Transport Miejski i Regionalny (skrót TMiR)
Czasopismo wydawane od 2004 roku jako kontynuacja tytułu „Transport Miejski", wydawanego od 1982 r. ISSN-1732-51-53

Redaktor naczelny
Prof. dr hab. inż. Wiesław Starowicz (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)
starowicz@sitk.org.pl

Sekretarz redakcji
Mgr Janina Mrowińska (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)
mrowinska@sitk.org.pl

Rada naukowo-programowa
Prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata (Politechnika Krakowska) – przewodniczący, członkowie: profesor Tom Rye (Transport Research Institute, Edynburg, Wielka Brytania), prof. dr hab. inż. Antoni Szydło (Politechnika Wrocławska), profesor Igor Taran (Narodowy Górniczy Uniwersytet, Katedra Zarządzania w Transporcie, Dniepropietrowsk, Ukraina), profesor Ming Zhong (Intelligent Transport Systems Research Center, Wuhan, Chiny)

Redaktorzy tematyczni
prof. dr hab. inż. Stanisław Gaca (Politechnika Krakowska – inżynieria ruchu), dr inż. Ryszard Janecki (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie), mgr inż. Mariusz Szałkowski (Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie – transport miejski), prof. UE dr hab. Robert Tomanek (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach – ekonomika transportu)

Redaktor statystyczny
Dr inż. Jolanta Żurowska (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)

Redaktor językowy i streszczenia w języku angielskim
Mgr Agata Mierzyńska (Urząd Miasta Krakowa)

Adres redakcji
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków
tel. 12 658 93 74
e-mail: tmir@sitkrp.org.pl
Strona w Internecie: http://tmir.sitk.org.pl

Wydawca
Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polski
ul. Czackiego 3/5 00-043 Warszawa
www.sitkrp.org.pl

Nakład
500 egzemplarzy

Skład
Tomasz Wojtanowicz

Druk
Drukarnia Intromax
ul. Biskupińska 21, 30-732 Kraków

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma
Główną wersją czasopisma jest wersja papierowa
Artykuły w wersji elektronicznej są dostępne na stronie czasopisma z półrocznym opóźnieniem

Bazy indeksujące artykuły TMiR
Baza BAZTECH – http://baztech.icm.edu.pl/
Baza Index Copernicus – http://indexcopernicus.com/

Prawa autorskie
Copyright © Transport Miejski i Regionalny, 2024

Informacje dodatkowe
Za treść i formę ogłoszeń oraz reklam Redakcja nie odpowiada.

Spis treści

Tomasz Jemczura **3**
Bezpieczeństwo w ruchu drogowym na terenie miasta Krakowa. Czy wizja zero jest możliwa
Traffic safety in the city of Kraków. So is Vision Zero possible?

Alicja Liszka **6**
Powietrzne taksówki elektryczne jako innowacyjne rozwiązanie dla Krakowa
Electric air taxis as an innovative solution for Kraków

Aneta Klepacz, Zofia Bryniarska **17**
Wpływ fotoradarów na prędkość jazdy pojazdów – część I
The impact of photo radars on the speed of vehicles – parth I

Reklama w „Transporcie Miejskim i Regionalnym"

Koszt reklamy w czasopiśmie wynosi:

4. strona okładki (kolor)	5000 zł + VAT
2., 3. strona okładki (kolor)	3500 zł + VAT
jedna strona wewnątrz numeru (cz.-b.)	1500 zł + VAT
jedna strona wewnątrz numeru (kolor)	2500 zł + VAT

Cena tekstów sponsorowanych oraz wkładek tematycznych do uzgodnienia.
W przypadku reklam w kilku kolejnych numerach możliwy upust do 20%.
Zgłoszenia: Joanna Mrowińska – Sekretarz Redakcji tel. +48 530 944 118

Punktacja artykułów

Nowy Komunikat Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 31 lipca 2019 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z przypisaną liczbą punktów w obszarze transportu obejmuje tylko niektóre wydawane w Polsce anglojęzyczne czasopisma. *Transport Miejski i Regionalny* nie znajduje się na liście, ale był poprzednio punktowany zatem ma przypisane 5 punktów.

Prenumerata TMiR w 2024 roku
Cena egzemplarza – **27 zł** (zagraniczna – **13 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty półrocznej – **150 zł** (zagraniczna – **75 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty rocznej – **310 zł** (zagraniczna – **150 euro** z kosztami przesyłki)
Studenci – 50% zniżki (na podstawie kserokopii aktualnej legitymacji studenckiej)
Zamówienia prenumeraty: Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polski, Oddział w Krakowie, ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków.
Prenumerata oraz sprzedaż egzemplarzy archiwalnych: http://www.sitk.org.pl/sklep
Płatność konto: 43 1240 4722 1111 0000 4859 0666

Streszczenia angielskie – Abstracts in English

Tomasz Jemczura

Traffic safety in the city of Kraków. So is Vision Zero possible?

Abstract: The article analyses the state of road traffic safety in 2022 and its changes in relation to 2021. It also demonstrates the trends in the number of accidents, the number of deaths and injuries in the years 2000–2022. In particular, the safety of vulnerable road users, i.e. pedestrians and cyclists, was taken into account. The objective of a "Vision Zero" of fatal accidents in Kraków was questioned, which seems very difficult to achieve, given the nature of the city, which due to its historic character is burdened with heavy tourist traffic.

Key words: urban transport, road tzransport safety, Vision Zero, road traffic safety.

Aneta Klepacz, Zofia Bryniarska

The impact of photo radars on the speed of vehicles – parth I

Abstract: The article aims to verify the effectiveness of the use of photo radars and their impact on the speed of cars and trucks. It contains a discussion of drivers' behaviour on the road along with ways to deal with offenses, as well as a presentation of the causes of road accidents based on police reports of 2022. The factors influencing drivers' speeding are analysed. As part of the research method, two measurements were carried out for two different speed camera locations. The measurement sites differed in terrain and speed limits. They were located on the road No. DK7 in Jawornik and No. DK47 in Nowy Targ. The permissible speed on the tested sections is – respectively – 70 km/h and 50 km/h. The measurements were taken at the presence of the speed camera and one week after it was removed. The speed cameras were pulled down for servicing on behalf of the General Inspectorate of Road Transport. The article contains a comparison of offenses committed by drivers of passenger cars and trucks with and without a speed measuring device. Based on the General Traffic Measurement carried out in 2015 and 2020 for both speed camera locations, the average daily number of offenses was estimated.

Key words: speed cameras, speed, safety, offences.

Alicja Liszka

Electric air taxis as an innovative solution for Kraków

Abstract: Transport congestion is one of the biggest structural problems in cities with a long history and centuries-old buildings. Kraków, the former capital of Poland, is an example of an agglomeration where surface modes of transport are not efficient and land-use planning does not allow for their development. As described in issue 6 of last year's edition of TMiR, in an article titled "The city of Kraków. Electric air taxis as part of Smart City air mobility", there are increasing initiatives around the world to diversify transport by introducing short-distance above-ground transport systems. The following article is an analysis of Kraków, in legislative, technical-technological and social terms, in the context of the possibility of introducing such a solution into the city's airspace. The latter aspect is described through a survey, which aims to assess the attitudes of potential customers towards aerial electric solutions in Kraków. The survey is designed to test whether there would hypothetically be a demand for electric air taxis. The article concludes that, while in the three aspects examined, the introduction of such a solution is not out of the question, the city would have to put in a great deal of work on every level to make such a project a reality.

Key words: mobility, smart cities, city logistics, transport congestion, electromobility, electric air taxis.

Konferencja naukowo-techniczna

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE W PROJEKTOWANIU – BUDOWIE I EKSPLOATACJI INFRASTRUKTURY DROGOWEJ MIAST, METROPOLII I REGIONÓW

NOVDROG'24

Niepołomice, Hotel Novum, 17–19 kwietnia 2024 roku

Organizatorzy

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie

we współpracy z

Politechniką Krakowską – Katedrą Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu oraz Katedrą Systemów Transportowych, Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Krakowie, Zarządem Dróg Wojewódzkich w Krakowie, Zarządem Dróg Miasta Krakowa i Zarządem Dróg Powiatu Krakowskiego

Kontakt

Biuro Oddziału SITKRP w Krakowie, tel. 12 658 93 74, e-mail: krakow@sitkrp.org.pl

TOMASZ JEMCZURA
podinspektor, Naczelnik Wydziału Ruchu Drogowego Komendy Miejskiej Policji w Krakowie,
e-mail: Tomasz.Jemczura@krakow.policja.gov.pl

BEZPIECZEŃSTWO W RUCHU DROGOWYM NA TERENIE MIASTA KRAKOWA. CZY WIZJA ZERO JEST MOŻLIWA?[1]

Streszczenie: W artykule dokonano analizy stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego w 2022 roku oraz jego zmiany w stosunku do roku 2021. Pokazano też trendy w zakresie liczby wypadków, liczby zabitych i rannych w latach 2000–2022. W szczególności uwzględniono bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu tzn. pieszych i rowerzystów. Poddano w wątpliwość uzyskanie celu w postaci „wizji zero" wypadków ze skutkiem śmiertelnym na terenie Krakowa, która wydaje się bardzo trudna do zrealizowania, mając na względzie charakter miasta, które z uwagi na zabytkowy charakter jest obciążone dużym ruchem turystycznym
Słowa kluczowe: transport miejski, bezpieczeństwo transportu drogowego, wizja zero, brd.

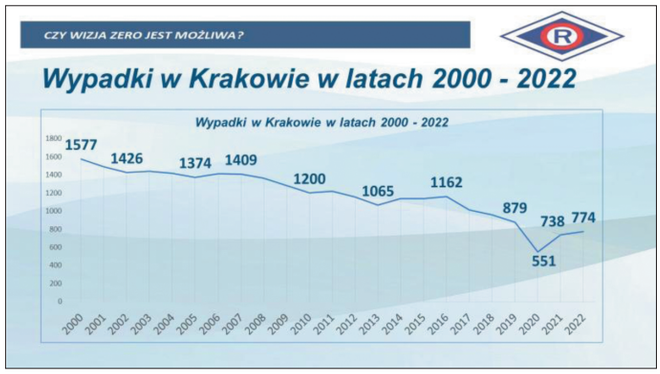
Wprowadzenie

W 2022 roku na terenie Polski zgłoszono 21 322 wypadki drogowe, które miały miejsce na drogach publicznych, w strefach zamieszkania lub strefach ruchu, co stanowi spadek do roku 2021 o 6,5% (22 816)[3]. W wyniku zaistniałych zdarzeń śmierć poniosło 1896 osób, tj. o 15,5% mniej niż w analogicznym okresie 2021 roku (2245). Na terenie miasta Krakowa w 2022 roku zgłoszono 744 wypadki drogowe (738 w 2021 roku)[4], śmierć poniosło 5 osób, co stanowiło 50% spadek ofiar śmiertelnych w stosunku do 2021 roku (10). Ogólna liczba zdarzeń odnotowanych w granicach administracyjnych Krakowa w 2022 roku wyniosła 8954 (liczba kolizji i wypadków drogowych), a tym samym odnotowano spadek o 609 zdarzeń w stosunku do 2021 roku.

Bezpieczeństwo na terenie miasta Krakowa

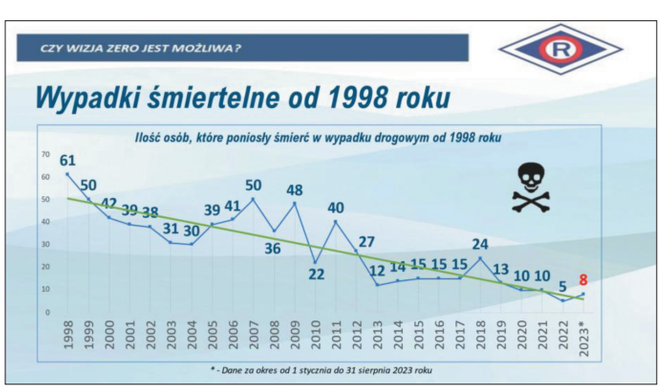
Dokonując analizy stanu bezpieczeństwa na terenie Krakowa od 2000 roku, można zaobserwować, że liczba zgłoszonych zdarzeń utrzymuje się na wysokim poziomie: w 2000 roku – 11 328 zdarzeń, w 2010 – 12 496 zdarzeń, w 2019 – 10 980 zdarzeń. Natomiast liczba zdarzeń zakwalifikowanych jako wypadki drogowe od wielu lat zmniejsza się i tak: w 2000 roku było 1577 wypadków, w 2010 roku – 1200 wypadków, w 2019 roku – 879 wypadków (rys. 1). Należy tutaj zwrócić uwagę, że przedmiotowe wypadki są rejestrowane w Systemie SEWIK[5] i każde zdarzenie, w którym jego uczestnik doznał nawet lekkich obrażeń ciała, które nie wyczerpują znamion przestępstwa określonego w art.177 kk, zostaje zaewidencjonowane jako wypadek.

Malejąca liczba wypadków drogowych na terenie Krakowa ma również odzwierciedlenie w ich skutkach, a szczególnie tych dotkliwych społecznie, gdzie uczestnik zdarzenia



Rys. 1. Liczba wypadków drogowych na terenie Krakowa w latach 2000–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie, Wydział Ruchu Drogowego

w wyniku doznanych obrażeń ciała ponosi śmierć. W 2000 roku liczba osób zabitych w wypadkach drogowych w Krakowie wyniosła 42 osoby, w 2010 roku – 22 osoby, w 2019 roku – 13 osób, w 2022 roku – 5 osób. Przedstawione dane nie są na tyle optymistyczne, że można zadać pytanie, czy ,,wizja zero" odnosząca się do ofiar śmiertelnych w kolejnych latach, jest możliwa do zrealizowania na terenie naszego miasta (rys. 2).



Rys. 2. Liczba wypadków śmiertelnych na terenie Krakowa w latach 2000–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie, Wydział Ruchu Drogowego

„Wizja zero" na terenie Krakowa

Oczywiście cel w postaci „wizji zero" wypadków ze skutkiem śmiertelnym na terenie Krakowa wydaje się bardzo trudny do zrealizowania, mając na względzie charakter naszego miasta, które ze względu na zabytkowy charakter jest obciążone dużym ruchem turystycznym, a jako ośrodek akademicki generuje większą liczbę mieszkańców przez większą część roku.

Jednakże postawiony cel, chociaż trudny do realizacji, wydaje się właściwy, a działania wszystkich podmiotów

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2024.
[2] Komenda Główna Policji Biuro Ruchu Drogowego
[3] Komenda Główna Policji Biuro Ruchu Drogowego
[4] Komenda Miejska Policji w Krakowie Wydział Ruchu Drogowego
[5] SEWIK – System ewidencji wypadków i kolizji

odpowiedzialnych za bezpieczeństwo w ruchu drogowym powinny być skierowane na ochronę ludzkiego życia, które jest absolutnie największą wartością. Dokonując analizy danych, możemy zauważyć, że są dni, w których nie dochodzi do żadnych wypadków drogowych i takich dni w 2018 roku było 32, 2019 roku – 49, 2020 roku – 116, 2021 roku – 65, 2022 roku – 57 (rys. 3). Oczywiście rok 2020 był szczególny ze względu na trwającą pandemię, co w znaczny sposób zmieniało charakter ruchu drogowego oraz jego natężenia w poszczególnych miesiącach w zależności od stosowanych zakazów pandemicznych.

Bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu

Dużym wyzwaniem dla bezpieczeństwa w ruchu drogowym na terenie Krakowa jest bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu, ze szczególnym uwzględnieniem rowerzystów i kierujących hulajnogami elektrycznymi. W ostatnich latach obserwujemy na terenie Krakowa duży odsetek osób, które korzystają z alternatywnych środków transportu w codziennym przemieszczaniu się po Krakowie, co generuje zwiększenie liczby zdarzeń z udziałem kierujących hulajnogami oraz rowerzystów.

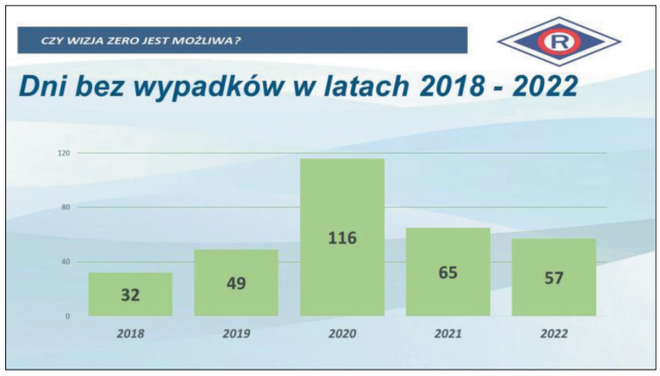
W 2022 roku kierujący hulajnogami elektrycznymi uczestniczyli w 85 wypadkach (76 w 2021 roku), natomiast rowerzyści w 2022 roku byli uczestnikami 266 wypadków (226 w 2021 roku), tak więc – jak widać – grupy te są szczególnie narażone na udział w zdarzeniu drogowym na terenie Krakowa, jednakże nie można również zapominać o zagrożeniu dla pieszych uczestników ruchu drogowego, których bezpieczeństwo w ostatnich latach na terenie Krakowa uległo znacznej poprawie (rys. 4).

W 2022 roku piesi uczestniczyli w 187 wypadkach (188 w 2021 roku). Należy zwrócić uwagę, że w 2003 roku na terenie Krakowa miały miejsce 653 wypadki z udziałem pieszych, w 2010 roku 422 wypadki, tak więc liczba tych zdarzeń jest w ostatnich latach znacznie mniejsza, ale musimy pamiętać, że kontakt człowieka z pojazdem w przeważającej większości kończy się obrażeniami ciała osoby poszkodowanej (rys. 5).

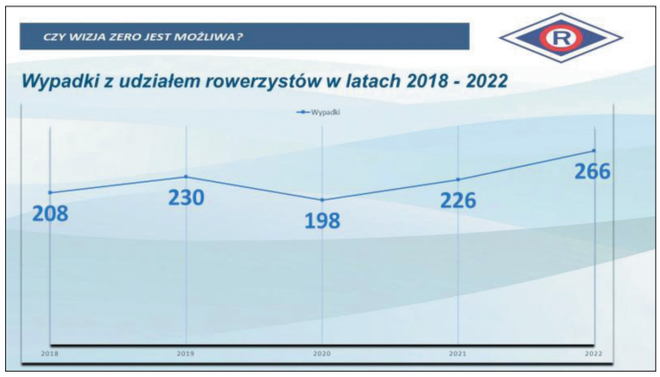
Priorytetowe zadanie w przyszłości podczas szukania rozwiązań poprawiających bezpieczeństwo na krakowskich ulicach powinno być ukierunkowane na niechronionych uczestników ruchu drogowego, gdyż jest to grupa najbardziej narażona na obrażenia ciała podczas zdarzenia drogowego, które niejednokrotnie skutkują śmiercią osoby pokrzywdzonej. Dokonując analizy danych dotyczących miasta Krakowa w systemie SEWIK, trzeba zwrócić uwagę na liczbę ofiar zabitych na 100 wypadków drogowych (rys. 6). Wskaźnik ten w 2022 roku na 100 zaistniałych wypadków wyniósł w Krakowie 0,65 (2021 rok – 1,36).

