastrukturze transportowej. W pierwszym artykule Autor omawia jakie są plusy, a jakie – minusy taboru wodorowego w stosunku do baterijnego? Jakie są przewidywane koszty życia taboru wodorowego w stosunku do pojazdów z innym rodzajem napędu – bateryjnych, elektrycznych czy spalinowych? W kolejnym artykule Autor omawia i analizuje założenia polityki klimatycznej i energetycznej UE. Wskazuje także oraz opisuje stan i perspektywy polskiego sektora energetycznego w kontekście wykorzystania nowych źródeł energii. W publikacji znalazły się – poparte obliczeniami – argumenty za wykorzystaniem wodoru jako strategicznego źródła energii na przykładzie sektora kolejowego. Autor następnego artykułu udowadnia, że zastosowanie technologii wodorowych stanowi najskuteczniejszą drogę dla dekarbonizacji transportu dalekiego zasięgu – w tym lotnictwa komunikacyjnego. Dwa wiodące rozwiązania techniczne wprowadzające wodór do napędów cywilnych samolotów komunikacyjnych to ogniwa paliwowe i silniki turbośmigłowe lub turbowentylatorowe na paliwo wodorowe. Kilkanaście firm i ośrodków badawczych na całym świecie prowadzi prace służące wprowadzeniu do eksploatacji samolotów komunikacyjnych napędzanych wodorem już do 2035 r. W kolejnym artykule Autorzy podejmują próbę przybliżenia zagadnienia miejskiej wyspy ciepła (ang. urban heat island, UHI) i jej potencjalnemu wpływowi na transport lotniczy. Poruszono także aspekt wpływu wylądowań atmosferycznych oraz często towarzyszącym im nawalnym deszczem. Opisane zostały rozwiązania infrastrukturalne oraz proceduralne łagodzące negatywne skutki wpływu niesprzyjających warunków atmosferycznych. W ostatnim artykule Autorzy przedstawiają koncepcję włączenia miasta Karczew w sieć kolejową i utworzenia bezpośredniego połączenia kolejowego z Warszawą. W pierwszej części omawiają funkcjonowanie połączenia Karczewa z Warszawą na przestrzeni lat, następnie przedstawiają charakterystykę istniejących połączeń autobusowych i prezentują założenia dla nowej linii i warianty funkcjonalne. W dalszej części artykułu przedstawiono poszczególne warianty budowy linii. Przeanalizowano szanse i zagrożenia płynące z realizacji koncepcji. W podsumowaniu odniesiono się do zasadności nowej budowy linii kolejowej oraz wskazano kierunek dalszych prac studialnych. W numerze także przegląd prasy z zakresu transportu i infrastruktury transportowej.

Życząc naszym czytelnikom dobrej lektury.

Redaktor Naczelny

Prof. Antoni Szydło

W numerze

Wodór jest jednym z najważniejszych nowych nośników w transporcie kolejowym

Witold Gadoś 2

Praktyczne wykorzystanie wodoru jako strategicznego nośnika energii na przykładzie sektora kolejowego

Alan Beroud 4

Perspektywy zastosowania technologii wodorowych w lotnictwie komunikacyjnym

Jacek Nowicki 9

Czy miejskie wyspy ciepła są zagrożeniem dla transportu lotniczego?

Arkadiusz Bylica, Anton Pashkevich 14

Koncepcja włączenia miasta Karczew w sieć kolejową

Szymon Klemba, Adam Dąbrowski 21

Wydawca:

Wydawnictwa SITK RP sp. z o.o.
ul. Świętokrzyska 14 A, lok. 150, 00-050 Warszawa
www.sitkrp.org.pl
Wawrzyniec Wychowarski – Prezes Zarządu

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

Maciej Kruszyna (Z-ca Redaktora Naczelnego),
Agnieszka Kuniczuk - Trzciniowicz (Redaktor językowy),
Piotr Mackiewicz (Sekretarz), Wojciech Puła (Redaktor
statystyczny), Eryk Mączka (obsługa techniczna, strona
internetowa), Krzysztof Gasz, Jarosław Kuźniewski, Łukasz
Skotnicki, Bartłomiej Krawczyk, Igor Gisterek, Karina
Korycka (obsługa anglojęzyczna)

Adres redakcji do korespondencji:

Poczta elektroniczna:
redakcja@przeгляд.komunikacyjny.pwr.wroc.pl
Poczta „tradycyjna”:
Piotr Mackiewicz, Maciej Kruszyna
Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Faks: 71 320 45 39

Rada naukowa:

Marek Ciesielski (Poznań), Antanas Klibavičius (Wilno),
Jozef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa),
Andrzej S. Nowak (Auburn University), Tomasz Nowakowski (Wrocław),
Victor V. Rybkin (Dniepropetrovsk), Marek Sitarz (Katowice),
Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus),
Tomasz Siwowski (Rzeszów), Jiri Straský (Brno),
Andrea Zuzulova (Bratysława)

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

Główną wersją czasopisma jest wersja elektroniczna.
Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne
wersje artykułów wraz ze streszczeniami w języku polskim
(od 2010) i angielskim (od 2016).

Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania zmian w
materiałach nie podlegających recenzji.

Artykuły opublikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym”
są dostępne w bazach danych 20 bibliotek technicznych
oraz są indeksowane w bazach:

BAZTECH: <http://baztech.icm.edu.pl>
Index Copernicus: <http://indexcopernicus.com>
Międzynarodowa baza DOAJ <https://doaj.org/>

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

<http://www.transportation.overview.pwr.edu.pl>

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi
począwszy od 4/2010.

Numer archiwalne z lat 2004-2009 można zamawiać
w Oddziale krakowskim SITK, ul. Siostrzana 11, 30-804 Kra-
ków, tel./faks 12 658 93 74, mrowinska@sitk.org.pl

Druk:

Grupa Intromax Sp. z o.o, ul. Biskupińska 21, 30-732
Kraków, <http://www.intromax.com.pl/>

Reklama:

Dział Marketingu:
hanna.szary@sitkrp.org.pl,
elzbieta.nowicka@sitkrp.com,
roman.goralski@sitkrp.com

Nakład: 800 egz.

Wodór jest jednym z najważniejszych nowych nośników w transporcie kolejowym



Witold Gadoś

*Dyrektor sprzedaży taboru
w polskim oddziale Siemens
Mobility*

Na czym polega kompleksowość oferty Siemensu związanej z taborem wodorowym?

Przede wszystkim oferowaną przez nas rodzinę pojazdów Mireo opracowaliśmy z myślą o niskim zużyciu energii, a przez to – jak najniższym koszcie utrzymania i użytkowania. Aby to osiągnąć, zoptymalizowaliśmy pojazd pod kątem ograniczenia konsumpcji energii. Pojazdy są lekkie, co obniża ilość energii potrzebną do ich rozpędzenia i zatrzymania.

Platforma Mireo jest więc doskonałą podstawą do wykorzystania napędów ekologicznych. Podstawową wersją są EZT zasilane z sieci trakcyjnej, ale dla linii niezelektryfikowanych przygotowaliśmy wersje z pakietami akumulatorów i z modułami wykorzystującymi energię wodorową. De facto, wbrew powszechnemu mniemaniu, nie jest to paliwo wodorowe, ale nośnik energii oparty na wodorze. Podeszliśmy zatem do zadania bardzo szeroko – napęd wodorowy nie jest jedynie dodatkiem do istniejącego wcześniej produktu.

Jakie są plusy, a jakie – minusy taboru wodorowego w stosunku do baterijnego?

Pojazd z zasobnikami wodoru może przejechać ok 800-1000 km, podczas gdy baterijny ma zasięg kilka razy mniejszy. Wiele zależy jednak od ukształtowania terenu, liczby zatrzymań i prędkości na konkretnej trasie. Każda technologia ma swoje ograniczenia. W przypadku wodoru bariera

jego wprowadzenia jest coraz niższa – obniża się koszt tego nośnika energii a dostępność jest coraz większa. Ze względu na coraz większe zainteresowanie wprowadzaniem alternatywnych nośników energii z pewnością technologia będzie się rozwijać coraz szybciej, a ceny wodoru – spadać.

Dziś koszty energii pochodzącej z wodoru przy wykorzystaniu w pojazdach trakcyjnych typu EZT są już zbliżone do tej z oleju napędowego w pojazdach DZT ze względu na większą wydajność energetyczną tych pierwszych – koszty coraz szybciej będą się zrównywać. Im więcej będzie producentów, im więcej środków na rozwój technologii – tym szybciej będzie zachodził ten proces. Być może zrównanie zajmie nawet mniej niż 5 lat: duże źródła energii ekologicznej w Polsce – morskie farmy wiatrowe na Bałtyku – mają powstać już za 4 lata.

Powstawanie wodoru jest ściśle związane ze źródłami energii elektrycznej – zwłaszcza odnawialnymi. Wodór do takich celów produkujemy na ogół z wykorzystaniem energii „odpadowej”, czyli prądu, którego nie można wykorzystać w sposób bezpośredni – np. właśnie z morskich farm wiatrowych. System energetyczny nie zawsze jest gotów wchłonąć energię akurat wtedy, gdy wieje wiatr – np. w nocy. Można magazynować ją w elektrowniach szczytowo-pompowych lub w innego rodzaju „magazynach”. Jednym z nich jest właśnie wodór. Uważam, że rynek i system wodorowy będzie się rozwijał. Jako kraj mamy szansę wziąć udział w tym wyścigu technologicznym i zająć dobre miejsce. Powinniśmy myśleć o całym sys-

temie energetycznym, którego pociąg jest tylko jednym z elementów.

Jakich regulacji prawnych potrzeba, by mogły zacząć powstawać stacje tankowania wodoru?

Związanych z tym zagadnień jest wiele. Musimy uzupełnić prawo regulujące obrót paliwami o pakiet regulacji związanych z wodorowym nośnikiem energii. Chodzi o systemy składowania, dystrybucji, kontroli bezpieczeństwa i jakości. Podmiot produkujący wodór musi przygotować go zgodnie z pakietem norm, by paliwo miało odpowiednią jakość i czystość. Również przewoźnik i dystrybutor nie może dopuścić do jego zanieczyszczenia. Użytkownicy muszą korzystać z wodoru zgodnie z przeznaczeniem. Muszą też powstać procedury sprawdzania bezpieczeństwa. Nie powinniśmy jednak aż tak mocno obawiać się tych zmian – wodór od lat jest powszechnie wykorzystywany w przemyśle w Polsce na dużą skalę. Nasz kraj jest dużym producentem wodoru, mamy wielu specjalistów, a stosowne przepisy przemysłowe już istnieją. Teraz musimy rozszerzyć stosowanie tych praktyk.

Czy stacje wodorowe dla pojazdów szynowych mogą obsługiwać jednocześnie np. autobusy (lub samochody osobowe)?

Technicznie wydaje się to możliwe. Prawdopodobnie będzie to związane z konkretnymi zastosowaniami i możliwościami. Tabor szynowy potrzebuje znacznie więcej paliwa, niż autobusy,

ciężarówki czy samochody. Dla przyczółku – dwuczłonowy EZT ma zbiorniki o pojemności ok. 230 kg wodoru, stacja zaś musi obsłużyć kilka lub kilkanaście takich pojazdów w ciągu dnia. Chodzi o efekt skali. Mimo to myślę, że pierwsze stacje, które powstaną, będą wielofunkcyjne – obsłużą także autobusy i samochody ciężarowe. Co do osobowych – już powstają dla nich mniejsze stacje, dostępne w łatwiejszych punktach, także ze względów bezpieczeństwa. Pierwsza stacja z wodorem obsługująca autobusy już działa w Polsce w Koninie.

Ile lat może potrwać upowszechnienie się taboru wodorowego w Polsce? Jakie przeszkody muszą jeszcze zostać pokonane?

Tabor wodorowy powinien być projektowany tak, by zastąpił w przyszłości pojazdy spalinowe, dla których będzie naturalnym następcą. W ciągu 10-15 lat udział taboru wodorowego powinien stać się zauważalny. UE promuje „zielone” technologie – wodór jest tu jednym z najważniejszych nowych nośników. W połączeniu z planami ograniczenia zużycia węgla wodór plany te mogą nawet przyspieszyć. Powinniśmy tylko przyspieszyć realizację wdrożenia tej technologii w naszym kraju.

Jaka jest szansa na pojawienie się wodorowego pociągu Siemens w Polsce?

Obecnie rozwijamy kilka dużych projektów wodorowych w Niemczech na

lata 2023-24 w trzech landach – Bawarii, Brandenburgii oraz Badenii. Nasz pojazd Mireo Plus H w maju 2022 r. wyjechał z naszej fabryki w Krefeld, we wrześniu można było się nim przejechać na torze testowym w Wildenrath oraz zobaczyć na żywo na targach InnoTrans w Berlinie. W 2023 r. przewidujemy zakończenie jazd testowych i uzyskanie finalnej homologacji. Z początkiem roku 2024 będą te pojazdy w ruchu regionalnym z pasażerami.

W przyszłości taki pociąg może pojawić się także w Polsce – nie tylko jako najnowocześniejszy pojazd wodorowy na rynku, ale jako kompleksowa usługa obejmująca tabor i serwis oraz cały system wytwarzania, magazynowania i przesyłania „zielonego” wodoru wraz ze wsparciem finansowania takich inwestycji

Inne kraje przygotowują się do wdrożenia wodoru na znacznie większą skalę. Wynika to m. in. z potencjału ekonomicznego, a także z faktu, że w Europie nadal ok. połowy linii kolejowych (znacznie więcej, niż w Polsce) to trasy niezelektryfikowane. W Wielkiej Brytanii, Holandii czy państwach skandynawskich takie programy są bardzo mocno rozwijane. Również tam prowadzimy rozmowy i prezentujemy nasze rozwiązania.

Czy tabor wodorowy sprawdzi się tylko w ruchu lokalnym i regionalnym, czy też można spodziewać się prób opracowania wodorowych pojazdów dalekobieżnych?

Charakter pracy pojazdów regionalnych – szybkie rozpędzanie i częste

hamowanie pojazdu o dość niskiej masie – dobrze zbiega się z możliwościami technologicznymi. Pojazd wodorowy ma tu takie same właściwości trakcyjne, jak elektryczny. Ilość energii możliwej do zabrania na pokład wciąż jest jednak niewystarczająca dla pojazdów międzymiastowych czy towarowych. Trzeba będzie na to poczekać jeszcze kilka lat. W rozwój technologii inwestuje się jednak coraz większe środki, co daje nadzieję na opracowanie odpowiednich do tego celu rozwiązań.

Nadal istnieją ograniczenia technologiczne. Nie ma np. lokomotyw prowadzących ciężkie pociągi – na ich pokład trzeba byłoby zabierać znacznie więcej energii. Dostępne dziś rozwiązania (sprężanie gazu) na to nie pozwalają.

Jak długi będzie zakładany cykl życia pojazdów wodorowych Siemens?

Projektujemy nasze pociągi na ok. 30 lat – podobnie jak EZT. Naprawa P5 powinna być wykonywana po ok. 16 latach, ale zgodnie z planem utrzymania – system napraw pojazdu powinien być cyklem ciągłym: pojazdy powinno się obsługiwać cyklicznie, ale krótko. Pozwoli to zmaksymalizować dostępność pojazdu.

Jakie są przewidywane koszty życia taboru wodorowego w stosunku do pojazdów z innym rodzajem napędu – bateryjnych, elektrycznych czy spalinowych?

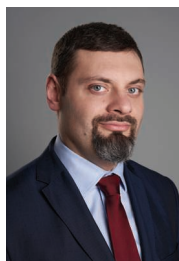
Nie będą znacząco się różniły. Elementy napędu dobrano tak, by były zgodne z pozostałymi elementami pojazdu – także co do cyklu ich życia.

Również pod względem procesu utrzymania różnice w stosunku do jednostek z innym rodzajem napędu będą niewielkie. Pojazdy spalinowe wymagają jednak częstych prac obsługowych przy samym silniku – regulacja, wymiana olejów i filtrów etc. Napęd wodorowy pozwoli wyeliminować te czynności – choć oczywiście każde urządzenie wymaga obsługi. ◀



Praktyczne wykorzystanie wodoru jako strategicznego nośnika energii na przykładzie sektora kolejowego

Practical use of hydrogen as a strategic energy carrier on the example of the railway sector



Alan Beroud

Mgr inż.

Szybka Kolej Miejska sp. z o.o.

Streszczenie: W artykule autor omawia i analizuje założenia polityki klimatycznej i energetycznej UE. Wskazuje także oraz opisuje stan i perspektywy polskiego sektora energetycznego w kontekście wykorzystania nowych źródeł energii. W publikacji znalazły się - poparte obliczeniami - argumenty za wykorzystaniem wodoru jako strategicznego źródła energii na przykładzie sektora kolejowego.

Słowa kluczowe: Wodór; Energia; Kolej; UE

Abstract: In the article, the author submits and analyzes the assumptions of the EU climate and energy policy. He also indicates and describes the condition and prospects of the Polish energy sector in the context of the use of new energy sources. The publication includes - supported by calculations - arguments for the use of hydrogen as a strategic energy source on the example of the railway sector.

Keywords: Hydrogen; Energy; Railway, EU

Wprowadzenie

Kryzys energetyczny wywołany prowadzonymi przez Federację Rosyjską działaniami wymierzonymi we wspierające Ukrainę państwa UE uświadomił decydentom politycznym konieczność przyspieszenia procesu przechodzenia z paliw kopalnych na te, które można wytworzyć w sposób sztuczny. Ważnym przy tym jest przestrzeganie zasad dotyczących ochrony środowiska naturalnego. Połączenie obydwu tych zadań jest procesem trudnym, aczkolwiek już nie karkołomnym jak można było sądzić jeszcze dwie, trzy dekady temu. Obecnie największe nadzieje wiąże się z wodorem jako paliwem przyszłości. W przeciwieństwie do energii wiatrowej i słonecznej nie jest on bowiem uzależniony od sił przyrody, a więc skutek jego zastosowania zarówno sektor przemysłowy, jak i szeroko definiowany sektor usług mogą liczyć na stabilne, bezpieczne dostawy.

Sektor kolejowy można traktować

zarówno jako element sektora przemysłowego w części dotyczącej wytwarzania składów kolejowych, modernizacji, przeglądów, w końcu napraw jak również jako sektor usługowy, który umożliwia szybkie przemieszczanie się zarówno w wymiarze lokalnym, jak i szerszym krajowym i międzynarodowym. Szczególną rolę wodór może odegrać jako paliwo już nie przyszłości, ale czasów nam współczesnych, np. w kolejach miejskich, które obsługują wielkie aglomeracje i które siłą rzeczy obok metra stanowią o możliwościach i ograniczeniach miejskiego transportu definiowanego jako całość istotnego systemu funkcjonowania, nie tylko miejskiej, ale i pozamiejskiej społeczności. W Polsce istnieją dwie aglomeracje miejskie, w których wykorzystanie pomysłu szybkich kolei miejskich już odgrywa lub będzie odgrywać istotną rolę. Pierwszą jest aglomeracja warszawska, drugą aglomeracja śląska. W obydwu przypadkach mówimy o potencjalnych setkach tysięcy pasażerów

dziennie. Prace nad szybką koleją miejską trwają również w dynamicznie rozwijającej się aglomeracji krakowskiej, która stosunkowo szybko przekroczyła milion mieszkańców. Stąd też kwestia kosztów zużywanej energii, jak również stabilność dostaw stanowi kluczowy problem dla sektora kolejowego.

