

**ALICJA LISZKA**inż., absolwentka Uniwersytetu  
Ekonomicznego w Krakowie,  
e-mail: alaliszka22@gmail.com

# ELEKTRYCZNE TAKSÓWKI POWIETRZNE JAKO ELEMENT MOBILNOŚCI POWIETRZNEJ SMART CITY<sup>1,2</sup>

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia powietrzne taksówki elektryczne, jako innowacyjne rozwiązanie w logistyce miejskiej. Wprowadzeniem do tematu jest opis teorii dynamicznie rozwijającej się koncepcji Smart City, pozwalającej na eliminację niekorzystnych skutków rozwoju aglomeracji oraz dokładniejszą koordynację miasta jako organizmu. Spośród 6 obszarów, które obejmuje Smart City, artykuł poświęcony jest mobilności oraz nowoczesnym rozwiązaniom elektromobilnym, takim jak: elektryczne i hybrydowe samochody, metro, hulajnogi elektryczne, drony itd., wprowadzane w celu dywersyfikacji transportu. Druga połowa artykułu skupia się na opracowywanych obecnie modelach powietrznych taksówek elektrycznych oraz infrastrukturze niezbędnej do ich działania. Istotną inspiracją do powstania artykułu były Światowe Wystawy EXPO2020 w Dubaju, podczas których zostały zaprezentowane niektóre z opisywanych modeli. W polskiej literaturze niewiele źródeł porusza opisywaną tematykę, ale prace nad prototypami są na takim etapie zaawansowania, że wprowadzenie tego rozwiązania w niektórych miejscach na Ziemi jest jedynie kwestią czasu.

**Słowa kluczowe:** mobilność, Smart City, inteligentne miasta, logistyka miejska, elektromobilność, powietrzne taksówki elektryczne.

## Charakterystyka koncepcji Smart City

Urbanizacja oraz wynikające z niej konkretne problemy i konsekwencje wiążą się z potrzebą tworzenia nowych rozwiązań transportowych. Określono, że w 2007 roku po raz pierwszy wskaźnik urbanizacji przekroczył 50% i od tamtej pory stale rośnie<sup>3</sup>. Wynika z tego, że ponad połowa ludzkiej populacji zamieszkuje miasta. Ich szczególny charakter sprawia, że są obiektem zainteresowania w zasadzie większości naukowych dyscyplin ekonomiczno-społecznych. Szybki, nieplanowany i niezrównoważony rozwój obszarów zurbanizowanych wiąże się z tym, że ewoluujące miasta stają się punktami centralnymi wielu pojawiających się zagrożeń dla środowiska i istot żywych. Miejskie skupiska ludzi, mimo negatywnego wpływu na otoczenie, umożliwiają gwałtowny postęp i ciągłe doskonalenie innowacyjnych technologii. Ze względu na możliwość spojrzenia na regionalną gospodarkę i jej zróżnicowany charakter jako całość, miasta stały się miejscem eksperymentalnego szukania rozwiązań na pojawiające się we współczesnym świecie problemy. W rezultacie prowadzonych badań, związanych z funkcjonowaniem obszarów miejskich, powstają różne koncepcje odnoszące się do mechanizmów i narzędzi, których wykorzystanie może

ułatwić zarządzanie i kontrolowanie codziennych procesów, zachodzących w danej aglomeracji. Formą eliminacji niekorzystnych skutków rozwoju miast jest realizacja koncepcji Smart City.

Systemy logistyki miejskiej są jedną z podstaw tworzenia i koordynacji inteligentnego miasta zwanego często – z angielskiego – Smart City. Droga do realizacji założeń tej koncepcji jest długa, trudna i kosztowna. Nie wystarczy uruchomienie w mieście nowoczesnych urządzeń i wprowadzenie innowacyjnej technologii, ale konieczne jest opracowanie szeregu zasad i wdrożenie wielu zróżnicowanych elementów, które pozwolą na stworzenie takiego miasta. Często wystarczą proste, ale dokładnie przemyślane działania, optymalizujące funkcjonowanie mikroregionu, które doprowadzą do jego zrównoważonego rozwoju i poprawy jakości życia mieszkańców. Nabywanie inteligencji powinno być rozumiane przez kontekst rozwoju. Jest to proces ciągły, który nigdy się nie kończy, ponieważ nie istnieje charakterystyka perfekcyjnego inteligentnego miasta. Zawsze pozostaną obszary, w których aglomeracja będzie mogła zostać usprawniona i udoskonalona. Aby rozwinąć tę myśl, należałoby skupić się jednak na tym, czym w rzeczywistości jest omawiane Smart City?

Literatura nie określa jednej, konkretnej definicji tego pojęcia. Autorzy, opisując je często, koncentrują się na konkretnych jego aspektach. Jedni kładą nacisk przede wszystkim na technologie niezbędne przy realizacji koncepcji inteligentnych miast, inni na jego całościową funkcjonalność, kolejni na rozwój skupiony na mieszkańcach i ich dobrobycie. S. Roche, opierając się na wielu dotychczasowych opisach, systematyzuje, że dla zapewnienia najbardziej wszechstronnej definicji inteligentnych miast, powinny być one określane i mierzone w odniesieniu do<sup>4</sup>:

- twardej infrastruktury miasta i jej wpływu na środowisko;
- dostępności i wykorzystania technologii informacyjnych i komunikacyjnych, zarówno przez ludność miejską, jak i administrację publiczną;
- kapitału ludzkiego i społecznego, przejawiającego się w decydujących czynnikach, takich jak: obecność klasy kreatywnej, poziom wykształcenia ludności miejskiej i rozprzestrzenianie się wiedzy poprzez kontakt między rówieśnikami w środowisku miejskim.

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2023.

<sup>2</sup> Artykuł powstał w oparciu o pracę inżynierską autorki pt. *Powietrzne taksówki elektryczne jako innowacyjne rozwiązanie w logistyce miejskiej* napisaną na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie pod kierunkiem dr Agnieszki Żak.

<sup>3</sup> Who.int. 2021, WHO, *Urbanization and health*, <https://www.who.int/globalchange/ecosystems/urbanization/en/> [dostęp: 5.05.2021].

<sup>4</sup> S. Roche, et.al., *Are 'Smart Cities' Smart Enough?*, Global geospatial conference, 2012, s. 217.

Inną, krótką, a jednocześnie trafną i obejmującą wszystkie niezbędne aspekty inteligentnego miasta, jest definicja podana w 2012 roku przez *Committee of Digital and Knowledge-based Cities*. Określa ona, że jest to: *miasto, które wykorzystuje technologie informacyjno-komunikacyjne w celu zwiększenia interaktywności i wydajności infrastruktury miejskiej i jej komponentów składowych, a także do podniesienia świadomości mieszkańców*<sup>5</sup>.

O rozwoju i ciągłym procesie doskonalenia obszarów zurbanizowanych może świadczyć ewolucja definiowanego pojęcia. Przez lata diametralnie zmieniło się wyobrażenie miasta, zwanego inteligentnym. Udoskonalenia, dawniej uważane za nowoczesne, z roku na rok stają się codziennością, a jednocześnie powstaje ogromna liczba nowych rozwiązań, które podnoszą rangę konkretnego miasta ponad inne. Różne programy Smart City można więc podzielić na typy. Często spotyka się także określenie czterech generacji inteligentnych miast. W swoim artykule E. Szczech-Pietkiewicz opisuje trzy z nich<sup>6</sup>: Smart City 1.0, Smart City 2.0 oraz Smart City 3.0. Pierwszy typ charakteryzuje digitalizacja usług i produktów już istniejących. Wprowadzane udoskonalenia nie wpływają zauważalnie na jakość życia, a realizowane są nie tyle na skutek impulsu rynkowego, co przez konkretnych użytkowników. Wprowadzanie inteligentnych rozwiązań pierwszej generacji miało na celu podniesienie ogólnego poziomu konkurencyjności danego obszaru miejskiego. Zmiany zainicjowane przez zarządy miast doprowadziły do określenia kolejnego typu – Smart City 2.0. Odgórny system planowania inteligentnego rozwoju miasta pozwolił skupić się na integracji mechanizmów łączących konkretne elementy budujące miasto jako całość. Druga generacja uwzględniła w znacznym stopniu cele związane z podniesieniem poziomu transportu i jakości powietrza oraz poprawę jakości życia mieszkańców, dla których miasto jest zbudowane. Fundamentem koncepcji Smart City 3.0 są ludzie i ich rola w budowaniu inteligentnego charakteru miasta. Mieszkańcy z odbiorców stają się inicjatorami inteligentnych rozwiązań. Budżet obywatelski jest dobrym przykładem działań, poprzez które ludzie budują inteligencję miasta, decydując bezpośrednio, na jakie projekty przeznaczone zostaną wspólne środki. Bardzo charakterystyczną cechą trzeciej generacji Smart City jest internet rzeczy, stosowany na wielu płaszczyznach życia. Zbieranie i przechowywanie danych pozwala na ich stałe wykorzystywanie, a w rezultacie rozwój<sup>7</sup>. Smart City 4.0 to kolejna sklasyfikowana generacja inteligentnych miast. W skrócie, wartość tej wersji miasta jest określana przez stopień jego samoorganizacji, a więc systemów wewnętrznej łączności sterowanej przez otwarte platformy internetowe i przedsiębiorczości opartej na różnorodności. Procesy komunikacyjne mają być w tej generacji tak rozwinięte, aby miasto mogło działać do

pewnego stopnia automatycznie. Taka forma ma pozwolić na stałą optymalizację funkcjonowania każdego z elementów miasta<sup>8</sup>.

Zmiany zachodzące w wysoko rozwiniętych aglomeracjach, widoczne na każdej płaszczyźnie, wiążą się z coraz nowocześniejszym postrzeganiem ich inteligencji. Już teraz pojawiają się przesłanki dotyczące piątej generacji Smart Cities. Jak podaje G. Rzevski, Smart City 5.0 jest opisywane, jako adaptacyjny, odporny i zrównoważony ekosystem miejski, który oferuje swoim mieszkańcom i gościom wysokiej jakości życie, pracę i wypoczynek w czystym środowisku. Przykładem inteligentnej adaptacji do określonych parametrów jest sytuacja, w której poziom zanieczyszczenia powietrza wzrośnie, a reakcją miasta będzie na przykład autonomiczne zwiększenie opłaty za wjazd do miasta samochodów spalinowych<sup>9</sup>. Prawdopodobnie jest to tylko początek. Kierunek rozwoju obszarów zurbanizowanych z pewnością sprawi, że w kolejnych latach opisywane będą następne generacje, których definicja nie jest jeszcze znana.