Rozkład zdarzeń drogowych oraz najbardziej niebezpieczne ciągi komunikacyjne na terenie Krakowa

Dokonując analizy bezpieczeństwa na terenie Krakowa, warto zwrócić uwagę na czas i miejsce powstawania zdarzeń drogowych, a dokładny monitoring tych danych może wskazywać kierunki i rodzaj prowadzonych czynności przez Policję oraz



Rys. 3. Liczba dni bez wypadków drogowych na terenie Krakowa w latach 2018–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie, Wydział Ruchu Drogowego



Rys. 4. Liczba wypadków drogowych z udziałem rowerzystów na terenie Krakowa w latach 2018–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie, Wydział Ruchu Drogowego

Rys. 5. Liczba wypadków drogowych z udziałem pieszych na terenie Krakowa w latach 2003–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie, Wydział Ruchu Drogowego

Rys. 6. Wskaźnik zabitych na 100 wypadków drogowych na terenie Krakowa w latach 2000–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie, Wydział Ruchu Drogowego

inne organy biorące udział w nadzorowaniu ruchu drogowego. Natomiast szczegółowe diagnozowanie przyczyn powstawania wypadków w poszczególnych rejonach Krakowa, powinno być wykorzystane przez zarządzających ruchem drogowym w naszym mieście, co pozwoli na obieranie właściwych kierunków w celu zmiany organizacji ruchu, a tym samym poprawy bezpieczeństwa w miejscach niebezpiecznych.

Dobowy rozkład zdarzeń jest powiązany z czasem największego natężenia ruchu kołowego na terenie Krakowa, czyli od godzin porannych do popołudniowego szczytu komunikacyjnego, gdzie w godzinach 16–17 dochodzi do największej liczby kolizji oraz wypadków drogowych (rys. 7).

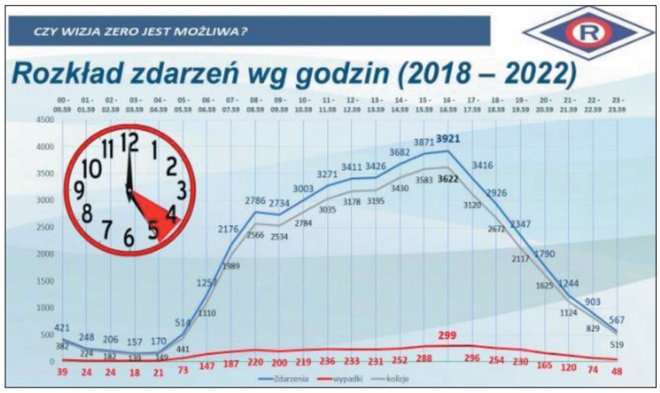
Dzienny rozkład wypadków i kolizji drogowych wskazuje, że w ostatnich latach do największej liczby zdarzeń dochodzi w piątek, jednak różnica w liczbie zaistniałych zdarzeń jest niewielka poza dniami wolnymi od pracy, co również jest ściśle związane z największymi natężeniami ruchu. Należy zwrócić tutaj uwagę, że do największej liczby wypadków ze skutkiem śmiertelnym w analizowanym okresie dochodziło we wtorki. W lat 2018–2022 wtorek jest najbardziej niebezpieczny pod względem ofiar, które poniosły śmierć w wyniku wypadku drogowego (rys. 8).

Analiza zdarzeń drogowych na terenie Krakowa z podziałem na miesiące wskazuje, że do największej liczby zdarzeń dochodziło w miesiącu październiku i grudniu. W latach 2018–2022 do największej liczby wypadków ze skutkiem śmiertelnym dochodziło w grudniu i czerwcu, natomiast najmniej ofiar śmiertelnych odnotowano w miesiącu maju (rys. 9).

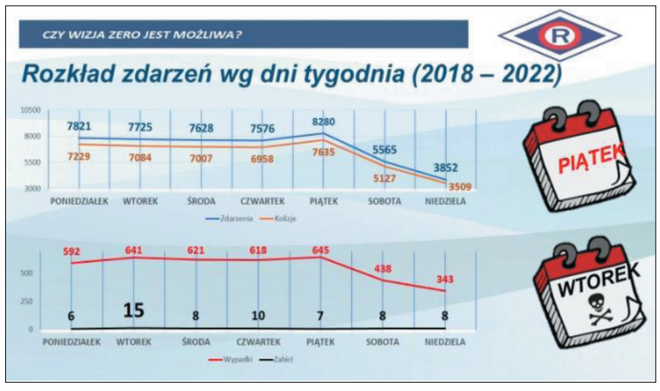
Do największej liczby wypadków drogowych w Krakowie dochodzi na ulicy Wielickiej, al. Jana Pawła II, al. Słowackiego. Wymienione ulice wchodzą w skład głównych ciągów komunikacyjnych miasta Krakowa, a tym samym są znacznie obciążone ruchem kołowym i od lat wypadkowość w tych rejonach utrzymuje się na wysokim poziomie. Jednak analiza ostatnich pięciu lat pokazuje, że na ulicy Wielickiej dochodzi rocznie do około 20 wypadków drogowych, a odnosząc te dane do natężenia ruchu kołowego oraz braku ofiar śmiertelnych, możemy stwierdzić, że poziom bezpieczeństwa jest zadowalający. Z pewnością odmienną sytuacje możemy zaobserwować na al. Jana Pawła II ze względu na 3 ofiary ze skutkiem śmiertelnym, co pokazuje, że ten ciąg komunikacyjny pod względem śmiertelności uczestników wypadków jest najbardziej niebezpieczny w całym mieście (rys. 10).

Podsumowanie

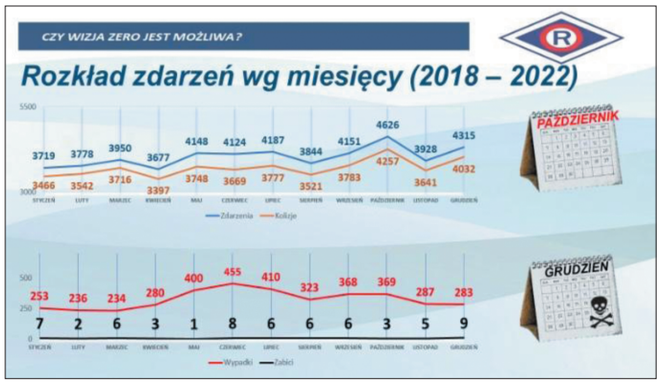
Kraków w odniesieniu do całego województwa małopolskiego, jak i również do danych dotyczących całego kraju, ma wysoki poziom bezpieczeństwa w ruchu drogowym, jednakże utrzymanie takiej tendencji , dalsza poprawa bezpieczeństwa wymaga wielu zabiegów ze strony organizatorów ruchu w naszym mieście, jak i również od służb odpowiedzialnych za jego nadzór. Współdziałanie wszystkich podmiotów, innowacyjne zmiany w organizacji ruchu, edukacja, promocja w mediach właściwego i bezpiecznego zachowania na drodze mogą pozwolić w przyszłości osiągnąć cel, jakim będzie „wizja zero'' dotycząca wypadków ze skutkiem śmiertelnym.



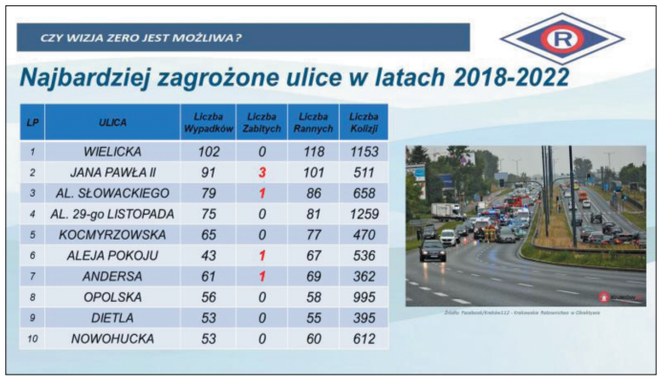
Rys. 7. Godzinowy rozkład zdarzeń drogowych w latach 2018–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie



Rys. 8. Rozkład zdarzeń drogowych wg dni tygodnia w latach 2018–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie



Rys. 9. Rozkład zdarzeń drogowych wg miesięcy w latach 2018–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie



LP	ULICA	Liczba Wypadków	Liczba Zabitych	Liczba Rannych	Liczba Kolizji
1	WIELICKA	102	0	118	1153
2	JANA PAWŁA II	91	3	101	511
3	AL. SŁOWACKIEGO	79	1	86	658
4	AL. 29-go LISTOPADA	75	0	81	1259
5	KOCMYRZOWSKA	65	0	77	470
6	ALEJA POKOJU	43	1	67	536
7	ANDERSA	61	1	69	362
8	OPOLSKA	56	0	58	995
9	DIETLA	53	0	55	395
10	NOWOHUCKA	53	0	60	612

Rys. 10 . Najbardziej zagrożone ulice w Krakowie w latach 2018–2022
Źródło: Komenda Miejska Policji w Krakowie

POWIETRZNE TAKSÓWKI ELEKTRYCZNE JAKO INNOWACYJNE ROZWIĄZANIE DLA KRAKOWA[1]

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

Streszczenie: Kongestia transportowa jest jednym z większych problemów strukturalnych w miastach o wieloletniej historii i wiekowej zabudowie. Kraków, dawna stolica Polski, jest przykładem aglomeracji, w której naziemne środki transportu nie są wydolne, a zagospodarowanie przestrzenne nie pozwala na ich rozwój. Jak opisano w numerze 6 zeszłorocznego wydania TMiR, w artykule pt. *Elektryczne taksówki powietrzne, jako element mobilności powietrznej Smart City*, na świecie coraz częściej pojawiają się inicjatywy dywersyfikacji transportu, poprzez wprowadzenie krótkodystansowych nadziemnych systemów transportowych. Poniższy artykuł jest analizą Krakowa pod względem legislacyjnym, techniczno-technologicznym oraz społecznym, w kontekście możliwości wprowadzenia takiego rozwiązania do przestrzeni powietrznej miasta. Ostatni z wymienionych aspektów jest opisywany za pośrednictwem badania ankietowego, które ma na celu ocenę podejścia potencjalnych klientów do powietrznych rozwiązań elektrycznych w Krakowie. Badanie ma sprawdzić, czy znalazłby się popyt na powietrzne taksówki elektryczne. Artykuł podsumowuje, że choć w trzech sprawdzanych aspektach wprowadzenie takiego rozwiązania nie jest wykluczone, miasto musiałoby włożyć ogrom pracy na każdej płaszczyźnie, aby taki projekt mógł zostać zrealizowany.

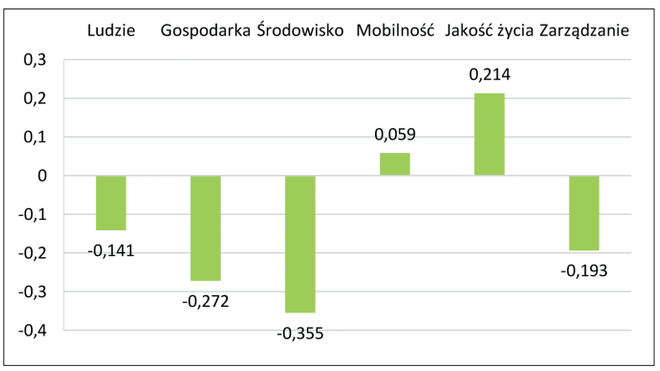
Słowa kluczowe: mobilność, inteligentne miasta, logistyka miejska, kongestia transportowa, elektromobilność, powietrzne taksówki elektryczne.

Wprowadzenie

Istnieje wiele miast, dla których poszukuje się form dywersyfikacji transportu, a jednocześnie ograniczenia problemu kongestii transportowej. Jednym z nich jest Kraków. Powstanie miasta datuje się na X wiek. Przez około 500 lat była to stolica Polski i siedziba władzy królewskiej. Zabytkowy Kraków uchronił się przed ogromnymi zniszczeniami, których w czasie wojny doznały inne polskie miasta. Historia Krakowa w znacznym stopniu tłumaczy układ urbanistyczny, według którego miasto zostało zbudowane. Centralnie położony rynek oraz otaczające go budynki to pozostałości po najstarszej części miasta. Dołączony Kazimierz i stopniowo rozrastające się promieniowo dzielnice były budowane i rozwijane latami, tworząc dzisiejszą aglomerację. Zcentralizowany charakter miasta ma swoje zalety i wady. Niestety taki schemat znacząco wpływa na gromadzenie się, na bardzo ograniczonej przestrzeni, codziennych punktów docelowych, do których podróżują mieszkańcy, czego skutkiem jest narastająca kongestia transportowa.

Mimo poważnego problemu w tym zakresie Kraków uznawany jest za *Smart City* o dodatnim wskaźniku mobilności[2]. Inteligentne miasta oceniane są na podstawie sześciu obszarów. Są to[3]: ludzie, gospodarka, środowisko naturalne, mobilność, jakość życia i zarządzanie. Jednym z nich jest właśnie *Smart Mobility,* której wskaźnik definiuje miasto pod względem dostępności, komunikacji i transportu. Zgodnie z rysunkiem 1, wśród sześciu obszarów rozwoju inteligentnego miasta, jedynie jakość życia oraz mobilność oceniane są dla Krakowa pozytywnie. Pozostałe mają już ujemne wartości.

Jak widać na rysunku 1, średni poziom przedstawionych obszarów jest ujemny. Skupiając się jednak na mobilności i jej dodatnim wskaźniku można powiedzieć, że miasto ma bardzo dobry poziom infrastruktury i komunikacji lokalnej. Jedynie problem rozwoju transportu w sposób niesprzyjający poprawie sytuacji środowiskowej obniża średnią wartość tego wskaźnika[4]. Kraków rozwija się w bardzo szybkim tempie, a wprowadzane z roku na rok nowe systemy, pozwalają na ograniczanie generowanych zanieczyszczeń. Dobrym rozwiązaniem byłaby budowa metra, jednak realizacja tego projektu jest już od lat odsuwana na dalszy plan z uwagi na historyczny charakter miasta. Mimo braku tej obiektywnie najefektywniejszej formy transportu zbiorowego poziom komunikacji miejskiej Krakowa jest oceniany bardzo wysoko. Ze względu na poważny na tym obszarze problem związany z zanieczyszczeniem powietrza, znaczącym aspektem komunikacji miejskiej w Krakowie jest kwestia ekologii. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne realizuje cele w tym zakresie przede wszystkim poprzez modernizację floty oraz wprowadzanie coraz większej liczby pojazdów



Rys. 1. Wyniki kluczowych obszarów rozwoju miejskiego dla Krakowa jako Smart City
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Europeansmartcities 4.0 (2015); City-profile: Kraków (PL); http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=6&ver=4&city=183; 1.08.2021.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2024.

[2] Zob. Europeansmartcities 4.0 (2015); City-profile: Kraków (PL); http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=6&ver=4&city=183; 1.08.2021.

[3] R. Giffinger, et.al., *Smart cities. Ranking of European medium-sized cities,* European Smart Cities, Wiedeń 2007, s. 12.

[4] Europeansmartcities 4.0 (2015); City-profile: Kraków (PL); http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=6&ver=4&city=183; 1.08.2021.

elektrycznych i hybrydowych. Wybór ten jest dyktowany potrzebami środowiska, a przede wszystkim koniecznością poprawy jakości krakowskiego powietrza.

Nawet przy braku środków, takich jak metro, transport miejski może działać sprawnie i relatywnie ekologicznie, a jego ciągłe doskonalenie pozwala na stałą poprawę mobilności w mieście. Niestety komunikacja publiczna staje się coraz mniej efektywna. Rozrastające się linie autobusowe są narażone na problem przeciążenia dróg. Sieci komunikacyjne osiągają już najwyższą granicę przepustowości i nie są w stanie przyjmować więcej samochodów ani innych pojazdów kołowych. Nie wszędzie mogą być zrealizowane linie tramwajowe albo dodatkowe pasy, które pozwoliłyby autobusom omijać tworzące się korki. Opisywane problemy są zaznaczane w wielu źródłach. Przykładem może być strona IDM[5], na której zaprezentowano profile różnych *Smart City* na rok 2020. W celu przygotowania listy obszarów priorytetowych dla Krakowa, zostały przeprowadzone badania, w których – spośród 15 wskaźników – respondenci mieli wybrać 5, którymi (ich zdaniem) należy zająć się w trybie natychmiastowym. Prawie 71% respondentów zaznaczyła odpowiedź zanieczyszczenie powietrza, natomiast prawie 53% - kongestia transportowa[6]. Wyniki te świadczą o świadomości mieszkańców miasta dotyczącej ogromnych problemów, z którymi mierzą się każdego dnia. Potrzeba dywersyfikacji transportu miejskiego w dawnej stolicy Polski stale narasta.

Środkiem, który może pomóc złagodzić te problemy jest miejska elektromobilność lotnicza, tworząca szybszy, bezpieczniejszy, czystszy i bardziej zintegrowany system komunikacyjny[7]. Analiza możliwości wprowadzenia elektromobilności powietrznej zostanie przeprowadzona na podstawie trzech obszarów. Są to podstawowe, ale naturalnie nie jedyne aspekty, które należy wziąć pod uwagę podczas planowania tak szerokiej inwestycji, jaką jest wprowadzenie usług lotniczych na potrzeby transportu miejskiego.

Podstawowym kryterium, bez którego rozpoczęcie prac nad realizacją projektu nie jest możliwe, jest aspekt prawny. Po określeniu warunków legislacyjnych, które pozwolą na wprowadzenie elektromobilności powietrznej, należy przeanalizować aspekt techniczno-technologiczny. Przygotowanie odpowiedniej infrastruktury i systemów potrzebnych do działania tej innowacyjnej formy, będzie wymagało znacznych nakładów ze strony firm realizujących projekt, dlatego istotna jest świadomość obowiązującego ich prawa. Nie bez znaczenia pozostaje także aspekt społeczno-ekonomiczny. Potencjalne zainteresowanie taką formą transportu oraz popyt na usługi będą bardzo istotne na etapie wprowadzania krótkodystansowej komunikacji lotniczej. Bez nich, nawet najlepiej przygotowany i skoordynowany system nie może działać, ponieważ konsumenci są jego podstawową siłą napędową. Omówienie tych trzech aspektów sytuacji w mieście może pozwolić na zaryzykowanie opinii, czy powietrzne rozwiązania elektryczne byłyby możliwą i efektywną formą transportu w dawnej stolicy Polski.