Założenia polityki klimatycznej i energetycznej UE

W związku z narastaniem kryzysu energetycznego oraz problemami związanymi z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego będącymi pochodną efektu cieplarnianego państwa UE rozpoczęły intensywne działania na rzecz procesu dekarbonizacji i przechodzenia na OZE. Należy przy tym jednak zauważyć, iż proces ten jest kosztochłonny i wymaga czasu. Stąd też w dalszym ciągu na terenie niektórych państw UE trwa wydobywanie węgla kamiennego oraz brunatnego. Część z państw wygasza produkcję tych surowców,

część ma zaś z tym poważne problemy, bowiem ich gospodarki są zbyt uzależnione od istotnego dla sektora energetycznego paliwa kopalnego. Niewątpliwie do tych państw należy Polska. Niemniej jednak członkostwo w UE daje nam możliwości uzyskania środków finansowych, które mogą w sposób wyraźny wspomóc proces przechodzenia na inne źródła zaopatrzenia w energię.

Obecnie państwa członkowskie UE, w tym również Polska na COP w Paryżu przyjęły liczne zobowiązania oraz cele wiążące się zarówno z prowadzoną w ramach Wspólnoty polityką energetyczną, jak również szeroko definiowaną klimatyczną. Wśród nich na uwagę zasługują:

- 95% redukcji emisji gazów cieplarnianych;
- zerowe emisje CO₂ netto;
- całkowita dekarbonizacja sektora elektroenergetycznego.

Płynący z paryskiego COP przekaz jest wzmocniony licznymi unormowaniami prawnymi przyjętymi przez kraje członkowskie, w analizowanym przez mnie obszarze badawczym. Szczególnie istotna w tym względzie jest AFID – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/EU przyjęta głosami eurodeputowanych 22 października 2014 roku. Obejmuje ona wdrożenie do gospodarczego krwioobrotu UE infrastruktury paliw alternatywnych, przy czym - co należy zauważyć - niestety nie zakłada istotnych zobowiązań w zakresie problemów związanych z wykorzystaniem wodoru. Szczególnie przy tym istotne byłoby nałożenie zobowią-

zań w zakresie procesu wdrażania w życie infrastruktury tankowania paliwa wodorowego. Innym kluczowym dokumentem jest RED II - Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 roku w zakresie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. W myśl treści dokumentu, aby umożliwić szybsze, stabilniejsze i wydajniejsze wprowadzanie nowych ekologicznych źródeł energii każde z państw członkowskich zostało zobligowane do wprowadzenia obowiązku dla firm dostarczających paliwo do 14% udziału energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu. Zadania związane z przyjętymi unormowaniami prawnymi zakładają, iż do 2030 roku problem ten zostanie ostatecznie rozwiązany. Istotne przy tym są gwarancje pochodzenia paliw co pozostaje w ścisłej korelacji z koniecznością zdynamizowania działań na rzecz ochrony środowiska naturalnego.

W celu obliczenia tak zwanego „udziału minimalnego” państwa członkowskie są zobligowane do uwzględnienia odnawialnych ciekłych i gazowych paliw transportowych pochodzenia niebiologicznego. Według wytycznych dzieje się tak i wtedy, gdy są one wygenerowane jako produkt stanowiący paliwowy sworzeń w produkcji finalnej paliw konwencjonalnych. Zdaniem autora gwarancje pochodzenia powinny zostać znacznie rozszerzone również o gaz ze źródeł odnawialnych.

System gwarancyjny w omawianym obszarze powinien również obejmować energię ze źródeł nieodnawialnych. Gwarancje pochodzenia, które

są obecnie stosowane do odnawialnej energii elektrycznej, powinny zostać rozszerzone na gaz ze źródeł odnawialnych. Wskutek tak zdefiniowanej polityki energetycznej pojawiłaby się możliwość zastosowania gwarancji w odniesieniu do wodoru.

Rozwój polskiego sektora energetycznego w ramach wykorzystania nowych źródeł energii. Stan obecny, perspektywy

Problemem związanym z rozwojem polskiego systemu energetycznego jest opóźnienie we wprowadzaniu niezbędnych zmian. Od wielu lat wiadomym było, iż wyczerpują się nasze możliwości w zakresie produkcji węgla kamiennego oraz brunatnego, a wraz ze zmianami świadomościowymi mającymi miejsce w UE nastąpi przyspieszenie procesu dekarbonizacji oraz przechodzenia na OZE.

W zasadzie jedynie rząd premiera Jerzego Buzka miał w tym zakresie spójny plan, który powinien być kontynuowany przez kolejne ekipy władzy, bez względu na ich polityczne zapatrywania. Niestety obecnie stoimy przed wyzwaniami skumulowanymi w wyniku zaniechań ostatnich kilku lat, z którymi - wraz z upływem czasu - będzie coraz trudniej sobie poradzić bez wydatnej pomocy z zewnątrz, w domyśle z UE.

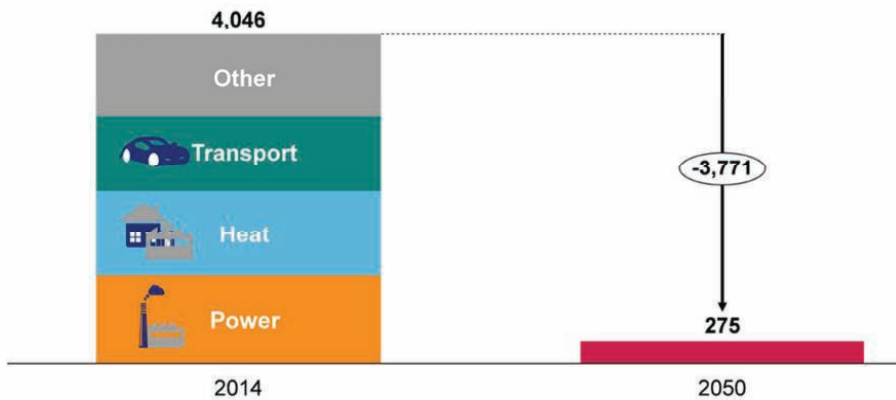
W perspektywie dwóch dekad jesteśmy zobligowani do rezygnacji z 20 tys. MW wytwarzanych w obecnej chwili w oparciu o węgiel kamienny oraz brunatny. Otwartym pozostaje pytanie czy zdążymy z budową elektrowni jądrowych, bowiem jak na razie projekty związane z sektorem atomowym pozostają w fazie prac wstępnych, nawet nie studyjnych.

Według autora niniejszej publikacji w bilansie energetycznym Polski powinno znaleźć się minimum jedno źródło energetyczne o mocy zbliżonej do tej którą dysponują bloki atomowe elektrowni jądrowej Kashiwazaki - Kariwa w Korei Południowej. Moc bloków koreańskiej elektrowni wynosi 7965 MW i opiera się na siedmiu bezpiecznych, bowiem wygenerowanych w oparciu o nowoczesne proekologiczne technologie reaktorach jądrowych. Ko-



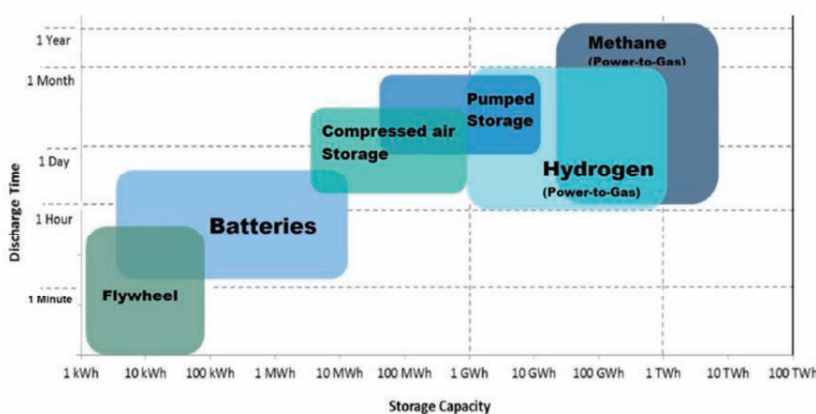
1. Strategiczne cele polityki klimatycznej oraz energetycznej UE [1]

FIGURE 1 – THE SCALE OF EUROPE'S DECARBONISATION PROBLEM (MtCO₂e)

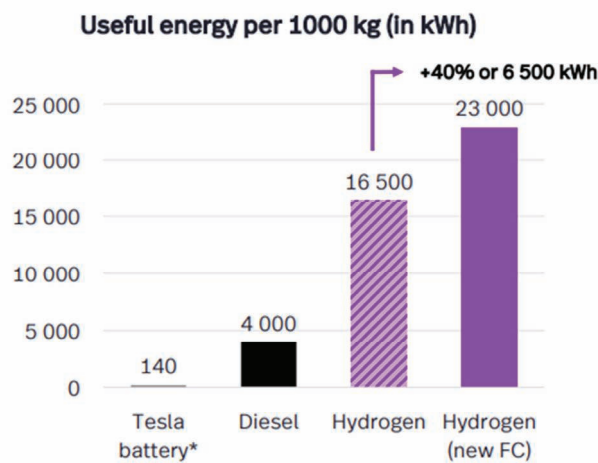


Source: 2016 National Inventory Submissions (Common Reporting Format) for EU, Norway and Switzerland.

2. Proces dekarbonizacji na przykładzie UE, Norwegii, Szwajcarii [3]



3. Cechy wodoru jako uniwersalnego paliwa XXI wieku [4]



4. Efektywność konwersji [6]

lejne 10 tys. MW powinno pochodzić ze źródeł gazowych zabezpieczonych odpowiednimi zdolnościami magazynowymi, które w efekcie końcowym wpływają na ocenę stabilności systemu energetycznego państwa. Zwiększenie mocy magazynowych państwa ma również sens w obliczu zwiększania możliwości skraplania LNG w terminalu w Świnoujściu, jak również w przypadku realizacji dalszej rozbudowy infrastruktury LNG w Polsce[2].

Pozostałe moce energetyczne państwo polskie powinno sukcesywnie zastępować OZE. Należy podkreślić, iż jest to zgodne z kierunkiem rozwoju europejskiego sektora energetycznego. Podstawowym problemem do rozwiązania w tym przypadku jest jednak kwestia magazynowania energii. Obecnie jedyną znaną technologią umożliwiającą realnie magazynowanie energii w skali niezbędnej do osiągnięcia strategicznych celów dekarboniza-

cji (TWh) jest ta opierająca się na wodrze.

Po przeanalizowaniu powyższych ilustracji oraz w oparciu o dostępne w tym względzie materiały źródłowe należy wyciągnąć co najmniej kilka istotnych wniosków przemawiających - zdaniem autora - w sposób jednoznaczny za wykorzystaniem wodoru. I tak, aby obecnie przy wykorzystaniu posiadanych technologii zmagazynować 10% rocznie zużywanej przez konsumenta indywidualnego i zinstytucjonalizowanego w naszym kraju energii elektrycznej, należałoby zainstalować akumulatory o łącznej wadze 160 mld ton, co świadczy o absurdalności walki z postępowaniem na rzecz utrzymania dotychczasowego status quo. Inną cechą wodoru przemawiającą za jego wykorzystaniem jest wysoka gęstość energetyczna tego gazu co powoduje, iż może on znaleźć skuteczne zastosowanie praktycznie we wszystkich środkach transportu. Należy przy tym pamiętać, iż im większy dystans i zapotrzebowanie na moc tym bardziej efektywne staje się wykorzystanie tego rodzaju gazu. W dodatku wykorzystanie wodoru w systemie tłoczenia gazu zwiększa możliwości magazynowe do 4,5 TWh. Kolejną kwestią przemawiającą za wykorzystaniem wodoru są stałe postępy w pracach na rzecz zwiększenia wydajności i stabilności systemu ogniwo-paliwowych. Wszystko to łącznie zdaje się generować lepszy, niż dziś obraz przyszłości pozbawionej w dużym stopniu paliw kopalnych [5].

Podsumowując powyższe rozważania tym razem w aspekcie ochrony środowiska naturalnego należy podkreślić, iż spalanie paliw kopalnych pozostaje nadal podstawowym źródłem emisji zanieczyszczeń. W skali globalnej ponad 75% emisji NO_x i SO₂, 70% emisji CO, ponad 75% emisji pyłów i ponad 90% emisji CO₂ pochodzi z procesów spalania węgla kamiennego, brunatnego, ropy naftowej i gazu ziemnego. Opracowana w ramach CAFE (Clean Air for Europe) Strategia Tematyczna Czystego Powietrza zakłada, iż na przestrzeni ośmiu lat, czyli do 2022 roku nastąpi poważna redukcja emisji związków chemicznych.

Tab. 1. Redukcja emisji wybranych związków chemicznych (CAFE)

SO ₂	82%
NO _x	60%
PM _{2,5}	59%

Źródło: Opracowanie własne

Pociąg z napędem wodorowym wobec pociągu z napięciem elektrycznym: porównanie analityczne

Mając na uwadze przytoczone wyżej dane, posilkując się dostępnymi prognozami można założyć, że wodór ma szansę stać się strategicznym nośnikiem energii w sektorze kolejowym. W przypadku pociągu o zasilaniu bezpośrednim eliminujemy bowiem straty przesyłowe energii oraz posiadamy wyższą sprawność procesu, wynikającą z braku wytwarzania paliwa w źródle centralnym. Ponadto wodór eliminuje konieczność inwestycji w system przesyłu energii zarówno centralnej, jak też trakcyjnej.

Porównując pociąg o zasilaniu elektrycznym z pociągiem napędzanym lokomotywą wodorową należy osadzić ten pierwszy w realiach polskich, czyli systemu w przeważającej mierze opartego na węglu. Poniżej zaprezentowano porównanie analityczne w tym zakresie z uwzględnieniem wyliczenia sprawności procesu.

Wzory i obliczenia:

$\eta_{el\ netto}$ – sprawność energii elektrycznej

$E_{ch\ pal}$ – energia chemiczna paliwa

$E_{el\ netto}$ – energia elektryczna netto

p – ilość zużytego paliwa

$E_{el\ zużyta}$ – energia zużyta przez pociąg

W_d – wartość opałowa zużytego paliwa

η_{in} – sprawność przesyłu energii elektrycznej

$$\eta_{el\ netto} = \frac{E_{el\ netto}}{E_{ch\ pal}} = \frac{E_{el\ netto}}{(E_{el\ zużyta} / \eta_{in}) / (p \times W_d)} = 41\%$$

$$\eta_{el\ netto} = \eta_k \times \eta_{tp} \times \eta_m \times \eta_g \times (1 - \Sigma) \times \eta_{ecr}$$

η_k – sprawność kotła

η_{tp} – sprawność wewnętrzna turbiny parowej

η_m – sprawność mechaniczna turbiny parowej

η_g – sprawność generatora

Σ – potrzeby własne źródła

η_{ecr} – sprawność energetyczna obiegu

Wartość opałowa węgla W_d [7] = 21,77 MJ/kg

Wskaźnik emisji 93,49 kg/GJ

1) Obliczenia dla pociągu Impuls 45WE użytkowanego przez SKM Warszawa. Przyjęto zużycie energii 760 kWh/100 km

$$E_{el\ zużyta} = 760 \text{ kWh} = 2736 \text{ MJ} = 2,736 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ kWh} = 1 \times 1000 \text{ W} \times 60 \times 60 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$E_{el\ netto} = E_{el\ zużyta} / \eta_{tp} = 2736 \text{ MJ} / 0,95 = 2880 \text{ MJ}$$

$$E_{ch\ pal} = E_{el\ netto} / \eta_{el\ netto} = 2880 \text{ MJ} / 0,41 = 7,024 \text{ MJ}$$

$$p = E_{ch\ pal} / W_{d\ węgla} = 7,024 \text{ MJ} / 21,77 \text{ MJ/kg} = 322 \text{ kg węgla} / 100 \text{ km}$$

$$E_{CO_2} = e_{CO_2} \times E_{ch\ pal} = 7,024 \text{ GJ} \times 93,49 \text{ kg/GJ} = 656,67 \text{ kg CO}_2$$

Przy założeniu ceny węgla z 2021 r. na poziomie 996,60 zł za tonę, czyli 0,997 zł za 1 kg, koszt paliwa niezbędnego do przejechania 100 km wynosi 321 zł.

2) Pociąg wodorowy typ Coradia ILint Alstom o zasięgu 800-1000 km, na dwóch zbiornikach wodoru po 90 kg każdy. Przyjęto zasięg 800 km.
 $m = (\text{zużycie wodoru}) / (100 \text{ km}) = (180 \text{ kg}) / (800 \text{ km}) \times 100 = 22,5 \text{ kg}$

Portal PV-Magazine [8] na podstawie wyliczeń i szacunków grupy europejskich naukowców pod przewodnictwem ETIP-PV przewiduje, że cena 1 kg wodoru w 2030 r. (horyzont inwestycji w nowy tabor) wyniesie 1,8 euro/kg.

W takim przypadku koszt paliwa do przejechania 100 km to 22,5 kg x 1,8 euro = 40,5 Euro x 4,65 zł = 188,325 zł.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę dziesięcioletni horyzont planowania inwestycji w tabor kolejowy, przy uwzględnieniu propo-

nowanej ceny wodoru oraz niewygórowanej ceny węgla z 2021 r., który obecnie jest znacznie droższy, a także mając na uwadze specyfikę polskiego sektora energetycznego i przyjęcie wersji danych technicznych producentów taboru należałoby uznać tabor wodorowy za wysoce konkurencyjny.

W przypadku porównania kosztów eksploatacji, które wynoszą 321 zł/100 km przy taborze elektrycznym do 188,325 zł przy taborze wodorowym, koszty tego drugiego są znacznie niższe.

Uzasadnione wydaje się gruntowne przeanalizowanie tematu w odniesieniu do lokomotyw o zasilaniu elektrycznym (koszt ok. 30 mln zł za elektryczny zespół trakcyjny) w porównaniu do kosztu zakupu lokomotyw wodorowych (ok. 45 mln zł, dane dla producenta ALSTOM). Dodatkowo należy zaznaczyć, że emisja CO₂ przy EZT konwencjonalnym to 656,67 kg CO₂, zaś przy napędzie wodorowym wynosi zero. Ponadto minimalizowane są koszty kolejowej infrastruktury energetycznej, co jest niewątpliwą zaletą od strony pozycji kosztowych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Prezentacja „Hydrogen as an alternative fuel”, 2nd Polish Conference on Hydrogen and Technology, Nexus Consultants; Gdynia 2018, slajd 2
- [2] PMG Swarzów (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 90 mln m³; PMG Strachocina (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 360 mln m³; PMG Brzeźnica (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 65 mln m³; PMG Husów (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 500 mln m³; PMG Wierzchowice (w wyeksploatowanym złożu gazu azotanowego) o pojemności ponad 1 200 mln m³; PMG Mogilno (w kawernach solnych) o pojemności 411,89 mln m³ (pierwsze 2 komory oddane do eksploatacji w 1997 roku); PMG Kosakowo (w kawer-

nach solnych) o pojemności 145,5 mln m³ (w 5 kawernach, ostatnia oddana do eksploatacji w 2016)

- [3] Prezentacja "Hydrogen as an alternative fuel"..., slajd 6
- [4] Tamże, slajd 8
- [5] Za twórcę systemu działania ogniwa wodorowych uważa się Christiana Friedricha Schönbeina. Ze swoim naukowym wynalazkiem podzielił się on z czytelnikami w styczniu 1839 roku na łamach „Philosophical Magazine” („Magazynu Filozoficznego”), z których większość stanowili przedstawiciele świata nauki. Na podstawie prac studyjnych tego niemiecko – szwajcarskiego chemika Walijczyk William Grove stworzył pierwsze działające ogniwo paliwowe. Prace nad ogniwami paliwowymi kontynuowano również w latach następnych. I tak w 1887 roku Walther Hermann Nernst sporządził opis

matematyczny działania ogniwa paliwowego (równanie Nersta). W 1958 roku amerykańscy oraz brytyjscy naukowcy wyprodukowali w oparciu o posiadaną wówczas w tej dziedzinie wiedzę ogniwa paliwowe służące spalaniu wodoru. Jak to często bywa z odkryciami naukowymi (wynalazkami) ogniwa te nie znalazły jednak praktycznego zastosowania. Wpływ na to ma bez wątpienia lobby paliwowe skupione wokół producentów paliw kopalnych, którzy niechętni byli wszelkiego rodzaju innowacjom zagrażającym ich interesom ekonomicznym. W latach 60. ubiegłego stulecia w USA zaczęto wykorzystywać ogniwa z membranami polimerowymi lub AFC jako źródło elektryczności oraz wody. Znalazły one swoje zastosowanie w projektach kosmicznych (Gemini 5, Apollo). Problemem pozostawały

koszty wykorzystywanych w produkcji ogniów paliwowych materiałów. Dalszy postęp technologiczny, który przypadł na dwie ostatnie dekady XX wieku przyczynił się do rozwiązania większości z omówionych wyżej wyzwań (między innymi wykorzystano membranę polimerową jako elektrolit, zmniejszono ilość palatyny używanej do produkcji ogniwa). Tym samym przyniosło to za sobą możliwości zastosowania ogniów paliwowych do celów komercyjnych.