Niezależnie od innowacji i zmian wprowadzanych w postrzeganiu inteligencji miast, Smart City, jako koncepcja, dąży do poprawy jakości życia mieszkańców, wzrostu efektywności wszelkich realizowanych działań i rozwoju gospodarczego. Aby cel ten mógł być realizowany, zmiany muszą być inicjowane jednocześnie na różnych płaszczyznach. Problem stworzenia konkretnej definicji inteligentnego miasta doprowadził między innymi do powstania modelu określającego obszary, których rozwój może pozwolić na ocenę inteligencji miasta. Istotną rolę w tworzeniu tej koncepcji odegrał R. Giffinger i jego raport zatytułowany „Smart Cities. Ranking of European medium-sized cities”, który stał się elementem wyjściowym dla wielu kolejnych modeli. Omawiany raport podkreśla, że nazwanie miasta inteligentnym jest rozumiane jako pewna zdolność całości systemu do funkcjonowania na określonym poziomie. Autor identyfikuje 33 czynniki składające się na 6 obszarów, które stają się bazą do oceny miast. Są to<sup>10</sup>:

- Ludzie (*Smart people*) – opisywani nie tylko poprzez poziom kwalifikacji czy wykształcenia obywateli, ale także przez ich otwartość na świat zewnętrzny i jakość interakcji społecznych dotyczących integracji i życia publicznego.
- Gospodarka (*Smart economy*) – obejmuje czynniki związane z konkurencyjnością gospodarczą, takie jak innowacyjność, przedsiębiorczość, znaki towarowe, produktywność i elastyczność rynku pracy, jak również integrację z rynkami narodowymi i międzynarodowymi.
- Środowisko naturalne (*Smart environment*) – opisywane jest przez: atrakcyjne warunki naturalne (klimat, tereny zielone itp.), poziom zanieczyszczenia środowiska, zarządzanie zasobami, a także działania na rzecz ochrony środowiska.

<sup>5</sup> *Inteligentne miasta? Smart City – kiedy miasto jest inteligentne!*, ArcanaGIS, <https://www.arcanagis.pl/kiedy-miasto-jest-inteligentne/> [dostęp: 3.05.2021].

<sup>6</sup> E. Szczech-Pietkiewicz, *Smart City jako forma podnoszenia konkurencyjności miast*, „Raport o konkurencyjności”, Warszawa 2018, s. 247–248.

<sup>7</sup> *Ibidem*, s. 247–248.

<sup>8</sup> Y. Yun, M. Lee, *Smart City 4.0 from the perspective of open innovation*, „Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity”, Seoul 2019, s. 14–15.

<sup>9</sup> G. Rzevski, S. Kozhevnikov, M. Svitek, *Smart City as an Urban Ecosystem*, „2020 Smart City Symposium Prague”, 2020, s. 3.

<sup>10</sup> R. Giffinger, et al., *Smart cities. Ranking of European medium-sized cities*, European Smart Cities, Wiedeń 2007, s. 12.

- Mobilność (*Smart mobility*) – dotyczy przede wszystkim dostępności lokalnej i międzynarodowej, jak również stosowanych technologii informacyjnych i komunikacyjnych oraz nowoczesnych i zrównoważonych systemów transportowych.
- Jakość życia (*Smart living*) – obejmuje różne aspekty jakości życia, takie jak kulturę, zdrowie, bezpieczeństwo, mieszkanie, turystykę itp.
- Zarządzanie (*Smart governance*) – obejmuje aspekty uczestnictwa politycznego, usług dla obywateli, jak również funkcjonowania administracji.

Odnosząc się do powyższego opisu można określić, że inteligentne miasto posiada dodatni wskaźnik w zakresie tych sześciu cech; zbudowane jest na „inteligentnej” kombinacji wyposażenia i działań samodecydujących, niezależnych i świadomych<sup>11</sup>.

Niniejszy artykuł skupiony będzie na innowacjach wprowadzanych w zakresie mobilności. Warto zatem podkreślić stopień, w jakim wpływa ona na jakość funkcjonowania miasta. Używając słowa „mobilność”, tak jak opisano powyżej, należy brać pod uwagę transport i łączność, czyli przede wszystkim dostępność lokalną, krajową i międzynarodową, ale też wykorzystywaną infrastrukturę teleinformatyczną (ICT) oraz innowacyjne, zrównoważone, a przede wszystkim bezpieczne systemy transportowe<sup>12</sup>. Przykładami inteligentnej mobilności mogą być, między innymi: pojazdy zeroemisyjne, systemy informacyjne oferujące przetwarzanie i dostęp do danych jedynie w formie elektronicznej, możliwość komunikacji i interakcji w czasie rzeczywistym, stała, niezakłócona łączność z dowolnego miejsca na Ziemi czy też zintegrowane formy zarządzania ruchem.

### Innowacyjne rozwiązania o charakterze elektromobilnym

Istotne znaczenie w zakresie wprowadzania inteligentnych rozwiązań na poziomie mobilności ma rozwijanie na terenie miast systemów przyjaznych naturze, które pozwolą na poprawę sytuacji środowiska przyrodniczego. W dzisiejszym świecie coraz bardziej popularny staje się temat elektromobilności. Minimalizacja bezpośredniego zużycia surowców nieodnawialnych, takich jak ropa naftowa, i ciągła walka o redukcję ilości emitowanych spalin, to główne powody, dla których pojazdy o napędzie elektrycznym zyskują na znaczeniu. Nie wystarczy jednak wprowadzenie pojazdów elektrycznych. Pozostaje kluczowa kwestia źródła zasilania, które ma je napędzać. W sytuacji, w której pobierana energia pochodzi ze spalania między innymi węgla kamiennego, zmiana silników spalinowych na elektryczne nie przyniesie spodziewanych efektów w zakresie ochrony środowiska. Pewną korzyścią może być fakt, że energia pozyskiwana z paliwa w nowoczesnych elektrowniach będzie związana z mniejszą emisją zanieczyszczeń niż energia wyprodukowana z takiej samej ilości paliwa w tysiącach silników spalinowych. Z pewnością wpłynie to

też na znaczące zmniejszenie niskiej emisji na terenie miasta. Wadą modyfikacji systemu zasilania pojazdów jest jednak fakt, że produkcja i przesył energii oraz proces ładowania, będą związane z dodatkowymi stratami energii elektrycznej. Ogólny wynik środowiskowy pozostanie więc bez większych zmian, które mogłyby poprawić globalny problem zanieczyszczenia powietrza. Nie zmienia to faktu, że właściwa forma wprowadzenia elektromobilności może zauważalnie wpłynąć na poprawę w zakresie ekologicznego funkcjonowania miasta.

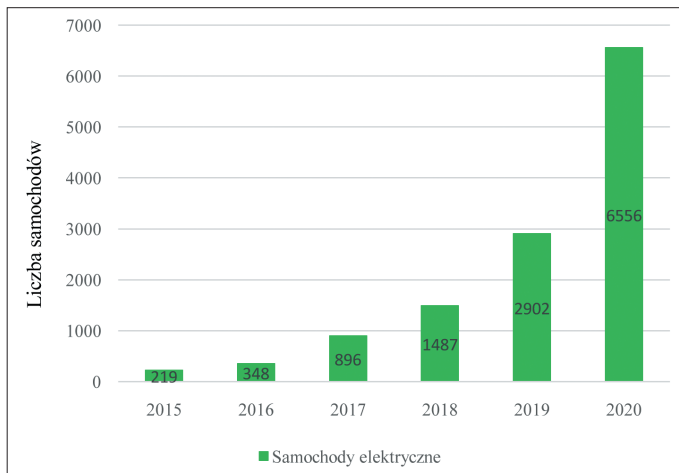
Od lat na świecie prowadzone są wielkie inwestycje związane z budową elektrowni opartych na źródłach odnawialnych (przede wszystkim wykorzystujących wiatr i słońce). Narastająca ilość pozyskiwanej w taki sposób energii sprawia, że będzie dochodzić do sytuacji, w których mocne wiatry lub znaczne nasłonecznienie dostarczą takiej ilości energii, która nie będzie mogła być natychmiastowo wykorzystana. Przykładem są między innymi silne wiatry w nocy, kiedy popyt na energię jest znacznie niższy niż w ciągu dnia, jak i dni świąteczne, kiedy zapotrzebowanie przemysłu jest obniżone. Duża nieregularność produkcji energii ze źródeł odnawialnych niekiedy powoduje, że konieczne jest wstrzymanie pracy innych elektrowni (np. węglowych). Proces zatrzymania, a następnie ponownego ich uruchomienia jest bardzo problematyczny i kosztowny. W ostatnich latach coraz częściej pojawiają się zatem na giełdzie sytuacje, w których cena energii jest zerowa lub nawet ujemna. Zdarza się, że wysoka produkcja w elektrowniach wiatrowych i słonecznych, między innymi w Niemczech, sprawia, że bardziej opłacalna jest sprzedaż energii po cenie ujemnej, niż wstrzymanie procesów w działających elektrowniach o charakterze nieodnawialnym. Wprowadzenie pojazdów elektrycznych w regionach, w których źródła odnawialne zapewniają znaczną część produkowanej energii, może być sposobem na stabilizację systemu energetycznego. Stworzenie inteligentnych ładowarek do pojazdów o napędzie elektrycznym lub hybrydowym ma pozwolić na akumulację w pojazdach energii, która w danym momencie nie może być wykorzystana. Stworzenie takiej sieci elektromobilnej, wykorzystującej energię dokładnie w momencie, kiedy jej produkcja będzie przyjmować wartości odwrotnie proporcjonalne do poziomu popytu, sprawi, że energia nie zostanie zmarnowana, a pojazdy elektryczne okażą się zaskakująco tanie w użytkowaniu.