Aspekt prawny wprowadzenia powietrznych taksówek elektrycznych

Zaczynając analizę od przeglądu warunków legislacyjnych, niezbędne jest zagłębienie się w przepisy dotyczące tradycyjnych systemów lotniczych, obejmujących lotniska, samoloty oraz kontrolę ruchu lotniczego. Wpasowanie w ten układ powietrznych taksówek elektrycznych nie jest oczywiste, mimo że mają one poruszać się na znacznie niższych wysokościach oraz korzystać z lądowisk, które nie wymagają tak sztywnego dostosowania jak lotniska regularne. Tworzenie konkretnych regulacji prawnych, ujednoliconych dla różnych jednostek, aktywnie rozwijających swoje projekty jest ważne dla krótkodystansowego ruchu lotniczego, przede wszystkim ze względu na bezpieczeństwo użytkowników, zapewniane poprzez stałą kontrolę wszystkich działań realizowanych w przestrzeni powietrznej. Już od 2004 roku, w Europie działa projekt SESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research), którego zadaniem jest określenie, opracowanie i wdrożenie jednolitego, inteligentnego europejskiego systemu transportu lotniczego. Wspólne Przedsiębiorstwo SESAR jest odpowiedzialne za modernizację europejskiego systemu zarządzania ruchem lotniczym, poprzez koordynację i koncentrację wszystkich działań badawczych i innowacyjnych z nim związanych. W ramach projektu trwają obecnie prace nad sposobem obsługi PTE w pobliżu lotnisk[8]. Jednocześnie przepisy dotyczące działania tej technologii opracowuje Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego Unii Europejskiej. Istnieją źródła twierdzące, że Komisja Europejska ma otrzymać je w bieżącym roku[9].

Bez wątpienia można powiedzieć, że w kontekście PTE notuje się znaczącą lukę prawną. Stale rozwijająca się technologia sprawia jednak, że warunki legislacyjne także ewoluują. Co jakiś czas wprowadzane są przepisy dotyczące nowych technologii. Przykładem mogą być coraz szersze regulacje związane z niewielkimi bezzałogowymi statkami powietrznymi, tak zwanymi dronami. W 2021 roku zostały wprowadzone wspólne przepisy opracowane przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego (European Union Aviation Safety Agency[10]). Zgodnie z ich założeniami, każdy użytkownik dronu o masie większej niż 250 g lub wyposażonego w kamerę ma obowiązek zarejestrować swoją maszynę, przejść szkolenie oraz zdać egzamin umożliwiający korzystanie z urządzenia. Umożliwiają one większą kontrolę, jednocześnie dając swobodę w ruchu dronów na terenie całej UE. Opisywane zasady zapewniają równowagę

[5] Zob. IMD Real Learning, Real Impact, SCO Smart City Observatory, Smart City Profiles, https://www.imd.org/smart-city-observatory/smart-city-profiles/, 19.08.2021.

[6] Ibidem.

[7] Liszka A., *Elektryczne taksówki powietrzne, jako element mobilności powietrznej Smart City*, „Transport Miejski i Regionalny", 2023, nr 6.

[8] SESAR Join Undertaking, https://www.sesarju.eu/discover-sesar/history, 19.08.2021.

[9] POLITICO, „Is it a bird? Is it a plane? No, it's an air taxi", https://www.politico.eu/article/europe-capitals-london-paris-prepare-for-flying-air-taxi-liftoff/, 19.08.2021.

[10] Zob. EASA European Union Aviation Safety Agency, "Civil drones (unmanned aircraft)", https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas?fbclid=IwAR3X7h3_PWM6IYcinL_uBoGMjURwWaAzf66WXsZk8AXsLo2cy72VthO2P-g, 19.08.2021.

pomiędzy producentami i użytkownikami bezzałogowych statków powietrznych nie tylko w zakresie bezpieczeństwa, ale też środowiska, poszanowania własności i prywatności oraz ochrony przez hałasem[11]. Pojawiające się na bieżąco regulacje dotyczące dronów pozwalają przewidzieć, że w miarę rozwoju technologii bezzałogowych statków powietrznych służących do transportu pasażerskiego, otrzymamy przepisy również w tym zakresie. Wprowadzenie pierwszych regulacji ułatwia fakt, że mimo różnorodności tworzonych projektów podstawą działania elektromobilności nadziemnej jest przede wszystkim zautomatyzowana technologia, umożliwiająca pionowy start i lądowanie maszyny (z ang. *electric vertical takeoff and landing,* znana jako eVTOL). EASA opublikowała więc już pierwsze wytyczne obowiązujące producentów w pełni elektrycznych, ale też hybrydowych pojazdów działających na tej zasadzie. 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[12]. Regulacje EASA będą więc podstawą przygotowania zasad obowiązujących PTE na terenie Unii Europejskiej[13].

W aspekcie formalnoprawnym rozwój usług PTE na rynku polskim był do tej pory właściwie zablokowany. Wynikało to przede wszystkim z braku możliwości lądowania na lotniskach niepublicznych dla samolotów prowadzących działalność zarobkową, związaną z przewozem ludzi lub towarów. Nowelizacja artykułu 54 Ustawy Prawo Lotnicze[14] była pierwszym krokiem prowadzącym do zmian legislacyjnych umożliwiających działanie PTE w Polsce. W wyniku tej zmiany na lotniskach użytku wyłącznego (dawniej zwanych niepublicznymi) dopuszczono wykonywanie lotów handlowych (takich jak przewozy czarterowe o masie do 10 ton), co znacznie ułatwiło działalność firmom prowadzącym odpłatne przewozy małymi samolotami. Rezultatem tych zmian jest więc jednocześnie obniżenie barier prawnych dla przyszłego rynku PTE[15].

Firmy, pracujące nad prototypami powietrznych taksówek elektrycznych, są wstrzymywane przez brak odpowiednich regulacji związanych z ich przyszłą działalnością. Prace nad kwestiami technologicznymi nieprzerwanie trwają, jednak wciąż nie ma możliwości przygotowania planu realizacji projektu w konkretnych miastach, ponieważ nieznane są istotne wytyczne dotyczące ich działania, takie jak maksymalna i minimalna dozwolona wysokość lotu nad miastem, liczba samolotów, które mogą znajdować się w przestrzeni powietrznej, maksymalna prędkość, z jaką będą mogły się poruszać na konkretnym obszarze i wiele innych.

Infrastruktura Krakowa – aspekt techniczno-technologiczny

Efektywność miejskiej elektromobilności powietrznej jest trudna do zmierzenia. Brak danych historycznych sprawia, że dopiero wprowadzenie tej formy pokaże, czy jest ona satysfakcjonującym środkiem komunikacji. Analiza aspektu techniczno-technologicznego wymaga oceny dotyczącej nie tylko systemów obsługujących maszyny, ale także wszystkiego, co je otacza. Pierwszy z wymienionych elementów nie jest znacząco zależny od miejsca, w którym następuje proces realizacji projektu. Lokalizacja nie wpływa bezpośrednio na funkcjonowanie maszyn. EVTOL, jako podstawowy system obsługujący PTE, może działać w każdych warunkach. Dostarczenie maszyn, wyposażonych w odpowiednią technologię, wystarczy, aby mogły działać w każdym miejscu na Ziemi. W kontekście technologicznym warto skupić się między innymi na dostępie do sieci umożliwiającej jej zdalne sterowanie oraz do układu energetycznego, które są podstawą funkcjonowania elektromobilności powietrznej. Ekologiczność PTE jest zależna od źródła napięcia, z którego będą ładowane. Pionowe środki transportu zużywają znacznie więcej energii niż środki poziome, jednocześnie konieczność wzniesienia maszyny dodatkowo obciążonej przez pasażerów wpływa na ogromne ilości prądu, który będzie zużywany przy każdym przelocie. Sposób pozyskiwania energii jest zatem istotny, ponieważ, czerpiąc ją z nieodnawialnych źródeł, uzyskany zostanie odwrotny od zamierzonego skutek środowiskowy. W Polsce z roku na rok pojawia się wiele projektów promujących, a co ważniejsze, realizujących dofinansowania na budowę tak zwanych zielonych elektrowni. Coraz więcej gospodarstw domowych zakłada panele fotowoltaiczne, zapewniając dodatkowe źródło prądu, a w rezultacie obniżając zużycie energii nieodnawialnej, która jest podstawą polskiego systemu energetycznego. Rozwój w zakresie pozyskiwania na terenie Krakowa i okolic zielonej energii elektrycznej daje nadzieję, że hipotetyczne wprowadzenie PTE zostanie zrealizowane za pomocą zasilania pozyskiwanego z czystych źródeł odnawialnych. Systemy inteligentnego ładowania mogą ułatwić wykorzystywanie nadwyżek energii, a w rezultacie wpłynąć na poprawę gospodarki energetycznej.

Realizacja projektów powietrznej elektromobilnej dywersyfikacji transportu niesie ze sobą jednak znaczącą potrzebę przystosowania obecnej infrastruktury miejskiej. Jest to proces naturalny. Wprowadzając komunikację publiczną w formie autobusów, potrzebne jest przygotowanie właściwych wiat i zatok, budowa sieci tramwajowej wymaga wygospodarowania miejsca pod tory, przystanki, jak i sieci trakcyjne. Szybka kolej podziemna nie może działać bez wybudowanych wcześniej tuneli, co również wiąże się z ogromnymi inwestycjami. Przygotowanie sieci komunikacji lotniczej, choć bardzo kosztowne, nie wymaga aż tak znaczącej ingerencji w obecną infrastrukturę. Zgodnie z możliwościami lokalizacyjnymi, stacje postojowe mogą być rozłożone w bardzo

[11] Urząd Lotnictwa Cywilnego, *Bezzałogowe statki powietrzne, Informacje ogólne*, https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/informacje-ogolne?fbclid=IwAR3X7h3_PWM6IYcinL_uBoGMjURwWaAzf66WXsZk8AXsLo2cy72VthO2P-g, 19.08.2021.

[12] S. Shamsheer, J.R.R.A. Martins, *Tilt eVTOL takeoff trajectory optimization,* "Journal of Aircraft", Ann Arbor 2019, s. 1.

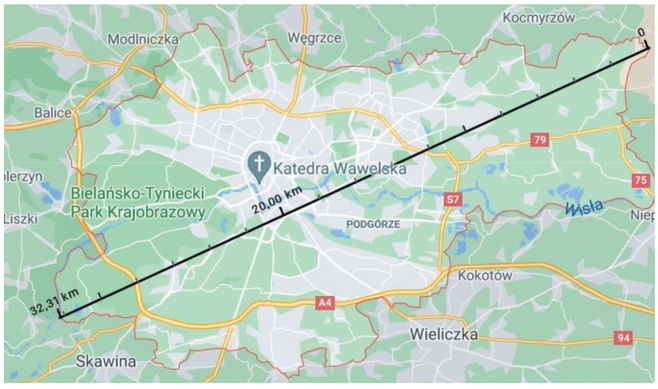
[13] Elektrotechnik Automatyk, *Pierwsze latające taksówki już za dwa lata*, https://www.elektrotechnikautomatyk.pl/artykuly/pierwsze-latajace-taksowki-juz-za-dwa-lata, 20.08.2021.

[14] Dz. U. z 2002 r. Nr 130, poz. 1112, s. 54.

[15] *Polskie AirTaxi,* https://www.samoloty.pl/artykuly-lotnicze/11137-polskie-air-taxi,1.07.2021.

elastyczny sposób. Istotne jest jednak, aby sieć była przemyślana, a lokalizacja jednostek operacyjnych wybrana strategicznie, w zależności od potrzeb danego obszaru.

Miasto Kraków, zbudowane w bardzo zcentralizowany sposób, daje wiele możliwości rozłożenia stacji operacyjno-postojowych. Przygotowanie tras, które będą oferowane przez sieć PTE, zależy przede wszystkim od odległości, którą maszyny są w stanie pokonać. Jak zaprezentowano na rysunku 2, w granicach Krakowa, najdalej położone od siebie punkty dzieli odległość 32,31 km. Oznacza to, że między innymi takie modele PTE jak: Vahana (Airbus), E-Hang, VoloCity, LiliumJet, Uber czy Audi, mogłyby pokonać tę odległość bez postoju, ponieważ ich zasięg wynosi 35 km lub więcej[16].

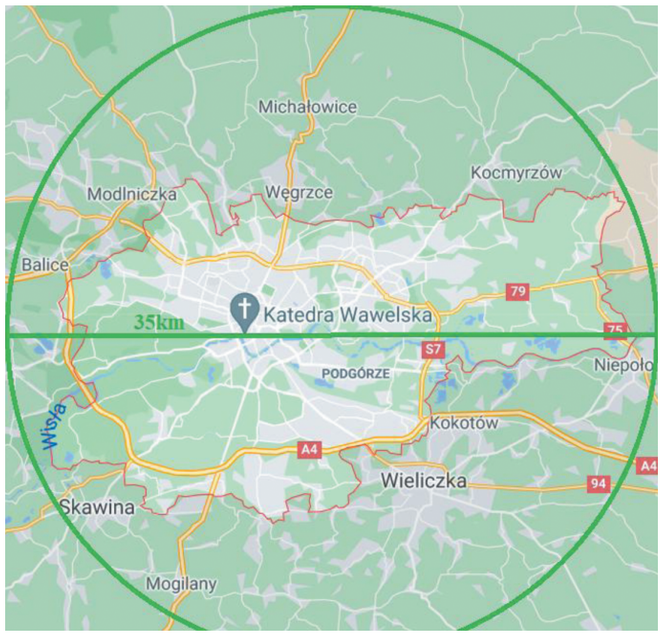


Rys. 2. Odległość między najdalej odsuniętymi od siebie punktami w Krakowie (32,31 km)
Źródło: opracowanie własne

Większość prezentowanych na rynku taksówek jest w stanie pokonać odległość między centrum a granicą miasta (w dowolnym jej punkcie). Sieć taksówek mogłaby być z łatwością rozbudowana także w okolicznych miejscowościach, których mieszkańcy w większości są osobami pracującymi na terenie Krakowa. Budowana sieć stacji operacyjnych może więc znacznie wykraczać poza granice miasta. Aby system działał sprawnie, a jego funkcjonowanie było klarowne, punkty postojowe powinny być budowane w takiej odległości, aby każda stacja miała możliwość połączenia z pozostałymi. Należy przygotować sieć, w której zakładając, że PTE mają zasięg przynajmniej 35 km, wszystkie stacje będą od siebie oddalone maksymalnie o taką odległość. Biorąc pod uwagę, że miasto w całości powinno mieścić się w jej granicach, może być to na przykład obszar zaprezentowany na rysunku 3.

Wprowadzenie infrastruktury potrzebnej pod miejską elektromobilność powietrzną jest jednak bardzo obszernym projektem, dlatego na potrzeby poniższego artykułu autorka ograniczy analizę do przykładowych rozwiązań zlokalizowanych w granicach miasta. Warto podkreślić, że na terenie Krakowa już znajdują się punkty, które mogłyby służyć jako przyszłe stacje postojowe. Część z nich to stacje przeznaczone do obsługi helikopterów ratunkowych. Dzielą się one na lądowiska przyszpitalne i miejsca gminne.

[16] Liszka A., *Elektryczne taksówki powietrzne, jako element mobilności powietrznej Smart City*, „Transport Miejski i Regionalny", 2023, nr 6.



Rys. 3. Obszar umożliwiający wprowadzenie sieci PTE
Źródło: opracowanie własne

Pierwsze to całodobowy, położony w okolicy placówki służby zdrowia, wydzielony teren umożliwiający start i lądowanie Lotniczego Pogotowia Ratunkowego (LPR). W Krakowie zlokalizowano 6 takich lądowisk[17]. Ponadto istnieje także kilkanaście miejsc gminnych, które przeznaczone są pod lądowanie dla śmigłowców, w celu przekazania chorego przez zespół naziemny i przetransportowanie go do placówki wyposażonej w całodobowe lądowisko przyszpitalne[18]. Opisane lokalizacje nie mogą być jednak brane pod uwagę w kontekście przyszłych stacji dla PTE, przez wzgląd na ich przeznaczenie. Są jednak istotne, ponieważ wprowadzenie miejskiej elektromobilności lotniczej miałoby poważny wpływ na zmianę funkcjonowania śmigłowców LPR. Oddziały ratunkowe powinny mieć korytarze powietrzne zapewniające bezkolizyjne przeloty. Projekty dróg dla PTE będą musiały być przygotowywane z uwzględnieniem takich utrudnień, jak istniejące dotychczas bezkolizyjne korytarze powietrzne.

Istnieją także zarejestrowane lądowiska, które mogłyby być użyte w celu szybszego i tańszego wprowadzenia PTE na terenie Krakowa. Są to przede wszystkim lądowiska dla śmigłowców oraz punkty przygotowane do prywatnego użytku dla osób posiadających własne maszyny latające. Takimi punktami są między innymi[19]:

- Lądowisko Rakowice-Czyżyny – znajdujące się przy Muzeum Lotnictwa w Krakowie,
- Heliport Kraków EPHK – własność firmy Polinar. Jest to jedyny do tej pory, prywatny obiekt w Polsce posiadający lądowisko na dachu budynku[20],

[17] Lotnicze pogotowie ratunkowe, *Lądowiska przyszpitalne*, https://www.lpr.com.pl/pl/ladowiska/ladowiska-przyszpitalne/, 22.08.2021.
[18] Lotnicze pogotowie ratunkowe, *Miejsca gminne*, https://www.lpr.com.pl/pl/ladowiska/miejsca-gminne/, 22.08.2021.
[19] *Dla pilota*, https://lotniska.dlapilota.pl/, 20.08.2021.
[20] Polinar ROBINSON, http://polinarheli.pl/krakow_heliport.html, 22.08.2021.

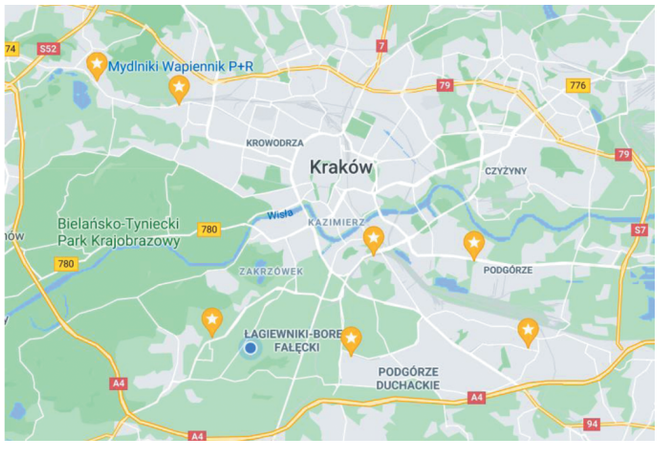
- Lądowisko Kraków – Wieliczka – bezpłatne, całodobowe lotnisko, zlokalizowane w odległości niecałych 4 km od strefy kontrolowanej lotniska Kraków-Balice.

