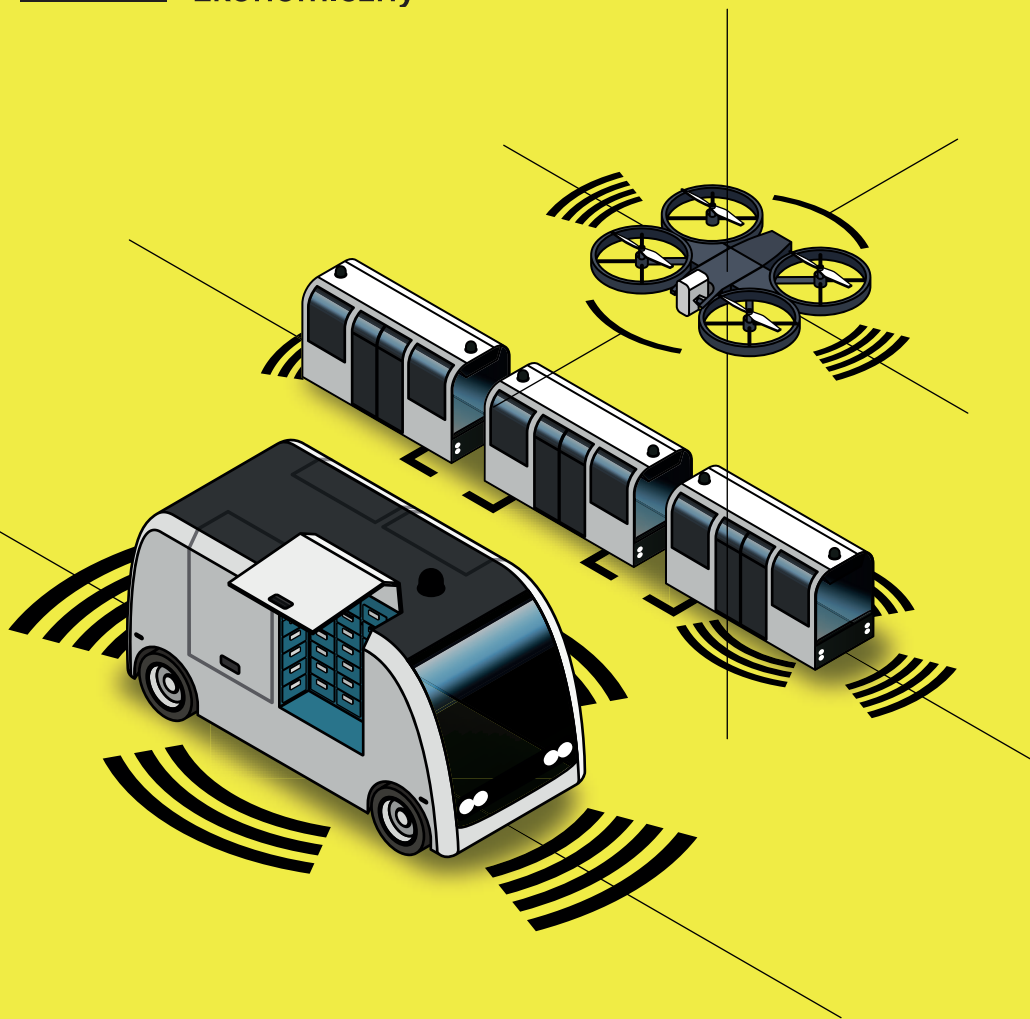


KWIECIEŃ 2020

WARSZAWA

ISBN 978-83-66306-64-6



Autonomiczny transport przyszłości

Warszawa, kwiecień 2020 r.