W artykule termin elektromobilność nie dotyczy jedynie ruchu kołowego. Odnosi się do wszystkich pojazdów i urządzeń działających na napęd elektryczny, którymi charakteryzuje się mobilność danego obszaru. Aby lepiej zrozumieć, co składa się na elektromobilność w mieście, należy poświęcić chwilę czasu na zapoznanie się z przykładami rozwiązań tego typu. Podstawowym i powszechnie znanym w dzisiejszym świecie tematem są samochody elektryczne, definiowane przez ustawę o elektromobilności i paliwach alternatywnych jako pojazdy ładowane przez zewnętrzne źródła zasilania, napędzane wyłącznie energią elektryczną, których działanie nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych<sup>13</sup>. Takie pojazdy oznaczane są w Polsce charakterystyczną

<sup>11</sup> Ibidem, s. 10–12.

<sup>12</sup> A. Bruska, *Logistyka jako komponent Smart City*, „Studia Miejskie”, Opole 2012, nr 6, s. 12.

<sup>13</sup> Dz.U. z 2018 r. poz. 317, s. 2.



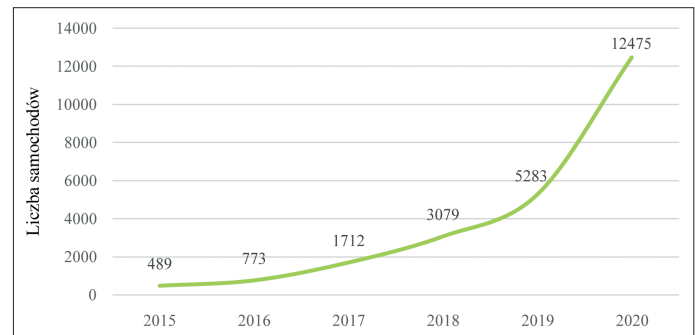
Rys. 1. Flota samochodów osobowych napędzanych energią elektryczną w Polsce w latach 2015–2020

Opracowanie własne na podstawie: European Alternative Fuels Observatory, <https://www.eafo.eu/countries/poland/1748/summary>; 16.05.2021.

zieloną rejestracją. O rozwoju elektromobilności na polskich drogach świadczą zmieniające się z roku na rok statystyki dotyczące liczby samochodów napędzanych energią elektryczną. Rysunek 1 przedstawia wielkość polskiej floty takich pojazdów w latach 2015–2020.

Od roku 2015 liczba samochodów o alternatywnym napędzie rośnie coraz gwałtowniej. Jednocześnie na drogach pojawiają się popularne pojazdy o napędzie hybrydowym, które w rozumieniu przytoczonej ustawy posiadają napęd spalinowo-elektryczny. Energia jest w nich akumulowana, tak jak w pojazdach elektrycznych, poprzez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania<sup>14</sup>. Tempo wzrostu ogólnej liczby samochodów zasilanych w pełni lub częściowo energią elektryczną na przestrzeni ostatnich pięciu lat obrazuje rysunek 2.

Warto zwrócić uwagę także na elektryczne rozwiązania w transporcie publicznym. Najpopularniejszym środkiem komunikacji napędzanym w ten sposób jest opisywane w poprzednim rozdziale metro. Przepustowość elektrycznych kolei miejskich sprawia, że energia wykorzystywana w przeliczeniu na jednego pasażera jest znikoma. Opracowane systemy ładowania i cały schemat działania metra pozwalają ocenić go jako najefektywniejszą i najbardziej przyjazną środowisku formę komunikacji. Transport publiczny to także tramwaje i autobusy, wśród których różne formy napędu elektrycznego zyskują na znaczeniu. Coraz częściej na ulicach pojawiają się najbardziej ekologiczne z nich – autobusy zeroemisyjne. Zgodnie z przytoczoną już ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych, są to pojazdy napędzane energią wytworzoną z wodoru, bezpośrednio w ogniach paliwowych znajdujących się w silniku. Zeroemisyjnymi nazywane są wszystkie pojazdy, których działanie nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych<sup>15</sup>. Duży wpływ na zmianę w kwestii zasilania naziemnej komunikacji miejskiej mają wprowadzane przez Unię Europejską przepisy dotyczące ograniczenia zużytych w UE paliw kopalnianych.



Rys. 2. Wzrost liczby pojazdów napędzanych energią elektryczną w latach 2015–2020

Opracowanie własne na podstawie: European Alternative Fuels Observatory, <https://www.eafo.eu/countries/poland/1748/summary>; 16.05.2021.

Konsekwencją takich postanowień jest wzrost liczby dotacji, które można uzyskać, między innymi, jako wsparcie realizacji strategii Europejskiego Zielonego Ładu<sup>16</sup>, której celem jest wspólne stworzenie Europy neutralnej dla klimatu i środowiska naturalnego.

Ciekawą formą wykorzystania napędu elektrycznego są wprowadzane w Chinach tunelowe autobusy TEB. Jest to innowacyjny pojazd szynowy, w którym przestrzeń przeznaczona dla pasażerów znajduje się na podwyższeniu. Konstrukcja zbudowana jest w taki sposób, aby mogła opierać się na szynach, między którymi pozostaje przestrzeń dla dwupasmowego ruchu samochodowego. Do zalet autobusów tunelowych zalicza się:

- płynność działania,
- przepustowość (może zastąpić 6 autobusów tradycyjnych),
- eliminację zanieczyszczeń poprzez zastosowanie napędu elektrycznego,
- niewielkie koszty wdrożeniowe.

Wadami takiej formy transportu jest możliwość realizacji projektu jedynie na głównych, szerokich drogach oraz utrudnienie ruchu tunelowego dla wyższych pojazdów takich jak samochody ciężarowe. Autobusy TEB nie mogą poruszać się także na obszarach, na których występują wiadukty i estakady, ze względu na znaczną wysokość<sup>17</sup>.

W ostatnich latach pojawia się także wiele inicjatyw dotyczących elektromobilności ułatwiającej pokonywanie krótkich dystansów (mikrotransport). Coraz częściej w miastach można znaleźć ogólnodostępne, lekkie, tak zwane środki transportu osobistego, takie jak rowery, hulajnogi czy urządzenia typu segway, o napędzie elektrycznym. Sprawdzają się one idealnie pod względem pokonywania nieznacznych odległości, zbyt długich do pieszej wędrowki. Rower zapewnia ważny dla zdrowia codzienny ruch, natomiast napęd wspierający ułatwia pokonanie dłuższych odległości nawet przy obniżonej kondycji fizycznej. Obecnie szeroko promowane są hulajnogi elektryczne. Przez długi czas, między innymi w Polsce, nie wydawano konkretnych przepisów na temat ich

<sup>14</sup> Ibidem, s. 2.

<sup>15</sup> Ibidem, s. 1.

<sup>16</sup> Zob. Komisja Europejska, Europejski Zielony Ład, Działania podejmowane przez UE, [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu\\_pl](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu_pl) [dostęp: 18.06.2021].

<sup>17</sup> E. Puzio, op.cit., s. 60.

stosowania, co sprawiało realne zagrożenie dla użytkownika, jak i dla otoczenia. Nowelizacja przepisów w tym zakresie nastąpiła w maju 2021 roku. Zgodnie z jej zapisami hulajnoga elektryczna to dwuosiowy pojazd napędzany elektrycznie, sterowany za pomocą kierownicy, nie posiadający siedzenia ani pedałów, przeznaczony do użytku indywidualnego<sup>18</sup>. Zasady dotyczące formy poruszania się nim, w znacznym stopniu podniosły poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Przepisy te obejmują przede wszystkim zakaz<sup>19</sup>:

- jazdy po jezdni na drogach o ograniczeniu prędkości przekraczającym 30 km/h.;
- jazdy w stanie nietrzeźwości lub pod wpływem innych środków odurzających;
- transportu innych osób, towarów i zwierząt;
- holowania innych pojazdów;
- pozostawiania urządzenia w niedbały sposób (inny niż równoległe do krawędzi).

Podstawową zmianą, która wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa na drogach, jest określenie przestrzeni, po której hulajnogi mogą się poruszać. Zgodnie z przytoczonymi przepisami użytkownik hulajnogi powinien poruszać się po ścieżce rowerowej, maksymalnie z prędkością 20 km/h. W sytuacji braku pasa ruchu przeznaczonego dla rowerzystów może korzystać z jezdni, na której dopuszczalna prędkość nie przekracza 30 km/h. W innych sytuacjach, gdy nie ma ścieżki rowerowej, a jezdnia dopuszcza ruch z prędkością wyższą niż 30 km/h, użytkownik może poruszać się po ciągach pieszych, z prędkością otaczających go osób, przy zachowaniu szczególnej ostrożności, jednocześnie uznając bezwarunkowe pierwszeństwo pieszego<sup>20</sup>.

Brak zasad dotyczących ruchu urządzeń transportu osobistego wpływa na obniżenie bezpieczeństwa oraz ułatwia akty wandalizmu, a w rezultacie przyspiesza proces dewastacji ogólnodostępnych urządzeń. Efektywne wprowadzanie takich rozwiązań nie jest zatem możliwe bez realizacji niezbędnych zmian w infrastrukturze i przepisach prawnych obowiązujących na danym terytorium. Miasta, rozwijając się, powinny dbać o kompleksowość wprowadzanych usprawnień, aby były one funkcjonalne i trwałe.

Globalizacja transportu i logistyki ma znaczący wpływ na dynamicznie rozwijające się lotnictwo. Jest to najnowocześniejsza gałąź transportu, która pozwala na bardzo szybki przewóz towarów i ludzi. Rozwój technologii i jej powszechna użyteczność przez prywatnych konsumentów sprawiły, że dostęp do statków powietrznych jest codziennością. Jednocześnie istnieje wiele innowacyjnych rozwiązań w zakresie transportu powietrznego, takich jak bezzałogowe statki powietrzne, znane jako drony. Obecnie coraz więcej firm wprowadza elektryczne drony, które mają służyć do transportu towarów. Używane są one przede wszystkim na

terenie miast i na obszarach trudno dostępnych. Prostota obsługi, relatywnie niskie koszty produkcji i eksploatacji, a przede wszystkim szybkość realizowanego transportu są niewątpliwymi zaletami, które wpływają na ogromne zainteresowanie taką formą transportu. Stosowane w miastach wielowirnikowce mają stosunkowo duży udźwieg, a autonomiczny charakter pozwala uniknąć błędów spowodowanych przez czynnik ludzki. Drony wielowirnikowe są obecnie wprowadzane na dużą skalę nie tylko przez firmy kurierskie, ale także oddziały ratunkowe (straż pożarna, policja, szpitale czy wojsko). Dzięki bezzałogowym statkom powietrznym istnieje możliwość dostarczenia niezbędnego sprzętu lub przesłania obrazu z miejsca wypadku, w czasie rzeczywistym, do odpowiednich służb, pozwalając im odpowiednio przygotować się do akcji ratunkowej<sup>21</sup>.