Budowa sieci elektromobilności powietrznej wymaga znacznej inwestycji w budowę nowych stacji postojowych i operacyjnych. Na ich lokalizację wpływa wiele czynników. Jednym z nich, szczególnie istotnym dla Krakowa, jest kwestia środowiskowa. Kraków, jako miasto, które wyjątkowo dobrze charakteryzuje określenie „wyspa ciepła", ma bardzo niski współczynnik zalesienia (około 4,3% w roku 2019). Mimo że od 2019 roku prowadzony jest program zwiększenia lesistości miasta[21], należy przede wszystkim chronić istniejące tereny zielone. Inwestycje powinny być więc planowane w taki sposób, aby możliwie maksymalnie wstrzymać „betonowanie" terenów miejskich.

Obecna infrastruktura Krakowa oferuje miejsca, których architektura i lokalizacja umożliwiają budowę stacji dla PTE. Znacznym ułatwieniem jest też fakt, że w odróżnieniu od samolotów, maszyny eVTOL nie potrzebują rozległych pasów startowych, a więc lądowiska zajmują znacznie mniejszy obszar. Poniżej przedstawiono propozycje lokalizacji, w których istnieje możliwość wygospodarowania miejsca pod stację PTE na terenie Krakowa.

Parkingi P+R

Zlokalizowane na obrzeżach miasta Parkingi P+R to punkty, w których budowa stacji byłaby formą dywersyfikacji łączących się tu systemów multimodalnych. Dojazd prywatnym samochodem umożliwiłby prostotę użytkowania, natomiast lokalizacja pozwoliłaby na szybki transport do centrum lub na drugi koniec miasta. Na terenie przygotowanych przestrzennych parkingów istniałaby możliwość wydzielenia obszaru pod lądowisko PTE. Lokalizację siedmiu istniejących w Krakowie Parkingów P+R, które dawałyby możliwość budowy stacji, przedstawia rysunek 4. Plany sugerują powstanie kolejnych parkingów, które z założenia mogłyby być przygotowane z myślą o stacji PTE na ich terenie.



Rys. 4. Mapa lokalizacji Parkingów P+R na terenie Krakowa
Źródło: Google Maps, https://www.google.com/maps, 23.08.2021

[21] Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie, https://zzm.krakow.pl/nowe-lasy.html, 22.08.2021.

Dachy budynków

Budowa lądowisk na płaskich dachach budynków to rozwiązanie, nie tylko wpływające na oszczędność przestrzenną, ale także na zwiększenie bezpieczeństwa manewrów koniecznych przy starcie i lądowaniu, które mogą być utrudnione przez gęstą zabudowę centrum Krakowa. Przygotowanie stacji wyniesionej na wysokość wiąże się z koniecznością przystosowania powierzchni dachu do pełnienia takiej funkcji. Budynki będą musiały być odpowiednio wzmocnione i zabezpieczone oraz zapewniać prosty i bezpieczny sposób opuszczenia stacji.

Stacje mogłyby zostać zlokalizowane na dachach, głównie:

- parkingów wielopoziomowych,
- galerii handlowych,
- dworców kolejowych i autobusowych,
- obiektów widowiskowych,
- hoteli,
- biurowców.

Koliste rozjazdy na obrzeżach miasta

Koliste rozjazdy na obrzeżach Krakowa, pozwalające na wjazd i zjazd z IV Obwodnicy, to niewykorzystana przestrzeń, którą po odpowiedniej zmianie zagospodarowania można by przeznaczyć na budowę stacji postojowej lub operacyjnej dla PTE. Rysunek 5 przedstawia punkty, w których występują tego typu rozjazdy otaczające Kraków.

Rys. 5. Lokalizacja rozjazdów na IV Obwodnicy Krakowa, dających możliwość budowy stacji PTE
Źródło: Gmina Zielonki, https://zielonki.pl/index.php/10-aktualnosci/4149-informacja-o-prezentacji-projektu-dot-budowy-polnocnej-obwodnicy-krakowa-w-ciagu-drogi-ekspresowej-s52-odcinek-wezel-modlniczka-wezel-krakow-mistrzejowice-oraz-o-terminach-spotkan-informacyjnych-z-udzialem-przedstawicieli-gddkia, 23.08.2021

Na rysunku 6 zaprezentowany jest charakterystyczny wygląd takich zjazdów. Zdjęcie węzła Kraków – Bieżanów pokazuje, jak duży obszar pozostaje do zagospodarowania w tego typu miejscach.

Ronda i skrzyżowania z centralną wyspą

Ich charakterystyka jest zbliżona do opisanych powyżej zjazdów z obwodnicy. Oferują znaczną przestrzeń postojową w centralnej części. Jednocześnie większe skrzyżowania dają możliwość budowy stacji operacyjnej, trudnej do umiejscowienia w centrum miasta. Przykładem może być rondo

Rys. 6. Przykładowy zjazd z IV Obwodnicy Krakowa
Źródło: Google Maps, https://www.google.com/maps, 23.08.2021

Rys. 7. Rondo Mogilskie
Źródło: BankFoto, http://bankfoto.info/zdjecia/rondo-mogilskie/, 23.08.2021

Mogilskie (rys. 7), które jest wystarczająco obszerne, aby zbudować tam stację, niekolidującą z działającym już ruchem tramwajów i pieszych.

W Krakowie stacje PTE mogłyby powstać także na przykład na barkach pływających lub jako wolnostojące obiekty na otwartych przestrzeniach w mieście. Ciasna zabudowa oraz szeroka sieć linii trakcyjnych (niezbędnych do ruchu tramwajów) utrudnia regularne projektowanie sieci. Możliwości lokalizacyjne istnieją, jednak wprowadzenie miejskiej elektromobilności powietrznej to proces wymagający wielu lat pracy nad legislacją, przygotowaniem infrastruktury i wdrożeniem, dlatego temat lokalizacji lądowisk powinien być przemyślany dużo wcześniej, także w kontekście budowy innych obiektów. Już teraz większość projektów zakłada wprowadzenie paneli fotowoltaicznych na szczycie budynków. Realizacja planów inwestycyjnych takich obiektów, jak centra kultury, hale widowiskowe, biurowce itp., może zakładać także przygotowanie stacji postojowej dla PTE w okolicy danej inwestycji. Połączenie baterii słonecznych oraz stacji postojowej na dachu budynku może nie tylko ułatwić dostęp do obiektu, ale także zapewnić czysty napęd dla ładowanych w tym punkcie taksówek. Jednocześnie zakładanie budowy stacji w planach innych budowli, powinno pozwolić na ograniczenie zajmowanych terenów zielonych, do ochrony których zobowiązane jest społeczeństwo. Kraków jest miastem rozbudowywanym od wielu lat, wprowadzanie jakichkolwiek projektów mających wpływ na infrastrukturę całości miasta jest dużym wyzwaniem. Opisane powyżej możliwości lokalizacyjne są dostępne, jednak charakter takich miast jak Kraków nie sprzyja infrastrukturalnie innowacjom, typu miejska elektromobilność powietrzna. Znacznie lepsze warunki ku temu mają miasta młodsze, o bardziej rozproszonej zabudowie, takie jak Warszawa.

Badanie postaw potencjalnych użytkowników

Siłą napędową sieci transportowej są jej użytkownicy. Popyt na określoną usługę kształtuje ją i pozwala na rozwój. Przyszłość działania krótkodystansowych lotów miejskich jest zależna od postaw użytkowników. Analizując aspekt społeczno-ekonomiczny, należy zauważyć, że miejska elektromobilność lotnicza będzie znacząco narażona na nieregularność popytu, rozproszonego przestrzennie i czasowo. Brak danych historycznych na ten temat uniemożliwia szacowanie popytu za pomocą metod analitycznych. Jednocześnie wpływ pandemii SARS-COV-19 sprawia, że praca zdalna stała się bardziej popularna, co znacznie obniża zapotrzebowanie na codzienny transport. W literaturze odnaleźć można dwie strategie kalkulacji przyszłego popytu[22]:

- jakościową, nastawioną na uzyskanie subiektywnych opinii ekspertów oraz potencjalnych klientów, za pomocą np. specjalnie zaprojektowanych ankiet;
- przybliżenie oparte na danych historycznych, pochodzących z innych usług o podobnym charakterze i poleganie na dotyczących ich modelach analitycznych i metodach ilościowych.

Potencjalny popyt będzie miał ogromny wpływ na koszt lotów. Transport stanie się powszechny tylko wówczas, gdy cena nie będzie wygórowana. Nowoczesność opisywanej formy komunikacji może wiązać się jednak z różnorodnymi obawami ze strony potencjalnych użytkowników. W początkowej fazie realizacji projektu będą one ważnym regulatorem popytu. Wątpliwości mogą pojawić się przede wszystkim w kontekście bezpieczeństwa. Samoloty, mimo że stały się powszechnym środkiem transportu dalekodystansowego, u wielu osób wciąż wywołują lęk. Korzystanie z PTE będzie wiązało się z koniecznością przełamania obaw i zmiany podejścia do powietrznych sieci komunikacyjnych. Z pewnością zapewnienie pasażerom dodatkowych środków bezpieczeństwa, takich jak pasy, przycisk awaryjny czy specjalnie konstruowane spadochrony pozwalające na lądowanie w sytuacji awarii, może podnieść poczucie bezpieczeństwa. Zmiana podejścia jest jednak niezbędna, ponieważ zapewnienie najlepszych zabezpieczeń może nie wystarczyć, by zachęcić osoby obawiające się nowoczesnych technologii. Podejście zależy także od spojrzenia na daną sytuację. W dzisiejszych czasach wiele mówi się na przykład o lotach w kosmos, podczas których nikt nie stoi za sterem statku kosmicznego, a pasażer nie ma żadnego wpływu na realizację lotu. PTE to krok w inną stronę: wpasowanie tego typu połączeń do codziennego życia w mieście i nowe przyzwyczajenie.

Na innych płaszczyznach niż bezpieczeństwo, wątpliwości mogą dotyczyć między innymi estetyki. Trudno wy-

[22] 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. 6.

obrazić sobie drobne maszyny latające nad głowami na stosunkowo niskich wysokościach. Wiele osób może obawiać się, że zatłoczone niebo w przestrzeni miejskiej zmieni wizerunek miasta. Dyskomfort wywołany strachem przed spadającą z nieba maszyną, także może wpłynąć negatywnie na stosunek ludzi do PTE.

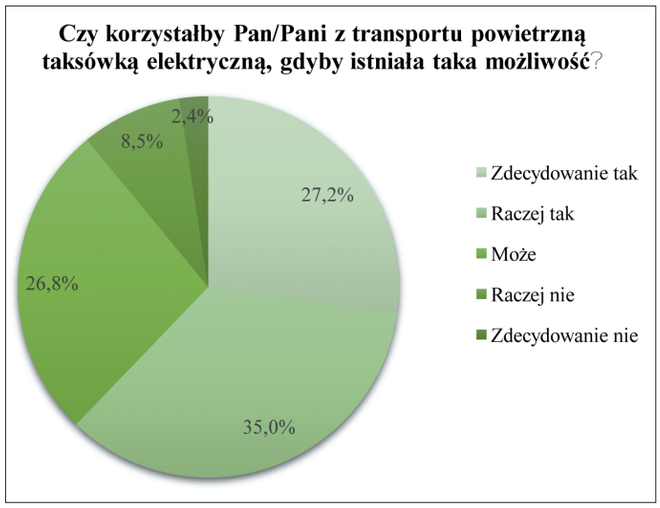
Aby zrozumieć postawy mieszkańców Krakowa i poznać ich nastawienie do realizacji projektu PTE na terenie miasta i okolic, zostało przeprowadzone badanie ankietowe, którego celem była ocena możliwości wprowadzenia w Krakowie powietrznych rozwiązań elektrycznych pod względem podejścia potencjalnych klientów do tego typu rozwiązań. Popyt jest miarą trudną do przewidzenia, dlatego na początek warto skupić się na podejściu krakowian do takich rozwiązań i ich zainteresowaniu użytkowaniem PTE.

Główną hipotezą założoną na początku badania było stwierdzenie, że potencjalni użytkownicy są pozytywnie nastawieni do wprowadzenia powietrznych, elektrycznych środków transportowych w Krakowie. Autorka szukała jej potwierdzenia poprzez pytania o różnym stopniu szczegółowości. Aby dokładniej poznać postawy badanych, postawiono także hipotezy szczegółowe:

- Zainteresowanymi korzystaniem z powietrznych rozwiązań elektrycznych są respondenci określający swoją sytuację materialną jako bardzo dobrą.
- Zainteresowanymi zmianą dotychczasowej formy transportu na powietrzne taksówki elektryczne są głównie młodzi respondenci (w wieku 20–29 lat).
- Mężczyźni mają większe zaufanie do PTE niż kobiety.
- Krótki czas przelotu to cecha, która przekonuje największą liczbę potencjalnych użytkowników do poruszania się powietrznymi taksówkami elektrycznymi.
- Większość respondentów obawia się o bezpieczeństwo korzystających z takiej formy transportu.
- Warunki pogodowe są czynnikiem, którego potencjalni użytkownicy obawiają się najbardziej w kontekście wprowadzenia i funkcjonowania PTE.
- Potencjalni klienci bezpieczniej czuliby się w obecności pilota niż w maszynie działającej autonomicznie.

Głównym narzędziem zastosowanym podczas opisywanego badania była anonimowa ankieta internetowa, obejmująca kwestię preferencji respondentów dotyczących różnych aspektów użytkowania PTE. Grupa ankietowanych została ograniczona do mieszkańców Krakowa i okolic, którzy są użytkownikami publicznego transportu miejskiego. Przeprowadzenie badania umożliwiło usystematyzowanie informacji na temat obecnej wiedzy i podejścia mieszkańców Krakowa do opisywanego tematu. W internetowym badaniu przeprowadzonym w maju 2021 roku wzięły udział 574 osoby zamieszkujące Kraków (75%) oraz jego okolice (25%). Zamieszczona na końcu formularza metryczka umożliwiła podział respondentów na grupy, a w konsekwencji identyfikację nie tylko postaw występujących w pytanej zbiorowości jako całości, ale także różnic w postrzeganiu tematu przez grupy o różnych cechach charakterystycznych. W badaniu wzięło udział 328 kobiet i 246 mężczyzn. Zdecydowaną przewagę wśród ankietowanych stanowiła grupa osób w wieku od 20 do 29 lat (aż 59%). Wszystkie przesłane formularze zostały uznane za ważne i kompletne. Ankietę zamknięto 31 maja. Udzielenie odpowiedzi po tym terminie nie było już możliwe. Przyjęta grupa 574 respondentów została uznana za miarodajną, a kompletność formularzy za wystarczającą do przeprowadzenia analizy.

Najważniejszym celem realizacji badania było poznanie nastawienia potencjalnych użytkowników do wprowadzenia powietrznych rozwiązań elektrycznych na terenie Krakowa. Analiza wyników pozwoliła na ocenę aspektu społeczno-ekonomicznego, tak ważnego w kontekście potencjalnego popytu na proponowaną usługę transportową. Odpowiedzi na pytanie, czy potencjalni użytkownicy korzystaliby z takiej formy transportu, gdyby istniała taka możliwość, jednoznacznie prezentują, że popyt pojawiłby się. Jak przedstawiono na wykresie (rys. 8), ponad 62% ankietowanych mniej lub bardziej pewnie odpowiedziała, że skorzystałaby z oferowanej formy transportu. Prawie 27% nie deklaruje swojego stanowiska. Istotne jest jednak, że jedynie 14 osób, czyli 2,4% respondentów wyraźnie oświadczyła, że nie będzie chciała z takiej innowacji skorzystać. Wynik ten sugeruje, że odpowiadający są dość pozytywnie nastawieni do próby skorzystania z opisywanej dywersyfikacji transportu, a więc popyt na usługę pojawiłby się szczególnie na początku. Wielkość realnego popytu ukształtowałaby się jednak z czasem, w zależności od rzeczywistej funkcjonalności usługi.



Rys. 8. Zainteresowanie respondentów korzystaniem z powietrznych taksówek elektrycznych
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań

Jak opisano wyżej, analizując możliwość wprowadzenia powietrznych taksówek elektrycznych w Krakowie, autorka pracy postawiła kilka bardziej szczegółowych hipotez, których potwierdzenia szukała poprzez realizację badania. Pierwsza z nich zakładała, że zainteresowanymi korzystaniem z powietrznych rozwiązań elektrycznych są respondenci określający swoją sytuację materialną jako bardzo dobrą. Odpowiedzi potwierdziły hipotezę, jednak stosunkowo podobne wielkości średnich ważonych wykazały, że sytuacja materialna nie koreluje znacząco z motywacją do skorzystania z takiej formy transportu.

Inną hipotezą, której potwierdzenie miało zaprezentować różnorodność w postawach mieszkańców Krakowa i okolic w zależności od wieku, było stwierdzenie, że zainteresowanymi zmianą dotychczasowej formy transportu na powietrzne taksówki elektryczne są głównie młodzi respondenci (w wieku 20–29 lat). Test istotności wykonany na podstawie pytania o chęć zmiany formy transportu na powietrzne taksówki elektryczne przez różne grupy wiekowe wykazał jednak, że nie ma istotnej statystycznie relacji pomiędzy wiekiem ankietowanych a ich chęcią zmiany formy poruszania się po Krakowie. Wyniki testu świadczącego o konieczności odrzucenie hipotezy przedstawia tabela 1.