- [6] Prezentacja "Hydrogen as an alternative fuel"...
- [7] Podana emisja CO₂ oraz Wd węgla za stroną internetową www.kobize.pl
- [8] Strona internetowa <https://globenergia.pl/koszt-produkcji-wodoru-z-wykorzystaniem-pv-spadnie-do-07-18-euro-kg-w-2030-roku/>

REKLAMA



RAILPROFILE 2D

LASEROWY POMIAR PROFILU KAŻEGO RODZAJU SZYN ORAZ ROZJAZDÓW

Urządzenie obsługiwane jest przez aplikację na telefonie z systemem Android™.

Railprofile 2D mierzy pełny profil główki szyny oraz wylicza parametry dotyczące obszaru szlifowania. Dostępna jest również funkcja związana z pomiarem rozjazdu lub jego elementów. Urządzenie prezentuje wynik pomiaru bezpośrednio na ekranie aplikacji.

Więcej informacji na www.graw.com



Perspektywy zastosowania technologii wodorowych w lotnictwie komunikacyjnym

Prospects for the use of hydrogen technologies in commercial civil aviation



Jacek Nowicki

Dr inż.

Sekretarz Generalny
Stowarzyszenia Elektryków
Polskich

Streszczenie: Zastosowanie technologii wodorowych stanowi najskuteczniejszą drogę dla dekarbonizacji transportu dalekiego zasięgu – w tym lotnictwa komunikacyjnego. Dwa wiodące rozwiązania techniczne wprowadzające wodór do napędów cywilnych samolotów komunikacyjnych to ogniwa paliwowe z silnikami elektrycznymi dla napędu śmigłowego oraz silniki turbośmigłowe lub turbowentylatorowe na paliwo wodorowe. Kilkanaście firm i ośrodków badawczych na całym świecie prowadzi prace służące wprowadzeniu do eksploatacji samolotów komunikacyjnych napędzanych wodorem już do 2035 r.

Słowa kluczowe: Lotnicze technologie wodorowe; Wodorowe napędy lotnicze; Lotnicze napędy elektryczne; Ogniwa paliwowe; Silniki turbośmigłowe; Silniki turbowentylatorowe

Abstract: The use of hydrogen technologies is the most effective way to decarbonise long-haul transport - including commercial aviation. Two leading technical solutions introducing hydrogen into the propulsion systems of civil airliners are the use of fuel cells generating electricity to power electric motors for propeller propulsion, as well as turboprop and turbojet/turbofan engines using hydrogen fuel. More than a dozen companies and research centers around the world are carrying out works aimed at introducing hydrogen-powered communication aircraft into operation by 2035.

Keywords: Aviation hydrogen technologies; Hydrogen aviation propulsion; Aviation electric propulsion; Fuel cells; Turboprop engines; Turbofan engines

Droga do bezemisyjnej, zdekarbonizowanej gospodarki przyszłości oparta ma być przede wszystkim na szybkim odejściu od węglowodorowych paliw kopalnych oraz na elektryfikacji większości dziedzin ludzkiej działalności. Działania te służące ochronie klimatu i środowiska naturalnego dotyczyć będą również wszystkich dziedzin transportu (bliisko- i dalekosiężnego): drogowego, kolejowego, wodnego i lotniczego. W wachlarzu już dostępnych i dopiero rozwijanych technologii poczesne miejsce zajmują rozwiązania wodorowe, wykorzystujące uzyskiwany w sposób ekologicznie czysty wodór „zielony” – wytwarzany w elektrolizerach zasilanych z odnawialnych źródeł energii lub „różowy” z elektrolizerów zasilanych przez energetykę jądrową.

Obecnie prowadzone są intensywne prace badawczo-rozwojowe, które w optymistycznym scenariuszu już przed końcem obecnej dekady pozwolą na wprowadzenie do eksploatacji samolotów komunikacyjnych napędzanych wodorem zamiast stosowanych dotąd paliw: nafty lotniczej (silniki turbowentylatorowe i turbośmigłowe) i benzyny wysokooktawowej (silniki tłokowe). Amerykańska firma McKinsey & Company zajmująca się doradztwem w zakresie zarządzania strategicznego prognozuje, że samoloty komunikacyjne napędzane wodorem wejdą na rynek pod koniec lat trzydziestych obecnego stulecia, a w 2050 r. przejmą one około jednej trzeciej światowych przewozów lotniczych.

Wodór w lotnictwie? – nic nowego pod słońcem...

Wodór towarzyszył narodzinom lotnictwa, pozwalając początkowo na zbudowanie aerostatów – statków powietrznych napełnionych gazem lżejszym od powietrza, unoszących się w powietrzu dzięki sile wyporu, o której mówi prawo Archimedesesa. Ponad dwa stulecia temu francuski wynalazca Jacques Charles skonstruował balon napełniony wodorem, który wzniósł się do pierwszego lotu w dniu 27 sierpnia 1783 roku w Paryżu. Balony wodorowe, nazywane od nazwiska swego twórcy „charlierami” znalazły szybko zastosowanie w wojsku do obserwacji i korygowania ognia artylerii. Na początku XX wieku pojawiły się sterowce – balony wyposażone

w napęd wykorzystujący silniki spalinowe. „Zeppelin” (nazywane tak od nazwiska niemieckiego konstruktora) przez trzy dekady ubiegłego wieku rozwijano i stosowano zarówno w lotnictwie wojskowym jak i cywilnym. Karierę wodorowych sterowców zakończyła katastrofa najsłynniejszego spośród nich: niemieckiego „Hindenburga” który po transatlantyckim locie eksplodował 6 maja 1937 r. podczas cumowania do stalowej wieży na lotnisku w Lakehurst w stanie New Jersey w USA.

Wodór rozpoczął swój powrót do lotnictwa dwadzieścia lat później – tym razem jednak jako paliwo. W 1957 r. Amerykanie przeprowadzili próby odpowiednio zmodyfikowanego samolotu wojskowego Martin B-57B, którego jeden z dwóch silników turbodrutowych typu Wright J65 mógł być przełączany w locie na zasilanie paliwem wodorowym zamiast naftą lotniczą. W pierwszej próbie czas pracy silnika zasilanego wodorem wyniósł 20 minut.

Technologie wodorowe dla napędów lotniczych

Istnieją dwa podstawowe rodzaje aplikacji wodoru do napędów lotniczych:

- silniki turbowentylatorowe, turbosmigłowe lub (znacznie rzadziej) tłokowe spalające sprężony / ciekły wodór zamiast nafty lot-

niczej lub benzyny w powietrzu atmosferycznym;

- silniki elektryczne (poruszające śmigła) zasilane energią elektryczną wytwarzaną w ogniwach paliwowych zasilanych sprężonym / ciekłym wodorem i powietrzem atmosferycznym.

Wodór ma niezwykle wysoką wartość opałową wynoszącą 119,9 MJ/kg (dla porównania: benzyna ok. 43 MJ/kg) i ciepło spalania wynoszące 141,9 MJ/kg. Parametr ten każe zatem uznać go za paliwo niemalże idealne [1]. Jednak gęstość energii niesprężonego, gazowego wodoru wynosi 10,05 kJ/litr przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym i temperaturze, w porównaniu z 31293 kJ/litr dla węglowodorowych paliw płynnych, a zatem jest ona aż 3114 razy niższa. Po sprężeniu do ciśnienia do 690 barów gęstość energii osiąga 4500 kJ/litr, czyli jest wciąż siedem razy mniejsza niż w przypadku klasycznych paliw płynnych. Ciekły wodór schłodzony do 20 K (minus 253 °C) ma gęstość energii 8491 kJ/litr, czyli już tylko 3,7 razy niższą niż paliwa płynne.

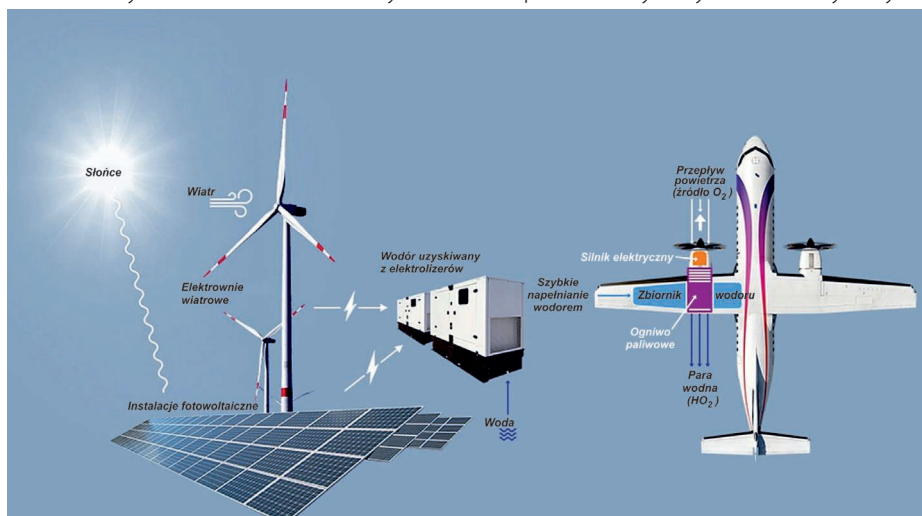
Jednym z poważniejszych problemów w konstrukcji samolotu wodorowego jest zatem zapewnienie w konstrukcji płatowca odpowiedniego miejsca do pomieszczenia zbiorników wodoru, których objętość musi być kilkakrotnie większa niż w przypadku paliw klasycznych. W klasycznych

rozwiązaniach współczesnych samolotów komunikacyjnych zbiorniki paliwa węglowodorowego umieszcza się wewnątrz skrzydeł. Dla samolotu wodorowego konieczne jest pomieszczenie znacznie większych zbiorników paliwa w kadłubie albo nadanie płatowcowi kształtu integrującego funkcje kadłuba i skrzydła (tzw. kadłub nośny). Dodatkowe wymaganie zwiększające objętość stanowi konieczność zapewnienia odpowiedniej izolacji cieplnej dla zbiorników kriogenicznych.

W przypadku spalania wodoru w powietrzu atmosferycznym w silniku turbinowym produktem spalania jest woda, choć istotnym zagrożeniem jest tu możliwość termicznego powstawania szkodliwych tlenków azotu poprzez mechanizm, który występuje także przy spalaniu węgla i paliw węglowodorowych. Produktem reakcji tlenu z wodorem w ogniwach paliwowych jest wyłącznie czysta woda – wytwarzana w nich energia elektryczna nie jest zatem obciążona szkodliwymi emisjami substancji szkodliwych.

Pionierskie prace w dziedzinie projektowania dużych samolotów komunikacyjnych z napędem wodorowym wykonała w 1975 r. amerykańska firma Lockheed na zamówienie centrum badawczego NASA w Langley. Projekt studialny obejmował samoloty komunikacyjne przeznaczone do przewozu 130 pasażerów na odległość do 2780 km, 200 pasażerów na odległość do 5560 km i 400 pasażerów na odległość do 9265 km [2].

Nieco ponad dekadę później w ZSRR zmodyfikowano trójsilnikowy samolot komunikacyjny Tupolew Tu-154 dostosowując jeden z jego silników do pracy na wodrze. Prototyp nazwany Tu-155 wykonał pierwszy lot próbny w dniu 15 kwietnia 1988 r. Załamanie się gospodarki radzieckiej pod koniec lat osiemdziesiątych spowodowało wstrzymanie dalszych prób.



1. Schemat bezemisyjnego wykorzystania paliwa wodorowego w lotnictwie komunikacyjnym w układzie napędowym samolotu do komunikacji regionalnej z ogniwami paliwowymi zasilającymi silniki elektryczne napędzające śmigła. Paliwo wodorowe uzyskiwane jest z elektrolizerów zasilanych „zielonym” wodorem ze źródeł odnawialnych: fotowoltaiki i elektrowni wiatrowych (rys. ZeroAvia)

Prototypy i testy w pierwszych dekadach XXI wieku

Wzmoczone zainteresowanie lotniczymi napędami wodorowymi powróciło pod koniec pierwszej dekady XXI stulecia. Zaczęły powstawać pierwsze prototypowe wodorowe systemy napędowe i napędzane nimi samoloty. Amerykańska firma Boeing zmodyfikowała mały dwumiejscowy samolot sportowy Diamond DA20 na napęd elektryczny zasilany ogniwami paliwowymi zaprojektowanymi i wyprodukowanymi przez przedsiębiorstwo Intelligent Energy. Samolot wykonał pierwszy lot próbny w dniu 3 kwietnia 2008 r.

Równolegle w Niemczech przystąpiono do prób samolotu Antares DLR-H2 wyposażonego w śmigłowy napęd elektryczny zasilany z ogniw paliwowych. Do pierwszego lotu wystartował on z lotniska w Hamburgu 7 lipca 2009 r. W listopadzie tegoż roku samolot wykonał lot na pułapie powyżej 2500 m nad poziomem morza służący wykazaniu sprawności pracy pokładowych ogniw paliwowych w warunkach obniżonego ciśnienia na tej wysokości. Układ napędowy samolotu został opracowany w Instytucie Termodynamiki Technicznej DLR w Stuttgarcie we współpracy z partne-

rem projektu Lange Aviation.

W 2010 r. firma Boeing zaprezentowała bezzałogowy samolot Phantom Eye z napędem wodorowym. Wysokościowy samolot rozpoznawczy przeznaczony do rozpoznania, obserwacji i wsparcia systemów łączności mógł utrzymywać się w powietrzu nawet przez cztery dni z ładunkiem użytecznym (aparaturą obserwacyjną i elektroniczną) o masie ok. 200 kg. Phantom Eye został wyposażony w zespół napędowy złożony z dwóch silników tłokowych o pojemności 2,3 dm³ każdy, napędzających czteropłatowe śmigła poprzez przekładnie redukcyjne. Zastosowano odpowiednio zmodyfikowane benzynowe silniki samochodowe, zastosowane pierwotnie w samochodzie Ford Fusion, które dostosowano do spalania wodoru. Zasilanie w niezbędny do spalania tlen z powietrza atmosferycznego zapewniały w locie na dużej wysokości (pułap do nawet 20 tysięcy metrów) wielostopniowe turbosprężarki.

Również w 2010 r. rozpoczęto próby w locie samolotu wodorowego Rapid 200FC powstałego w ramach projektu Politechniki Turyńskiej z Włoch finansowanego ze środków Unii Europejskiej. Wodór sprężony w zbiornikach do ciśnienia 350 bar dostarczany jest do ogniwa paliwowego

zasilającego silnik elektryczny o mocy znamionowej 40 kW. Dodatkowe źródło zasilania elektrycznego stanowi obok ogniwa paliwowego akumulator litowo-polimerowy.

Tymczasem Amerykanie kontynuowali rozwój wysokościowych samolotów rozpoznawczych przeznaczonych do długotrwałych lotów w stratosferze. 11 stycznia 2011 r. bezzałogowy samolot AeroVironment Global Observer wykonał swój pierwszy lot napędzany wodorowym układem napędowym z ogniwami paliwowymi zasilającymi cztery silniki elektryczne o wysokiej sprawności. Wcześniejsze loty testowe wykonano z wykorzystaniem zasilania z akumulatorów.

W 2016 r. w Niemieckim Centrum Badawczym Lotnictwa i Astronautyki DLR (niem. *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) rozpoczęto próby w locie samolotu doświadczalnego HY4 napędzanego silnikami elektrycznymi zasilanymi z ogniw paliwowych. Samolot został wyposażony w zbiornik zawierający 9 kg sprężonego wodoru, czterech ogniw paliwowych o mocy 11 kW każde i dwóch akumulatorów o pojemności 10 kWh każdy.

Cel: napęd wodorowy dla transportu lotniczego

Na początku bieżącego stulecia: w latach 2000 – 2002 przedsiębiorstwo Airbus będące europejskim liderem w dziedzinie lotnictwa komunikacyjnego przeprowadziło w ramach projektu nazwanego Cryoplane prace studialne przyszłych samolotów pasażerskich napędzanych silnikami turbowentylatorowymi na paliwo wodorowe obejmujące m.in. konfiguracje aerodynamiczne, instalacje pokładowe, zespół napędowy, infrastrukturę lotniskową, kwestie bezpieczeństwa, kompatybilność środowiskową i scenariusze wprowadzenia na rynek. Projekt ten był finansowany ze środków Unii Europejskiej. W jego ramach przeanalizowano następujące potencjalne konstrukcje: 12-miejscowy samolot dyspozycyjny o zasięgu 6500 km, samolot komunikacyjny dla linii regionalnych dla 44 pasażerów o



2. Trzy projekty koncepcyjne wodorowych samolotów komunikacyjnych Airbusa opracowane w ramach programu ZEROe, które mogą zostać wprowadzone do eksploatacji do 2035 r.: samolot turbośmigłowy krótkiego zasięgu dla 100 pasażerów, samolot z napędem turbowentylatorowym – średniego zasięgu dla 200 pasażerów i samolot o niekonwencjonalnej – futurystycznej konfiguracji aerodynamicznej bazującej na wykorzystaniu kadłuba nośnego łączącego cechy klasycznego kadłuba, skrzydeł i usterzenia (rys. Airbus)



3. Samolot-laboratorium na bazie przebudowanego Airbusa A380 będzie wykorzystywany do testów przyszłościowych wodorowych systemów napędowych dla lotnictwa komunikacyjnego (rys. Airbus)

zasięgu do 2800 km i dla 70 pasażerów o zasięgu do 3700 km, samolot średniego zasięgu dla 185 pasażerów o zasięgu do 7400 km) i samolot dalekiego zasięgu dla od 380 do 550 pasażerów o zasięgu do 15 700 km.

We wrześniu 2020 r. Airbus przedstawił trzy projekty koncepcyjne wodorowych samolotów komunikacyjnych opracowane w ramach programu ZEROe, które jak zapowiedziała firma mogą zostać wprowadzone do eksploatacji do 2035 r.: samolot turbośmigłowy krótkiego zasięgu dla 100 pasażerów, samolot z napędem turbowentylatorowym - średniego zasięgu dla 200 pasażerów i samolot o niekonwencjonalnej – futurystycznej konfiguracji aerodynamicznej bazującej na wykorzystaniu kadłuba nośnego łączącego cechy klasycznego kadłuba, skrzydeł i usterzenia [3]. Wszystkie trzy projekty firmy zakładają zastosowanie silników turbinowych zasilanych paliwem wodorowym.