Autorzy: Małgorzata Darowska, Jacek Grzeszak, Dominik Sipiński

Współpraca: Maciej Miniszewski (PIE), Jerzy Gręblicki (AIUT)

Konsultacja: Aleksandra Lewicka (GUM), Andrzej Lewicki (GUM), Albin Czubla (GUM),
Dariusz Czutek (GUM), Paweł Zawadzki (GUM), Michał Mosiądz (GUM)

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Współpraca graficzna: Liliana Gałązka, Tomasz Gałązka, Sebastian Grzybowski

Skład i łamanie: Sławomir Jarząbek

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-66306-64-6

Spis treści

Kluczowe liczby.....	4
Kluczowe wnioski	5
1. Wprowadzenie.....	8
1.1. Zmieniająca się rola transportu	8
1.2. Technologie wspierające automatyzację w transporcie	11
1.3. Rynek transportu autonomicznego	12
1.4. Typologia transportu autonomicznego.....	13
2. Przegląd inicjatyw w obszarze transportu autonomicznego.....	18
2.1. Działania na poziomie krajowym	18
2.2. Działania na poziomie europejskim	23
3. Determinanty rozwoju technologii	24
3.1. Kluczowe komponenty w środkach transportu	24
3.2. Infrastruktura cyfrowa	27
3.3. Analiza danych	28
3.4. Cyberbezpieczeństwo	31
4. Warunki wdrażania technologii	33
4.1. Regulacje	33
4.2. Infrastruktura do testowania i wdrażania.....	34
4.3. Standaryzacja	35
4.4. Przychylność opinii społecznej	36
5. Korzyści i koszty transportu autonomicznego	38
5.1. Oszczędności związane z poprawą bezpieczeństwa ruchu drogowego	38
5.2. Oszczędności związane z optymalizacją pracy	40
5.3. Oszczędności związane z poprawą efektywności i zmniejszeniem emisji CO ₂ ..	44
5.4. Korzyści dla gospodarki.....	46
5.5. Korzyści w innych obszarach	48
5.6. Koszty związane z budową infrastruktury	50
6. Analizy SWOT i PEST	52
6.1. SWOT	52
6.2. PEST.....	55
7. Rekomendacje	56
Bibliografia	60

Kluczowe liczby

557 mld USD

prognozowana wartość branży pojazdów autonomicznych w 2026 r.

51 mld PLN

koszty związane z wypadkami i kolizjami drogowymi, których można uniknąć automatyzując transport

26 proc.

średnioroczny wzrost liczby patentów w zakresie rozwiązań z obszaru uczenia maszynowego – podstawowej technologii wykorzystywanej w transporcie autonomicznym (w latach 2011-2016)

42 proc.

średnioroczny wzrost liczby patentów w obszarze technologii pojazdów autonomicznych (w latach 2011-2016)

2,4 mld PLN

możliwe roczne oszczędności dla branży logistycznej związane z autonomizacją transportu (koszty paliwa i wynagrodzeń)

ponad
16 mln km

przejechały już autonomiczne pojazdy firmy Waymo podczas jazd testowych w ramach symulacji. To tak jakby objechało się ziemię 400 razy po równiku.

11 tys.

liczba wakatów w firmach z sektora transportu i komunikacji w połowie 2019 r. w Polsce

ok. 10 TB

ilość danych gromadzonych w ciągu godziny przez pojazd autonomiczny; to tyle ile np. 1235 filmów pełnometrażowych

58 proc.

Polaków spodziewa się pojawienia się na naszych drogach pojazdów autonomicznych w najbliższych 15 latach