Tabela 1

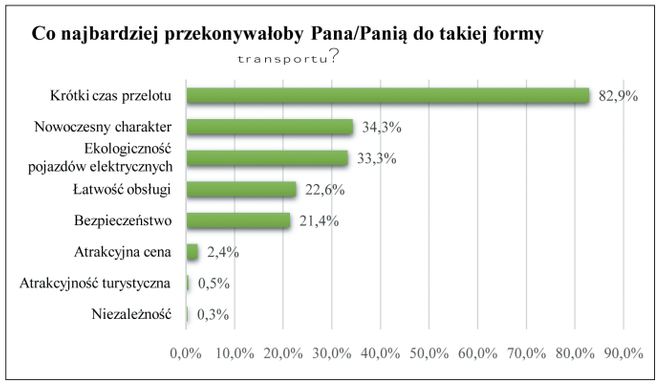
Test istotności dla hipotezy dotyczącej chęci zmiany formy transportu przez różne grupy wiekowe

Czy byłby Pan/Pani zainteresowany zmianą dotychczasowej formy transportu na PTE?						
	Grupa wiekowa					
Wiek w latach	0-19	20-29	30-39	40-49	50+	Ogółem
TAK	30	155	30	17	28	260
NIE	13	64	11	8	6	102
Nie potrafię powiedzieć	30	119	17	23	23	212
Ogółem	73	338	58	48	57	574
	13%	59%	10%	8%	10%	
$x^2=7,35;\ p=0,538$						

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań

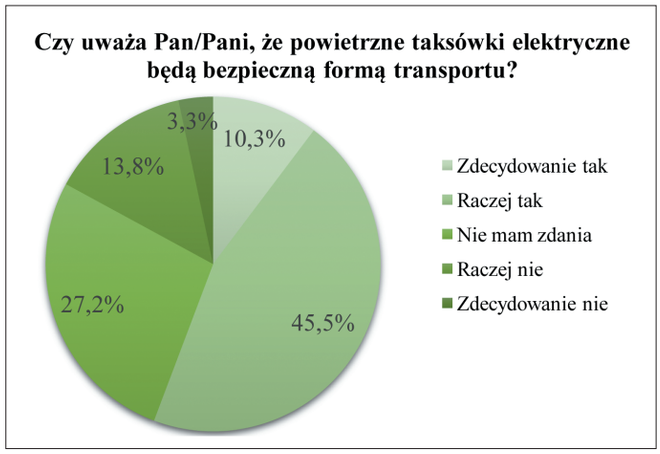
Stwierdzenie, że mężczyźni mają większe zaufanie do powietrznych rozwiązań elektrycznych niż kobiety, również okazało się błędne. Badane kobiety okazały się bardziej otwarte na takie rozwiązanie, choć i tu różnica nie była znacząca. Wynik ten należy jednak rozwinąć w kierunku bardziej szczegółowym, zadając pytanie, jakie cechy musiałaby mieć opisywana forma transportu, aby respondenci chcieli i nie bali się z niej skorzystać. Powyższy wynik rozwinąć można poprzez zebranie bardziej konkretnych danych, które pozwolą na decyzję, czy założone wyżej hipotezy szczegółowe są prawdziwe, czy też nie.

Przed rozpoczęciem badania założono, że krótki czas przelotu to cecha, która przekonuje największą liczbę potencjalnych użytkowników do poruszania się powietrznymi taksówkami elektrycznymi. Potwierdzenie tej hipotezy zapewniło zadane podczas badania pytanie wielokrotnego wyboru, w którym respondenci mogli zaznaczyć do 5 opcji oraz dopisać własne kryterium. Hipoteza została z łatwością potwierdzona, ponieważ aż 476 osób (82,9%) zaznaczyło opcję „krótki czas przelotu". W odpowiedzi „Inne" znalazły się dodatkowo propozycje dotyczące ceny, atrakcyjności turystycznej przelotu oraz niezależności, jaką oferuje taka forma. Wielkości liczbowe odpowiadające konkretnym wariantom odpowiedzi prezentuje rysunek 9.



Rys. 9. Główne powody korzystania z powietrznych taksówek elektrycznych
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań

Zaskakujący okazał się zestaw odpowiedzi na pytanie dotyczące bezpieczeństwa powietrznych taksówek elektrycznych. Zakładano, że większość respondentów ma obawy w tym zakresie. Odpowiedzi wykazały jednak, że ponad połowa respondentów nie ma zastrzeżeń w tym kontekście i mniej lub bardziej zasadniczo oznajmia, że będzie to bezpieczna usługa. Rozkład odpowiedzi w skali Likerta przedstawia rysunek 10.



Rys. 10. Postawa respondentów w stosunku do bezpieczeństwa PTE
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań

Respondenci podczas badania zostali wprost zapytani także o to, co mogłoby ich zdaniem negatywnie wpłynąć na bezpieczeństwo powietrznych taksówek elektrycznych. Hipoteza zakładała, że warunki pogodowe są czynnikiem, którego potencjalni użytkownicy obawiają się najbardziej. Pytanie pozostawiało możliwość wyboru wielu wariantów odpowiedzi. Dostępne było 5 opcji oraz pole „Inne", w którym respondenci wykazali swoje obawy na ten temat. Opcję „warunki pogodowe" zaznaczyła największa grupa, bo aż 451 osób, czyli 78% respondentów, co jednoznacznie potwierdza założoną przed badaniem hipotezę. Warte uwagi okazały się jednak także odpowiedzi zaproponowane przez ankietowanych, gdzie dominuje tematyka czynnika ludzkiego i natężenia ruchu w powietrzu. Zestawienie dopisanych odpowiedzi prezentuje tabela 2.

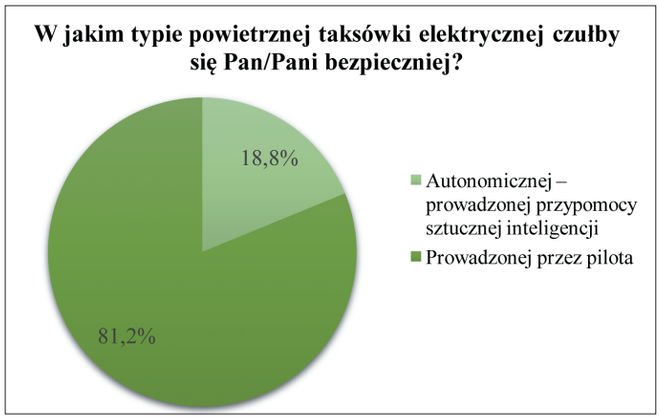
Dwoje respondentów już w poprzednim pytaniu poruszyło tematykę związaną z ostatnią postawioną hipotezą. Przed badaniem założono, że potencjalni klienci bezpieczniej czuliby się w obecności pilota niż w maszynie działającej autonomicznie. Bezpośrednie pytanie na ten temat niezaprzeczalnie potwierdziło tę hipotezę. Jak prezentuje rysunek 11, ponad 81% ankietowanych zaznaczyło, że czuliby się pewniej w obecności pilota niż w autonomicznym pojeździe, sterowanym za pomocą sztucznej inteligencji.

Tabela 2

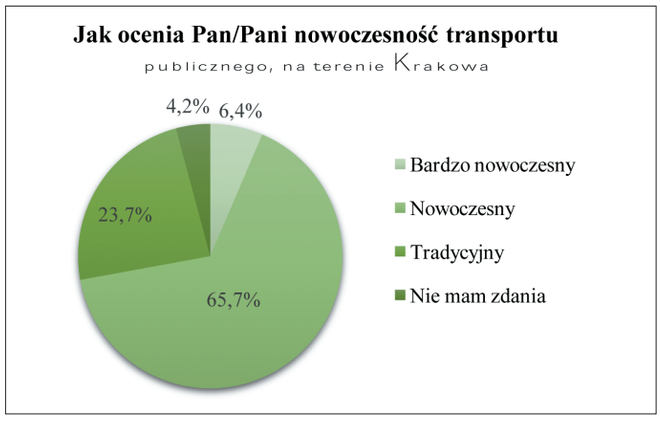
Czynniki mogące mieć negatywny wpływ na bezpieczeństwo powietrznych taksówek elektrycznych zaproponowane przez respondentów

Grupa tematyczna	Odpowiedzi respondentów
Czynnik ludzki	– Brak doświadczenia osób korzystających z nich – Ludzka głupota – Czynnik ludzki – Jeśli będzie pilot, to błędy ludzkie – Ludzie – Osoby kierujące takimi pojazdami – Użytkownicy – Brak kwalifikowanych pilotów – Nieodpowiedzialność i głupota ludzka – Brak doświadczenia – Ludzie kierujący tym
Środowisko	– Środowisko naturalne – zderzenia ze zwierzętami, zahaczenie o drzewa – Recykling akumulatorów itp. – Ptaki (odpowiedź powtórzyła się wielokrotnie)
Czynniki prawne	– Brak odpowiednich regulacji prawnych – Zasady ruchu drogowego w powietrzu – Przy większej liczbie takich pojazdów: brak odpowiednich przepisów i zasad poruszania się drogami powietrznymi przez takie pojazdy, brak lądowisk
Natężenie ruchu w powietrzu	– Zagrożenie zbyt dużym ruchem – w powietrzu zrobi się tak gęsto, jak obecnie na ulicy, a kolizja pojazdów powietrznych niesie za sobą o wiele gorsze konsekwencje i więcej poszkodowanych osób (szczególnie postronnych) – Natężenie ruchu w powietrzu – Brak dopasowania tras z pojawiającymi się innymi konkurencyjnymi firmami i możliwość wystąpienia kolizji – Kolizyjność – Koordynacja ruchu taksówek – „Zapchanie" przestrzeni powietrznej; ryzyko kolizji z innymi statkami powietrznymi – Zwiększająca się liczba tych pojazdów – Duża liczba w ruchu powietrznym – Kolizje (trudność skoordynowania przepustowości dużej sieci tras powietrznych jednocześnie) – Liczba statków powietrznych w danej przestrzeni powietrznej
Czynnik infrastrukturalny	– Brak przestrzeni do poruszania się takimi taksówkami – Linie wysokiego napięcia – Ciasne ulice, liczne przewody
Autonomiczność	– Opcja, że takie urządzenie będzie obsługiwane przez aplikację, a nie zawodowego pilota czy inną doświadczoną osobę – Brak pilota – sam automat
Koszty	– Wysokie koszty eksploatacji – Cena
Inne	– Atak hakerski

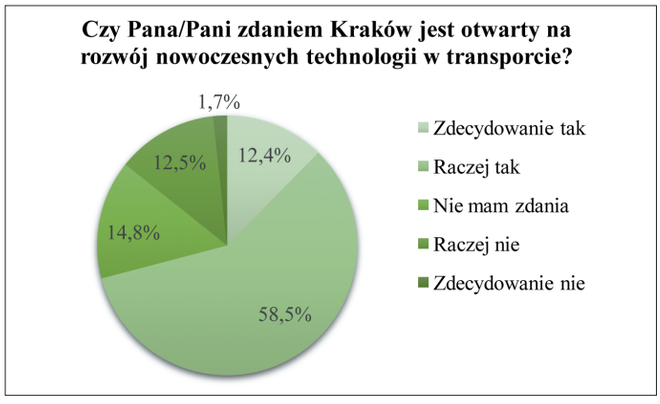
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań



Rys. 11. Poczucie bezpieczeństwa respondentów w różnych typach PTE
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań



Rys. 12. Ocena nowoczesności transportu publicznego (udogodnień na przystankach (tablic), ekologiczności, wykorzystania pojazdów elektrycznych itp.)
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań



Rys. 13. Otwartość Krakowa na rozwój nowoczesnych technologii w transporcie według grupy respondentów
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań

Dodatkowymi pytaniami, które mogą pomóc poznać podeście respondentów do wprowadzania w Krakowie innowacyjnych rozwiązań takich jak PTE, są pytania dotyczące technologii wykorzystywanych w mieście. Pierwszym pytaniem, rysującym obraz opinii publicznej na ten temat, była ocena nowoczesności komunikacji miejskiej, w której ponad 72% ankietowanych określiło krakowski transport jako nowoczesny, w tym ponad 6%, jako bardzo nowoczesny. Rozkład zebranych odpowiedzi prezentuje rysunek 12.

Kontynuacją tematu było pytanie, w którym respondenci mieli zdecydować, czy ich zdaniem Kraków jest otwarty na dalszy rozwój nowoczesnych technologii w transporcie. Większość respondentów postawiła tutaj odpowiedź „raczej tak". Dwie twierdzące odpowiedzi ze skali Likerta zdobyły 71% wszystkich wyników (rys. 13), co jednoznacznie ukazuje pozytywne zdanie respondentów na temat otwartości i rozwoju miasta.

Przeprowadzona ankieta miała na celu określenie, czy w omawianym mieście realizacja projektu wprowadzenia powietrznych taksówek elektrycznych mogłaby odnieść sukces. Definiowana przez respondentów nowoczesność transportu publicznego oraz otwartość Krakowa na nowe technologie daje nadzieje na sukcesywną realizację projektu. Na podstawie badania, biorąc pod uwagę jedynie aspekt społeczno-ekonomiczny opisywanej koncepcji, można powiedzieć, że respondenci mimo zróżnicowanych odpowiedzi deklarują pozytywne nastawienie do wprowadzenia powietrznych rozwiązań elektrycznych w Krakowie. Istotnymi wynikami potwierdzającymi tę hipotezę są:

- ponad 50% ankietowanych określających, że powietrzne taksówki elektryczne są bezpieczną formą transportu;
- chęć zmiany dotychczasowej formy transportu na powietrzne taksówki elektryczne deklarowana przez 45% respondentów;
- 62% chętnych do korzystania z tej formy transportu.

Trudnością podczas badania okazało się dotarcie do różnych grup wiekowych. Elektroniczny charakter ankiety miał znaczny wpływ na fakt, że struktura wiekowa prezentowała się nierównomiernie. Tak jak opisano powyżej, prawie 60% respondentów to osoby należące do grupy wiekowej 20–29 lat, do której najłatwiej dotrzeć za pośrednictwem mediów społecznościowych. Pomimo tej trudności, autorka uznała zebrane formularze za miarodajne. Przeprowadzona ankieta dała podstawy do usystematyzowania wiedzy na temat postaw ankietowanych, odnośnie innowacji związanych z elektromobilnością powietrzną.

Wyniki zrealizowanego badania można porównać z wieloma innymi badaniami przeprowadzanymi w odniesieniu do projektów PTE. Jednym z nich było badanie przeprowadzone w USA w 2018 roku, podczas którego skonstruowano ankietę pozwalającą oszacować gotowość mieszkańców do podróżowania PTE w gęsto zaludnionych częściach kraju[23]. Inne badania dotyczące tego tematu były także realizowane na podstawie ankiet wśród potencjalnych konsumentów. Wyniki statystyczne są jednym z niewielu źródeł, z których można czerpać informacje w tym zakresie, ponieważ brak danych historycznych uniemożliwia skonkretyzowaną analizę tematu. Wiele badań było także opartych na porównaniu PTE z innymi formami innowacji, które były wprowadzane, a których funkcjonowanie może być kojarzone z działaniem elektromobilności lotniczej.

Podsumowanie

Przeprowadzone powyżej analizy mają za zadanie zaprezentować miasto Kraków jako potencjalną lokalizację powietrznych taksówek elektrycznych. Analiza źródeł prawnych wykazała, że obowiązująca legislacja nie jest przygotowana na wprowadzenie takiej innowacji, jednak stale zmieniające się przepisy pokazują, że prace trwają i, jeśli zaistnieje potrzeba, zostaną wdrożone odpowiednie akty regulujące wprowadzenie elektromobilności powietrznej, tak jak nastąpiło to w przypadku innych pojawiających się w dzisiejszym świecie innowacji. Infrastrukturę Krakowa charakteryzuje centralizacja i gęsta zabudowa. Stwierdzenie, że miasto jest przystosowane do wprowadzenia takiej innowacji jak PTE byłoby błędne, jednak istnieją miejsca, w których budowa stacji postojowych i operacyjnych byłaby możliwa. Przygotowanie projektów ich lokalizacji wymagałoby konieczności dokładnych analiz, związanych z popytem na danym obszarze, możliwymi do realizacji trasami oraz innymi aspektami związanymi z bezpieczeństwem, jak i opłacalnością inwestycji. Wpasowanie sieci stacji postojowych w infrastrukturę miasta byłoby utrudnione z uwagi na jego charakter, ale możliwe. Analiza potencjalnych miejsc, w których stacje mogłyby być budowane, to jedynie proponowane przez autorkę lokalizacje – jedne z wielu dostępnych na terenie miasta. Dalsze badania w tym zakresie umożliwiłyby stworzenie konkretnej i efektywnej sieci stacji postojowych.

Badanie aspektu społeczno-ekonomicznego dotyczącego postaw respondentów wobec proponowanych innowacji przyniosło pozytywny skutek. Wnioski z analizy wyników ankiety sugerują, że większość respondentów jest pozytywnie nastawiona do wprowadzanych innowacji. Panujące przekonanie o bezpieczeństwie tej formy transportu ma ogromne znaczenie pod kątem przyszłego popytu. Autorka zakładała, że mógłby być to aspekt, który uniemożliwi realizację projektu w opisywanym mieście. Fakt, że spośród wybranych opcji prawie połowa respondentów zaznaczyła, że PTE mogłyby służyć im za środek transportu jedynie na wyjątkowe okazje, świadczy o ekskluzywnym traktowaniu takich udogodnień. Dopiero wprowadzenie PTE mogłoby doprowadzić do zmiany kierunku myślenia. Jedynie w sytuacji, gdyby ceny usługi były na poziomie osiągalnym w kontekście codziennych przelotów, PTE miałyby szanse rozwoju na szerszą skalę. Ważną zaletą jest znany mieszkańcom Krakowa system obsługi przyszłych PTE. Większość społeczeństwa potrafi obsługiwać już aplikacje umożliwiające zamówienie przewozów na żądanie, takich jak Bolt czy Uber. Świadomość w tym zakresie mogłaby ułatwić im sięgnięcie po aplikację służącą do obsługi PTE.

Nietrudno zauważyć, że miasto nie jest przygotowane na wprowadzenie sieci elektromobilności powietrznej w żadnym z opisywanych aspektów. Realnie, dopóki nie powstanie konkretny projekt dotyczący PTE, nie będzie konieczności, aby Kraków nastawił się na taką formę innowacji. Opisane analizy sugerują jednak, że jeśli pojawią się konkretne plany, to wprowadzenie sieci pasażerskiej elektromobilności powietrznej będzie wymagało ogromnych nakładów pracy, ale będzie miało realne szanse realizacji.

Kraków, jako miasto przeciętnie przystosowane do wprowadzania nowoczesnych udoskonaleń, z pewnością nie nadaje się na pioniera realizacji tego typu projektu. Istnieje wiele miast, które oferują lepsze warunki do funkcjonowania PTE przez wzgląd na konkretne aspekty. Jeśli kiedyś do Krakowa trafią podniebne taksówki, to będą to maszyny wprowadzone i funkcjonujące już w innych miastach na świecie. Schemat realizacji ich wdrażania będzie zatem znacznie prostszy, ponieważ będzie mógł być wzorowany na dokonywanych już wcześniej próbach. Już w 2025 roku powietrzne taksówki mają stać się symbolem EXPO 2025 w Osace, gdzie będą oficjalnie wykorzystywane do przewozu turystów na teren Wystaw Światowych, prezentując japońskie osiągnięcia technologiczne.