W ubiegłym roku okazało się, że Airbus ma również plany wykorzystania w samolotach komunikacyjnych śmigłowych napędów elektrycznych zasilanych z ogniw paliwowych. 30 listopada 2022 r. podczas konferencji prasowej przedstawiciele Airbus ogłosili, że w ramach programu ZEROe pracują nad takim właśnie systemem napędu lotniczego i planują przetestować go na samolocie-hamowni – latającym laboratorium zbudowanym na bazie Airbusa A380 – największego samolotu komunikacyjnego, jaki

kiedykolwiek wzbił się w powietrze. Loty próbne z nowym silnikiem zaplanowano na rok 2026. Europejski concern spodziewa się, że nowy samolot będzie mógł wejść do eksploatacji do 2035 r. Jak stwierdził Mathias Andriamisaïna – szef programu testowego ZEROe, A380 jest bardzo stabilnym samolotem pod względem aerodynamiki i gondola z testowanym silnikiem umocowana do tylnej części kadłuba nie powinna przysparzać problemów pozwalając jednocześnie na wszechstronne sprawdzenie nowej jednostki napędowej. Wiceprezes działu Zero-Emission Aircraft Glenn Llewellyn stwierdził, że pomyślny program prób nowego silnika uturjuje drogę dla skonstruowania 100-miejscowego samolotu wodorowego o zasięgu 1600 km.

Podobne jak Airbus plany mają jednak i inni. W grudniu 2021 r. brytyjski Instytut Technologii Lotniczych (ATI – ang. *Aerospace Technology Institute*) zaprezentował swe studium badawcze nazwane „FlyZero” dotyczące przyszłej budowy dużego samolotu komunikacyjnego z miejscami dla 279 pasażerów, dalekiego zasięgu (5250 km) napędzanego silnikami turbowentylatorowymi zasilanymi ciekłym wodorem ze zbiorników kriogenicznych [4]. Prace badawczo-rozwojowe instytutu ATI intensywnie wspiera przemysł lotniczy a w szczególności firmy: Airbus, Rolls-Royce, GKN, Spirit, General Electric, Reaction Engines, Easyjet, NATS, Belcan, Eaton, Mott MacDonald i MTC.

W marcu 2022 roku zaprezentowano trzy koncepcje samolotów opracowanych w ramach programu „FlyZero”:

- Regionalny samolot pasażerski typu FZR-1E, 75-miejscowy, wyposażony w sześć silników elektrycznych zasilanych ogniwami paliwowymi. Ma on mieć wymiary porównywalne ze współczesnym samolotem do transportu regionalnego ATR 72, jednak ze średnicą kadłuba wynoszącą 3,5 m w porównaniu do 2,8 m dla zwiększenia objętości do pomieszczenia zbiorników wodoru. Samolot ma rozwijać prędkość przelotową ok. 601 km/h i zasięg 1480 km;
- Samolot pasażerski średniego zasięgu FZN-1E ma mieć zespół napędowy zainstalowany w tyle kadłuba. Będzie on złożony z 2 silników turbowentylatorowych spalających paliwo wodorowe. Przewidziano zastosowanie usterzenia w układzie T i dodatkowe usterzenie poziome w części dziobowej. Jego kadłub ma być dłuższy o 10 m niż w przypadku współczesnego Airbus A320neo. W tyle kadłuba poszerzonego w tym miejscu o około 1 m. Samolot ma być wyposażony w składane końcówki skrzydeł (dla zmieszczenia się w standardowej szerokości miejsc postojowych przy bramkach terminali dworców lotniczych). Prędkość przelotowa wynosić ma 830 km/h a zasięg 4400 km.
- Szerokokadłubowy samolot pasażerski dalekiego zasięgu typu FZM-1G będzie porównywalny ze współczesnym Boeingiem 767-200ER, przewożąc 279 pasażerów na dystansie 10 650 km. Jego kadłub ma mieć szerokość 6 m, a więc będzie zbliżony do średnicy kadłuba Airbusa A350 lub Boeinga 777. Rozpiętość skrzydeł wyniesie 52 m (171 stóp). Dwa wodorowe silniki turbowentylatorowe będą zainstalowane pod skrzydłami. Samolot ma mieścić się w standardowej szerokości dla postoju przy dworcach lotniczych. Zbiorniki wodoru mają być



4. Jedna z koncepcji samolotu wodorowego opracowana przez brytyjski Aerospace Technology Institute (rys. ATI)

umieszczone w kadłubie, przed skrzydłem. rozpiętość skrzydeł w granicach limitów miejsc postojowych przy terminalach, silniki pod skrzydłami i zbiorniki przed skrzydłem.

Szwedzka firma GKN Aerospace zainicjowała w 2021 r. program współpracy mający na celu opracowanie rozwiązań technicznych dla trzech ważnych podsystemów silnika do napędzania wodorem samolotów pasażerskich średniego zasięgu. Projekt H2Jet o wartości 2,8 miliona dolarów obejmuje grupę producentów systemów lotniczych współpracującą ze Szwedzką Agencją ds. Energii, Chalmers University of Technology, Lund University, KTH Royal Institute of Technology, University West, Research Institutes of Sweden (RISE) i Oxeon. Prace skupiają się na silnikach turbowentylatorowych i turbośmigłowych spalających wodór. Równolegle GKN Aerospace prowadzi prace nad programem H2Gear, w ramach którego prowadzone są prace nad układami napędowymi na ciekły wodór dla samolotów transportu regionalnego wykorzystujących ogniwa paliwowe.

Amerykański producent silników lotniczych Pratt & Whitney chce połączyć swoją konstrukcję odrzutowego silnika turbowentylatorowego PW1100G z rozwiązaniami opracowanymi w ramach projektu HySITE (ang. *Hydrogen Steam Injected, Inter-Cooled Turbine Engine*). Rozwiązanie to po-

zwala na uniknięcie emisji dwutlenku węgla, zredukowanie emisji tlenków azotu NOx o 80% i zmniejszenie zużycia paliwa o 35% w porównaniu z podstawowym wariantem silnika PW1100G, wykorzystywanego np. do napędu samolotów Airbus A220. Wprowadzenie do eksploatacji może nastąpić już w 2035 r. W dniu 21 lutego 2022 r. Departament Energii Stanów Zjednoczonych w ramach programu OPEN21 prowadzonego przez Agencję Zaawansowanych Projektów Badawczych-Energy (ARPA-E) przyznał firmie Pratt & Whitney grant o wartości 3,8 miliona dolarów na dwuletnią inicjatywę badawczą, mającą na celu opracowanie komory spalania i wymiennika ciepła wykorzystywanych do odzyskiwania pary wodnej ze strumienia spalin, wtryskiwanej następnie jako woda do komory spalania w celu zwiększenia jej mocy oraz dostarczanej do sprężarki do chłodzenia międzystopniowego i do turbiny w charakterze chłodziwa.

Interesujące prace nad lotniczymi napędami wodorowymi prowadzi brytyjsko-amerykańska firma ZeroAvia założona w 2017 r. w celu rozwoju wodorowych napędów lotniczych. W 2021 r. ZeroAvia rozpoczęła prace nad wodorowym układem napędowym o mocy 2 MW przeznaczonym dla zastosowania w samolotach komunikacyjnych do transportu regionalnego. Początkowo wykorzystywała ona do prób samolot-laboratorium Piper PA-46-350P, który jednak został poważnie

uszkodzony podczas przymusowego lądowania w kwietniu 2021 r. Obecnie prace te są kontynuowane przy użyciu kolejnego samolotu doświadczalnego – zmodyfikowanego Dorniera 228, w którym jeden silnik turbośmigłowy zastąpiono prototypowym wodorowym układem napędowym, składającym się z silnika elektrycznego zasilanego z dwóch ogniw paliwowych i akumulatora litowo-jonowego.

Pokazane tu przykłady wyraźnie wskazują, że kurs na dekarbonizację lotnictwa cywilnego jest już wyraźnie nakreślony. Świadczy o tym rosnące zainteresowanie wiodących firm światowego przemysłu lotniczego, instytucji naukowo-badawczych i rządów krajów wysokorozwiniętych, wspierających prace badawczo-rozwojowe w tej dziedzinie. Wydaje się, że w najbliższych dwóch dziesięcioleciach wejdą do eksploatacji samoloty o napędzie wodorowym: turbośmigłowym na trasach krótkich i średnich oraz turbowentylatorowym na trasach średnich i dalekich. Napęd elektryczny zasilany z ogniw paliwowych znajdzie zastosowanie w samolotach do transportu regionalnego, uzupełniony napędem elektrycznym zasilanym z akumulatorów na trasach najkrótszych. Zatem szerokie wejście napędów bezemisyjnych lub niskoemisyjnych do transportu lotniczego stanie się faktem. ◀

Materiały źródłowe

- [1] J. Nowicki, Wstęp do energetyki wodorowej, Materiały XXII Sympozjum Oddziału Poznańskiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich „Sieci i instalacje”, 20-21 listopada 2019 r.
- [2] G.D. Brewer and R.E. Morris, Study of LH2 fueled subsonic passenger transport aircraft, Lockheed, January 1, 1976.
- [3] Airbus reveals new zero-emission concept aircraft (Materiały prasowe). Airbus. 21 September 2020.
- [4] Nathan Harrison, Zero-carbon emission flights to anywhere in the world possible with just one stop, Aerospace Technology Institute, 6 December 2021.

Czy miejskie wyspy ciepła są zagrożeniem dla transportu lotniczego?

Are Urban Heat Islands a threat to air transport?



Arkadiusz Bylica

Mgr inż.

Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

arkadiusz.bylica@doktorant.pk.edu.pl



Anton Pashkevich

Dr inż.

Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

anton.pashkevich@pk.edu.pl

Streszczenie: Warunki atmosferyczne zawsze miały ogromny wpływ na transport lotniczy. Biorąc pod uwagę globalne zmiany klimatyczne, które mają na nie duży wpływ, ta problematyka cały czas pozostaje jednym z najbardziej aktualnych tematów badawczych, szczególnie, w kontekście wyżej wymienionej dziedziny transportu. W artykule została podjęta próba przybliżyć zagadnienie miejskiej wyspy ciepła (ang. urban heat island, UHI) i jej potencjalnemu wpływowi na transport lotniczy. Poruszono także aspekt wpływu wyładowań atmosferycznych oraz często towarzyszącym im nawalnym deszczem. Opisane zostały rozwiązania infrastrukturalne oraz proceduralne łagodzące negatywne skutki wpływu niesprzyjających warunków atmosferycznych.

Słowa kluczowe: *Miejska wyspa ciepła; Transport lotniczy; Warunki atmosferyczne*

Abstract: Weather conditions always have a huge impact on air transport. Taking into account global climate changes, which have a great influence on such conditions, this problematic continues to be one of the most current research topics, especially in the context of the above-mentioned field of transport. This article attempts to present the issue of the Urban Heat Island (UHI) and its potential influence on air transport. The aspects of lightning discharges and torrential rains, which are often accompanying them, were also discussed. Additionally, infrastructural and procedural solutions reducing the negative effects of unfavourable weather conditions are described.

Keywords: *Urban Heat Island; Air transport; Weather conditions*

Wstęp

Transport lotniczy jest najbardziej podatną gałęzią transportu na wszelkiego rodzaju zakłócenia zewnętrzne. Jest to spowodowane delikatnością konstrukcji statku powietrznego, sposobowi poruszania się (zmiana ruchu z toczenia się na lot), ograniczoną i kosztowną infrastrukturą obsługową oraz ograniczeniami ludzkimi.

Pomimo ciągłego rozwoju człowiek wciąż nie podporządkował sobie warunków atmosferycznych, które szczególnie mocno wpływają na statki powietrzne oraz infrastrukturę. Zmieniający się klimat z roku na rok coraz częściej i intensywniej oddziałuje na ludzi, co jest również skutkiem ich

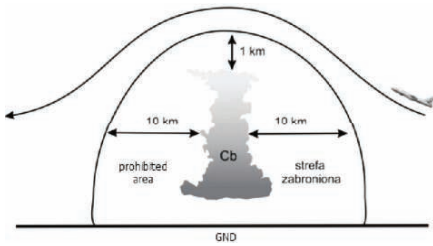
wieloletniej destrukcyjnej działalności sięgającej aż XVIII wieku [1]. W związku z tym dyskusja o wpływie wyładowań atmosferycznych oraz często towarzyszącym im nawalnym deszczom na infrastrukturę lotniskową oraz poszukiwanie rozwiązań infrastrukturalnych oraz proceduralnych łagodzące negatywne skutki takiego wpływu są jak najbardziej aktualne i ważne w obecnych czasach. Poza tym, głównym celem tej pracy badawczej jest przedstawiono zagadnienia miejskiej wyspy ciepła (ang. Urban Heat Island, UHI), jako zjawiska mogącego istotnie wpływać na przebieg burzy, czyli dodatkowo negatywnie oddziaływać na transport lotniczy.

Warunki atmosferyczne

Wyładowania atmosferyczne

Burza może być opisana jako jedno lub więcej nagłych wyładowań elektrycznych, objawiających się błyskiem światła (błyskawica) oraz donośnym, ostrym lub dudniącym dźwiękiem (grzmot). Burze kojarzą się z chmurami konwekcyjnymi i najczęściej towarzyszą im opady.

Personel lotniczy w depeszach meteorologicznych (METAR) i prognozach (TAF) wydawanych dla danego portu lotniczego zwraca szczególną uwagę na skrót Cb. Za pomocą tych dwóch liter odnotowuje się obecność chmur kłębiastych - burzowych



1. Zakres maksymalnego zbliżenia się do chmur Cb (Źródło: opracowano na podstawie: *Meteorologia dla pilotów – poradnik*, Szefostwo Służby Hydrometeorologicznej Sił Zbrojnych RP, Warszawa 2011)

(cumulonimbus) i związanych z nimi wyładowaniami atmosferycznymi [2]. Aby chmura Cb mogła się wytworzyć muszą zostać spełnione podstawowe warunki takie jak:

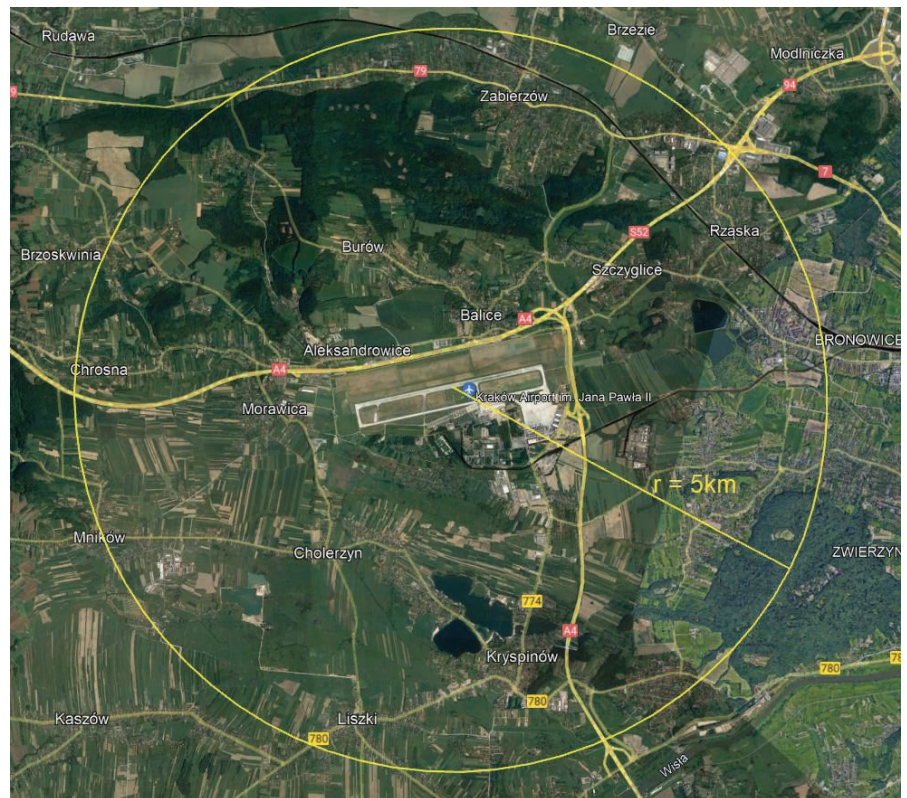
- głęboka warstwa wysoce niestabilnego powietrza,
- powietrze musi być ciepłe i wilgotne.

„Mechanizmem uruchamiającym” cały proces mogą być:

- ogrzewanie warstwy powietrza przy powierzchni,
- warunki orograficzne,
- fronty wymuszające ruch powietrza w górę.

Nie wszystkie chmury cumulonimbus przynioszą burze, niektóre po prostu przynoszą ulewne deszcze lub grad. Pojedyncza chmura cumulonimbus potrzebuje średnio tylko godziny, aby ukształtować się, rozrosnąć i rozprzyszczyć. Wytwarza mniej niż 30 minut grzmotów i błyskawic. Jeśli burza trwa dłużej, prawdopodobnie jest tam więcej niż jeden cumulonimbus [3].

Jako kryterium podziału wyładowań atmosferycznych można przyjąć ładunek, są to wyładowania dodatnie (+) lub ujemne (-). Te z kolei dzieli się na wyładowania chmurowe i doziemne. Szacuje się, że ponad 90% wyładowań ujemnych ma charakter doziemny przy czym najbardziej niebezpiecznymi określa się wyładowania dodatnie [4]. Szerokość geograficzna jest ściśle związana z liczbą wyładowań doziemnych, im wyższa wartość szerokości geograficznej tym



2. Obszar 5km od punktu odniesienia lotniska EPPK (Źródło: Google Earth)

większa liczba wyładowań doziemnych.

Ze względu na ilość zagrożeń związanych z lotami w chmurach burzowych lub w ich pobliżu organizacje cywilne i wojskowe na całym świecie wprowadzają odpowiednie regulacje i zalecenia np.:

- Punkty 4 i 5 paragrafu 51 regulaminu lotów Sił Zbrojnych RP (RL-2010):

„Wykonywanie lotu w silnie wypiętrzonych chmurach kłębiastych oraz zbliżanie się do chmur burzowych na odległość poziomą mniejszą niż 10 km jest zabronione. Zabroniony jest także lot pod silnie wypiętrzonymi chmurami kłębiastymi dającymi intensywny opad deszczu, gradu, śniegu lub wyładowania atmosferyczne.”

„Nad napotykanymi w locie chmurami burzowymi zezwala się przelatywać z przewyższeniem nie mniejszym niż 1 000 m.” (Ilustracja 1), [5]

- Materiały szkoleniowe EASA dla pilotów:

„Zaleca się omijać każdą chmurę burzową w odległości co najmniej 10 mil morskich jeżeli jest wysoka, szybko rośnie lub ma kowadło na wierzchołku. Przelot nad wierzchołkami chmur należy wykonywać z przewyższeniem co najmniej 5000 stóp(…)” [6]

Zalecane odległości omijania, w oparciu o zakresy pokładowych radarów pogodowych, przedstawione są w Tab. 1.

W ramach „The Earth Networks Airport Operations Weather Safety Audit” przeprowadzono badania ankietowe, w których operatorzy lotnisk, linie lotnicze oraz agenci obsługi naziemnej w Stanach Zjednoczonych wskazali wyładowania atmosferyczne jako najbardziej wpływające na ich funk-

Tab. 1. Zalecane minimalne odległości omijania burz (opracowano na podstawie: *Meteorologia – szkolenie samolotowe EASA*, Mark Wickson, 2015)

Wysokość	Odległość
0 – FL250	10NM
FL250 – FL300	15NM
Powyżej FL300	20NM

cjonowanie (75,4%) [7]. Ze względów bezpieczeństwa na lotniskach stosuje się minimalną odległość wyładowań atmosferycznych od lotniska. 54,4% poddanych badaniu wskazało 5 mil morskich jako wartość, poniżej której wstrzymuje się operacje naziemne. Na lotnisku EPKK jest to 5km czyli około 2,70 Nm (Ilustracja 2), wartość ta wskazana jest w Instrukcji Operacyjnej Lotniska (INOP) [8].

Oczywiście, podmioty wykonujące swoją działalność na lotnisku mogą posiadać swoje, bardziej rygorystyczne limity natomiast odległość wskazana w INOP stanowi nieprzekraczalną barierę. Jeżeli wyładowania atmosferyczne będą miały miejsce poniżej tej wartości, należy wstrzymać wszelką obsługę naziemną do czasu oddalenia się burzy.