Dużym problemem w kontekście nowoczesnych rozwiązań elektrycznych jest niedostosowanie restrykcji prawnych do dynamicznie rozwijających się, innowacyjnych systemów transportowych. Dostępność dronów w wielu krajach rośnie tak szybko, że akty prawne nie są na bieżąco aktualizowane, co uniemożliwia korzystanie ze stworzonych już rozwiązań<sup>22</sup>. Użyteczność klasycznych wielowirnikowców podsunęła pomysł stworzenia odrębnego kierunku w tej dziedzinie, skupiającego się na przystosowaniu dronów do przewozu pasażerów. Taki typ statków powietrznych może być przyszłą formą dywersyfikacji transportu miejskiego. Już dziś coraz więcej słyszy się o rozwoju projektów powietrznych taksówek elektrycznych (PTE), które opisane zostaną w następnej części niniejszego artykułu. Ich wprowadzenie nie będzie jednak możliwe bez odpowiednich warunków legislacyjnych pozwalających na działanie tego typu urządzeń.

Aby projekty na rzecz elektromobilności spełniały swoje cele, należy skupić się na pozyskiwaniu energii odnawialnej i właściwym jej wykorzystywaniu. Elektryczne rozwiązania w miastach mogą znacznie wpłynąć na poprawę sytuacji środowiskowej, tylko dzięki odpowiedniej polityce, która pozwoli na pełne wykorzystanie wytwarzanej zielonej energii, a jednocześnie na obniżenie kosztów użytkowania wszystkich opisywanych rozwiązań. Zaktualizowana polityka powinna łączyć w sobie warunki legislacyjne, dotyczące pozyskiwania energii, jednocześnie definiując sposób, w jaki innowacyjne rozwiązania elektromobilne powinny być wykorzystywane, aby służyły ludziom w sposób sprawny, efektywny, a przede wszystkim bezpieczny.

### **Infrastruktura i systemy obsługujące powietrzne taksówki elektryczne**

Opisywane powyżej problemy transportowe są obecne w miastach na całym świecie. Naukowcy szukają dla nich rozwiązania. Coraz to nowsze technologie sprawiają, że pojawia się możliwość pójścia o kolejny krok dalej. Istnieją projekty, które pozwoliłyby na poluzowanie naziemnego ruchu na ulicach, poprzez wprowadzenie miejskich dróg powietrznych.

<sup>18</sup> Gov.pl Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, Nowe przepisy dotyczące hulajnóg elektrycznych i urządzeń transportu osobistego, <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/nowe-przepisy-dotyczace-hulajnog-elektrycznych-i-urzedzen-transportu-osobistego2> [dostęp: 15.08.2021].

<sup>19</sup> Ibidem.

<sup>20</sup> Ibidem.

<sup>21</sup> M. Nowakowski, et al., *Drony transportowe: nowa era transportu towarów i ludzi*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, 2016, nr 17.6, s. 627–631.

<sup>22</sup> Ibidem, s. 628.

Jednocześnie coraz więcej rozwiązań skupia się nie tyle na rozładowaniu systemu transportowego, co na przyspieszeniu realizacji drogi do pokonania. Łączy się to ze sobą w znacznym stopniu, ponieważ to kongestia transportowa uniemożliwia przemieszczanie się w zadowalającym tempie. Obecnie panujące systemy komunikacyjne osiągnęły kres swoich możliwości przepustowych. Ludzie szukają dynamiczniejszego i efektywniejszego sposobu poruszania się. Czegoś, co da im możliwość pokonania ograniczeń czasowych, bycia szybszym i bardziej mobilnym niż inni, czegoś, co nie będzie dostępne dla wszystkich. Są spragnieni oferty, która da im pewną formę luksusu. Dawniej oferował ją wóz, następnie samochód, który dziś jest już codziennością. Rozwiązaniem udostępniającym lepiej zintegrowany, szybszy, bezpieczniejszy i czystszy system transportowy może być miejska mobilność lotnicza.

Rozwój technologii obejmującej bezałogowe statki powietrzne, używane głównie w formie małych dronów, spowodował intensywny wzrost zainteresowania wielu firm stworzeniem autonomicznych maszyn latających, które mogą działać jako powietrzne taksówki elektryczne przewożące pasażerów na niewielkie odległości w obrębie miasta. Zgodnie z definicją zapisaną przez S. Rajendrana i S. Srinivasa<sup>23</sup>, na podstawie różnorodnych źródeł, powietrzną taksówkę należy interpretować jako mały, elektryczny samolot (helikopter), o średniej pojemności do 4 osób, przeznaczony do przewozu pasażerów na żądanie, w miastach metropolitalnych. Możliwość zastosowania wirników o niskim obciążeniu, a jednocześnie niewielki zasięg połączeń, pozwalają na minimalizację zapotrzebowania na energię i moc, a w rezultacie rozważenie innych niż tradycyjne koncepcje napędowe. Projektowany dla PTE napęd elektryczny wymaga akumulatorów o niewielkiej masie i bardzo dużej mocy. Lekkie i wydajne akumulatory mają kluczowe znaczenie dla opracowania samolotów elektrycznych. Zakłada się, że do realizacji usług elektromobilności powietrznej, potrzeba energii właściwej na poziomie 400 Wh/kg, czyli około 4 razy więcej, niż w powszechnie stosowanych akumulatorach. Każda zmiana zastosowanego akumulatora wpływa na zmianę masy całości maszyny, a w rezultacie na potrzebę wykorzystania jeszcze większej ilości energii. Prace nad odpowiednią baterią są jedną z najważniejszych sfer tworzenia systemów PTE. To od możliwości napędowych zależy zasięg i pojemność projektowanych rozwiązań. Połączenie napędu elektrycznego z autonomicznym sterowaniem, nowoczesnymi technologiami akumulatorów i wieloma innymi systemami, które są już dostępne, daje możliwość stworzenia sieci miejskiego transportu lotniczego na dużą skalę<sup>24</sup>.

Utajniony charakter badań nad elektromobilnością lotniczą ma znaczny wpływ na niejednorodność projektów, różniących się od siebie pod względem konstrukcyjno-tech-

nologicznym. Mimo że autonomiczne pojazdy to w wielu krajach wciąż science fiction, większość prototypów powietrznych taksówek elektrycznych wyklucza udział sternika w procesie transportu. Maszyny projektowane na tę chwilę z uwzględnieniem kierującego, w dłuższej perspektywie mają także przekształcenie sposobu działania na samodzielny. Wśród powodów projektowania bezpilotowych systemów dla PTE znajduje się fakt, że dla tak niewielkiej maszyny obecność pilota znacznie zmniejszy możliwą ładowność (pilot zajmuje miejsce, które mógłby zająć pasażer), a zarazem wydajność pojazdu. Jednocześnie istotny jest także koszt pracownika. Wydatki związane z siłą roboczą są drugim co do wielkości kosztem ponoszonym przez sektor lotniczy<sup>25</sup>. Autonomiczność pojazdu pozwoli na znacznie większą przepustowość tej formy transportu, przy jednoczesnej oszczędności funduszy na przygotowanie i opłacanie pracy pilotów. Warto przypomnieć, że pojazd autonomiczny to taki, który sterowany jest za pomocą rozwiązań technologicznych. Kierowca zastąpiony zostaje złożonym układem sterującym, na który składa się komputer pokładowy, oprogramowanie, różnego rodzaju czujniki i najwyższej jakości urządzenia komunikacyjne, pozwalające na kontakt maszyny z otoczeniem. Efektywność i bezpieczeństwo pojazdów zależą także od terenu, po którym się poruszają. Odpowiednio przygotowana infrastruktura i systemy komunikacyjne są niezbędne, aby pojazd autonomiczny mógł swobodnie poruszać się z punktu A do punktu B<sup>26</sup>.

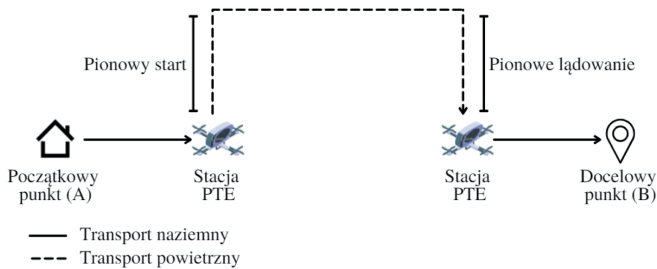
Mimo wspomnianej różnorodności projektów, podstawą działania miejskiej elektromobilności jest przede wszystkim zautomatyzowana technologia, umożliwiająca pionowy start i lądowanie maszyny (ang. *electric vertical takeoff and landing*, znane jako eVTOL). Jest to system podobny do stosowanego w śmigłowcach, który umożliwia taksówkom powietrznym unoszenie się i lądowanie w pionie, z mniej więcej stałą prędkością, niemal natychmiastowe przejście do lotu do przodu i przyspieszenie do wymaganej prędkości przelotowej, jednocześnie pozwalając na manewrowanie pomiędzy budynkami i innymi przeszkodami<sup>27</sup>. Wykorzystanie eVTOL we wszystkich powietrznych taksówkach elektrycznych sprawia, że schemat ich działania jest bardzo podobny.

Koncentrując się na transporcie lotniczym, należy wziąć pod uwagę fakt, że nie jest to tak zwany transport od drzwi do drzwi. Jak dotąd nie ma możliwości, aby człowiek był odbierany i wysadzany w dowolnym miejscu na mapie. Wprowadzenie PTE będzie wiązało się zatem z planowaniem podróży na podstawie tras pomiędzy konkretnymi węzłami komunikacyjnymi. Proces pokonania odległości z punktu A do punktu B, zaprezentowany na rysunku 3, będzie zatem składał się z kilku etapów. Pierwszy to dojazd z punktu A do punktu startu za pomocą transportu naziemnego (wizja powietrznych taksówek elektrycznych zakłada, że będą one

<sup>23</sup> S. Rajendran, S. Srinivas, op.cit, s. 22.