Autonomiczne PTE to duży przeskok dla technologii, dlatego, zdaniem autorki, w najbliższej przyszłości uwaga polskich inżynierów powinna skupić się na rozwoju innych

[23] R. Binder, et.al., *If You Fly It, Will Commuters Come? A Survey to Model Demand for eVTOL Urban Air Trips*, "Aviation Technology, Integration, and Operations Conference", 2018, s. 2882. [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. 6.

udogodnień, wykorzystujących bezzałogowe statki powietrzne. Ich przeznaczenie obecnie służy już siłom militarnym czy ratunkowym, jednak mogłyby także odmienić świat logistyki. Istnieją już maszyny pozwalające na autonomiczny przewóz towarów. Przykładem może być działający w Niemczech MD4-100, za pomocą którego firma DHL przewozi leki na wyspę położoną na Morzu Północnym. Inną firmą inwestującą ogromne pieniądze w drony transportowe jest Amazon, którego celem jest całkowite zautomatyzowanie procesu pakowania, załadowania na autonomiczną maszynę i dolotu. Takie rozwiązanie może znacząco wpłynąć na czas oczekiwania na przesyłkę. Celem Amazona jest zaoferowanie klientowi dostawy w przeciągu 30 minut[24]. Upowszechnienie tego typu maszyn byłoby pierwszym krokiem do przyzwyczajenia społeczeństwa do autonomicznej formy transportu powietrznego. Sektor logistyczny, niezbędnie wymagający stałych prac w świecie, który charakteryzują silne procesy globalizacyjne, mógłby działać znacznie sprawniej i efektywniej. Zaprogramowanie systemów realizujących określone zamówienia dałoby możliwość przyspieszenia procesów i uniknięcia błędów związanych z czynnikiem ludzkim. Realizacja projektu autonomicznych dronów służących do przewozu towarów byłaby podstawą do działania opisywanych w pracy lotów pasażerskich. Wprowadzenie PTE byłoby wtedy tylko kolejnym krokiem w rozwoju autonomicznej elektromobilności powietrznej.

Zgodnie z powyższym, w najbliższym czasie dalsze badania powinny być prowadzone przede wszystkim nad autonomicznymi „kurierami". Dotyczące ich warunki techniczne, wypadkowość itp., byłyby następnie podstawą do przyszłych badań nad wprowadzeniem powietrznych taksówek elektrycznych. Jak wynika z badania społeczeństwa, prawie 82% badanych sugeruje, że bezpieczniej czułaby się w maszynie prowadzonej przez człowieka niż w jej autonomicznej wersji. Zdaniem autorki jest to spowodowane przede wszystkim faktem, że mieszkańcy Krakowa nie mają na co dzień styczności z technologiami autonomicznymi, a co za tym idzie, mają obawy przed tym, co nowe. Wprowadzenie inteligentnych i samodzielnych rozwiązań w tym zakresie mogłoby zmienić podejście do tematu. Przyzwyczajenie społeczeństwa do obecności bezzałogowych statków powietrznych w przestrzeni miejskiej, za pomocą autonomicznych kurierów, z pewnością wpłynęłoby na przyszłe wprowadzenie PTE. Realizowane równolegle loty pasażerskie stałyby się znacznie bardziej naturalne niż w obecnych czasach, kiedy każda forma powietrznej elektromobilności jest traktowana przez duży odsetek społeczeństwa jako coś nierealnego.

Analizy wykazują, że potrzeba jeszcze wielu badań nad możliwością uruchomienia PTE w mieście. Niemniej jednak sporadyczne wprowadzanie nowych udoskonaleń technologicznych to kolejne kroki, które zbliżają do przyszłego wprowadzenia powietrznych taksówek elektrycznych także na terenie Krakowa.

[24] M. Nowakowski, et al., *Drony transportowe: nowa era transportu towarów i ludzi*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe", 2016, nr 17.6, s. 628.

Literatura

1. 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.
2. Liszka A., *Elektryczne taksówki powietrzne jako element mobilności powietrznej Smart City,* „Transport Miejski i Regionalny", 2023, nr 6.
3. Europeansmartcities 4.0 (2015); City-profile: Kraków (PL); http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=6&ver=4&city=183 [dostęp: 1.08.2021].
4. Giffinger R., et. al., *Smart cities. Ranking of European medium-sized cities,* European Smart Cities, Wiedeń 2007.
5. IMD Real Learning, Real Impact, SCO Smart City Observatory, Smart City Profiles, https://www.imd.org/smart-city-observatory/smart-city-profiles/ [dostęp: 19.08.2021].
6. SESAR Join Undertaking, https://www.sesarju.eu/discover-sesar/history [dostęp: 19.08.2021].
7. POLITICO, *„Is it a bird? Is it a plane? No, it's an air taxi",* https://www.politico.eu/article/europe-capitals-london-paris-prepare-for-flying-air-taxi-liftoff/ [dostęp: 19.08.2021].
8. EASA European Union Aviation Safety Agency "Civil drones (unmanned aircraft)", https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas?fbclid=IwAR3X7h3_PWM6IYcinL_uBoGMjURwWaAzf66WXsZk8AXsLo2cy72VthO2P-g [dostęp: 19.08.2021].
9. Urząd Lotnictwa Cywilnego, *Bezzałogowe statki powietrzne, Informacje ogólne*, https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/informacje-ogolne?fbclid=IwAR3X7h3_PWM6IYcinL_uBoGMjURwWaAzf66WXsZk8AXsLo2cy72VthO2P-g [dostęp: 19.08.2021].
10. Shamsheer S., Martins J.R.R.A., *Tilt eVTOL takeoff trajectory optimization,* "Journal of Aircraft", Ann Arbor, 2019.
11. Elektrotechnik Automatyk, *Pierwsze latające taksówki już za dwa lata*, https://www.elektrotechnikautomatyk.pl/artykuly/pierwsze-latajace-taksowki-juz-za-dwa-lata [dostęp: 20.08.2021].
12. Dz. U. z 2002 r., Nr 130, poz. 1112, s. 54.
13. Polskie AirTaxi, https://www.samoloty.pl/artykuly-lotnicze/11137-polskie-air-taxi [dostęp: 1.07.2021].
14. Lotnicze pogotowie ratunkowe, *Lądowiska przyszpitalne*, https://www.lpr.com.pl/pl/ladowiska/ladowiska-przyszpitalne/ [dostęp: 22.08.2021].
15. Lotnicze pogotowie ratunkowe, *Miejsca* gminne, https://www.lpr.com.pl/pl/ladowiska/miejsca-gminne/ [dostęp: 22.08.2021].
16. Dla pilota, https://lotniska.dlapilota.pl/ [dostęp: 20.08.2021].
17. Polinar ROBINSON, http://polinarheli.pl/krakow_heliport.html [dostęp: 22.08.2021].
18. Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie, https://zzm.krakow.pl/nowe-lasy.html [dostęp: 22.08.2021].
19. 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.
20. Binder R., et.al., *If You Fly It, Will Commuters Come? A Survey to Model Demand for eVTOL Urban Air Trips*, "Aviation Technology, Integration, and Operations Conference", 2018, s. 2882, [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. 6.
21. Nowakowski M., et al., *Drony transportowe: nowa era transportu towarów i ludzi*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe", 2016, nr 17.6.

ANETA KLEPACZ
inż., absolwentka studiów I stopnia kierunek: Transport, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: anetaklepacz97@gmail.com
ZOFIA BRYNIARSKA
dr inż., Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Katedra Systemów Transportowych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: zofia.bryniarska@pk.edu.pl

WPŁYW FOTORADARÓW NA PRĘDKOŚĆ JAZDY POJAZDÓW – CZĘŚĆ I[1,2]

Streszczenie: Artykuł ma na celu zweryfikowanie skuteczności stosowania fotoradarów i ich wpływ na prędkość samochodów osobowych i ciężarowych. Część I artykułu zawiera omówienie zachowań kierowców na drodze wraz ze sposobami radzenia sobie z wykroczeniami, a także przedstawia przyczyny wypadków drogowych na podstawie raportów policyjnych z 2022 roku. Analizie poddano czynniki wpływające na zwiększanie prędkości przez kierowców. W ramach metody badawczej przeprowadzono dwa pomiary dla dwóch różnych lokalizacji fotoradarów. Miejsca pomiarowe różniły się ukształtowaniem terenu i obowiązującym ograniczeniem prędkości. Znajdowały się na DK7 w miejscowości Jawornik i DK47 w miejscowości Nowy Targ. Dopuszczalna prędkość na badanych odcinkach to odpowiednio: 70 km/h i 50 km/h. Pomiary wykonano przy obecnym fotoradarze i tydzień po jego ściągnięciu. Fotoradary, na zlecenie Głównego Inspektoratu Transportu Drogowego, ściągano na czas serwisowania. Część II artykułu (TMiR nr 4/2024) zawiera porównanie wykroczeń powodowanych przez kierowców samochodów osobowych i ciężarowych, przy obecnym urządzeniu mierzącym prędkość, a także przy jego braku. Na podstawie Generalnego Pomiaru Ruchu przeprowadzonego w latach 2015 i 2020 dla obu lokalizacji fotoradarów oszacowana została średnia dzienna liczba wykroczeń.
Słowa kluczowe: fotoradar, prędkość, bezpieczeństwo, wykroczenia.

Wprowadzenie

Przekraczanie ograniczeń prędkości przez kierowców jest powodem wielu wypadków drogowych. Fotoradary są jednym ze sposobów dyscyplinowania kierowców i zmniejszania liczby przypadków popełniania wykroczeń jazdy z nadmierną prędkością. Urządzenia te podlegają pod GITD, a do ich prawidłowego funkcjonowania konieczne jest ich okresowe serwisowanie. Na ten czas fotoradary są ściągane. Pomiary przed i po ściągnięciu fotoradarów pozwalają sprawdzić reakcję kierowców na chwilowy brak urządzenia mierzącego prędkość.

Celem artykułu jest zweryfikowanie skuteczności stosowania fotoradarów i ich wpływu na prędkość jazdy pojazdów [1]. Punktowe pomiary prędkości przeprowadzone w ramach metody badawczej miały miejsce w pobliżu lokalizacji dwóch istniejących fotoradarów. Pierwszy z nich znajduje się w miejscowości Jawornik na drodze krajowej DK7. Dopuszczalna prędkość na tym odcinku wynosi 70 km/h. Kolejny fotoradar zlokalizowany jest w miejscowości Nowy Targ na drodze krajowej DK47. Ograniczenie prędkości na tym obszarze jest równe 50 km/h. Wybór konkretnych fotoradarów uzasadniony był zapowiedzią ich ściągnięcia na czas serwisowania, które odbyło się w grudniu 2023 roku dla obu urządzeń kontrolujących prędkość pojazdów. Zadanie to realizowała firma Lifton na zlecenie GITD, a przewidywany czas trwania prac serwisowych wynosił około 3 tygodnie.

W ramach przeprowadzanej metody badawczej zaplanowano dwa pomiary dla każdej lokalizacji fotoradaru [1]. Pierwszy pomiar odbył się przed usunięciem urządzeń, w celu sprawdzenia zachowania kierowców przy pracującym urządzeniu do pomiaru prędkości. Kolejny miał miejsce około tydzień po ściągnięciu fotoradarów. Analiza wyników badań pozwoli odpowiedzieć na pytanie, jaki wpływ ma stosowanie fotoradarów na zachowania kierowców i prędkości przejazdu na drodze. Przeanalizowana zostanie zasadność montowania fotoradarów pod kątem bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Zachowania kierowców na drodze i sposoby radzenia sobie z wykroczeniami

Nieprawidłowe zachowania kierowców na drodze, niezgodne z przepisami ruchu drogowego, są przyczyną zmniejszenia poziomu bezpieczeństwa oraz wypadków i zdarzeń drogowych, w których uczestniczą nie tylko kierowcy i pasażerowie pojazdów, ale również inni uczestnicy ruchu drogowego. Jednym z podstawowych zagrożeń jest niedostosowanie prędkości do warunków drogowych i atmosferycznych. Z uwagi na charakter problemu podjętego w artykule opisano czynniki wpływające na zwiększenie prędkości przez kierujących pojazdy. Podzielono je na czynniki biologiczne, psychologiczne, a także związane z infrastrukturą transportową. Uwzględniono również temperament człowieka i jego podatność na stres, przedstawiono sposoby radzenia sobie z wykroczeniami. Ze względu na charakter pracy wśród wymienionych urządzeń dokonujących pomiaru prędkości pojazdu szczególnej analizie poddano fotoradary stacjonarne.

Wykroczenia w ruchu drogowym

Obecnie pojazdy są przedmiotem codziennego użytku i pozwalają swobodnie przemieszczać się kierowcy z punktu A do punktu B. Rośnie liczba osób za kierownicą, co szczególnie wpływa na konieczność zagwarantowania bezpieczeństwa na drodze. Jednak pomimo oznakowań poziomych i pionowych występujących na i obok jezdni, kierowcy wciąż dopuszczają się niebezpiecznych zachowań i wykroczeń.

Człowiek jest głównym czynnikiem sprawczym wypadków drogowych, gdyż to właśnie zachowanie użytkowników dróg ma największy wpływ na powstawanie wypadków. Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych i w Wielkiej Brytanii w latach 70. XX wieku pokazują, że błędy użytkowników dróg były główną przyczyną większości wypadków drogowych. Aż 93–94% wszystkich wypadków na drodze związanych było

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2024.
[2] Wkład autorów w publikację A. Klepacz 70%, Z. Bryniarska 30%.

z człowiekiem, w tym 57–65% wypadków spowodowanych było nieprawidłowym zachowaniem użytkownika drogi, a w 30% wypadków nieprawidłowe zachowanie było jedną z dwóch lub trzech przyczyn wypadku [2 s. 2].

Wykroczenie w ruchu drogowym jest to popełnienie czynu sklasyfikowanego w Kodeksie wykroczeń. Na podstawie ustawy z dnia 20 maja 1971 roku – Kodeks wykroczeń [3 art. 4]: *Wykroczenie uważa się za popełnione w czasie, w którym sprawca działał lub zaniechał działania, do którego był obowiązany.* Skutkiem popełnienia wykroczenia może być kara grzywny. W przypadku ruchu drogowego kierowcy przy znacznym zaniechaniu stosowania się do przepisów grozi orzeczenie zakazu prowadzenia pojazdów. Do wykroczeń w ruchu drogowym należą [3 art. 86]:

- nieprzestrzeganie maksymalnej prędkości,
- wyprzedzanie kolumny pojazdów,
- nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu,
- wyprzedzanie przed przejściem dla pieszych,
- omijanie pojazdu, który jechał w tym samym kierunku, lecz zatrzymał się w celu udzielenia pierwszeństwu pieszemu,
- brak zachowania szczególnej ostrożności w okolicach przejść dla pieszych czy przystanków,
- prowadzenie pojazdu pod wpływem alkoholu,
- niestosowanie się do znaku, sygnału lub polecenia w ruchu drogowym,
- jazda niezgodna z przepisami ruchu drogowego.

Przy rozważaniu zachowań kierowców na drodze istotne jest poznanie trzech podstawowych kategorii błędów popełnianych przez kierujących pojazdy na drodze [4 s. 9]. Pierwszym z nich są błędy strategiczne, które wynikają głównie z podjęcia błędnej decyzji (np. dotyczącej jazdy niesprawnym pojazdem czy w trudnych warunkach atmosferycznych, czy kierowania w nieodpowiednim stanie fizjologicznym lub psychicznym). Do kategorii błędów strategicznych zalicza się również świadomie podejmowane działania wynikające z poszukiwania wrażeń, określane potocznie jako „piractwo drogowe". Kolejnym rodzajem są błędy taktyczne, które są spowodowane niewłaściwymi manewrami podczas jazdy. Natomiast błędy operacyjne są wynikiem braku odpowiednich umiejętności prowadzenia pojazdu przez kierowcę. Mogą one dotyczyć szczególnie młodych kierowców, którzy nie mają dużego doświadczenia za kierownicą.

Czynniki wpływające na zwiększanie/zmniejszanie prędkości przez kierowców

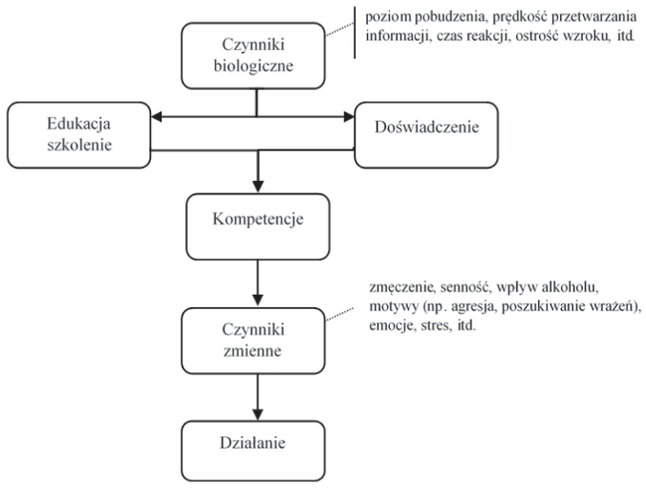
Na drogach występują różne ograniczenia prędkości. Wprowadzane są one w celu regulacji natężenia ruchu, a także zapewnienia bezpieczeństwa w konkretnych warunkach otoczenia. Ograniczenia prędkości w zależności od typu drogi zebrano w tabeli 1.

Mimo tych ograniczeń kierowcy często dopuszczają się wykroczeń, czego następstwem są liczne wypadki. Biologiczne i psychologiczne czynniki mające wpływ na działania kierowcy, w tym zwiększanie prędkości w ruchu drogowym, przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1

Ograniczenia prędkości na polskich drogach		
Lokalizacja	**Samochody osobowe, motocykle, samochody ciężarowe o DMC nieprzekraczającej 3,5 t**	**Zespoły pojazdów, samochody ciężarowe o DMC powyżej 3,5 t**
Teren zabudowany	50 km/h	50 km/h
Strefa zamieszkania	20 km/h	20 km/h
Autostrada	140 km/h	80 km/h
Droga ekspresowa dwujezdniowa	120 km/h	80 km/h
Droga ekspresowa jednojezdniowa	100 km/h	80 km/h
Droga dwujezdniowa co najmniej o dwóch pasach przeznaczonych dla każdego kierunku ruchu	100 km/h	80 km/h
Pozostałe drogi	90 km/h	90 km/h

Źródło: opracowanie własne na podstawie Ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r., Prawo o ruchu drogowym, Dz.U.1997.98, poz. 602 art. 20.



Rys. 1. Czynniki biologiczne i psychologiczne wpływające na działania kierowcy, w tym na zwiększanie prędkości w ruchu drogowym
Źródło: opracowanie własne na podstawie [2 s.18]

Zwiększenie prędkości przez kierowców może być spowodowane aspektami psychologicznymi, takimi jak dekoncentracja podczas prowadzenia pojazdu i nieświadome ignorowanie ograniczeń prędkości (rys. 1). Poziom pobudzenia kierującego i jego prędkość przetwarzania informacji gwarantują sprawną reakcję na odpowiednie oznakowanie drogowe. Na kompetencje kierowcy i przestrzeganie maksymalnej prędkości składają się: edukacja, czyli znajomość przepisów, i wiedza na temat ruchu drogowego. Wszystko to zapewnia kierowcy odpowiednie kompetencje i minimalizuje szanse na niestosowanie się do ograniczeń prędkości.