Wykres na Ilustracja 3 przedstawia typowy dla lotniska Kraków-Balice (EPKK) okres burzowy występujący od czerwca do sierpnia.

Opady deszczu

W pełni rozwiniętym chmurom Cumulonimbus towarzyszą zawsze opady deszczu, nierzadko również opady gradu. Szczególnym istotne ze względu na funkcjonowanie transportu lotniczego są intensywne opady, w szczególności te o charakterystyce nawalnej.

Opady deszczu w połączeniu z nadmierną ilością gumy odłożonej w procesie lądowania statków powietrznych może powodować znaczące zmniejszenie przyczepności. Przede wszystkim, należy pamiętać o tym, że nawierzchnie współczesnych lotnisk to ogromne powierzchnie betonu lub asfaltu, które w żaden sposób nie pochłaniają wody.

Proces lądowania nie kończy się na przyziemieniu samolotu a na wytraceniu prędkości do bezpiecznej wartości. Operatorzy lotnisk zobowiązani są międzynarodowymi przepisami do raportowania stanu nawierzchni dro-

gi startowej. Przeprowadzone badania i pomiary, dowiodły że ponad 90% przypadków wypadnięć z pasa było przy stanie innym niż „sucho”. Wprowadzone przepisy Global Reporting Format (GRF) zobowiązują m.in. do pomiaru grubości warstwy zanieczyszczenia. W myśli tych przepisów, w przypadku deszczu, szczególnie istotna jest zalegająca na powierzchni warstwa o grubości powyżej 3mm.

Chmurami dostarczającymi szczególnie duże ilości wody w bardzo krótkim czasie są chmury Cb. Wygenerowany opad charakteryzuje się dużą średnicą kropeł oraz intensywnością na stosunkowo małej przestrzeni Ilustracja 4.

Z uwagi na szerokość geograficzną na jakiej położone jest lotnisko EPKK można przyjąć, że okres największych opadów, zarówno miesięcznych jak i dobowych występuje od kwietnia do września, ze szczególnym uwzględnieniem okresu maj – sierpień, tezę potwierdza Ilustracja 5.

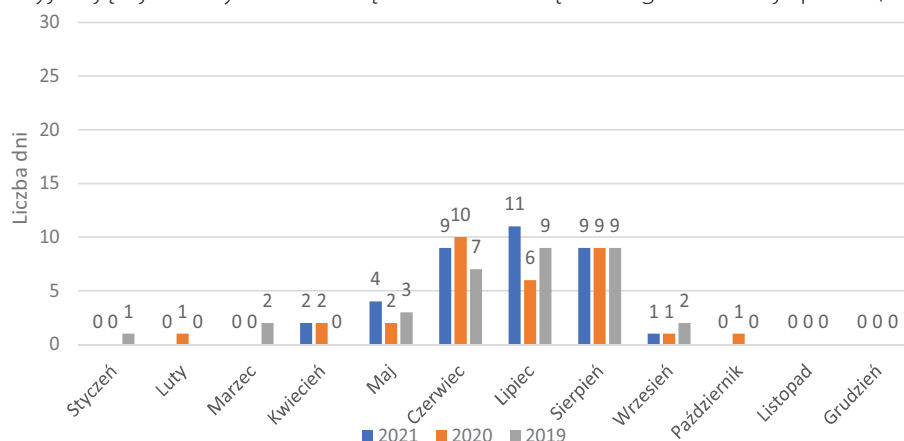
Na ilość opadów atmosferycznych wpływa również wzmożona aktywność burzowa występująca w tym okresie Ilustracja 3.

Według klasyfikacji Chomicza do deszczy ulewnych zalicza się takie opady, których suma wyrażona w mm (wydajność) w czasie (t, mm) przekracza wartość $u_0 = 1.0t0.5$. Jako deszcze nawalne określa się te o wydajności większej niż $u_5 = 5.66t0.5$ (Tab. 2). Przyjmując jako kryterium natężenie

opadu, najczęściej rejestrowane kategorie deszczu to 4 i 5 wg. skali Chomicza.

Infrastruktura lotniskowa, po której poruszają się statki powietrzne ma bardzo ograniczone możliwości w zakresie odprowadzania wód opadowych. Zasadniczo, odpływ wody realizowany jest poprzez nachylenie nawierzchni zgodnie z przepisami zawartymi w np. Załączniku 14 do Konwencji Chicagowskiej lub w europejskich przepisach 139/2014. Współcześnie konstruowane drogi startowe i drogi kołowania charakteryzują się dwuspadowymi nachyleniami ze szczytem na geometrycznym środku. Wciąż jednak funkcjonują drogi startowe wybudowane w oparciu o stare przepisy, gdzie odpływ realizowany jest przez jednostronne nachylenie. Przykładem lotniska z taką drogą startową jest lotnisko EPKK.

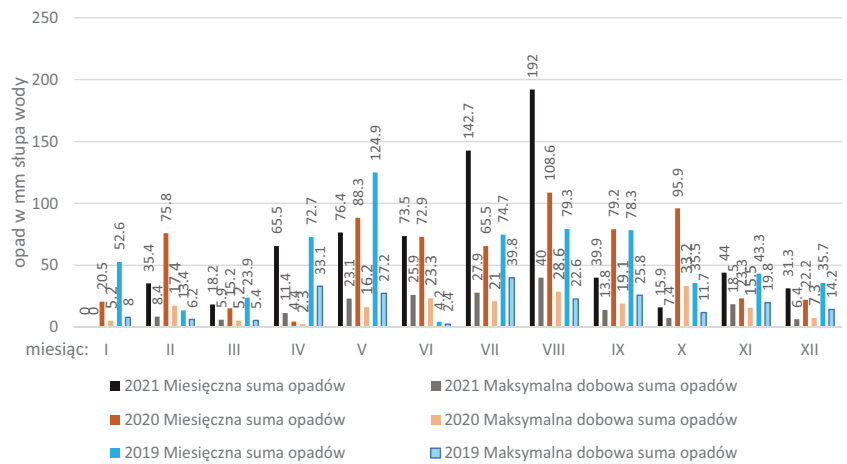
Na płycie postojowej samolotów oraz innych płaszczyznach poprowadzono odwodnienia, najczęściej o charakterze liniowym, w stronę których pochylono nawierzchnię. Z uwagi na niską prędkość ruchu samolotów, odwodnienia liniowe nierzadko znajdują się w obrębie wewnętrznych dróg kołowania. Kanały odwadniające na drogach startowych położone są na jej skrajach, po części na której zwykle znajdują się statki powietrzne. Brak możliwości zastosowania systemu kanalizacyjnego wewnątrz drogi startowej sprawia, że



3. Liczba dni burzowych odnotowanych przez stację meteorologiczną Kraków-Balice 2 latach 2019-2021 (opracowanie własne na podstawie IMGW-PIB)



4. Punktowy opad deszczu na południe od lotniska EPKK, 23-05-2021 (Źródło: Bylica A.)



5. Miesięczne i maksymalne dobowe sumy opadów na lotnisku Kraków-Balice w latach 2019-2021 (Opracowanie własne na podstawie IMGW-PIB)

szczególnie podczas opadów nawalnych, ilość wody, którą trzeba szybko odprowadzić z nawierzchni przewyższa możliwości kanalizacji.

Czas w jakim odprowadzona zostanie woda zależy od makrotekstury nawierzchni, wielkości nachylenia czy jakości wykonania wypełnienia szczelin dylatacyjnych. Czynnikiem zmiennym, mogącym zarówno sprzyjać jak i zakłócać proces odpływu wody jest wiatr. Wiejąc zgodnie z kierunkiem spływu może przyspieszyć proces odpływu, zaś odpowiednio silny, wiejący w kierunku przeciwnym może doprowadzać do spiętrzeń. W celu poprawienia odpływu wody, operatorzy lotnisk często decydują się na jej nacięcie/rowkowanie (grooving). Wycięte w nawierzchni rowki ukierunkowują odprowadzanie wody ograniczając możliwość tworzenia się zastoisk.

Polepszenie parametrów odprowadzania wody odbywa się kosztem nawierzchni, która poprzez wspomniane nacięcia jest osłabiana. Istnieją dwa podstawowe typy rowków: kwadratowe oraz trapezowate. Przeprowadzone badania wykazały, że rowkowania o profilu trapezowatym są bardziej efektywne pod kątem zapobiegania aquaplanningowi dla wyższych prędkości toczenia się samolotów oraz wydajniejsze przy opadach nawalnych [9]. Oczywiście zjawisko aquaplanningu jest skomplikowanym procesem zależnym od prędkości kół, ich ciśnienia,

bieżnika, makrotekstury nawierzchni oraz grubości filmu wodnego. Ponadto aquaplanning można podzielić na dwa rodzaje wiskotyczny i dynamiczny, wyodrębnia się też proces związany z aquaplanningiem, który nazywany jest „odwróconym poślizgiem gumy” [10]. Operatorzy lotnisk, muszą przywiązywać szczególną uwagę do drożności stworzonego rowkowania, dotyczy to w szczególności rowkowania o przekroju kwadratowym, którego krawędzie są „ostrzejsze”, co sprawia że pozostaje na nich więcej gumy.

Miejska wyspa ciepła

Miejską wyspę ciepła, z ang. Urban Heat Island (UHI), można określić jako zjawisko klimatyczne charakteryzujące się występowaniem podwyższonej temperatury powietrza na terenach

miejskich w stosunku do przyległych do miasta peryferii [11]. Zjawisko to pierwszy raz opisano już w 1833 roku a do skali UHI przyczyniają się m. in.:

- powierzchnia jednorodnej nawierzchni sztucznej,
- albedo nawierzchni sztucznych,
- geometria miasta,
- zaburzenia „kanałów przewietrzania” miasta,
- obecność przemysłu,
- duży ruch uliczny,
- czynniki antropogeniczne,
- wysoka zabudowa,
- rzeźba terenu.

Zgodnie ze skróconym opisem powstawania chmur burzowych w rozdziale Wyładowania atmosferyczne jednymi z czynników inicjujących chmurę Cb są ruchy konwekcyjne oraz ciepłe powietrze. Nawierzchnie

Tab. 2. Skala Chomicza (Chomicz 1951) (Źródło: Hydrologia – materiały pomocnicze, dr inż. Marek Bodziony, Politechnika Krakowska, Kraków 2006)

Stopień skali	Współczynnik wydajności opadu α	Kategoria deszczu	
		Określenie	Znak literowy
0	0.0 - 1.0	zwykły deszcz	
1	1.01 - 1.40	silny deszcz	A ₀
2	1.41 - 2.00	deszcz ulewny – I st	A ₁
3	2.01 - 2.82	deszcz ulewny – II st	A ₂
4	2.83 - 4.00	deszcz ulewny - III st	A ₃
5	4.01 - 5.65	deszcz ulewny - IV st	A ₄
6	5.66 - 8.00	deszcz nawalny - V st	B ₁
7	8.01 - 11.30	deszcz nawalny – VI st	B ₂
8	11.31 - 16.00	deszcz nawalny – VII st	B ₃
9	16.01 - 22.61	deszcz nawalny – VIII st	B ₄
10	22.62 - 32.00	deszcz nawalny – IX st	B ₅
11	32.01 - 45.23	deszcz nawalny – X st	B ₆
12	45.24 - 64.00	deszcz nawalny – XI st	B ₇

sztuczne oraz budynki mają niskie albedo, pochłaniając znaczne ilości promieni słonecznych nagrzewają się do wysokich temperatur. Zaburzony przez budynki przepływ wiatru dodatkowo sprzyja nagrzewaniu się powietrza w obrębie miasta. Miasta w związku z tym posiadają nietypowy bilans promieniowania, gdzie promieniowanie odbite w mieście jest znacznie mniejsze niż poza nim zaś promieniowanie ciepłne powierzchni jest większe w mieście [12].

$$R_n = K_{\downarrow} - K_{\uparrow} + L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$$

R_n – bilans promieniowania powierzchni czynnej,

K_{\downarrow} - dochodzące promieniowanie słoneczne,

K_{\uparrow} - odbite promieniowanie słoneczne,

L_{\downarrow} - promieniowanie ciepłne atmosfery,

L_{\uparrow} - promieniowanie ciepłne powierzchni czynnej.

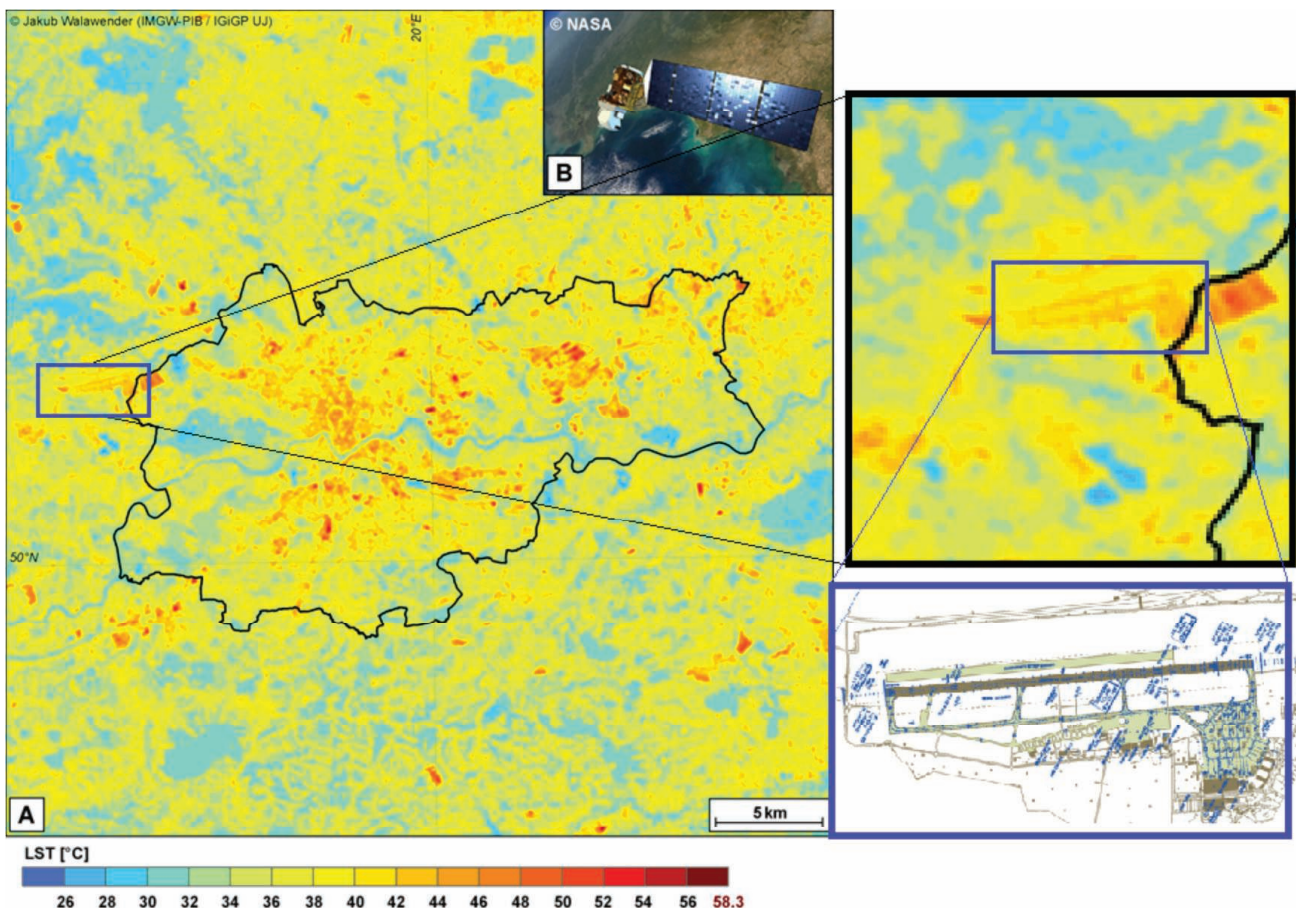
Przeprowadzone badania przez F. Ali-Touderta i H. Meyera (2006) wykazały zależność temperatury wewnętrznej miast od wysokości i odstępów pomiędzy budynkami tworzącymi korytarze wewnątrz miasta [13].

Czy miejska wyspa ciepła może wpływać na transport lotniczy?

Lokalizacja lotnisk w zamyśle powinna być, w sprzyjającym swojej rzeźbą terenie, z dala od skupisk ludzkich oraz możliwie daleko od miejsc gromadzenia się ptaków i innych zwierząt mogących stanowić niebezpieczeństwo. Nie należy zapominać również o bliskości rozwiniętej sieci drogowej lub/i kolejowej. Lotniska są miejscem pracy tysięcy osób, będąc kołem zamachowym dla rozwoju pobliskich terenów skłaniają ludzi do coraz bliższego osiedlania się. W Polsce, podobnie jak w wielu innych miejscach na świecie zauważalny jest trend pochłaniania lotnisk jeszcze 20 - 30 lat temu znaj-

dujących się z dala od ludzi. Zjawisko takie dotyczy lotnisk Warszawa-Okęcie (EPWA), Kraków-Balice (EPKK) czy Poznań-Ławica (EPPO). Bliskość lotniska dla ludzi to oczywiście kwestie zanieczyszczenia hałasem. Dla transportu lotniczego bezpośrednia bliskość miasta może stanowić problem nie tylko przeszkodowy, ale także może pośrednio napędzać niekorzystne zjawiska meteorologiczne. Mając na uwadze zjawisko UHI należy postawić pytanie, czy miejska wyspa ciepła może wpływać na transport lotniczy?

Mechanizmy i warunki sprzyjające tworzeniu się chmur Cb są znane. Znany jest także proces pochłaniania ogromnej ilości energii cieplnej oraz jej długotrwałe magazynowanie przez rozległe powierzchnie zrobione ze stali, asfaltu czy betonu. Lotniska idealnie pasują do opisu terenu odpowiadającego miejskiej wyspie ciepła. Ograniczając się do rozpatrywania tylko terenu lotniska, będzie to mikro skala, jednak ta skala zaczyna



6. Wizualizacja satelitarna temperatury Miasta Krakowa z wyszczególnionym terenem lotniska Kraków-Balice (Źródło: Opracowanie własne na podstawie Jakub Walawander (IMGW-PIB / IGiGP UJ) oraz AIP POLSKA)

się znacznie zwiększać wraz z zabudowywaniem się okolicznych terenów. Nie można bagatelizować lotniska jako istotnego źródła długotrwałego oddawania ciepła, skalę tego zjawiska można zauważyć na Ilustracja 6, gdzie dokładnie widać drogę startową, drogi kołowania oraz płytę postojową.

Oczywiście na siłę UHI ma wpływ również teren na jakim położone jest miasto/lotnisko, obszernie wątek ten poruszony jest w publikacji „Miejska wyspa ciepła na tle naturalnego zróżnicowania termicznego obszaru położonego we wklęsłej formie terenu (na przykładzie Krakowa)” autorstwa Anity Bokwa (Prace geograficzne, zeszyt 122. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków 2009). Wobec przedstawionych informacji należy uznać, że bliskość gęstej zabudowy miast w połączeniu z ukształtowaniem terenu może istotnie wpływać na przebieg wyładowań atmosferycznych. Zgromadzona energia cieplna stanowi motor napędowy dla już wypiętrzonych, dających pierwsze zjawiska chmur Cumulonimbus. Napływające nad nagrzane tereny miejskie chmury, dostają zastrzyk energii w postaci ruchów konwekcyjnych silnie nagrzanego powietrza, które intensyfikują wyładowania atmosferyczne i opady. Ruch burzy przez ląd jest determinowany przede wszystkim przez interakcje jej prądów wstępujących i zstępujących z wiatrami sterującymi w środkowych warstwach atmosfery, w których rozwija się burza. Prędkość pojedynczych burz wynosi zwykle około 20 km (12 mil) na godzinę, ale niektóre burze poruszają się znacznie szybciej. W ekstremalnych okolicznościach superkomórki burzowe mogą poruszać się od 65 do 80 km (około 40 do 50 mil) na godzinę [14]. Przykładowy, szybki rozwój burzy przedstawia Ilustracja 7, gdzie 23 lipca 2022 roku gwałtowna burza przechodząca przez miasto Kraków w południowej Polsce wyrządziła wiele szkód oraz sprawiła, że praca lotniska EPKK / KRK została

wstrzymana. Część samolotów oczekiwała wiele minut w holdingu Ilustracja 8, a niektóre z powodu małej ilości paliwa musiały zostać przekierowane na lotniska zapasowe.