<sup>26</sup> B. Grusza, *Wizje i scenariusze rozwoju autonomicznych systemów transportowych*, „E-mobilność: wizje i scenariusze rozwoju”, Publikacje Europejskiego Kongresu Finansowego, Sopot 2017, s. 63.

<sup>27</sup> S. Shamsheer, J.R.R.A. Martins, *Tilt eVTOL takeoff trajectory optimization*, „Journal of Aircraft”, Ann Arbor 2019, s. 1.



Rys. 3. Schemat podróży powietrzną taksówką elektryczną

Opracowanie własne na podstawie: S. Rajendran, S. Srinivas, *Air taxi service for urban mobility: a critical review of recent developments, future challenges, and opportunities*, "Transportation research part E: logistics and transportation review, Columbia 2020, 143, 102090, s. 3.

skoordynowane z systemem taksówek tradycyjnych, zadaniem których będzie transport klienta z rzeczywistej lokalizacji do najbliższej stacji PTE). Po przesiadce następuje główny etap podróży – lot powietrzną taksówką. Ze stacji docelowej następuje transport pasażera do punktu B, za pomocą czekającej na miejscu taksówki naziemnej. Jeśli natomiast lądowiska PTE znajdują się w nieznacznej odległości od punktu początkowego lub docelowego, użytkownik naturalnie pokonuje tę odległość pieszo. Sama koncepcja elektromobilności powietrznej jest więc z założenia formą transportu multimodalnego. Logistyczna koordynacja przejazdów mogłaby pozwolić także (dla większych PTE) na łączenie w grupy pasażerów, podróżujących w tym samym kierunku, co podniosłoby przepustowość komunikacji lotniczej. Integracja segmentów podróży byłaby jednak wtedy jeszcze trudniejsza, a rozwiązanie utraciłoby swój indywidualny charakter.

Aby transport był efektywny i wygodny, wprowadzenie powietrznych taksówek elektrycznych musi zostać dokładnie zaplanowane i zrealizowane w przemyślany sposób. Patrząc na rysunek 3, nasuwa się pytanie, gdzie powinny być zlokalizowane lądowiska i jak gęsto powinny być rozmieszczone. Szeroko rozwinięta infrastruktura potrzebna do realizacji miejskiego transportu lotniczego musi składać się nie tylko z odpowiednio rozłożonych lądowisk, ale przede wszystkim ze stacji, których załoga, poza możliwością odbioru klientów, będzie odpowiedzialna za procesy lądowania, konserwacji, parkowania i przechowywania pojazdów. Ograniczony zasięg PTE sprawia, że stacje lądowania i konserwacji powinny być gęsto rozłożone, aby w razie potrzeby każda taksówka mogła zostać dodatkowo doładowana podczas przesiadki pasażera. Tym samym w razie awarii byłaby możliwość realizacji międzylądowania, podczas którego problem zostałby natychmiastowo rozwiązany przy zachowaniu pełnego bezpieczeństwa użytkowników.

Stworzenie miejskiej infrastruktury operacyjnej jest jedną z ważnych barier wdrożenia PTE. Wybór lokalizacji dla stacji operacyjnej zależy między innymi od intensywności popytu na danym obszarze oraz możliwości realizacji bezpiecznego startu i lądowania. Istotnym aspektem jest także jej położenie i dostępność dla mieszkańców. W literaturze pojawiały się propozycje wykorzystania w tym celu powierzchni<sup>28</sup>:

- istniejących lądowisk dla helikopterów, znajdujących się na dachach budynków i na otwartych przestrzeniach, co pozwoliłoby na szybsze i tańsze początkowe wdrożenie PTE;
- barek pływających, rzadko wykorzystywanych, a oferujących wystarczającą przestrzeń do przygotowania w pełni operacyjnych stacji postojowych;
- rozjazdów na obrzeżach miast, często budowanych w formie kolistych zakrętów, pośrodku których pojawia się przestrzeń nadająca się do przygotowania stacji PTE. Taka lokalizacja zmniejsza też uciążliwość hałasu wywoływanego przez taksówkę, zagłuszającą się wzajemnie z poruszającymi się naokoło samochodami;
- dachów lub górnych poziomów garaży parkingowych, których lokalizacja i funkcjonalność pozwalają na wygodną zmianę prywatnego środka transportu na alternatywny;
- płaskich dachów wysokich budynków, w celu zwiększenia bezpieczeństwa, poprzez uniknięcie konieczności manewrów związanych z omijaniem gęstej zabudowy miejskiej;
- platform u szczytu budynku, specjalnie przygotowanych na potrzeby PTE i helikopterów (takie rozwiązanie stosowane jest już często w ekskluzywnych budynkach, np. w jednym z najbardziej luksusowych hoteli świata – Burj al Arab).

Istotnym aspektem w przygotowywaniu odpowiedniej infrastruktury jest określenie przepustowości konkretnych stacji, a co za tym idzie ich wielkości i systemów obsługujących. Opierając się na odpowiednich danych, można obliczyć potencjalny popyt na danym terenie i na jego podstawie określić, które stacje powinny być wybudowane od podstaw jako ważniejsze węzły komunikacyjne. Jednocześnie duże znaczenie ma logistyczna obsługa systemu elektromobilności lotniczej, która za pomocą odpowiedniej koordynacji, pozwoli na odciążenie najczęściej wybieranych stacji, na przykład poprzez przekierowanie konkretnych obiektów do stacji lub lądowisk zlokalizowanych w pobliżu.

Podobieństwo systemu działania powietrznych taksówek elektrycznych do typowych systemów transportowych sprawia, że proces zamawiania PTE będzie podobny do modelu stosowanego przy rezerwacji standardowego, opisywanego wcześniej przewozu na żądanie. Schemat będzie przypominał działanie takich firm usługowych, jak Bolt czy Uber. Klient za pomocą aplikacji wybierze miejsce odbioru i cel podróży, a platforma oszacuje jej cenę na podstawie konkretnych wytycznych. W zależności od odległości i połączenia aplikacja może zaoferować przejazd klasyczną taksówką lub połączoną usługą naziemną i powietrzną. W takiej sytuacji użytkownik będzie miał możliwość wyboru środka transportu w zależności od własnych preferencji<sup>29</sup>. Istotne jest, aby

<sup>28</sup> S. Rajendran, S. Srinivas, op.cit, s. 8–10.

<sup>29</sup> S. Rajendran, J. Shulman, *Study of Emerging Air Taxi Network Operation using Discrete-Event Systems Simulation Approach*, "Journal of Air Transport Management", 2020 [za:] S. Rajendran, S. Srinivas, *Air taxi service for urban mobility: a critical review of recent developments, future challenges, and opportunities*, "Transportation research part E: logistics and transportation review, Columbia 2020, 143, 102090, s. 4.

platforma kontrolująca funkcjonowała według odpowiedniego algorytmu, kalkulującego szacowany czas obioru, odległość podróży oraz aktualną podaż pojazdów. Jest to niezbędne, aby zapewnić płynność transportu (minimalizacja czasu oczekiwania, ograniczenie pustych przelotów). Trudności w stworzeniu algorytmu wynikają ze zmienności popytu i podaży. Elastyczność, autonomiczność i dynamika to podstawowe cechy, które taki system powinien posiadać, aby móc koordynować przejazdy na żądanie. Schemat funkcjonowania PTE zależy także od formy działania, jaka zostanie wybrana. Istnieją dwie kategorie miejskiej elektromobilności powietrznej<sup>30</sup>:

- usługa dla pojedynczego klienta – indywidualny podróżujący z punktu odbioru do miejsca docelowego,
- obsługa grupy klientów równocześnie – łączenie pasażerów w grupy, podróżujące z tej samej okolicy w podobnym kierunku. Taka strategia może znacznie zwiększyć efektywność stacji, przy jednoczesnym podziale kosztów i ograniczeniu zużytej energii.

Obsługa kilku pasażerów jest jednak możliwa jedynie przy większych maszynach. Jednoosobowe PTE obsługujące indywidualnych klientów będą z pewnością mniej efektywne, ale oferowany w ten sposób bezpośredni przejazd i luksus z pewnością przyciągną klientów.

Inną decyzją, zależną w znacznym stopniu od sytuacji ekonomiczno-gospodarczej kraju, w którym rozwiązanie będzie wprowadzane, jest koszt przelotu PTE. Mimo podobieństwa do taksówek naziemnych (usługi na żądanie, trasy wyznaczane w czasie rzeczywistym), charakter rozwiązań powietrznych jest zupełnie inny, a koszty znacznie wyższe. W prasie branżowej można znaleźć informację o tym, że docelowo PTE mają być dostępne w cenach porównywalnych do obecnych taksówek naziemnych, jednak na początku z pewnością będzie to ekskluzywna forma transportu. Przy ustalaniu cen należy wziąć pod uwagę przede wszystkim opłatę za przejazd, koszt podróży (zależny od odległości), czas trwania, opłatę rezerwacyjną i tym podobne. Jednocześnie, wprowadzając PTE na danym obszarze, istotną kwestią, do której należy dopasować ceny przelotów, jest sytuacja materialna mieszkańców. Określenie schematu cenowego jest kluczowym problemem, ponieważ ma bezpośredni wpływ na równowagę popytową i podażową oraz przychody. Osiągnięcie balansu w znacznym stopniu zależy od strategii ustalania cen. Dynamiczna polityka w tym zakresie może przynieść korzyści pasażerowi, jak i operatorowi. Polega ona na inteligentnym dostosowaniu mnożnika cenowego do liczby dostępnych kierowców, lokalizacji pojazdów, gotowości do wspólnego korzystania z nich. Zgodnie z prawem popytu taki system pozwala na kontrolę obłożenia PTE i płynność w ich funkcjonowaniu. Wzrost ceny w godzinach szczytu sprawia, że zmniejsza się popyt, natomiast w czasie najmniej intensywnego ruchu spadek ceny zachęca najmniej przekonanych klientów do skorzystania z oferty. W literaturze pojawiają się także propozycje ustalania cen przestrzennie, czyli na podstawie geograficznie

określanych obszarów, na których panuje większy lub mniejszy popyt. Taka forma może okazać się jednak mniej elastyczna i nie gwarantuje optymalnego działania komunikacji. Użycie inteligentnych systemów kalkulacyjnych może pozwolić także na uruchomienie w miastach dodatkowych modeli cenowych dla wydarzeń specjalnych, takich jak imprezy sportowe czy biznesowe. Odpowiedzią na duży popyt i pewne zainteresowanie ze strony gości powinna być podwyższona cena, która ułatwiłaby kontrolę popytu, a jednocześnie pozwoliłaby na znaczny wzrost przychodów u przewoźnika. Istnieje wiele strategii cenowych, jednak model odpowiedni dla PTE pojawi się dopiero w momencie zebrania odpowiedniej ilości danych historycznych, które pozwolą na kalkulację najoptymalniejszej ścieżki rozwoju<sup>31</sup>.