Wyróżnia się również czynniki zmienne, do których należy stres. Może być on wywołany chęcią szybkiego powrotu lub dojazdu w dane miejsce. Stres wpływa na poziom uwagi kierowcy, co może mieć negatywne konsekwencje dla bezpieczeństwa na drodze. Większą skłonność do zachowań ryzykownych na drodze będą miały osoby impulsywne, skłonne do ryzyka, zatem kolejny czynnik to temperament czy cechy osobowości [5 s. 13].

Na podstawie badań wykonanych w Anglii, aż 14,4% kierujących zajmuje się czymś innym w czasie prowadzenia

samochodu [6 s. 55]. Badania przeprowadzone w Hiszpanii pokazują, że liczba ta sięga 20% [7 s. 10]. Takie zachowania negatywnie wpływają na bezpieczeństwo ruchu. Kierowcy przez to nie zwracają uwagi na znaki, przez co mogą nie stosować się do ograniczeń prędkości.

Oprócz zagadnień związanych z psychologią transportu należy wymienić również czynniki natury technicznej związane z infrastrukturą transportową i inżynierią ruchu drogowego. Jednym z nich jest geometria jezdni. Droga prosta, bez łuków, może wywoływać u kierowcy chęć brawurowej jazdy przy jednoczesnym ignorowaniu ograniczeń. Istotną rolę odrywa zatem przeciwdziałanie zjawisku tzw. hipnozy drogowej, które polega na unikaniu projektowania dróg charakteryzujących się monotonią, a więc zbyt wielu długich, prostych odcinków drogi.

Dobra widoczność to kolejny czynnik, dla jakiego kierujący pojazdem podejmuje się przykładowo manewru wyprzedzania, a zatem dużego zwiększenia prędkości [2 s. 21–24]. Na widoczność ma wpływ pora dnia i dobre warunki pogodowe. Takiemu zachowaniu sprzyjać będzie sucha nawierzchnia i jej dobry stan techniczny. Rodzaj zabudowy również może mieć w tym wypadku znaczenie. Kierowcy w terenie zabudowanym będą dopuszczali się przekraczania prędkości zdecydowanie rzadziej z uwagi na świadomość obecności pieszych. Szczególnie niebezpieczne może być zignorowanie oznakowania świadczącego o zbliżającym się przejściu czy występowaniu przystanku autobusowego. Wiedza o czynnikach wpływających na działania kierowcy w ruchu drogowym dostarcza cennych wskazówek do projektowania dróg i organizacji ruchu.

Przyczyny wypadków drogowych

Z danych dotyczących wypadków w 2022 roku opublikowanych przez policję wynika, że główne przyczyny wypadków na prostych odcinkach w 2214 przypadkach wynikały z niedostosowania prędkości do warunków ruchu [8, s. 18, 25]. Na dalszych miejscach plasuje się kolejno:

- nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu (1490 wypadków),
- nieustąpienie pierwszeństwa na przejściu (1406 wypadków),
- niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami (1152 wypadków),
- nieprawidłowe wyprzedzanie (617 wypadków).

W 2022 roku z winy kierujących pojazdami powstały 19 373 wypadki (co stanowi 90,9% ogółu). Śmierć poniosło 1621 osób (85,5%), a 22 834 zostały ranne (92,3%).

Głównymi przyczynami wypadków było:

- nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu – 4526 wypadków,
- niedostosowanie prędkości do warunków ruchu – 4468 wypadki,
- nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych – 2251 wypadków.

Przyczyną 34,9% wypadków, które spowodowali młodzi kierowcy, było „niedostosowanie prędkości do warunków ruchu", a o ich ciężkości świadczy 52,7% zabitych w wypadkach. Jest to grupa osób, którą cechuje brak doświadczenia i umiejętności w kierowaniu pojazdami i jednocześnie duża skłonność do brawury i ryzyka.

Na drogach krajowych miało miejsce 4445 wypadków (20,8% ogółu wypadków), zginęło w nich 635 osób (33,5% ogółu zabitych), a rannych zostało 5419 osób (21,9% ogółu rannych). Najwięcej wypadków zanotowano na drodze DK94, a następnie drogach DK7, DK91 i DK8.

Warto zauważyć, że DK7 należy do grupy dróg, na których notuje się dużą liczbę wypadków. Stanowi jedną z omawianych lokalizacji fotoradaru – miejscowość Jawornik. W 2021 roku odnotowano na niej 282 wypadki. Zabitych było 37 osób, a rannych 337. Dla porównania, w 2022 roku wypadków było 246, zabitych 17 osób, natomiast rannych 288. Liczba wypadków z roku na rok zmniejsza się. Biorąc pod uwagę, że przyczyną większości wypadków jest niedostosowanie się kierujących do limitu prędkości, ważne jest egzekwowanie przestrzegania tych ograniczeń szczególnie na drogach wypadkowych. Natomiast DK47 (druga omawiana lokalizacja fotoradaru – Nowy Targ) nie znajduje się w zestawieniu dróg o największym zagrożeniu wypadkami.

Urządzenia dokonujące pomiaru prędkości pojazdów

Utrzymaniem kompleksowego bezpieczeństwa na drodze zajmują się patrole policji, które egzekwują wśród kierujących stosowanie się do przepisów ruchu drogowego. Wykroczenie to egzekwowane jest zarówno przez policję, jak i Inspekcję Transportu Drogowego (ITD). Kontrole prędkości mają na celu minimalizację występowania tego typu zachowań. Funkcjonariusze tych służb do pomiaru prędkości pojazdów wykorzystują: ręczne radarowe mierniki, fotoradary stacjonarne i fotoradary mobilne. Jak pokazują badania, egzekwowanie prędkości skutkuje zmniejszeniem liczby wypadków, szczególnie w odniesieniu do wypadków śmiertelnych i wypadków z poważnymi obrażeniami. Niektóre metody są stosunkowo drogie, jednak zapewniają znaczny zwrot z inwestycji, dzięki zmniejszonym kosztom społecznym i ekonomicznym związanym z wypadkami [9 s. 8].

Kompleksowym rozwiązaniem patroli policji są ręczne radarowe mierniki. Policjanci za ich pomocą mogą kontrolować kierowców wszędzie tam, gdzie występuje zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Kolejnym sposobem radzenia sobie z wykroczeniami są fotoradary stacjonarne, umieszczane na poboczu drogi. Podlegają one ITD. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 roku w sprawie warunków lokalizacji, sposobu oznakowania [10] i dokonywania pomiarów przez urządzenia rejestrujące *stacjonarne urządzenia rejestrujące dokonujące pomiaru prędkości poprzedza się każdorazowo znakiem drogowym D-51, określonym w przepisach o znakach i sygnałach drogowych*.

Mobilne fotoradary to urządzenia instalowane w nieoznakowanych samochodach ITD[3]. Ze względu na to, że prze-

[3] https://moto.co.pl/mobilny-fotoradar-poznaj-przepisy-drogowe-dot-przenosnych--fotoradarow-2119832.html

nośny fotoradar działa z ukrycia, nie wymaga on stosowania znaku ostrzegawczego dotyczącego kontroli prędkości. Mobilne aparatury pomiarowe nie mogą być dowolnie przenoszone i instalowane w różnych miejscach. Są konstrukcyjnie przystosowane do zabudowy w pojazdach. Głowica radaru znajduje się w atrapie chłodnicy lub w zderzaku. Pozostała część urządzenia umieszczona jest w kabinie.

Tradycyjne fotoradary rejestrują prędkość chwilową pojazdu. Oznacza to, że przyhamowanie przed urządzeniem może uchronić przed mandatem. W przypadku kontroli odcinkowej kierowca przez całą długość odcinka musi przestrzegać ograniczenia prędkości. Urządzenia rejestrujące odcinkowy pomiar prędkości ustawione są na początku i na końcu drogi objętej nadzorem. Mierzą, w jakim czasie pojazd pokonał trasę. Zbyt szybka jazda skutkuje ukaraniem kierowcy mandatem. Zgodnie z przepisami, tablicę informacyjną D-51 ustawia się na początku odcinka, na którym prowadzony jest odcinkowy pomiar prędkości, w przekroju poprzecznym drogi, w którym znajduje się stacjonarne urządzenie rejestrujące[4].

Definicja i działanie fotoradarów

Fotoradary stacjonarne są jedną z metod radzenia sobie z wykroczeniami. Są to urządzenia, które pozwalają na rejestrowanie prędkości chwilowej pojazdów. Informacje pozyskane z fotoradarów stacjonarnych na skutek wykroczenia kierowcy to[5]:

- obraz naruszenia, w tym obraz pojazdu, wraz z numerem rejestracyjnym,
- data oraz czas popełnienia naruszenia,
- numer identyfikacyjny urządzenia rejestrującego,
- prędkość, z jaką poruszał się pojazd,
- prędkość dopuszczalna w miejscu i czasie popełnienia naruszenia.

Stacjonarne fotoradary posiadają żółty kolor i znajdują się zawsze na poboczu, a ich ustawienie poprzedza znak D-51 (automatyczna kontrolna prędkości).

Działanie fotoradarów polega na wysyłaniu wiązek mikrofal w kierunku nadjeżdżających pojazdów i sprawdzania ich prędkości[6]. Do pomiaru prędkości samochodu wykorzystuje się efekt Dopplera. Fale odbijają się od jadącego pojazdu i zależnie od jego prędkości zmienia się ich częstotliwość (długość). Odbita fala wraca do radaru, gdzie jest analizowana i obliczana jest prędkość pojazdu. Działanie fotoradaru przedstawiono na rysunku 2.

Rozproszenie sygnału sięga nawet 500 m, co ilustruje rysunek 2. Natomiast pomiar i zrobienie zdjęcia przez urządzenie odbywa się na odległości od 10 m do 30 m od nadjeżdżającego pojazdu.

Fotoradary podlegają pod system CANARD, którego działanie opiera się na rejestracji wykroczeń drogowych.

Rys. 2. Działanie fotoradarów stacjonarnych
Źródło: https://www.antyradary.org/jak-dziala-fotoradar

Zarządza nim ITD. Wyłącznie ta formacja kontrolna może wystawiać mandaty karne za przekroczenie prędkości, które zarejestrowały fotoradary. Zdjęcie wykonane przez fotoradar trafia do Centralnego Systemu Przetwarzania, gdzie gromadzone są dane o wykroczeniach. Następnie Główny Inspektorat Transportu Drogowego (GITD) uzyskuje dane właściciela pojazdu, który dopuścił się wykroczenia z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK) i wysyłane jest wezwanie do wskazania osoby, która kierowała pojazdem.

Wystawienie mandatu za wykrocznie lub niewskazanie osoby kierującej realizuje Centrum Automatycznego Nadzoru nad Ruchem Drogowym (CANARD). W kompetencjach wyżej wspomnianej jednostki GITD leży również wysłanie oświadczenia do osoby wskazanej przez właściciela. W okresie 180 dni od momentu, kiedy dane z fotoradaru trafią do komputera funkcjonariuszy policji, może zostać wystawiony mandat za przekroczenie prędkości[7].

Warunki lokalizacji i sposoby dokonywania pomiarów przez fotoradary

Lokalizację fotoradaru stacjonarnego określa się na podstawie analizy stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego, na odcinku obejmującym po 500 m drogi w obu kierunkach [10 ust. 3, pkt1]. Analiza ta może odbywać się również do najbliższych skrzyżowań, jeśli znajdują się one w odległości mniejszej niż 500 m od projektowanej lokalizacji. Obejmuje ostatnie 3 lata. Uwzględnia przyczyny zdarzeń drogowych występujących na danym odcinku, szczególnie tych, które zaistniały z powodu niedostosowania prędkości do warunków ruchu drogowego.

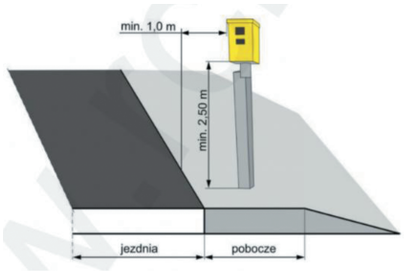
Na podstawie wykonanych badań w Wielkiej Brytanii stwierdzono, że fotoradary mogą uzyskać optymalną skuteczność przy wartości ryzyka wypadku lub kolizji większej lub równej 30, a nie zalecanej wartości ryzyka wynoszącej 22 [11 s. 15].

Stacjonarne fotoradary mogą być lokalizowane [10 ust. 3, pkt 2]:

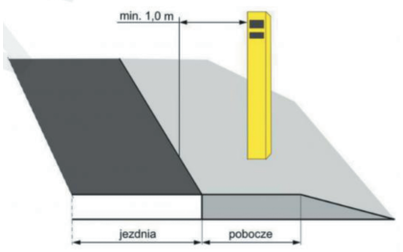
- w obszarze zabudowanym (odległość nie mniejsza niż 500 m od innego stacjonarnego urządzenia rejestrującego na danej drodze),
- poza obszarem zabudowanym (odległość nie mniejsza niż 2000 m od innego stacjonarnego urządzenia rejestrującego na danej drodze).

Fotoradar powinien być umieszczony minimum 1 m od krawędzi jezdni niezależnie od jego typu, co przedstawiają rysunki 3 i 4.

[4] https://www.znakowo.pl/blog/odcinkowy-pomiar-predkosci
[5] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz.U.1997.98 poz. 602 art.129h)
[6] https://www.antyradary.org/jak-dziala-fotoradar
[7] https://cuk.pl/porady/mandat-z-fotoradaru-procedura-krok-po-kroku



Rys. 3.
Wytyczne dotyczące umieszczenia fotoradarów na konstrukcji wsporczej
Źródło: https://usunznak.pl/znaki/kontrola-predkosci-d-51/



Rys. 4.
Wytyczne dotyczące umieszczenia fotoradarów typu wieżowego
Źródło: https://usunznak.pl/znaki/kontrola-predkosci-d-51/

Fotoradary stacjonarne mogą być instalowane na odcinkach dróg, na których obowiązuje stała prędkość dopuszczalna i ich długość nie przekracza [10 ust. 4, pkt 2]:

- 10 000 m w obszarze zabudowanym,
- 20 000 m poza obszarem zabudowanym.

Urządzenia dokonujące pomiaru prędkości nie zapisują za pomocą technik utrwalania obrazów naruszeń polegających na przekroczeniu przez kierujących pojazdami dopuszczalnej prędkości o 10 km/h lub mniej. Fotoradary w czasie pracy ustawia się i programuje tak, aby zapisywały naruszenia dopuszczalnej prędkości o ustawianą w urządzeniu wartość co 1 km/h. Zgodnie z przepisami pomiar nie może odbywać się w miejscu znajdującym się przed znakiem D-51 (kontrola prędkości) [10 ust. 7, 8].

Pojęcia związane z parametrami ruchu

Parametry ruchu obejmują różnorodne pojęcia związane z cechami i czynnikami występującymi na drogach. Wybrane z nich opisano poniżej.

Pierwszym z omawianych parametrów jest natężenie ruchu. Stanowi ono liczbę pojazdów przekraczających dany przekrój w jednostce czasu. Przekrojem może być jezdnia, cała szerokość drogi lub pas ruchu. Pojazdy muszą poruszać się w tym samym kierunku. Zwykle natężenie ruchu wyraża się w liczbie pojazdów na godzinę [P/h] lub interwałach 15-minutowych i 5-minutowych [2 s. 99].

Kolejnym parametrem ruchu jest przepustowość drogi. Definiowana jest jako największa liczba pojazdów, którą w określonych warunkach drogowych i ruchowych może przepuścić przekrój drogi w jednostce czasu. Najczęściej jednostką czasu jest 1 h. Parametr ten zależy od warunków zewnętrznych, zachowania kierowców oraz od nawierzchni drogi i jej cech, a także innych elementów infrastruktury drogowej [2 s. 163].

Przedostatni omawiany parametr ruchu drogowego to gęstość ruchu. Określana jest jako liczba pojazdów znajdujących się na długości danego odcinka drogi. Gęstość przedstawia się w pojazdach na kilometr [P/km] [2 s. 189].

Prędkość to jeden z podstawowych mierników oceny warunków ruchu pojazdów. Wyróżnia się następujące rodzaje prędkości [2 s. 59–63]:

- prędkość chwilowa na odcinku – prędkość pojazdów, które znajdują się na ustalonym odcinku drogi o długości l w dowolnej chwili czasu t;
- prędkość chwilowa w przekroju, określana również jako prędkość lokalna – prędkość pojazdów przejeżdżających przez ustalony przekrój drogi w interwale czasu Δt;
- prędkość pojazdów pokonujących odcinek drogi l w określonym interwale czasu Δt.

W projektowaniu dróg wykorzystuje się prędkość projektową i miarodajną. Prędkości te, ze względu na odmienny sposób definiowania, pełnią różne role w procesie projektowania. Prędkość projektowa ma za zadanie zapewnić uczestnikom ruchu odpowiedni poziom usług przy niskich kosztach. Definiowana jest jako prędkość, którą na etapie projektowania przyjmuje się umownie. Służy do ustalania minimalnych, względnie maksymalnych, dopuszczalnych wartości elementów geometrycznych dróg. Zapewnia bezpieczną jazdę pojedynczemu pojazdowi w realnych warunkach ruchu. Do podstawowych kryteriów wyznaczania prędkości projektowej należą:

- znaczenie drogi w sieci,
- natężenie ruchu i struktura rodzajowa,
- charakterystyka terenu,
- koszty budowy,
- oddziaływanie na środowisko.

Wartości prędkości projektowych zestawiono w tabeli 2. Ich wartość zależy od klasy drogi, a także od występowania terenu zabudowy.

Tabela 2

Prędkości projektowe w zależności od klasy dróg								
prędkość projektowa drogi [km/h]:	**poza terenem zabudowy**	120, 100, 80	120, 100, 80	100, 80, 70, 60	70, 60, 50	60, 50, 40	50, 40	40, 30
	na terenie zabudowy		80, 70, 60	70, 60	60, 50	60, 50, 40	40, 30	30

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12 ust. 12]

W przypadku prędkości miarodajnej wartości geometryczne elementów dróg dobierane są z uwagi na bezpieczeństwo ruchu. W odróżnieniu od prędkości projektowania, może być zmienna wzdłuż drogi i zależy głównie od jej ukształtowania.

Projektowanie odcinków dróg wymaga przewidywania prędkości pojazdów. Jest to niezbędne w przypadku prognozowania zagrożenia wypadkami czy ocenie cech użytkowych dróg. Ostateczny wybór prędkości w ruchu swobodnym przez kierujących zależy od dużej liczby czynników.

Podstawowe elementy geometryczne drogi wraz z widocznością zależne od prędkości

Na zachowanie kierujących duży wpływ mają geometryczne parametry drogi gwarantujące komfort jazdy. W sposób su-

biektywny wpływają na prędkość, z jaką poruszają się kierowcy. Prędkość projektowa ma za zadanie zapewnić uczestnikom ruchu odpowiedni poziom usług przy niskich kosztach. W przypadku prędkości miarodajnej wartości geometryczne elementów dróg dobierane są z uwagi na bezpieczeństwo ruchu.