Kluczowe wnioski

- Transport na świecie ulega w ostatnich latach dynamicznym przeobrażeniom. Kluczowe megatrendy, które go kształtują, to: mobilność, multimodalność, współdzielenie, ekologia i autonomia. Duży wpływ na transport będzie miało w najbliższych latach także starzenie się społeczeństwa i potrzeba wielozadaniowości (*multitasking*), stanowiące dodatkowy bodziec do rozwoju autonomicznych środków transportu.
- Autonomiczny transport to już nie futurystyczna wizja, ale otaczająca nas rzeczywistość. Automatyczne systemy metra, *shuttle-busy*, drony – to wszystko przykłady wykorzystania autonomicznych urządzeń do przewożenia ludzi i towarów. Na razie są to rozwiązania niszowe, ale wraz z dalszym rozwojem technologii możemy spodziewać się autonomizacji innych rodzajów transportu, w tym najpopularniejszego drogowego pasażerskiego.
- Przyspieszenie rozwoju systemów autonomicznego transportu wiąże się z dynamicznym rozwojem techniki uczenia maszynowego na przestrzeni ostatnich lat. Zwiększone moce obliczeniowe, w połączeniu z coraz tańszymi kamerami i czujnikami umożliwiły powstanie samouczących się systemów sztucznej inteligencji zdolnych do analizy warunków na drodze i podejmowania decyzji także w zakresie sterowania samochodem.
- W ślad za rozwojem technologii postępują coraz większe inwestycje w przedsięwzięcia autonomiczne. Mimo że największe spółki nie stworzyły jeszcze gotowego produktu ani nie przyniosły zysku, inwestorzy mają nadzieję na autonomiczną rewolucję drogową w najbliższym czasie. Już teraz w sprzedaży dostępne są auta o 2. poziomie autonomii (zaawansowane systemy wspomagania kierowcy), natomiast trwają prace nad pojazdami w pełni autonomicznymi. W listopadzie 2019 r. w Phoenix w USA uruchomiono pierwszą usługę taksówek bez kierowcy (na ograniczonym obszarze i dla ograniczonego grona klientów).
- W Polsce najbardziej intensywny postęp w obszarze transportu autonomicznego dotyczy dronów. W 2018 r. na terenie Metropolii Górnośląsko-Zagłębiowskiej powstał Centralnoeuropejski Demonstrator Dronów, czyli wspólna inicjatywa rządu i metropolii na rzecz rozwoju miejskiego transportu dronowego, w tym także transportu autonomicznego. Na poziomie rządowym odbywa się projekt badawczy dotyczący pojazdów autonomicznych. Poza tym do wprowadzania autonomicznych rozwiązań do transportu miejskiego przystępują już niektóre polskie miasta (m.in. Rzeszów, Gdańsk).
- Autonomiczny transport opiera się na czujnikach analizujących otoczenie. Czujniki w samochodach autonomicznych stanowią duży odsetek kosztu produkcji urządzenia, czyniąc te pojazdy drogimi. Czujniki samochodowe generują też olbrzymie strumienie danych, którego analiza wymaga zaangażowania dużej mocy obliczeniowych komputera, a co za tym idzie zwiększa zużycie energii.
- Ruch pojazdów autonomicznych oparty jest na ciągłej komunikacji pojazd-pojazd i pojazd-infrastruktura. Ostatnie lata charakteryzowały się intensywną konkurencją dwóch systemów komunikacji między pojazdami – ITS-G5 (opartym na standardzie

Wi-Fi) i C-V2X (opartym na sieci komórkowej 4G lub 5G). Rozwój autonomicznego transportu drogowego będzie wymuszał konieczność wyposażenia infrastruktury drogowej w odpowiednie czujniki, pozwalające na koordynację ruchu pojazdów (także tych prowadzonych przez kierowców). Dużą szansę na usprawnienie technologii V2I (*Vehicle to Infrastructure*) stanowi rozwój technologii 5G. W obszarze dronów dużą skuteczność wykazuje zminiaturyzowana technologia lotnicza ADS-B z powodzeniem wykorzystująca LTE.