Wprowadzenie miejskiej elektromobilności powietrznej wiąże się z ogromnymi nakładami inwestycyjnymi. Odpowiednio przemyślana strategia jest niezbędna, aby PTE mogły się rozwinąć i odnieść sukces. Opisane w tej części kwestie to tylko część tematów, nad którymi trzeba się pochylić, aby przygotować miasto pod względem infrastrukturalnym i ekonomicznym do rozwoju miejskiej komunikacji lotniczej.

### Modele powietrznych taksówek elektrycznych

Różnorodne projekty dotyczące wprowadzenia powietrznych taksówek elektrycznych w metropoliach skupiają się przede wszystkim na konfiguracji pojazdów umożliwiających transport pasażerski. Większość badań opartych jest na wykorzystaniu trzech podstawowych typów taksówek działających na zasadzie eVTOL. Wybór konkretnego modelu jest podstawą strategii działania firmy, ponieważ wiąże się z ogromnymi nakładami kapitałowymi, a każdy typ diametralnie różni się od innych między innymi wysokością przelotową, prędkością, zasięgiem lotu i wpływem na środowisko. Powszechnie znanymi typami prototypów PTE są<sup>32</sup>:

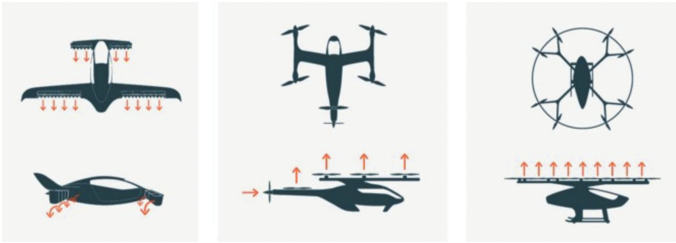
- Vectored thrust* (rys. 4a) – wykorzystujący siłę ciągu wektorowego, czyli zdolność do zmiany kierunku rozpędu wytwarzanego przez silniki. Technologia opiera się na zamocowanych na skrzydłach śmigłach, które, obracając się, nadają kierunek ciągu. Zaletą tego rozwiązania jest fakt, że umożliwia ono osiągnięcie stosunkowo wysokich prędkości przelotowych.
- Lift + cruise* (rys. 4b) – działająca w oparciu o dodatkowe, niezależne silniki, zapewniające jednocześnie siłę ciągu i zdolność przelotową. Siłę nośną umożliwiającą pionowy start i lądowanie generują tu stałe, pionowe śmigła zamontowane na górze pojazdu (działanie podobne do tego, stosowanego w helikopterach). Zamontowane na skrzydłach wirniki poziome generują natomiast ciąg do przodu, pozwalający na pokonanie trasy właściwej. Zaletą tego rozwiązania jest dodatkowe bezpieczeństwo zapewniane przez elektryczne śmigła działające niezależnie. Awaria jednego z nich nie będzie miała wpływu na pracę pozostałych.

<sup>31</sup> Ibidem, s. 14–21.

<sup>32</sup> Ibidem, s. 10–11.

<sup>30</sup> S. Rajendran, S. Srinivas, op.cit, s.13.





Rys. 4. Schemat budowy najpopularniejszych modeli PTE:

a) *Vectored Thrust*; b) *Lift + Cruise*; c) *Multicopter*

Źródło: Lilium, *What it takes to design an aircraft from scratch*, <https://blog.lilium.com/what-it-takes-to-design-an-aircraft-from-scratch-ef02082a9899> [dostęp: 29.06.2020].

c) *Wingless multicopter* (rys. 4c) – którego konstrukcja jest podobna do śmigłowca. Maszyny te nie posiadają skrzydeł i opierają się na wytwarzaniu ciągu za pomocą wielu wirników – zazwyczaj minimum czterech. Liczba śmigieł pozwala na lepszą kontrolę lotu, a także zmniejszoną produkcję hałasu i wibracji, co jest ważną zaletą tego modelu.

Każda z opisanych konstrukcji ma swoje mocne i słabe strony, a każda z firm zajmujących się projektowaniem PTE musi indywidualnie wybrać, w którym z nich balans pomiędzy cechami jest najkorzystniejszy. W wielu miejscach na świecie trwają intensywne prace nad koncepcją PTE. Przykładem mogą być takie firmy jak: Lilium Jet i Airbus (ze swoim projektem Vahana), projektujące samoloty typu *vectored thrust*. Trwającymi badaniami nad przygotowaniem *lift + cruise* może pochwalić się Kitty Hawk, natomiast firma Volocopter ze swoim VoloCity oraz opracowany przez Airbus, CityAirbus, to przykłady zastosowania technologii *wingless multicopter*.

Przedsiębiorstwem, którego prototypy warto wspomnieć, jest Airbus, który realizuje dwa projekty PTE. Jednym z nich jest model Vahana, który dąży do stworzenia w pełni elektrycznego i automatycznego samolotu dla jednej osoby, którego nośność będzie nadawana przez osiem wirników elektrycznych o mocy 45 kW. Jest to autonomiczny model *vectored thrust* (rys. 4a), działający na zasadzie eVTOL, który ma samodzielnie omijać przeszkody oraz inne pojazdy. Konstrukcja złożona z uchylnych skrzydeł z zamontowanymi śmigłami umożliwia działanie na terenie miast i osiągnięcie prędkości do 220 km/h. Mimo, że maszyna waży ponad 700 kg, wbudowane baterie (38 kWh) pozwalają przelecieć za jednym razem odległość około 50 km<sup>33</sup>. Celem firmy realizującej ten projekt (Airbus A3), działającej w Dolinie Krzemowej, jest rozwój opisywanego środka transportu na tak dużą skalę, aby cena lotu była konkurencyjna dla taksówek tradycyjnych<sup>34</sup>. Taki sam model cenowy Airbus chce wprowadzić w kontekście drugiego, większego prototypu PTE. CityAirbus to w pełni elektryczny, cztermiejskowy multicopter (rys. 4c), którego autonomiczny charakter i zastosowanie technologii eVTOL upodabnia do projektu

Vahana. Model ten posiada jednak konfigurację multikoptera z czterema jednostkami napędowymi o wysokim udźwigu. Osiem silników elektrycznych o mocy 100 kW napędza śmigła, osiągające prędkość 950 obrotów/min. Bateria o pojemności 110 kWh zapewnia możliwość piętnastominutowej podróży autonomicznej i osiągnięcie prędkości przelotowej na poziomie 120 km/h. Model jest odporny na pojedyncze awarie, a budowa wirników zapewnia niski poziom hałasu<sup>35</sup>.

Jednym z najbardziej zaawansowanych technologicznie projektów PTE jest EHang AAV. Jest to inteligentny, jednoosobowy i przyjazny dla środowiska pojazd pasażerski. Jego w pełni autonomiczny charakter eliminuje możliwość wystąpienia usterek spowodowanych błędami człowieka. Dodatkowo bezpieczeństwo zapewnione jest przez korzystanie z sieci 4G i 5G jako kanałów pozwalających na płynną komunikację z centrami kontroli i dowodzenia, umożliwiającą zdalne sterowanie samolotem oraz monitorowanie lotu w czasie rzeczywistym. Dodatkowe algorytmy dbają o stałe przesyłanie informacji, a w przypadku wystąpienia awarii, wybierają i realizują najłagodniejszą z dostępnych tras, aby zadbać o bezpieczeństwo pasażera. Technologia eVTOL sprawia, że do startu i lądowania wystarczy niewielki płaski teren. Prostotę w obsłudze zapewnia bateria, której pełne naładowanie jest możliwe w ciągu godziny, przy zasilaniu 220V lub 380V. Funkcjonowanie baterii jest jednocześnie stale kontrolowane przez system zarządzania bateriami, łączący się z maszyną w czasie rzeczywistym. Maksymalna ładowność do 220 kg pozwala na przewóz nie tylko pasażera, ale także potrzebnych mu bagaży. Przy pełnym obciążeniu maszyna ma zasięg około 35 km. EHang dzięki osiemu wirnikom i osiemu silnikom elektrycznym osiąga maksymalną prędkość do 130 km/h. Jego konstrukcja pozwala na lot w każdych warunkach, poza burzowymi. Jest to jedyna przeszkoda dla realizacji lotu, która nie została jeszcze rozwiązana. Niemniej jednak w sytuacji zmiany pogody transport na terenie miasta umożliwia zakończenie przelotu na najbliższej stacji postojowej<sup>36</sup>.

Certyfikacja multikoptera VoloCity planowana na koniec 2022 roku może dać firmie Volocopter status jednego z pionierów, jeśli nie pierwszego operatora komercyjnych powietrznych taksówek elektrycznych eVTOL na świecie. Strategia przedsiębiorstwa, oparta na współpracy z gigantami przodującymi na rynku w danym segmencie, znacznie przyspiesza przygotowanie projektu i jego realizację. Volocopter zaufał między innymi firmie Skyports w zakresie budowy i obsługi stacji postojowych (VoloPortów<sup>37</sup>), a przewoźnikowi Lufthansa w kwestii VoloIQ<sup>38</sup>, czyli oprogramowania miejskiej mobilności powietrznej<sup>39</sup>. Testy

<sup>33</sup> AIRBUS, *Vahana. Our single-seat eVTOL demonstrator*, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/vahana.html> [dostęp: 29.06.2021].