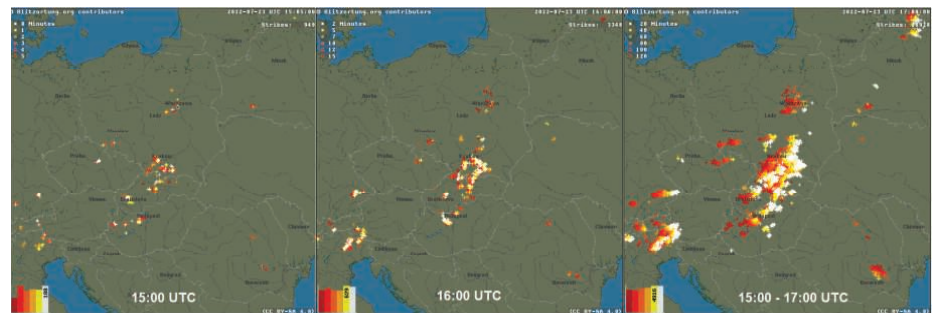
Generowane opóźnienia w ruchu lotniczym nie związane są tylko i wyłącznie z wpływem chmur burzowych dających zjawiska na statki powietrzne. Nawalne opady coraz częściej towarzyszące wyładowaniom atmosferycznym sprawiają, że służby odpowiedzialne za infrastrukturę lotniczą są zmuszone wstrzymać pracę lotnisk. Wstrzymanie może odbyć się na dwa sposoby:

Pierwszy – opublikowanie odpowiedniej depechy NOTAM zamyka-

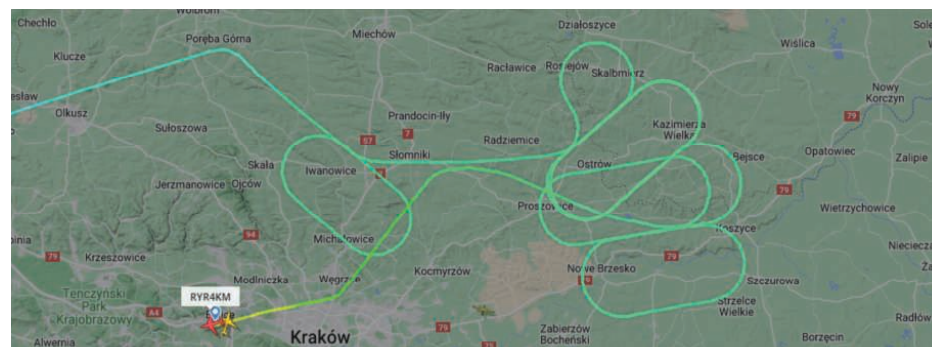
drogę startową na 20min. W tym czasie samolot będący w Paryżu, czyli około 2h lotu od Krakowa nie może wystartować o czasie w związku zamknięciem pasa w EPKK, pomimo tego że zgodnie z depeszą NOTAM, do czasu przylotu do Krakowa pas zostanie otwarty.

Drugi – przekazanie kontrolerom informacji o konieczności opóźnienia przylotów. Informacja taka dystrybuowana jest drogą radiową na częstotliwości APP. W przypadku, krótkotrwałego wstrzymania operacji lotniczych, ten sposób ma wpływ wyłącznie lokalny.

Niezależnie od sposobu wstrzymania pracy lotniska, negatywne skutki

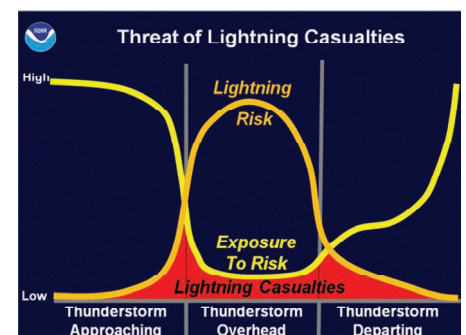


7. Rozwój komórek burzowych przechodzących przez południową Polskę 23/07/2022r. w godzinach 15:00 - 17:00 UTC (Źródło: opracowanie własne na podstawie www.blitzortung.org)



8. Oczekiwanie samolotu RYR4KM na poprawę warunków pogodowych na lotnisku EPKK 23/07/2022r. (Źródło: www.fliightradar24.com)

jącej drogę startową na określony czas. Niestety ogromnym minusem tego rozwiązania jest wpływ również na samoloty, które chcą wystartować na lotnisko, którego NOTAM dotyczy, a które znajdują się setki kilometrów dalej. Aktywny NOTAM zamykający pas powoduje nałożenie SLOT-ów na wszystkie plany lotów. Np. dla lotniska EPKK wystawiono notam zamykający



9. Zagrożenia płynące z wyładowań atmosferycznych (Źródło: NOAA)

odbijają się na pracy zarządzającego lotniskiem, linii lotniczych oraz agentów obsługi naziemnej na płycie postojowej oraz w terminalu. Skumulowany ruch na i z lotniska wygeneruje opóźnienia ponieważ personel przewidziany do obsługi planowany jest zgodnie ze standardowym przebiegiem dnia tzn. nie uwzględnia sytuacji nadzwyczajnych. Ponadto, lotniska z dużą ilością operacji lotniczych oraz słabo rozwiniętą infrastrukturą np. mała liczba stanowisk postojowych, będą zmuszone kolejkować samoloty oczekujące na wjazd na stanowisko w drogach kołowania lub piloci będą decydować się na przekierowanie na lotnisko alternatywne.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) w kontekście zagrożeń płynących z wyładowań atmosferycznych wskazuje, że największa ekspozycja na ryzyko występuje tuż przed i po przejściu burzy. Natomiast największe ryzyko porażenia piorunem występuje w trakcie trwania właściwej burzy Ilustracja 9.

Mając na uwadze analizę NOAA zasadnym jest wprowadzanie przez operatorów lotnisk, służby kontroli ruchu lotniczego, linie lotnicze czy agentów obsługi naziemnej odpowiednich progów odległości wyładowań atmosferycznych od lotniska lub statku powietrznego.

Podsumowanie

Tematyka miejskiej wyspy ciepła pomimo tego, że znana jest od dawna nie rozpatrywana była do tej pory w kontekście wpływu na transport lotniczy. Niewątpliwie zmieniający się klimat obfituje w coraz częstsze i gwałtowniejsze zjawiska atmosferyczne w tym burze, których motorem napędowym jest energia cieplna. W związku z tym, szczególnie narażone wydają się być lotniska znajdujące się w obrębie miast lub tuż przy nich. Napływające masy chwiejnego powietrza dostają dodatkowej energii

sprawiając, że wytworzone zjawiska są szczególnie mocno odczuwalne. Delikatność transportu lotniczego sprawia, że ogromne znaczenie dla bezpieczeństwa ma możliwie dokładne i wczesne przewidywanie niepożądanych zjawisk atmosferycznych oraz ciągłe doskonalenie procedur poprawiających bezpieczeństwo zarówno w powietrzu jak i na ziemi. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Chwalba A., Historia Powszechna. Wiek XIX, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008, s. 68.
- [2] Szefostwo Służby Hydrometeorologicznej Sił Zbrojnych RP, Meteorologia dla pilotów – poradnik, Warszawa 2011, s.65.
- [3] The National Meteorological Library and Archive Fact sheet 2, Thunderstorms, Met Office 2011, s. 3, dostęp: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/library-and-archive/library/publications/factsheets/factsheet_2-thunderstorms.pdf, 01.09.2022
- [4] Szefostwo Służby Hydrometeorologicznej Sił Zbrojnych RP, Meteorologia dla pilotów – poradnik, Warszawa 2011, s.66.
- [5] Regulamin lotów lotnictwa Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej (RL-2010) sygn.. WLOP 442/2010, pkt 4-5 §51.
- [6] Mark Wickson, Meteorologia – szkolenie samolotowe EASA wydanie 2, Wydawnictwo Pileus, 2017.
- [7] Earth Networks, 2019 Airport Operations Weather Safety Report, s. 4, dostęp: https://get.earthnetworks.com/hubfs/AirportOperations_Report_v9_sm2.pdf, 01.09.2022
- [8] Międzynarodowy Port Lotniczy Kraków-Balice, Instrukcja Operacyjna Lotniska Kraków-Balice

zmiana 14, Kraków 2022, rozdział 25, s. E-177.

- [9] Pasindu H. R., Fwa T.F., Improving Wet-Weather Runway Performance Using Trapezoidal Grooving, Transportation in Developing Economies, 2015, 1, 1-10, DOI 10.1007/s40890-015-0001-6.
- [10] AR139.C-06v1.0, Skid resistance of aerodrome pavements, Australian Government Civil Aviation Safety Authority, 2021, s. 9.
- [11] Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Kręcisz B., Dudek W., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. Miejska wyspa ciepła w Warszawie uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne. Wydawnictwo Akademickie SEDNO, 2014, dostęp: http://rcin.org.pl/Content/56055/WA51_74963_r2014_Miejska-wyspa-ciepla.pdf, 01.09.2022.
- [12] Błażejczyk K. Warunki powstawania i różnicowanie miejskiej wyspy ciepła w Warszawie, dostęp <https://docplayer.pl/21943088-Warunki-powstawania-i-zroznicowanie-miejskiej-wyspy-ciepla-w-warszawie.html>, 01.09.2022
- [13] Ali-Toudert F., Mayer H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. Building and Environment, Vol. 43, 2007, 94-108., <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>.
- [14] Krider, E. Philip. "Thunderstorm". Encyclopedia Britannica. 29.11.2020. <https://www.britannica.com/science/thunderstorm>, 01.09.2022.

Koncepcja włączenia miasta Karczew w sieć kolejową

The concept of connect Karczew to the railway network



Szymon Klemba

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa

sklemba@ikolej.pl



Adam Dąbrowski

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa

adabrowski@ikolej.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia koncepcję włączenia miasta Karczew w sieć kolejową i utworzenia bezpośredniego połączenia kolejowego z Warszawą. W pierwszej części omówiono funkcjonowanie połączenia Karczewa z Warszawą na przestrzeni lat, następnie przedstawiono charakterystykę istniejących połączeń autobusowych. Następnie określono założenia dla nowej linii i warianty funkcjonalne. W dalszej części artykułu przedstawiono poszczególne warianty budowy linii. Przeanalizowano szanse i zagrożenia płynące z realizacji koncepcji. W podsumowaniu odniesiono się do zasadności nowej budowy linii kolejowej oraz wskazano kierunek dalszych prac studialnych.

Słowa kluczowe: Transport kolejowy; Szybka kolej miejska; Karczew

Abstract: The article concerns railway network extension towards Karczew town in aspect of a railway connection to Warsaw. The first part presents how the public transport in Karczew has functioned over the years and current bus service is also described. Then functional variants of new railway line are described. In the article each proposed variant of the line is presented. The possibilities and threats related to the implementation of the concept are analyzed. In the summary the direction of further study works was indicated.

Keywords: Railway transport; Urban rapid rail; Karczew

Uwarunkowania komunikacyjne Karczewa

Karczew jest liczącym około 10 tysięcy mieszkańców (na dzień 31 grudnia 2021 roku było to 9670 osób [1]), najbardziej wysuniętym na południe miastem wschodniej, prawobrzeżnej części aglomeracji warszawskiej, należącym do powiatu otwockiego. Na północy graniczy z miastami Otwock i Józefów, na południu z terenami wiejskimi, od zachodu ograniczony jest naturalną barierą, jaką tworzy Wisła, natomiast na wschodzie przylega do Mazowieckiego Parku Krajobrazowego. Tkanka miejska Karczewa i Otwocka stopniowo się zrasta, tworząc obszar zamieszkały łącznie przez około 54 tys. mieszkańców. Po doliczeniu Józefowa uzyskuje się obszar o zaludnieniu 75 tys. osób.

Głównym szlakiem komunikacyjnym przebiegającym przez Karczew,

na jego peryferiach, jest droga wojewódzka nr 801 łącząca Warszawę i Puławę. Ważne znaczenie ma też ulica Mickiewicza (droga gminna), będąca historycznie główną trasą biegnącą z Karczewa w kierunku Otwocka i Warszawy. Mimo że Karczew położony jest tuż przy brzegu Wisły, nie ma bezpośredniej możliwości przekroczenia rzeki w kierunku lewobrzeżnej części aglomeracji – lokalizacja najbliższych mostów wymaga pokonania 10-15 kilometrów (w zależności od trasy). Przez Karczew nie przebiega żadna linia kolejowa, najbliższą położoną jest linia nr 7 odległa w linii prostej o około 3,5 km od centrum miasta. Położenie miasta względem sieci transportowej sprawia więc, że znajduje się ono na uboczu głównych szlaków komunikacyjnych, a możliwości kształtowania połączeń transportu zbiorowego są ograniczone w praktyce do dwóch kierunków: „miejskiego” w stronę

Otwocka oraz „wiejskiego” w stronę południowej części powiatu otwockiego.

Rozwój i zanik połączeń kolejowych i autobusowych Karczewa z Warszawą

W 1914 r. otwarto ruch na linii kolei wąskotorowej Wawer Wąskotorowy – Karczew, stanowiącej przedłużenie kolei Jabłonna – Warszawa Most – Warszawa Wawer [6]. Pociągi do Karczewa kursowały w relacji ze stacji Warszawa Most, rozkład jazdy „zima 1919” przewidywał 8 par pociągów z Karczewa [4], w rozkładzie jazdy 1933/34 było ich już 16 (w tym 3 tylko z Otwocka) [5]. Czas przejazdu z Karczewa do stacji Warszawa Most wynosił około 1,5 godziny. Ostatni rozkład jazdy przewidujący bezpośrednie połączenie wąskotorowe do Warszawy w 1952 r. obejmował 13 par połączeń [11]. Od

lipca 1952 r. kolej funkcjonowała już jedynie na odcinku Karczew – Otwock, zapewniając dowóz do kolei normalnotorowej (podróż wymagała niespełna kilometrowego przejścia pomiędzy stacjami w Otwocku). Rozkład jazdy na mierzącej niespełna 4 km linii przewidywał kursowanie 24 par pociągów [12]. Jednocześnie zaczęto rozwijać komunikację PKS, wobec czego w 1963 r. nastąpiła całkowita likwidacja linii wąskotorowej (ostatni rozkład jazdy przewidywał uruchamianie 20 par pociągów Otwock – Karczew [13]) i przejście przewozów przez transport autobusowy.

Komunikacja autobusowa PKS w szczytowym okresie swojego rozwoju zapewniała nawet 145 par kursów pomiędzy Karczewem i Otwockiem w ciągu doby [2], jednak nie były to połączenia do Warszawy, tylko do Otwocka – autobusy kończyły trasę w okolicach otwockiego dworca PKP lub na placu przed samym budynkiem dworca (w zależności od okresu). Od początku lat 90-tych nastąpił gwałtowny rozwój linii prywatnych przewoźników, którzy wobec spadającej jakości i niezawodności usług państwowego PKS przejęli większość rynku przewozów w Karczewie, oferując częste i bezpośrednio kursy do Warszawy. W wyniku intensywnej konkurencji pomiędzy prywatnymi firmami praktyczny monopol na przewozy uzyskała karczewska firma Mini-Bus (pełna nazwa firmy to Mini Bus Komunikacja Prywatna, Andrzej Mosak i Tadeusz Pleskot S.J.), uruchamiająca oprócz linii z Karczewa do Warszawy również prywatne linie miejskie w Otwocku. W szczytowym okresie rozwoju sieci połączeń, przypadającym na przełom pierwszej i drugiej dekady XXI wieku, firma oferowała około 140 bezpośrednich połączeń do Warszawy łącznie na 3 trasach, a częstotliwość kursowania głównej linii autobusowej, oznaczonej nazwą „PRZY TORACH”, przebiegającej na odcinku Otwock – Warszawa Wawer równoległe do torów linii kolejowej nr 7, wynosiła 7,5 minuty w godzinach szczytu oraz 15 minut poza szczytem i w soboty, natomiast w niedziele autobusy kursowały co 20 minut. Autobusy firmy Mini Bus spełniały de facto rolę

komunikacji miejskiej na terenie Karczewa i Otwocka, co powodowało, że władze tych gmin nie uznawały za stosowne organizowania własnej komunikacji autobusowej (poza tradycyjnie kursującą z Warszawy do Otwocka linią nr 702, która nie obsługiwała jednak Karczewa).

Wraz z uruchomieniem linii Szybkiej Kolei Miejskiej z Pruszkowa do Otwocka we wrześniu 2010 r. [10] nastąpiła znacząca poprawa kolejowej oferty przewozowej pomiędzy Otwockiem, Józefowem i Warszawą. Spowodowało to stopniowe przejmowanie pasażerów prywatnych linii autobusowych przez transport kolejowy (oprócz mieszkańców Karczewa, którzy nie mają bezpośredniego dostępu do kolei), który funkcjonował w ramach wspólnej taryfy biletowej warszawskiego Zarządu Transportu Miejskiego (ZTM). W efekcie nastąpił spadek rentowności połączeń autobusowych i stopniowe ograniczanie oferty przewozowej – w 2018 r. były to już tylko 4 kursy w godzinie szczytu, w 2019 r. 2-3 kursy.

W okresie od września 2018 r. do marca 2020 r. funkcjonowała linia lokalna L46 organizowana przez ZTM, łącząca osiedle Ługi w Otwocku z dworcem PKP, której trasa poprowadzona była okólnie przez Karczew, stanowiąc pierwszą publiczną dzienną linię komunikacji miejskiej w tym mieście (w latach 2007-2012 oraz od 2019 r. funkcjonuje również nocna linia autobusowa ZTM do Warszawy). Linia funkcjonowała jednak tylko w dni powszednie z częstotliwością jeden raz na godzinę (17 par kursów), co nie stanowiło atrakcyjnej oferty dla pasażerów i miało odzwierciedlenie w bardzo niskiej frekwencji.

Ogłoszony przez polski rząd w 2020 r. stan epidemii i wprowadzane w związku z nim ograniczenia administracyjne spowodowały załamanie się przewozów pasażerskich oraz w efekcie doprowadziło do całkowitego zawieszenia przewozów na linii Karczew – Warszawa z dniem 1 lipca 2022 r. (ostatni rozkład jazdy przewidywał tylko 15 par kursów w ciągu dnia powszedniego i 8 par w soboty). Władze gminy Karczew, poinformowane przez

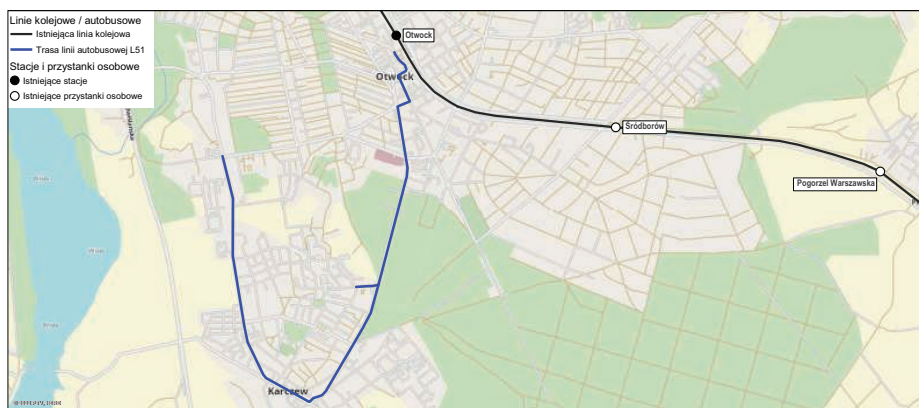
prywatnego przewoźnika o zamiarze likwidacji linii, stanęły przed perspektywą odcięcia Karczewa od połączeń autobusowych. W związku z tym zostały podjęte działania w celu uruchomienia linii dowozowej do Otwocka, co nastąpiło 1 maja 2022 r.