- Wielkim wyzwaniem związanym z rozwojem autonomicznego transportu będzie nacisk na obronę przed cyberzagrożeniami. Możliwość zdalnego przejęcia kontroli nad pojazdem, kradzież danych, cyberszpiegostwo, wirusy mylące czujniki – to tylko przykłady zagrożeń, z którymi musi zmierzyć się współczesne społeczeństwo.
- Innym wyzwaniem będzie stworzenie odpowiednich przepisów, które uregulują kwestię odpowiedzialności za ewentualne szkody, a także zasad wspólnego korzystania z infrastruktury transportowej przez pojazdy różnego typu. Takie przepisy muszą odpowiadać na oczekiwania i obawy społeczne. Brakuje odpowiednich badań dla Polski, ale wiadomo, że światowa opinia publiczna jest nieco sceptyczna w stosunku do autonomii drogowej. Bardziej przychylny stosunek towarzyszy autonomicznym pociągom – używanym w niektórych miastach już od ponad 30 lat. Z kolei badanie opinii społecznej w Polsce wykazuje znaczną akceptację dla autonomicznych dronów.
- Rewolucja w obszarze transportu drogowego może w pierwszej kolejności dotyczyć transportu towarów na długie dystanse. Polskie firmy mają największy udział w rynku spedycyjnym UE, więc zmiany w tym obszarze będą miały spore

przełożenie na polską gospodarkę. Dużą bolączką polskiego sektora logistycznego są trudności w znalezieniu pracowników. Automatyzacja może być odpowiedzią na ich problemy, jednak na drodze do takiej zmiany będzie stał rozdrobniony charakter branży. Małe firmy nie mogą sobie pozwolić na wprowadzanie kosztownych, nowych rozwiązań i dlatego znajdują się w gorszej pozycji od ich większych konkurentów. Potencjalne oszczędności na pensjach dla branży związane z autonomizacją transportu ciężarowego mogą wynieść nawet 2 mld PLN.

- Ważnym obszarem oszczędności dla polskiej gospodarki będzie też poprawa bezpieczeństwa drogowego związana z ograniczeniem lub wyeliminowaniem wypadków spowodowanych przez ludzi. Całkowita automatyzacja mogłaby przynieść nawet 51 mld PLN oszczędności z tytułu uratowanego życia i zdrowia uczestników ruchu. Sama automatyzacja transportu ciężarowego może pozwolić na oszczędność 3,6-4,9 mld PLN z tytułu poprawy bezpieczeństwa drogowego.
- Inne obszary, w których autonomiczny transport może przynieść oszczędności, to zużycie paliwa (lub energii w przypadku pojazdów elektrycznych), co przekłada się też na mniejsze zanieczyszczenie powietrza, oszczędność miejsc parkingowych w przypadku korzystania z mobilności współdzielonej. Łączne oszczędności dla branży logistycznej z tytułu niższych kosztów pracy oraz kosztów paliwa mogą wynieść nawet 2,4 mld PLN rocznie.
- Wyzwaniem i kosztem będzie dopasowanie infrastruktury do potrzeb pojazdów autonomicznych – w tym uzbrojenie jej w odpowiednie czujniki, a być może też przebudowa w szerszym zakresie. Wyposażenie w czujniki wszystkich istniejących dróg

twardych o ulepszonej nawierzchni w Polsce kosztowałyby ok. 55 mld PLN, w tym 3,8 mld PLN przypadłoby na drogi krajowe i szybkiego ruchu.

- Polska musi być gotowa na dalszy rozwój technologii autonomicznych. Choć nie jest jeszcze jasne jaki zakres transportu zostanie zautomatyzowany, stopniowe wprowadzanie rozwiązań autonomicznych do transportu drogowego, kolejowego, morskiego i lotniczego jest pewne. Poza

przygotowaniem na obecność autonomicznych urządzeń w naszej przestrzeni, musimy być też jako państwo gotowi na zwrot technologiczny w produkcji środków transportu (w tym szczególnie części samochodowych, w których przoduje polski przemysł). Najbliższe lata będą kluczowe dla ustalenia polityki technologicznej, kierunków rozwoju branży i wyboru rozwiązań technicznych, które będą potem masowo wprowadzane i rozwijane.