<sup>34</sup> Świat OZE, *Latające taksówki sposobem na zatłoczone ulice?*, <https://swiatoze.pl/latajace-taksowki-sposobem-zatloczone-ulice/> [dostęp: 29.06.2021].

<sup>35</sup> AIRBUS, *CityAirbus Our four-seat eVTOL demonstrator*, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus.html> [dostęp: 29.06.2021].

<sup>36</sup> EHang, *EHang AAV*, <https://www.ehang.com/ehangaav/> [dostęp: 30.06.2021].

<sup>37</sup> Zob. Volocopter, *VOLOPORT Home of the urban air ecosystem*, <https://www.volocopter.com/solutions/voloport> [dostęp: 30.06.2021].

<sup>38</sup> Zob. Volocopter, *VOLOIQ For excellent air operations*, <https://www.volocopter.com/solutions/voloiq/>, 30.06.2021.

<sup>39</sup> B. Garrett-Glaser, eVTOL, *Volocopter's roadmap to scaled urban air mobility focuses on strong partnerships*, <https://evtol.com/features/volocopter-roadmap-scaled-urban-air-mobility-focuses-strong-partnerships> [dostęp: 30.06.2021].



Rys. 5. Prezentacja modelu VoloCity podczas Wystaw Światowych EXPO2020 Dubai  
Źródło: Fotografia własna, EXPO2020 Dubai

modelu są możliwe dzięki powstałemu w 2019 roku w Niemczech projektowi, który oferuje dwa lotniska badawcze wykorzystywane przez naukowców jako poligon doświadczalny dla rozwoju elektrycznych i autonomicznych maszyn latających. Firmy i start-upy z sektora lotniczego mogą wykorzystywać te lotniska do testowania dronów i latających taksówek w powietrzu w naturalnych warunkach, stosować specjalne standardy komunikacji w ruchu lotniczym oraz wykonywać loty testowe niezbędne do certyfikacji<sup>40</sup>. Opisany model przedstawia rysunek 5. Jest to dwumiejscowy multicopter, napędzany przez osiemnaście wirników, osiągający podczas testów prędkość do 110 km/h. Jak wszystkie przytoczone projekty jest elektryczny i działa na zasadzie eVTOL, jednak różni się od nich, ponieważ otrzymał pozwolenia na działanie w konfiguracji załogowej, jak i bezzałogowej. VoloCity jest w stanie unieść na swoim pokładzie 200 kg, co przeliczane jest przez firmę na dwóch pasażerów wraz z bagażami podręcznymi lub pasażera i pilota. Przy maksymalnym obciążeniu jest w stanie przelecieć, tak jak model EHang, 35 km. Prototyp posiada dziewięć zestawów baterii, które mogą być wymienione w przeciągu 5 minut, co znacznie skraca proces obsługi maszyny w stacji ładowania. Połączenie VoloCity z infrastrukturą VoloPortów ma łączyć kluczowe węzły komunikacyjne, takie jak dworce główne i lotniska, umożliwiając bezproblemowe, szybsze i wygodniejsze podróże w obrębie aglomeracji. Wpisanie elektromobilności powietrznej w obecny tok życia miasta i uruchomienie PTE, obok tradycyjnych sieci transportowych, jako ich alternatywę, może odnieść ogromny sukces<sup>41</sup>.

Istnieje wiele przedsiębiorstw i start-upów, których celem jest rozwinięcie miejskiej elektromobilności powietrznej. Kolejne projekty PTE prezentują między innymi:

- Kitty Hawk<sup>42</sup>, który zaprezentował model opracowany na zasadzie *lift+cruise* (rys. 4b). Maszyna działa dzięki 12 niezależnym wirnikom elektrycznym, zamontowanym na skrzydłach. Oprócz tego posiada jedno duże śmigło zamontowane z tyłu, generujące siłę napędową.



- Uber we współpracy z firmą Hyundai<sup>43</sup>, ze swoim 4-osobowym pojazdem elektrycznym, o zasięgu 60 km, mającym osiągnąć prędkość 180 km/h.
- Niemiecki start-up Lilium Jet<sup>44</sup>, którego projekt jest jednym z niewielu obsługiwanych przez człowieka. Samolot ma mieścić 5 osób (w tym pilota). Jego zasięg będzie dochodził do 300 km, a prędkość do 300 km/h, co w znacznym stopniu umacnia konkurencyjność tego modelu na rynku PTE. Możliwość realizacji dalszych lotów sprawia, że model znajdzie zastosowanie także na poziomie komunikacji między aglomeracjami. Zgodnie z danymi zaprezentowanymi podczas EXPO2020 w Dubaju, model ma być dostępny do użytku już w 2025, za pośrednictwem aplikacji. Na rysunku 6 odnaleźć można zdjęcia prezentujące wizualizacje i reklamę prototypu Lilium Jet, wykonane w pawilonie Niemiec, podczas światowych targów EXPO.

Zaskakujący okazuje się projekt firmy Audi, która pracuje nad taksówką podłączaną bezpośrednio do drona. Najnowszy model Pop.Up Next ma zostać wprowadzony na rynek w 2025–2028 roku. Prototyp ten to w pełni elektryczna konstrukcja składająca się z 3 części: kabiny osobowej, podstawy kołowej i latającego drona. Docelowo kapsuła pasażera ma być, w zależności od potrzeby, wpinana do odpowiedniej części (jeżdżącej lub latającej), umożliwiając transport naziemny lub nadziemny. Na drogach pojazd ma pokonywać do 130 km z prędkością do 100 km/h, w przestrzeni powietrznej natomiast prędkość wzrośnie do 120 km/h, zasięg natomiast spadnie do 60 km. Technologia ma na celu usprawnienie mobilności w miastach, a 15-minutowy cykl ładowania akumulatorów gwarantuje wygodę jej użytkownika. Jest to prototyp znacznie różniący się od innych prezentowanych dotychczas na rynku, jednak jego technologia może zmienić formę konkurencji na rynku PTE<sup>45</sup>.

<sup>40</sup> Wystawa pawilonu Baden – Württemberg podczas EXPO2020 Dubai.

<sup>41</sup> Volocopter, *VOLOCITY The superior air taxi*, <https://www.volocopter.com/solutions/volocity/> [dostęp: 30.06.2021].

<sup>42</sup> Zob. Kitty Hawk, <https://kittyhawk.aero/> [dostęp: 30.06.2021].

<sup>43</sup> Zob. Świat OZE, *Latające taksówki Uber i Hyundai? Już za cztery lata*, <https://swiatoze.pl/latajace-taksowki-uber-i-hyundai-juz-za-cztery-lata/> [dostęp: 30.06.2021].

<sup>44</sup> Zob. Mobirank, *Taksówki powietrzne Lilium Jet już w 2025 roku!?*, <https://mobirank.pl/2020/02/09/taksowki-powietrzne-lilium-jet-juz-w-2025-roku/> [dostęp: 30.06.2021].

<sup>45</sup> M. Mazik, Świat OZE, *Sposób na korki w przyszłości? Audi pracuje nad latającą taksówką!*, <https://swiatoze.pl/sposob-na-korki-w-przyszlosci-audi-pracuje-nad-latajaca-taksowka/> [dostęp: 30.06.2021].



Rys. 6. Prezentacja modelu Lilium Jet podczas Wystaw Światowych EXPO2020 Dubai: a) informacje dotyczące modelu; b) prezentacja systemu eVTOL

Źródło: Fotografia własna, EXPO2020 Dubai

Analizę porównawczą parametrów opisanych wyżej przykładowych modeli PTE, szczególnie istotnych dla użytkownika, umożliwia tabela 1. Prawdopodobnie najistotniejszym dla klienta kryterium porównywania ofert jest cena realizowanej usługi. Niestety, tak jak opisano w poprzedniej części niniejszego artykułu, opracowanie dokładnej ceny, którą oferować będą konkretne firmy nie będzie możliwe ze względu na brak danych historycznych oraz wiedzy na temat potencjalnego popytu, który pojawi się na usługi powietrznej mobilności miejskiej.

W mediach pojawia się wiele wątpliwości dotyczących powietrznych taksówek elektrycznych. Podstawową funkcją opisywanych rozwiązań ma być poprawa mobilności mieszkańców miast. Istnieją zatem wątpliwości, czy złożoność transportu PTE (przejazd do stacji, przelot i transport do miejsca docelowego) nie wpłynie na ograniczenie korzyści

czasowej. Pojawia się obawa, czy użytkownicy będą skłonni zapłacić za usługę, która realnie może nie spełniać swojego podstawowego założenia. Twórcy podobnych maszyn zgodnie podkreślają potrzebę osiągnięcia dużych prędkości przelotowych, aby zapewnić pasażerom oszczędność czasu<sup>46</sup>. Dodatkowym problemem może być podejście mieszkańców miast do takiej formy transportu. Szybki rozwój technologii w ostatnich latach sprawia, że ludzie nie są jeszcze gotowi na wiele oferowanych im możliwości. Czy zatem pojawi się popyt na taki rodzaj innowacji? Odpowiedź oczywiście nie jest znana, ale z pewnością informacji tej udzieli pierwsze miasta, w których forma powietrznej komunikacji zostanie wprowadzona.

## Podsumowanie

Futurystyczny charakter opisywanego tematu to jeden z najciekawszych aspektów artykułu. Ograniczony wachlarz dostępnych danych i literatury w znacznym stopniu wpłynął na kształt opracowania. Podstawowym celem były opis i analiza futurystycznej koncepcji powietrznych taksówek elektrycznych oraz ich prototypów. Artykuł umożliwia czytelnikowi zapoznanie się nie tylko z rysem obecnego stanu badań nad powietrznymi taksówkami elektrycznymi, ale także z tłem teoretycznym dotyczącym świata inteligentnych miast oraz mobilności jako istotnej składowej organizmów miejskich XXI wieku.