Oprócz połączeń w relacji Karczew – Otwock przez Karczew przebiegały linie łączące Otwock z gminami wiejskimi powiatu otwockiego leżącymi na południe od miasta (Sobienie Jeziory, Osieck). Przewozy te, po wycofaniu się z nich PKS-u na przełomie XX i XXI wieku, były obsługiwane przez przewoźników prywatnych na zasadach komercyjnych, natomiast od 2021 r. są organizowane przez powiat otwocki. Ich rola w obsłudze przewozów w relacji Karczew – Otwock – Warszawa była i jest jedynie uzupełniająca.

Charakterystyka obecnie funkcjonujących połączeń autobusowych

W momencie zamknięcia artykułu (tj. 02.11.2022 r.) nie funkcjonowało żadne bezpośrednie połączenie autobusowe Karczew – Warszawa (ostatnie autobusy firmy MiniBus w tej relacji kursowały w dniu 30 czerwca 2022 r.). Połączenie z Karczewa do Otwocka było zaś zapewniane przez autobusy lokalnej linii L51 kursującej w relacji Otwock (Warsztatowa) – Otwock (Orla) oraz powiatowej linii O1 relacji Otwock (Orla) – Osieck.

Linia L51 organizowana jest przez ZTM w Warszawie na podstawie porozumienia z gminami Karczew i Otwock. Jej trasa rozpoczyna się w południowo-zachodniej części Otwocka, następnie obiega Karczew i prowadzi dalej w kierunku centrum Otwocka, by skończyć się w bezpośrednim sąsiedztwie stacji PKP. W dni powszednie rozkład jazdy przewiduje 30 par kursów (częstotliwość co 30 minut w godzinach szczytu i co godzinę w pozostałych porach dnia), w soboty – 17 par kursów (częstotliwość co godzinę), w niedziele i święta – 12 par kursów (częstotliwość co 90 minut). Linia L51 funkcjonuje częściowo w ramach taryfy Warszawskiego Transportu Publicznego – obowiązują bilety krótko-



1. Trasa linii autobusowej L51

okresowe począwszy od dobowego oraz bilety długookresowe. Nie można jednak np. odbyć podróży L51 z przesiadką w Otwocku na pociąg SKM w ramach biletu 90-minutowego.

Linia powiatowa O1 kursuje tylko w dni powszednie, a jej rozkład jazdy przewiduje 9 par kursów. Na linii tej obowiązuje taryfa przewoźnika (UTJ Wołoszka).

Rozkłady jazdy linii L51 i O1 nie są ze sobą w żaden sposób skoordynowane, a różne taryfy opłat eliminują w praktyce choćby uzupełniającą rolę linii O1 w dojazdach z Karczewa na stację kolejową w Otwocku.

Geneza koncepcji

Na podstawie przedstawionych dotąd informacji można stwierdzić, że głównym czynnikiem powodującym stopniowe ograniczanie roli transportu autobusowego w przemieszczeniach pomiędzy Otwockiem a Warszawą było zwiększanie dostępności kolei aglomeracyjnej poprzez uruchamianie odpowiedniej liczby pociągów oraz rozszerzenie zakresu integracji taryfowej. Pociągi spółek SKM Warszawa i Koleje Mazowieckie zapewniają wygodny i znacznie szybszy, niż autobusy, dojazd do centrum Warszawy. Pozwala to myśleć o dalszym rozwoju systemu i objęcia jego zasięgiem również takich miejscowości, do których kolej obecnie nie dociera.

Do podobnych wniosków doszli już w 2019 r. pracownicy Biura Strategii PKP PLK S.A. w Master Planie WWK [3] określającym kierunki rozwoju Warszawskiego Węzła Kolejowego. W dokumencie tym jako jedną z per-

spektywicznych inwestycji wskazano budowę linii kolejowych na odcinku Otwock – Karczew oraz Konstancin-Jeziorna – Karczew wraz z modernizacją linii kolejowej nr 937 (Warszawa Okęcie – Konstancin-Jeziorna). Pomysł ten nie został jednak uszczegółowiony, a jeśli nawet przeprowadzono jakieś wstępne prace projektowe w tym kierunku, ich rezultaty jak dotąd nie ujrzały światła dziennego. Niniejszy artykuł można uznać zatem za rozwinięcie myśli planistów z PKP PLK S.A.

W wymiarze doraźnym przyczynkiem do podjęcia tematu budowy linii kolejowej do Karczewa była całkowita likwidacja bezpośrednich połączeń autobusowych Warszawa – Karczew (co opisano wcześniej). Uwypukliło to potrzebę organizacji niezawodnego transportu publicznego w tej relacji. Funkcjonująca obecnie linia dowozowa jest rozwiązaniem obciążonym wadami – konieczność przesiadki wydłuża czas podróży i stwarza problemy w przypadku występowania zakłóceń w ruchu kolejowym, co w efekcie zmniejsza atrakcyjność transportu publicznego. Organizowanie bezpośredniego połączenia autobusowego Karczew – Warszawa, dublującego kolej na odcinku Otwock – Warszawa, stanowiłoby rozwiązanie nieefektywne ekonomicznie z powodu finansowania równoległe przebiegających, konkurencyjnych połączeń. Z tego powodu w dłuższej perspektywie należałoby szukać rozwiązań, które w trwały sposób zapewniałyby sprawną obsługę relacji Warszawa – Karczew.

Biorąc pod uwagę powyższe fakty, autorzy artykułu podjęli się próby opracowania koncepcji nowej linii ko-

lejowej Otwock – Karczew oraz określenia jej wariantów funkcjonalnych.

Koncepcja funkcjonalna połączenia kolejowego do Karczewa

Zakłada się, że linia kolejowa do Karczewa będzie odgałęziać się od linii kolejowej nr 7 między stacją Otwock i przystankiem Śródborów. Założenia będące podstawą do zdefiniowania wariantów funkcjonalnych nowej linii kolejowej obsługującej Karczew powinny określać:

- czy stacja w Karczewie ma być stacją krańcową, czy też stacją przechodnią z założeniem dalszego trasowania linii w kierunku zachodnim,
- kategorie pociągów, które mogą poruszać się po linii,
- zakładane/przewidywane natężenie ruchu pociągów poszczególnych kategorii,
- podstawowe parametry linii (liczba torów, prędkość maksymalna),
- wymaganą funkcjonalność stacji w Karczewie,
- sposób odgałęzienia się linii na terenie Otwocka.

We wszystkich wariantach przewiduje się budowę linii zelektryfikowanej z uwagi na konieczność zachowania spójności z parametrami technicznymi i dotychczasowym sposobem obsługi przewozów kolejowych w aglomeracji warszawskiej.

Stacja kolejowa w Karczewie może być zaplanowana jako stacja krańcowa czołowa lub pośrednia w układzie przechodnim. W przypadku pierwszego rozwiązania zakłada się, że linia kolejowa będzie kończyć się w Karczewie, natomiast drugie rozwiązanie umożliwi przedłużenie linii w kierunku zachodnim lub południowym. Według dokumentu pn. „Kierunki rozwoju sieci kolejowej w Warszawskim Węźle Kolejowym Master Plan dla transportu kolejowego w aglomeracji warszawskiej (Master Plan WWK)” opracowanego w 2019 roku przez PKP Polskie Linie Kolejowej S.A. jako jeden z kierunków rozwoju Warszawskiego Węzła Kolejowego przewiduje się budowę zupełnie nowego połączenia

kolejowego Otwock – Karczew – Konstancin Jeziorna. Ponadto docelowe położenie stacji Karczew na sieci kolejowej będzie determinowało sposób obsługi miasta przez kolej.

Podstawową kategorię pociągów, którą należy przewidzieć, stanowią pociągi aglomeracyjne (SKM) i regionalne, które obsługiwane są przez elektryczne zespoły trakcyjne. Kwestią otwartą jest obsługa Karczewa przez pociągi dalekobieżne (dotyczy to wariantów ze stacją przechodnią), które mogą być obsługiwane również przez składy wagonowe. Po ustaleniu kategorii pociągów należy przewidzieć natężenie ruchu dla każdej z nich oraz możliwe relacje kurowania pociągów (oczywiście będzie to zależęć od założonego docelowego układu sieci kolejowej na rozważanym obszarze).

Z powyższych założeń wynikać będą podstawowe parametry techniczne linii kolejowej oraz wymagana funkcjonalność stacji kolejowej w Karczewie. Odrębną kwestią jest sposób rozwiązania (m. in. kolizyjny lub bezkolizyjny, a także w ujęciu rozwiązań srk) wyprowadzenia nowej linii kolejowej z istniejącej linii nr 7 w Otwocku. Na podstawie powyższych kryteriów zaproponowano trzy warianty funkcjonalne przedstawione w Tabeli 1.

Wariant 1 zakłada budowę jednotorowej, „ślepo” zakończonej linii kolejowej i jej obsługę przez pociągi wydłużonej z Otwocka linii Szybkiej Kolei Miejskiej S1.

Wariant 1+ przewiduje ponadto możliwość obsługi linii przez niektóre pociągi regionalne Kolei Mazowieckich, kończące dotychczas bieg w Otwocku, co wiąże się prawdopodobnie z koniecznością budowy dwóch torów.

Wariant 2 zakłada docelowo budowę linii dwutorowej ze stacją przechodnią w Karczewie, obsługiwanej nie tylko przez pociągi osobowe, ale również pospieszne, z możliwością jej przedłużenia np. przez nowy most na Wiśle w kierunku Konstancina-Jeziorna.

W ramach zgrubnej oceny technicznej wykonalności powyższych wariantów

sporządzono dla nich robocze trasowanie w programie AutoCAD LT na bazie ogólnodostępnych danych, a ponadto przeprowadzono wizję lokalną w terenie w dn. 2 września 2022 r. W wyniku tych działań ostatecznie zaproponowano 5 wariantów technicznych linii.

Możliwości techniczne budowy linii kolejowej Otwock – Karczew

Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej oraz założeń przyjętych w koncepcji funkcjonalnej połączenia kolejowego Otwock – Karczew przyjęto 5 wariantów trasowania, w tym 4 warianty w standardzie P80 (ruch pasażerski aglomeracyjny lub aglomeracyjny i regionalny) oraz 1 wariant w standardzie M120 (ruch pasażerski aglomeracyjny, regionalny i międzyregionalny z możliwością prowadzenia ruchu towarowego o niewielkim natężeniu). Warianty opisano w kolejnych akapitach.

W wariantcie W1a linia kolejowa Otwock – Karczew została zaprojektowana jako jednotorowa w standardzie P80. Jej początek przyjęto w okolicach km 29,0 linii kolejowej nr 7, tj. za łukiem na wyjeździe ze stacji Otwock w kierunku Piławy. Wyłączenie z istniejącego układu torowego przewidziano jako rozwiązanie kolizyjne, przy użyciu trzech rozjazdów Rz-60E1-1:12-500 (połączenia banalizacyjne i węzłowe), umożliwiających jazdę w kierunku zwrotnym z prędkością 60 km/h, i jednego rozjazdu Rz-49E1-1:9-190 (połączenie ochronne), które powinny

znaleźć się w okręgu nastawczym stacji Otwock. Od miejsca odgałęzienia (patrz: fotografia 2) projektowaną linię poprowadzono łukiem o promieniu 300 m (patrz: rysunek 3), który pozwala bezpiecznie ominąć istniejącą zabudowę (patrz: fotografia 4) i przeciąć ul. Poniatowskiego (patrz: fotografia 5) w rejonie Szkoły Podstawowej nr 2 im. Ireny Sendlerowej w Otwocku, z możliwością budowy w tym miejscu przystanku osobowego Otwock – Sopicowo (peron 200 m).

Dalej nowa linia jest trasowana w kierunku południowo-zachodnim, a po przecięciu ulicy Narutowicza – równoległe do niej, na pograniczu Mazowieckiego Parku Krajobrazowego. Za skrzyżowaniem z ul. Andriollego linię zaprojektowano wzdłuż kanału Struga Pogorzelska (przecinka leśna), a następnie w kierunku skrzyżowania ul. Mickiewicza i Piłsudskiego w Karczewie na wysokości osiedla Ługi. Dwutorową stacją krańcową Karczew w układzie czołowym, z peronem dwukrawędziowym 200 m i rozjazdem Rz-60E1-1:12-500 (prędkość jazdy na kierunku zwrotny 60 km/h), proponuje się w śladzie kolei wąskotorowej, z czołem przy skrzyżowaniu ul. Mickiewicza i Czerwona Droga.

W wariantcie W1a+ linia kolejowa Otwock – Karczew została zaprojektowana jako dwutorowa w standardzie P80, w przebiegu zbliżonym do wariantu W1a (różnica występuje jedynie na odcinku od ul. Andriollego do stacji Karczew, a to z uwagi na zwiększoną długość głowicy stacji w Karczewie). Wyłączenie z istniejącego układu toro-

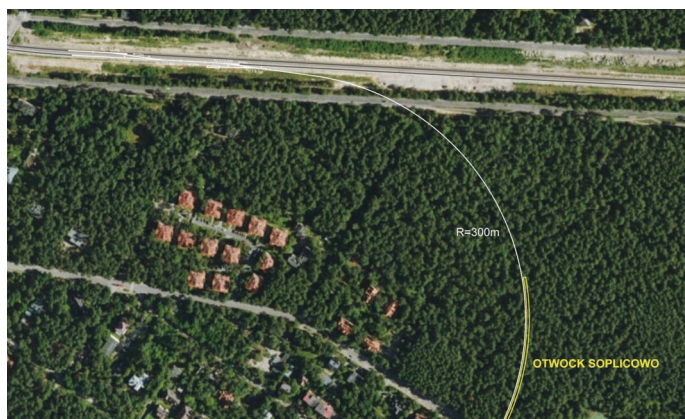
Tab. 1. Warianty funkcjonalne linii kolejowej do Karczewa

Wariant		W1	W1+	W2
Stacja Karczew		Czołowa, koniec linii w Karczewie	Czołowa, koniec linii w Karczewie	Przechodnia, możliwość przedłużenia linii
Kategorie pociągów		Aglomeracyjny	Aglomeracyjny, regionalny	Aglomeracyjny, regionalny, międzyregionalny
Natężenie ruchu w dobie (w godzinie szczytu)	AGLO	40 (2) par poc.	40 (2) par poc.	40 (2) par poc.
	REG	brak	20 (2) par poc.	40 (2) par poc.
	MR	brak	brak	20 (1) par poc.
	TOW	brak	brak	sporadycznie
Maks. Długość pociągów		200m	200m	400m
Liczba torów		1	2	2
Kategoria linii (*)		P80	P80	M120
Wyprowadzenie z linii nr 7		kolizyjne	kolizyjne	Kolizyjne lub bezkolizyjne

(*) Wg standardów technicznych PKP PLK S.A. [7]



2. Miejsce odejścia od linii kolejowej nr 7 i przecięcia ul. Armii Krajowej w Otwocku, widok w kierunku stacji Otwock.



3. Układ geometryczny linii kolejowej w planie na odcinku do przystanku Otwock – Sopicowo (wariancie W1a)



4. Budynek położony na prawo od proponowanego przebiegu linii, widok w kierunku Karczewa



5. Miejsce przecięcia ul. Poniatowskiego w Otwocku, widok w kierunku stacji Otwock

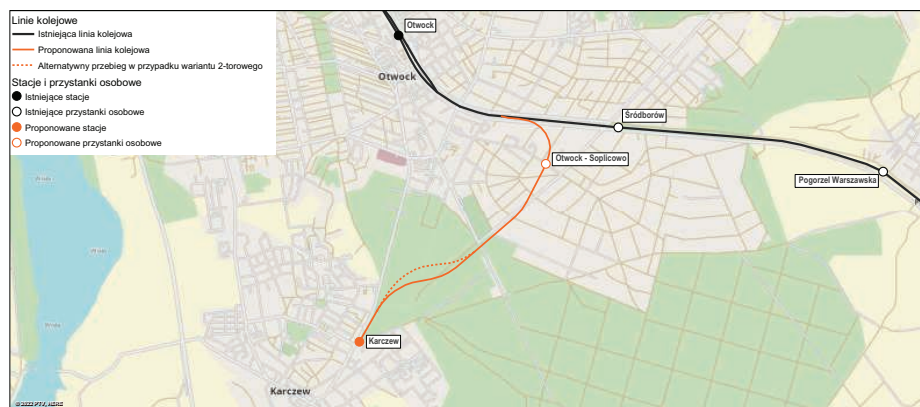
wego przewidziano jako rozwiązanie kolizyjne, przy użyciu czterech rozjazdów Rz-60E1-1:12-500 (połączenia banalizacyjne i węzłowe). Dla przystanku osobowego Otwock Sopicowo przewidziano dwa perony jednokrawędziowe o długości 200 m w układzie naprzemianległym (ograniczenie czasu zamknięcia przejazdu kolejowo-drogowego). Krańcową stacją kolejową Karczew zaprojektowano jako trzytorową (rysunek 7) w układzie czołowym, z jednym peronem jednokrawędziowym i jednym peronem dwukrawędziowym (oba o długości 200 m), z czołem przy skrzyżowaniu ulic Mickiewicza i Czerwona Droga. Głównicę stacyjną przewidziano w formie pięciu rozjazdów Rz-60E1-1:12-500 i skrzyżowania torów St-60E1-1:4,444. Przebieg linii w wariantach W1a i W1a+ przedstawiono na rysunku 6.

Zaproponowano również drugi wariant przebiegu linii jednotorowej – W1b oraz odpowiadający mu wariant dwutorowy W1b+ (patrz: rysunek 8). W wariantach W1b i W1b+ linia kolejowa Otwock – Karczew została zaprojektowana

jako jednotorowa w standardzie P80, do rejonu skrzyżowania ul. Narutowicza i Andriollego w przebiegu identycznym do wariantu W1a. Od tego miejsca przewidziano trasowanie linii kolejowej z przesunięciem na północ w stosunku do wariantu W1a, tak aby podejść z osi toru do ul. Mickiewicza już na wysokości skrzyżowania z ul. Bema. W rejonie tego skrzyżowania zaproponowano lokalizację dodatkowego przystanku osobowego Otwock Ługi z peronem o długości 200 m. Lokalizacje oraz układy przystanku osobowego Otwock Sopicowo i sta-

cji krańcowej Karczew pozostały takie same, jak w wariantach W1a.