Podstawowe parametry geometryczne dróg zależne od prędkości wraz z widocznością przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Elementy geometryczne drogi i widoczność zależne od prędkości			
Grupa wpływu prędkości	Elementy dróg i skrzyżowań, rodzaj widoczności	Prędkość determinująca dany element	
		vp	*vm*
Elementy planu	Długość prostych	X	
	Promienie łuków w planie	X	X
	Krzywe przejściowe	X	
	Skosy załamań torów jazdy		X
Elementy profilu	Pochylenie podłużne	X	
	Graniczne długości pochyleń niwelety	X	
	Promienie łuków w profilu	X	X
	Rampy drogowe	X	
Przekrój poprzeczny	Szerokość pasa ruchu	X	
	Poszerzenie jazdy	X	
	Pochylenie poprzeczne na łuku w planie		X
Inne elementy i wyposażenie	Długość dodatkowych pasów ruchu		X
	Długość pasów włączania i wyłączania		X
	Dodatkowe elementy wyposażenia dróg		X
Widoczność	Odległość widoczności na zatrzymanie		X
	Odległość widoczności na wyprzedzanie		X
	Odległość widoczności na łukach na planie		X
	Widoczność w obrębie skrzyżowań		X

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2 s. 68]

Omówieniu poddano wybrane elementy geometryczne drogi występujące w tabeli 3, tj. długość prostych, promienie łuków i szerokość pasa ruchu. W przypadku długości prostych zaleca się ograniczanie ich poza terenami zabudowy. Wynika to z możliwości wzajemnego oślepienia się kierujących w nocy czy wystąpienia monotonii jazdy. W tym przypadku może wystąpić również trudność w oszacowaniu prędkości czy odległości pojazdów nadjeżdżających z przeciwka.

Promienie łuków powiązane są nie tylko z bezpieczeństwem czy komfortem jazdy, ale też z widocznością. Wyznaczanie minimalnego promienia łuku kołowego na podstawie standardów projektowych opiera się na zapewnieniu warunków bezpiecznego przejazdu pojazdu z prędkością projektową przy maksymalnym pochyleniu poprzecznym na łuku, uwzględniając dopuszczalną przyczepność poprzeczną. Minimalny promień oblicza się, bazując na równaniu równowagi sił działających na łuku.

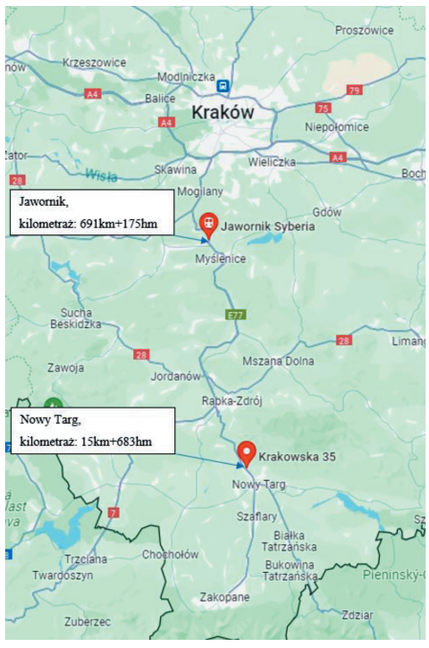
Szerokość pasa, zgodnie z warunkami technicznymi, zależy między innymi od klasy drogi. Szersze pasy stosuje się na drogach wyższej klasy lub gdy droga jest użytkowana przez pojazdy o większych gabarytach.

Za widoczność drogi uznaje się zakres możliwego wglądu poszczególnych użytkowników dróg w jej przestrzeń. Pozwala to na rozpoznanie sytuacji ruchowej i podjęcie odpowiedniej decyzji warunkującej sposób jazdy. Wyróżnia się trzy rodzaje odległości widoczności. Podział ten wynika z cech człowieka. Psychologiczna odległość widoczności stanowi zasięg pola obserwacji, przy którym kierujący posiada przekonanie o wystarczającej liczbie informacji, dzięki którym dopuszcza się podejmowania decyzji na drodze. Natomiast fizjologiczna odległość widoczności odpowiada rzeczywistej odległości od danego obiektu na drodze lub w niedalekim otoczeniu. Wzrokowa odległość widoczności odpowiada takiemu odcinkowi drogi, że jego przebieg wraz z przestrzenią ruchu jest kontrolowany przez osobę kierującą. Pojęcie geometrycznej odległości widoczności oznacza odległość wzroku osoby kierującej od przeszkody. Zostało ono wprowadzone z uwagi na niemożność wykorzystania w projektowaniu zarówno psychologicznych, jak i fizjologicznych odległości widoczności.

Występuje szereg elementów dróg i skrzyżowań (tab. 3), które dotyczą elementów samego planu projektowego, elementów profilu, przekroju poprzecznego, pasów ruchu, które wpływają na ostateczny dobór ograniczeń prędkości na danym obszarze czy ewentualnym wprowadzeniu urządzeń pomiarowych. Należy pamiętać również o istotności widoczności, na którą wpływ ma wiele czynników.

Lokalizacja omawianych fotoradarów

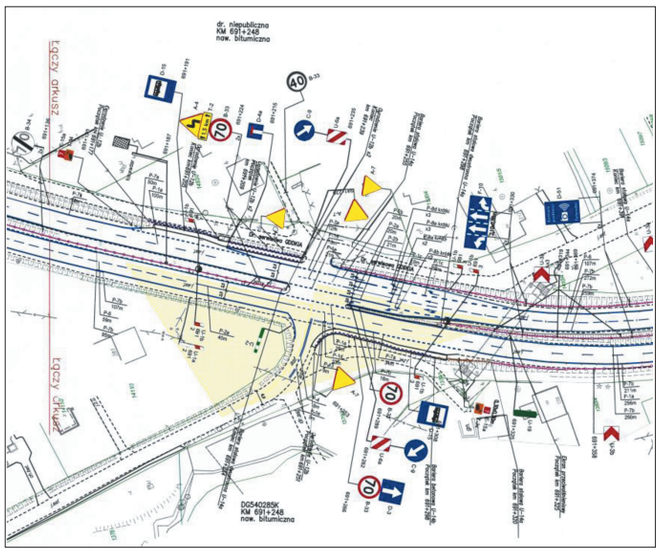
Pomiary prędkości odbyły się w dwóch różnych miejscach. Pierwsze z nich znajdowało się w miejscowości Jawornik i charakteryzowało się kilometrażem: 691 km+175 hm, a dopuszczalna prędkość na tym odcinku DK7 wynosi 70 km/h. Kolejny fotoradar zlokalizowany był w miejscowości Nowy Targ na DK47. Kilometraż dla tego fotoradaru to 15 km+683 hm. Ograniczenie prędkości jest równe 50 km/h. Lokalizacja omawianych fotoradarów przedstawiona jest na rysunku 5.



Rys. 5.
Mapa rozmieszczenia fotoradarów
Źródło: opracowanie własne

Organizacja ruchu na DK7 w miejscowości Jawornik

Fragment projektu organizacji ruchu w miejscu występowania fotoradaru w miejscowości Jawornik na DK7 znajduje się na rysunku 6.



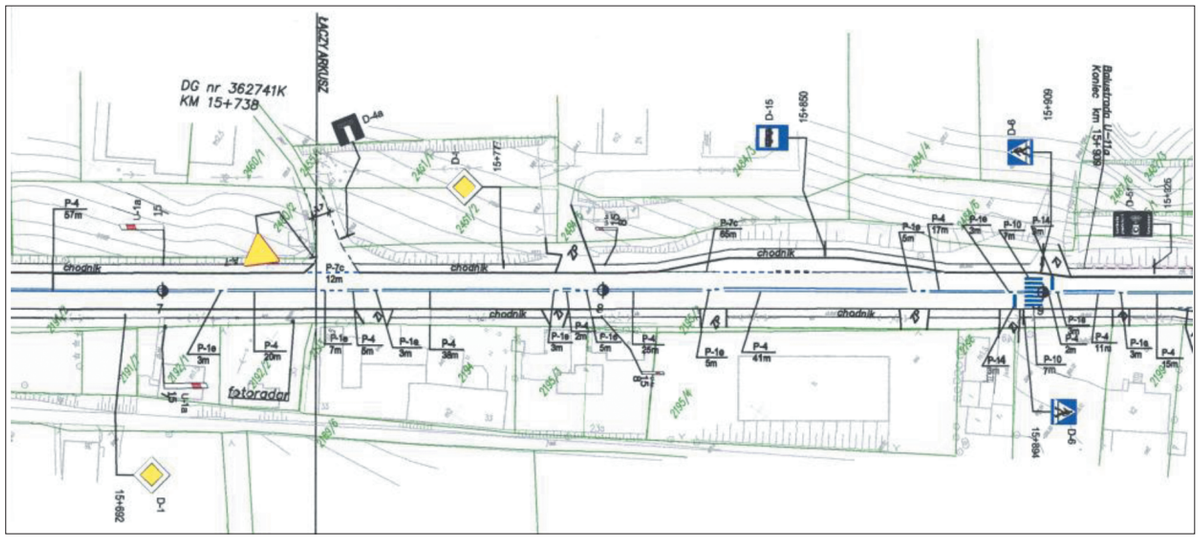
Rys. 6. Fragment projektu organizacji ruchu na DK7 w m. Jawornik
Źródło: archiwum GDDKiA

Fragment projektu organizacji ruchu widoczny na rysunku 6 obejmuje kilometraż od około 691 km+130 hm do około 691 km+395 hm. Lokalizacje fotoradaru oznaczono dodatkowo czerwonym okręgiem. Ograniczenie prędkości wynosi 70 km/h. Jezdnia występująca na kilometrażu: 691 km+175 hm obejmującym kontrolę przez miernik prędkości jest dwupasmowa o standardowej szerokości 3,5 m, a oznakowanie poziome stanowią linie segregacyjne P-1a. Naprzeciwko fotoradaru znajduje się zatoka autobusowa, co świadczy o tym, że miejsce jest szczególnie uczęszczane przez pieszych, a kierowcy powinni zachować szczególną ostrożność. Przed fotoradarem znajduje się skrzyżowanie. Na podstawie projektu można stwierdzić, że znajduje się ono około 48 m od ustawionego fotoradaru. W okolicy skrzyżowania występują 4 pasy ruchu, dwa do jazdy na wprost wraz z pasami wydzielonymi prawo i lewoskrętnym. Jak wynika z projektu organizacji ruchu, pasy mają standardową szerokość, tj. 3,5 m z wyjątkiem lewoskrętu – 3 m. Znak D-51 informujący o kontroli prędkości znajduje się w odległości 187 m od fotoradaru. W odległości powyżej 210 m od miernika prędkości znajdują się znaki U-3a informujące o występowaniu łuku poziomego. Następnie droga jest prosta, co wpływa na chęć zwiększenia prędkości. Nawierzchnia jest bitumiczna, po przeprowadzeniu pomiarów można stwierdzić, że jest dobrej jakości. Występowanie dwóch pasów ruchu sprzyja podejmowaniu przez kierowców manewru wyprzedzania, a zatem spontanicznego zwiększenia prędkości.

Organizacja ruchu na DK47 w miejscowości Nowy Targ

Fragment projektu organizacji ruchu w miejscu występowania fotoradaru w miejscowości Nowy Targ na DK47 znajduje się na rysunku 7.

Fragment projektu organizacji ruchu widoczny na rysunku 7 obejmuje kilometraż od około 15 km+680 hm do około 15 km+930 hm. Fotoradar oznaczono dodatkowo czerwonym okręgiem. Ograniczenie prędkości wynosi 50 km/h. Jezdnia występująca na kilometrażu: 15 km+683 hm, obejmującym kontrolę przez miernik prędkości, jest jednopasmowa dwukierunkowa z oznakowaniem poziomym P4. W pobliżu znajduje się jedno przejście dla pieszych w odległości około 230 m od fotoradaru i przystanek autobusowy w odległości około 160 m. Przez całą długość fragmentu projektu rozciąga się chodnik. Miejsce to jest szczególnie uczęszczane przez pieszych, a w pobliżu znajdują się liczne domy jednorodzinne. Droga nie posiada żadnych łuków, jest prosta, co może wywoływać chęć brawurowej jazdy. Z uwagi na występujące przejście dla pieszych i ogólne ukształtowanie terenu ograniczenie prędkości wynosi 50 km/h. Stan nawierzchni, jak i warunki geometryczne drogi, sprzyjają osiąganiu wysokich prędkości przez kierowców.



Rys. 7. Fragment projektu organizacji ruchu na DK47 w m. Nowy Targ
Źródło: archiwum GDDKiA

Opis metody badawczej

Prowadzenie pomiarów prędkości chwilowej jest możliwe na kilka sposobów. Jeden z nich opiera się na mierzeniu czasu, jaki kierujący pojazdem potrzebuje na pokonanie krótkiego odcinka drogi o określonej długości. W tym przypadku zakłada się, że prędkość nie ulega zmianie. Pomiarów można dokonać przy użyciu stoperów lub detektorów, w tym wideo-detektorów. Druga z metod polega na pomiarze prędkości w sposób bezpośredni, miernikiem radarowym lub poprzez jej odczyt z licznika prędkości w poruszającym się pojeździe [2 s. 107].

Metoda badawcza pomiaru prędkości polegała na wideo-rejestracji pojazdów. Niezbędnym sprzętem potrzebnym do przeprowadzenia badania był maszt o całkowitej wysokości 4 m, pasy do mocowania masztu, kamerka YI Action. Obraz rejestrowany był na tablecie, co pozwalało na prawidłowe ustawienie kamerki i monitorowanie pomiarów. Długość odcinków pomiarowych wyznaczono na podstawie oznakowania poziomego na jezdni lub za pomocą koła pomiarowego.

Pomiary z występującym miernikiem prędkości dokonano w okresie jesiennym. Z uwagi na odgórny termin ściągania fotoradarów kolejne pomiary odbyły się w sezonie zimowym. Pomimo to nawierzchnia jezdni podczas każdego pomiaru była sucha. Wyróżniono następujące stany pogody: pogodna lub pochmurna.

W przypadku fotoradaru w miejscowości Jawornik pomiaru z obecnym fotoradarem dokonano we wtorek, 24 października 2023 roku po godzinie 14:00. Dla Nowego Targu pierwszy pomiar odbył się 20 września 2023 roku, tj. w środę po godzinie 9:00. Fotoradary na czas serwisowania ściągnięto 21 grudnia 2023 roku. Pomiarów dla Nowego Targu, po ściągnięciu fotoradaru, dokonano 28 grudnia 2023 roku po godzinie 9:00, a dla Jawornika w tym samym dniu po godzinie 12:00. Każdy z pomiarów trwał około 2 godziny. Znaki informujące o kontroli prędkości zostały zasłonięte, co zilustrowano na rysunku 8.

Pomiary prędkości za pomocą wideo-rejestracji pojazdów rozpoczęto od odnotowania pogody i stanu nawierzchni. Kolejno przystąpiono do zidentyfikowania dogodnej lokalizacji przymocowania masztu. Musiała ona obejmować odcinek drogi objęty kontrolą przez miernik prędkości. Maszt wraz z kamerą przymocowano do najbliższego oznakowania pionowego lub lampy drogowej. Następnie przystąpiono do konfiguracji kamery z tabletem za pomocą połączenia Wi-Fi i aplikacji mobilnej. Pozwoliło to na odpowiednie ustawienie kamery, rozpoczęcie nagrywania i monitorowania poprawności przebiegu pomiarów. W przypadku miejscowości Nowy Targ ostatnim etapem było odmierzenie kołem drogowym odcinka pomiarowego.

Rys. 8. Zasłonięty znak D-51 – kontrola prędkości w miejscowości Jawornik
Źródło: opracowanie własne

Do próby badawczej wybrano 300 pojazdów osobowych i 50 pojazdów ciężarowych z każdego pomiaru, które zebrano z dwu godzinnych nagrań. Nie uwzględniono autobusów czy samochodów dostawczych ze względu na ich niewielką liczbę na drogach. Wybrane pojazdy poruszały się w ruchu swobodnym, o ile pozwalało na to natężenie ruchu na badanym odcinku. Odrzucono momenty zatorów na jezdni czy zatrzymań wynikających na przykład z manewrów skrętu. Ważne było, aby kierujący pojazdami mieli możliwość osiągania większych prędkości. Pozwala to na obserwowanie zachowań kierowców przy dogodnych warunkach manewrowania czy przyspieszania.

Istotą przeprowadzenia pomiarów jest porównanie prędkości pojazdów przy funkcjonującym fotoradarze i po jego ściągnięciu. Pomiarów, po ściągnięciu urządzeń do pomiaru prędkości, dokonano po upływie siedmiu dni. Kierowcy przez ten czas mieli możliwość przyzwyczajenia się do ich braku. Wybór dwóch lokalizacji pomiarów uzależniony był od decyzji GITD. Przeprowadzenie badania w różnych miejscach ma na celu uwzględnienie różnej geometrii dróg czy wpływu natężenia ruchu na ostateczne wyniki.

Aparatura pomiarowa

Do przeprowadzenia pomiarów prędkości chwilowej pojazdów użyto następującego sprzętu: maszt wraz z pasami do mocowania, kamera YI Action, tablet Lenovo, metr drogowy.

W miejscowości Nowy Targ maszt przymocowano do lampy drogowej, co zilustrowano na rysunku 9. Maszt posiada całkowitą długość 4 m z możliwością regulacji. Długość dostosowano do miejsca pomiarowego.

W miejscowości Jawornik maszt przymocowano do znaku drogowego D-3 znajdującego się najbliżej fotoradaru. Sposób umieszczenia masztu przedstawiono na rysunku 10.

Kamera YI Action wraz z tabletem Lenovo pozwalała na rejestrowanie nagrań na karcie SIM o całkowitej pojemności 64 GB, która wystarczyła na przechowywanie wszystkich nagrań dwugodzinnych. Do kamery, na czas pomiarów, podpięty był Power Bank ze względu na możliwość rozładowania urządzenia. Do rejestrowania pomiarów użyto tabletu, który wyświetlał widok nagrań za pomocą programu „YI Action", stosując połączenie Wi-Fi między urządzeniami. Tablet był niezbędny do prawidłowego ustawienia kamerki i monitorowania przebiegu pomiarów. Kamerkę wraz z tabletem zilustrowano na rysunku 11.

Do wyznaczenia odcinka pomiarowego w miejscowości Nowy Targ użyto koła pomiarowego. Ze względu na występowanie linii segregacyjnych P4 niemożliwe było wyznaczenie długości odcinka na bazie oznakowania poziomego.