Miejska elektromobilność lotnicza stanowi nie tylko alternatywę dla tradycyjnych taksówek, ale może być jednocześnie najprostszą formą transferu na lotnisko lub substytutem promu. Warto podkreślić także jej użyteczność w ratownictwie, gdzie umożliwi niemal natychmiastowy transport służb na miejsce akcji. Dodatkowo, niepasażerskie drony już w niedalekiej przyszłości będą szybszym i bardziej energooszczędnym sposobem transportu sprzętu medycznego w nagłych wypadkach lub wspierania służb ratowniczych w poszukiwaniu osób zaginionych za pomocą kamer termowizyjnych. Latające czujniki mogą również pomóc w kontroli urządzeń technicznych, takich jak farmy słoneczne czy turbiny wiatrowe, a także monitorować na przykład systemy ruchu drogowego. Elektromobilność miejska ma zatem bardzo szerokie zastosowanie nie tylko w transporcie pasażerskim. Artykuł, poprzedzając odwołanie do koncepcji Smart City, opisuje miasto jako złożony organizm, w którym wprowadzenie jednego udoskonalenia ma znaczący wpływ na inne aspekty życia. Sposób poruszania się stale się zmienia, a wprowadzane przez ostatnie lata, elektryczne środki transportu stale zmieniają funkcjonalny jak i wizualny charakter aglomeracji miejskich. Wprowadzenie opisywanych w artykule powietrznych rozwiązań elektrycznych z pewnością znacząco odmieni także ich specyfikę, dodatkowo bardzo istotnie wpływając na jego strukturę i estetykę.

Światowe Wystawy EXPO, jedno z największych cyklicznych wydarzeń gospodarczych, na którym eksponowany jest dorobek kulturalny, naukowy i techniczny świata, między innymi poprzez prezentację najnowszych wynalazków obec-

Tabela 1

Porównanie parametrów użytkowych w przykładowych modelach PTE					
Model	Parametry				
	Pojemność (liczba pasażerów)	Zasięg	Osiągana prędkość		eVTOL
Airbus (Vahana)	1	50 km	220 km/h		+
Airbus (City Airbus)	4	30 km	120 km/h		+
E-Hang	1	35 km	130 km/h		+
VoloCity	2	35 km	110 km/h		+
Lilium Jet	5	300 km	300 km/h		+
Uber + Hyundai	4	60	180 km/h		+
Audi	1	Nadziemny	130 km	Nadziemny	100 km/h
		Powietrzny	60 km	Powietrzny	120 km/h

Źródło: Opracowanie własne na podstawie AIRBUS, Vahana. Our single-seat eVTOL demonstrator, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/vahana.html> [dostęp: 29.06.2021]. AIRBUS, CityAirbus Our four-seat eVTOL demonstrator, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus.html> [dostęp: 29.06.2021]. EHang, EHang AAV, <https://www.ehang.com/ehangaav/> [dostęp: 30.06.2021]. Volocopter, VOLOCITY The superior air taxi, <https://www.volocopter.com/solutions/volocity/> [dostęp: 30.06.2021]. Mobirank, Taksówki powietrzne Lilium Jet już w 2025 roku!?, <https://mobirank.pl/2020/02/09/taksowki-powietrzne-lilium-jet-juz-w-2025-roku/> [30.06.2021]. Świat OZE, Latające taksówki Uber i Hyundai? Już za cztery lata, <https://swiatoze.pl/latajace-taksowki-uber-i-hyundai-juz-za-cztery-lata/> [dostęp: 30.06.2021]. Michał Mazik, Świat oze, Sposób na korki w przyszłości? Audi pracuje nad latającą taksówką!, <https://swiatoze.pl/sposob-na-korki-w-przyszlosci-audi-pracuje-nad-latajaca-taksowka/> [30.06.2021].

<sup>46</sup> B. Garrett-Glaser, op.cit.

nych czasów, potwierdzają fakt, że wprowadzenie miejskiej elektromobilności powietrznej to tylko kwestia czasu. Podczas EXPO2020 Dubai wiele pawilonów przedstawia wizje inteligentnych miast przyszłości. Na futurystycznych animacjach takich pawilonów, jak między innymi Emiraty, Niemcy, Belgia, Egipt, PTE oraz drony transportowe są już naturalną częścią krajobrazu, nie wymagającą dodatkowego komentarza przy ekspozycji. Organizatorem EXPO było miasto Dubai, w którym krótkodystansowa komunikacja lotnicza jest rozwinięta na bardzo wysokim poziomie. To właśnie w tym mieście, znajduje się przytoczony jako przykład hotel Burj al Arab, posiadający przygotowaną platformę umożliwiającą lądowanie helikopterów na najwyższych piętrach budynku. W mieście pojawia się coraz więcej tego typu lądowisk, ponieważ status materialny części jego mieszkańców pozwala na przemieszczanie się za pośrednictwem prywatnych helikopterów i samolotów.

Dotyczy to naturalnie najbogatszych grup społecznych, jednak można wnioskować, że w takich miejscach wprowadzenie PTE nie będzie wymagało tak dużych zmian, jak w miastach zupełnie jeszcze nie przystosowanych do ruchu naziemnego. Wprowadzenie elektromobilności powietrznej w jednym regionie pociągnie za sobą jej rozwój w innych częściach świata, a w rezultacie pozwoli na globalizację tej formy transportu miejskiego, tak jak każdego środka komunikacji, wprowadzanego dotychczas na skalę globalną.

## Literatura

- Liszka A., *Powietrzne taksówki elektryczne jako innowacyjne rozwiązanie w logistyce miejskiej*, Praca inżynierska napisana pod kierunkiem dr Agnieszki Żak, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kolegium Nauk o Zarządzaniu i Jakości, Instytut Zarządzania, Kraków 2022.
- Who.int. 2021, WHO, Urbanization and health, <https://www.who.int/globalchange/ecosystems/urbanization/en/> [dostęp: 5.05.2021].
- Roche S., et.al., Are 'Smart Cities' Smart Enough?, Global geospatial conference, 2012.
- Inteligentne miasta? Smart City – kiedy miasto jest inteligentne!, ArcanaGIS, <https://www.arcanagis.pl/kiedy-miasto-jest-inteligentne/> [dostęp: 3.05.2021].
- Szczech-Pietkiewicz E., *Smart city jako forma podnoszenia konkurencyjności miast*, „Raport o konkurencyjności”, Warszawa 2018.
- YunY., LeeM., *Smart City 4.0 from the perspective of open innovation*, „Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity”, Seoul 2019.
- Rzevski G., Kozhevnikov S., Svitek M., *Smart City as an Urban Ecosystem*, “2020 Smart City Symposium Prague”, 2020.
- Giffinger R., et.al., *Smart cities. Ranking of European medium-sized cities*, European Smart Cities, Wiedeń 2007.
- Bruska A., *Logistyka jako komponent Smart City*, „Studia miejskie”, Opole 2012, nr 6.
- Dz.U. z 2018 r. poz. 317.
- Komisja Europejska, Europejski Zielony Ład, Działania podejmowane przez UE, [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019–2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu\\_pl](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019–2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu_pl) [dostęp: 18.06.2021].
- Nowe przepisy dotyczące hulajnóg elektrycznych i urządzeń transportu osobistego, <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/nowe-przepisy-dotyczace-hulajnog-elektrycznych-i-urzadzzen-transportu-osobistego2> [dostęp: 15.08.2021].
- Nowakowski M., et al., *Drony transportowe: nowa era transportu towarów i ludzi*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, 2016, nr 17.6.
- Rajendran S., Srinivas S., *Air taxi service for urban mobility: a critical review of recent developments, future challenges, and opportunities*, “Transportation research part E: logistics and transportation review, Columbia 2020, 143, 102090.
- Wayne J., Silva C., Solis E., *Concept vehicles for VTOL air taxi operations*, 2018.
- Grusza B., „E-mobilność: wizje i scenariusze rozwoju”, Publikacje Europejskiego Kongresu Finansowego, Sopot 2017.
- Shamsheer S., Martins J.R.R.A., *Tilt eVTOL takeoff trajectory optimization*, “Journal of Aircraft”, Ann Arbor 2019.
- Rajendran S., Shulman J., *Study of Emerging Air Taxi Network Operation using Discrete-Event Systems Simulation Approach*, “Journal of Air Transport Management”, 2020 [za:] Rajendran S., Srinivas S., *Air taxi service for urban mobility: a critical review of recent developments, future challenges, and opportunities*, “Transportation research part E: logistics and transportation review, Columbia 2020, 143, 102090.
- AIRBUS, Vahana. Our single-seat eVTOL demonstrator, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/vahana.html> [dostęp: 29.06.2021].
- Świat OZE, Latające taksówki sposobem na zatłoczone ulice?, <https://swiatoze.pl/latajace-taksowki-sposobem-zatloczone-ulice/> [29.06.2021].
- AIRBUS, CityAirbus Our four-seat eVTOL demonstrator, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus.html> [dostęp: 29.06.2021].
- Hang E., AAV, <https://www.ehang.com/ehangaav/> [dostęp: 30.06.2021].
- Volocopter, VOLOPORT Home of the urban air ecosystem, <https://www.volocopter.com/solutions/voloport> [dostęp: 30.06.2021].
- Volocopter, VOLOIQ For excellent air operations, <https://www.volocopter.com/solutions/voloiq/> [dostęp: 30.06.2021].
- Garrett-Glaser B., eVTOL, *Volocopter's roadmap to scaled urban air mobility focuses on strong partnerships*, <https://evtol.com/features/volocopter-roadmap-scaled-urban-air-mobility-focuses-strong-partnerships/> [dostęp: 30.06.2021].
- Wystawa pawilonu Baden – Württemberg podczas EXPO2020 Dubai.
- Volocopter, VOLOCITY The superior air taxi, <https://www.volocopter.com/solutions/volocity/> [dostęp: 30.06.2021].
- Kitty Hawk, <https://kittyhawk.aero/> [dostęp: 30.06.2021].
- Świat OZE, Latające taksówki Uber i Hyundai? Już za cztery lata, <https://swiatoze.pl/latajace-taksowki-uber-i-hyundai-juz-za-cztery-lata/> [dostęp: 30.06.2021].
- Mobirank, Taksówki powietrzne Lilium Jet już w 2025 roku!?, <https://mobirank.pl/2020/02/09/taksowki-powietrzne-lilium-jet-juz-w-2025-roku/> [dostęp: 30.06.2021].
- Mazik M., Świat OZE, Sposób na korki w przyszłości? Audi pracuje nad latającą taksówką!, <https://swiatoze.pl/sposob-na-korki-w-przyszlosci-audi-pracuje-nad-latajaca-taksowka/> [dostęp: 30.06.2021].