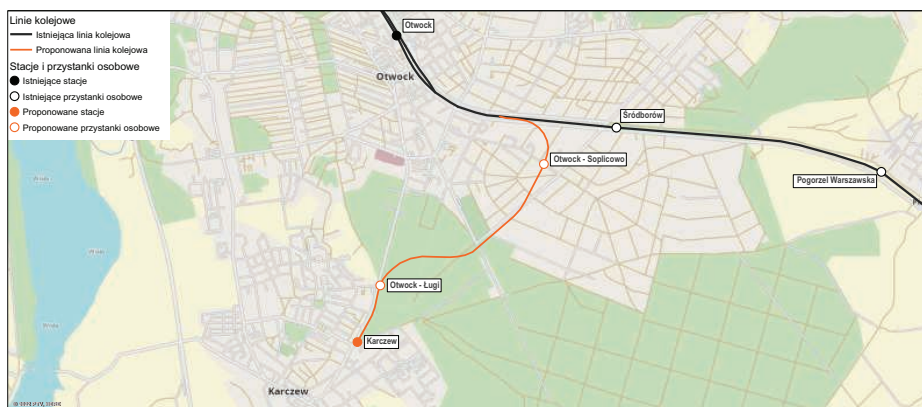
Przebieg linii w wariantach W1b+ pokrywa się z trasowaniem wariantu W1b. Różnica polega na innym rozwiązaniu stacji Karczew oraz przystanku osobowego Otwock Ługi. Wspomnianą stację zaprojektowano jako trzytorową, krańcową w układzie czołowym, z jednym peronem jednokrawędziowym i jednym peronem dwukrawędziowym (oba o długości 200 m), z czołem przy skrzyżowaniu ulic Mickiewicza i Czerwona Droga. Głównicę stacji rozwiązano z użyciem



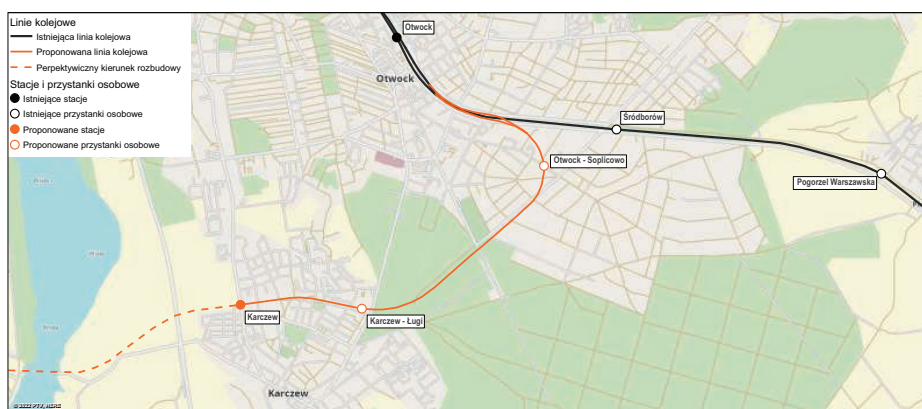
6. Schemat przebiegu proponowanej linii kolejowej do Karczewa w wariantach W1a (linia jednotorowa) i W1a+ (linia dwutorowa)



7. Położenie i układ geometryczny stacji Karczew w wariancie W1a+



8. Schemat przebiegu proponowanej linii kolejowej do Karczewa w wariancie W1b



9. Schemat przebiegu proponowanej linii kolejowej do Karczewa w wariancie W2

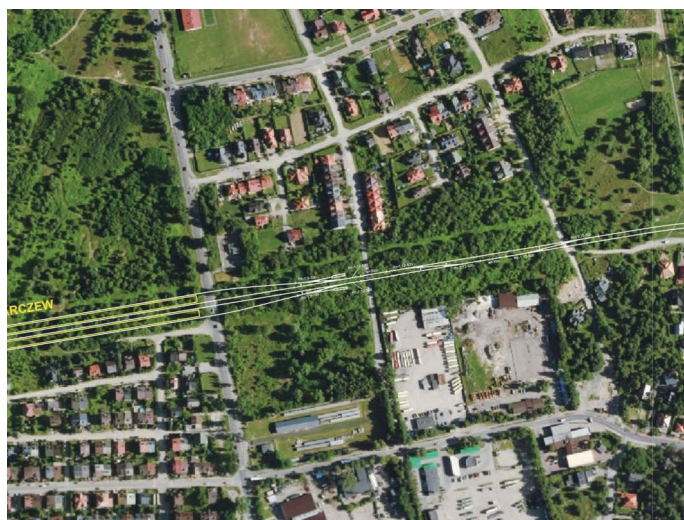
czterech rozjazdów Rz-60E1-1:12-500 i skrzyżowania torów St-60E1-1:4,444, a ponadto jednego rozjazdu łukowego jednostronnego powstałego z rozjazdu podstawowego Rz-60E1-1:12-500. Z kolei na przystanku Otwock Ługi przewidziano dwa perony o długości 200 m, oba jednokrawędziowe, przy czym jeden z nich położony w międzytorzu torów szlakowych.

W wariancie W2 (rysunek 9) linia kolejowa Otwock – Karczew została zaprojektowana jako dwutorowa w standardzie M120. Jej wyłączenie z istniejącej linii kolejowej nr 7 przewidziano w układzie bezkolizyjnym lub kolizyjnym. Układ bezkolizyjny wymaga większej ingerencji w istniejący układ torowy stacji Otwock, ale pozwoliłby na wyprowadzenie nowej

linii w korzystniejszym układzie geometrycznym (łukiem o promieniu ok. 500 m). Jeżeli zasadność ekonomiczna takiego rozwiązania zostanie wykluczona, możliwe jest wyprowadzenie kolizyjne analogiczne do wariantów W1a+ i W1b+, przy założeniu wjazdu na stację Otwock i wyjazdu z niej z niższymi prędkościami, niż wymagane dla kategorii M120. Na przecięciu projektowanej linii kolejowej z ul. Poniatowskiego w rejonie Szkoły Podstawowej nr 2 im. Ireny Sendlerowej w Otwocku przewidziano budowę przystanku osobowego Otwock Soplicowo dla ruchu aglomeracyjnego (perony naprzemianległe o długości 200 m). Dalej nowa linia jest trasowana w kierunku południowo-zachodnim, a po przecięciu ulicy Narutowicza – równoległe do niej, na pograniczu Mazowieckiego Parku Krajobrazowego. Za skrzyżowaniem z ul. Andriollego linię zaprojektowano wzdłuż kanału Struga Pogorzelska (przecinka leśna), a następnie w kierunku pasa terenu między ul. Piłsudskiego a osiedlem Ługi. Na przecięciu z ul. Mickiewiczza proponowana jest budowa przystanku osobowego Karczew Ługi dla ruchu aglomeracyjnego (perony naprzemianległe o długości 200 m, zapewniające dogodną przesiadkę z autobusów jadących z centrum Karczewa na pociągi w kierunku Otwocka i odwrotnie). Dalsze trasowanie linii zakłada wykorzystanie wspomnianego pasa terenu na południe od osiedla Ługi (zdjęcie 10), z przebiegiem osi toru w pobliżu ul. Piłsudskiego, tak aby w jak najmniejszym stopniu zaburzyć integralność przestrzeni rekreacyjnej. W rejonie ul. Popiełuszki proponuje się początek głowicy wschodniej stacji Karczew (rysunek 11), którą przewidziano do obsługi ruchu pasażerskiego międzyaglomeracyjnego i aglomeracyjnego, a także towarowego o małym natężeniu. Stację zaprojektowano jako przechodnią z czterema torami o długości użytecznej co najmniej 750 m i dwoma peronami dwukrawędziowymi o długości 400 m. W obu głowicach przewidziano po cztery rozjazdy Rz-60E1-1:12-500, zaś ochronę boczną torów głównych zasadniczych zapewniają cztery tory



10. Pas terenu w Karczewie przylegający do osiedla Ługi (na wysokości ul. Andersa), widok w stronę stacji Karczew



11. Położenie i układ geometryczny stacji Karczew w wariantcie W2

ochronne wyprowadzone z użyciem rozjazdów Rz 60E1 1:9-190. Lokalizacja i układ torowy stacji zostały dobrane w taki sposób, aby w możliwym stopniu ograniczyć uciążliwość ewentualnych zatrzymań pociągów, w tym towarowych, dla okolicznych mieszkańców (znaczna część stacji zlokalizowana poza obszarem zwartej zabudowy). Z kolei dostępność terenu na północ od stacji i na zachód od ul. Wyszyńskiego pozwala zlokalizować tam ewentualną infrastrukturę dworcową.

Zaprojektowany układ torowy uwzględnia dalsze trasowanie linii kolejowej w kierunku Konstancina-Jeziorny (z budową mostu kolejowo-drogowego na Wiśle w rejonie obecnej przeprawy promowej), co wpisuje się w koncepcje przedstawione we wspomnianym wcześniej Master Planie Warszawskiego Węzła Kolejowego [3]. Do czasu przedłużenia linii kończyłaby się ona na stacji Karczew. W przypadku rezygnacji z budowy połączenia w stronę Konstancina-Jeziorny linia w przebiegu zgodnym z wariantem W2 byłaby w pełni funkcjonalna z punktu widzenia zapewnienia połączenia Karczew – Otwock – Warszawa.

Szanse i zagrożenia płynące z realizacji koncepcji

Jak każda inwestycja w nową infrastrukturę transportową o charakterze liniowym, budowa linii kolejowej Otwock – Karczew wiązałaby się z dużą ingerencją w otoczenie. O ile podczas wizji lokalnej potwierdzono

możliwość poprowadzenia nowej linii praktycznie bez ingerencji w istniejącą zabudowę (pomijając na tym etapie kwestię własności poszczególnych działek), to głównym zagrożeniem dla przedstawionej koncepcji projektowej jest trasowanie linii przez zalesiony obszar terenów pomiędzy Otwockiem i Karczewem (konieczność dokonania wycinek), częściowo wzdłuż granicy z Mazowieckim Parkiem Krajobrazowym. Ponadto, szczególnie w wariantcie W2, bardzo prawdopodobne byłyby protesty mieszkańców osiedli (budownictwo wielorodzinne na północ od proponowanego przebiegu, budownictwo jednorodzinne na południe od planowanego przebiegu) przeciw bliskiemu sąsiedztwu linii kolejowej (warianty W1 wydają się być pod tym względem neutralne).

Szansą jest znaczne udogodnienie warunków dojazdu z Karczewa do Warszawy i wynikające z niego ograniczenie ruchu drogowego, a także – w przypadku wariantu W2 – możliwość wpisania w koncepcje projektowe wynikające z istniejących już dokumentów planistycznych.

Analizując zaproponowane warianty pod kątem dostępności transportu kolejowego, można stwierdzić, że są one bardzo zróżnicowane. W przypadku wariantów W1a i W1a+ położona na skraju miasta stacja Karczew znajdowałaby się w znacznej odległości (800 – 1600m) od osiedla domów wielorodzinnych (bloków) na Ługach, które byłoby głównym generatorem ruchu, oraz w praktyce nie obsługi-

wałaby zachodniej części miasta. Z drugiej strony stacja końcowa znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie strefy przemysłowej, a odległość od centrum Karczewa wynosi około 1 km (Jako punkt z którego mierzono odległość do stacji wybrano Rynek Zygmunta Starego). Wariant W1b stanowi propozycję „przybliżenia” osiedla Ługi do kolei o około 500 m, poprzez dodatkowy przystanek Otwock – Ługi (położony de facto na granicy Otwocka i Karczewa).

Najkorzystniejszy z punktu widzenia dostępności osiedla Ługi (pomijając ewentualne protesty części mieszkańców przeciw „kolei pod oknami”) jest wariant W2 z przystankiem Karczew – Ługi, który obsługiwałby je bezpośrednio. Ponadto w wariantcie tym stacja Karczew umożliwiłaby bezpośrednią obsługę transportem kolejowym gęstej zabudowy jednorodzinnej położonej w tej części miasta (w przeciwieństwie do wariantów W1a, W1a+, W1b). Odległość od centrum miasta (i to zarówno stacji Karczew jak i przystanku Karczew-Ługi) wynosiłaby 1,2 km i byłaby tylko 200 m dłuższa, niż w przypadku wariantów W1a, W1a+, W1b). Zakładając dojazd leśną ścieżką (wykorzystywaną na co dzień w celach rekreacyjnych) w wariantcie W2 nie pogorszyłaby się dostępność dzielnicy przemysłowej.

Patrząc z punktu widzenia funkcjonalności sieci kolejowej warianty W1a, W1a+ oraz W1b nie umożliwiają wydłużenia linii w kierunku zachodnim lub południowym, natomiast wariant

W2 umożliwia przedłużenie linii i połączenie jej z siecią kolejową również z drugiej strony, na przykład przez Konstancin-Jeziorną, Nową Iwiczyną do Warszawy. To ostatnie umożliwiłoby na przykład uruchomienie dwukierunkowej linii okólnej SKM na trasie Warszawa – Otwock – Karczew – Konstancin-Jeziorna – Nowa Iwiczna – Warszawa.

Z punktu widzenia ingerencji w tereny przyrodnicze we wszystkich wariantach linia przebiega wzdłuż granicy Mazowieckiego Parku Krajobrazowego (ale równoległe do istniejącej ulicy Narutowicza), następnie, nieco różniącymi się przebiegami, przecina tereny leśne na pograniczu Otwocka i Karczewa (należy jednak wspomnieć, że jeszcze niedawno rozważano budowę ulicy w podobnym do wariantu W2 śladzie [9]). W przypadku przedłużenia linii w kierunku zachodnim (wariant W2) i budowy mostu przez Wisłę będzie to kolidowało z południowym skrajem Rezerwatu Wyspy Świdurskie. Warto jednak dodać, że w proponowanym miejscu budowy przeprawy w okresie wiosna – jesień funkcjonuje obecnie prom samochodowo-osobowy. Co więcej, przy wydłużeniu przebiegu trasy i odchyleniu jej osi w kierunku południowym, prawdopodobnie możliwe byłoby całkowite ominięcie terenu rezerwatu.

Budowa nowej linii to również szansa na zwiększenie dostępności transportu kolejowego w przewozach towarowych. Istnieje możliwość uwzględnienia w zaprojektowanych układach torowych również bocznic kolejowej do strefy przemysłowej w Karczewie. Z uwagi na uwarunkowania lokalne w szczególności sprzyjałby takiemu rozwiązaniu wariant W2.

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono wstępną wizję przebiegu oraz parametrów techniczno-eksploatacyjnych nowej linii kolejowej Otwock – Karczew w kilku wariantach. Oczywiście jest to jedynie przyczynek do dalszych analiz i trudno wskazać na tym etapie, które z rozwiązań jest najkorzyst-

niejsze. Można natomiast stwierdzić, że najszerszą funkcjonalność zapewnia wariant W2, umożliwiający bezpośrednią obsługę przez transport kolejowej największej części miasta Karczew, a ponadto pozostawia możliwość przedłużenia linii w kolejnym etapie. Oczywiście, ze względu na największy zakres robót (przebieg dłuższy o około 1,0-1,5 km w porównaniu z pozostałymi wariantami, linia dwutorowa), byłby to zarazem wariant najdroższy w realizacji. Z tego względu, jeżeli okazałoby się, że perspektywa przedłużenia linii w kierunku zachodnim jest bardzo odległa, koszty można by obniżyć zmniejszając rozmiar stacji Karczew oraz rezygnując z bezkolizyjnego wyprowadzenia linii z linii kolejowej nr 7 w Otwocku. Koszty mogłaby obniżyć również rezygnacja z drugiego toru szlakowego, jednak ze względu na możliwość elastycznego kształtowania rozkładu jazdy w relacji Karczew – Otwock – Warszawa byłoby to niepożądane.

O zasadności całej inwestycji i jej pożądanym zakresie powinny zdecydować bardziej szczegółowe prace studialne, obejmujące m.in. prognozy przewozów oraz analizę kosztów i korzyści obejmującą różnego rodzaju czynniki ekonomiczne, w tym finansowe i środowiskowe. Równoległe, w celu weryfikacji zaproponowanego układu torowego, powinno się wykonać odpowiednie symulacje ruchu kolejowego w specjalistycznym oprogramowaniu.

Realizacja koncepcji zapewniłaby bezpośrednie i jednocześnie najszybsze z możliwych połączenie transportem zbiorowym Karczewa z Warszawą. Wybór wariantu W2 otworzyłby ponadto nowe możliwości dla kształtowania sieci SKM w aglomeracji warszawskiej, zapewniając możliwość podróżowania w nowych relacjach, w tym w południowej części aglomeracji, gdzie Wisła stanowi obecnie barierę z uwagi na brak przeprawy mostowej pomiędzy Mostem Południowym im. Anny Jagiellonki (w ciągu drogi S2) a Mostem Nadwiślańskim Urzecza (w ciągu DW nr 50, na wysokości Góry Kalwarii). ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bank Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/>, (dostęp 30.09.2022 r.)
- [2] Fotogaleria Transportowa, http://phototrans.pl/20,784,0,Sie__po__cze__PKS__Otwock.html (dostęp 03.10.2022 r.)
- [3] Kierunki rozwoju sieci kolejowej w Warszawskim Węźle Kolejowym Master Plan dla transportu kolejowego w aglomeracji warszawskiej (Master Plan WWK), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2019
- [4] Ogólnopolska baza kolejowa, <https://www.bazakolejowa.pl/index.php?dzial=rjp&tab=37149> (dostęp: 03.10.2022 r.)
- [5] Ogólnopolska baza kolejowa, <https://www.bazakolejowa.pl/index.php?dzial=rjp&str=40483> (dostęp: 03.10.2022 r.)
- [6] Pokropiński B., Kolej jabłonowska, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2004
- [7] Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 250$ km/h, Tom I: Droga szynowa, wersja z dnia 21 kwietnia 2021 roku, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
- [8] Strona internetowa firmy Mini Bus (rozkłady archiwalne), <http://mini-bus.com.pl> (dostęp 30.09.2022 r.)
- [9] Strona internetowa tygodnika Linia Otwocka, <https://linia.com.pl/2021/11/18/przedluzenie-narutowicza-zawieszona/> (dostęp: 05.10.2022 r.)
- [10] TrasBus.com – Historia warszawskiej komunikacji miejskiej, <https://www.trasbus.com/liniaskm1.htm> (dostęp: 30.09.2022 r.)
- [11] Urzędowy Rozkład Jazdy Pociągów – Zima 1951/52
- [12] Urzędowy Rozkład Jazdy Pociągów – Zima 1952/53
- [13] Urzędowy Rozkład Jazdy Pociągów – Zima 1963/63



REKMA Sp. z o.o.

ul. Szlachecka 7

32-080 Brzezie

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

- Dylatacje bitumiczne EDM typ Rekma
- Dylatacje mechaniczno-asfaltowe
SILENT-JOINT^{RESA}
- Szczeliny dylatacyjne w nawierzchniach betonowych i asfaltowych
- Naprawa spękań nawierzchni
- Specjalistyczne cięcie nawierzchni betonowych i asfaltowych
- Wypełnianie szczelin dylatacyjnych w torowiskach tramwajowych
- Natrysk środkami hydrofobowymi i hydrofilowymi
- Rowkowanie (grooving) nawierzchni
- Specjalistyczne wiercenie otworów pod kotwy i dyble
- Kruszenie nawierzchni betonowych metodą ultradźwiękową – RMI



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE



rmRailProtector4.0[®]

Rozwiązania dla ERTMS | ETCS - L1



EUROBALISY | PROGRAMATORY | KODERY LEU | OPROGRAMOWANIE | DIAGNOSTYKA

Dedykowane produkty wchodzące w skład rodziny **Q7 rmRailProtector4.0[®]** to min.:

BAZA SPRZĘTOWA:

Q7-BL-FX
Q7-BL-TR
Q7-BL-TEST

Eurobalisa nieprzełączalna (ang. *fixed*)
Eurobalisa przełączalna (ang. *transparent*)
Eurobalisa do zastosowań testowych

Q7-UPKE
Q7-LU1-BOX
rmDIAGdog

Programator Eurobalis
Koder LEU serii LU1-BOX
Robot diagnostyczny do pracy w terenie

OPROGRAMOWANIE:

Q7-SOFT
Q7-SOFT-MVP
Q7-SOFT-PRO

Pakiet programów współpracujący
z produktami rmRailProtector4.0[®]
Pakiet programów – wersja podstawowa
Pakiet programów – wersja rozbudowana



Więcej na temat
ETCS i ERTMS:
www.ertms.net

Made by Rail-Mil