1. Wprowadzenie

Ważne pojęcia związane z transportem autonomicznym:

Lidar (*Light Detection and Ranging*) – technologia pomiaru odległości oparta na odbiciu impulsów ze skanera laserowego, która służy do tworzenia bardzo szczegółowych cyfrowych reprezentacji powierzchni topograficznych. W geologii inżynierskiej powszechnie stosuje się dwa rodzaje lidarów: powietrzny i lądowy.

Uczenie maszynowe (*ML, Machine Learning*) – zautomatyzowany proces umożliwiający maszynie analizę dużego zbioru danych, rozpoznawanie wzorców oraz przedstawianie predykcji i wspieranie podejmowania decyzji.

CAD (*Connected Automated Driving*) – zautomatyzowany system transportowy centralnie zarządzany przez algorytm komputerowy, łączący pojazdy w ruchu drogowym.

DTM (*Drone Traffic Management System*) – środowisko technologiczne zintegrowane z UTM, wspierające zarządzanie i koordynację operacji bezzałogowych statków powietrznych na wybranym obszarze i na warunkach określonych przez władzę lotniczą.

UTM (*Unmanned Traffic Management System*) – środowisko technologiczne pod nadzorem władzy lotniczej, umożliwiające zarządzanie operacjami bezzałogowych statków powietrznych w sposób zgodny z przepisami, z uwzględnieniem sytuacji aeronautycznej, realizujące funkcję wiarygodnego źródła informacji dla innych systemów.

U-Space – zestaw usług systemu teleinformatycznego o wysokim poziomie automatyzacji oraz specjalnych procedur zaprojektowanych w celu wspierania bezpiecznego i optymalnego dostępu do przestrzeni powietrznej dla dużej liczby dronów.

Technologia C-ITS – współpracujące inteligentne systemy transportowe, opierające się na czujnikach w samochodach i infrastrukturze.

Truck Platooning – zintegrowany konwój ciężarówek, w którym pierwszy pojazd obsługiwany jest przez kierowcę, a podążające za nim maszyny są bezzałogowe.

Autopilot – urządzenie lub system, który ma za zadanie wykonywanie funkcji pilota, kierowcy, maszynisty lub innej osoby sterującej środkiem transportu.

BSP – bezzałogowe statki powietrzne, inaczej: drony.

1.1. Zmieniająca się rola transportu

Jest nas coraz więcej, przemieszczamy się coraz częściej, kupujemy częściej i więcej towarów za pośrednictwem platform sprzedaży z różnych części świata. To wszystko sprawia, że efektywność transportu ludzi i towarów staje się jednym z najważniejszych zagadnień współczesności. Najpierw silnik parowy i pociąg, potem

silnik spalinowy, samochód i samolot – te wynalazki pozwoliły osiągnąć ogromny wzrost gospodarczy w XIX i XX w., przez przyspieszenie transportu towarów, umożliwienie wielkich migracji, a także codziennych podróży. Środki transportu wpływały i wpływają na to jak projektowane są nasze miasta, kształtują naszą kulturę, nawyki, styl życia.

Wiek XXI to okres gwałtownej transformacji środków transportu, modeli transportowych i wdrażania przełomowych rozwiązań w tym obszarze. Nadal korzystamy z samochodów, pociągów, statków, samolotów i choć nie brakuje futurystycznych pomysłów na transport przyszłości (np. *hyperloop*), to większość ekspertów dopatruje się rewolucji właśnie w zmianie sposobu funkcjonowania i organizacji transportu. Kluczowe trendy w tym obszarze to:

Mobilność

Pojęcie „mobilność” (*mobility*) w odróżnieniu od klasycznego „transportu” skupia się na aspekcie ruchu i zmianie położenia, a nie na przewożeniu (rzeczy lub ludzi). W takim ujęciu, potrzebą, na którą odpowiada biznes i sfera publiczna jest łatwe przemieszczanie się ludzi z miejsca na miejsce różnymi dostępnymi sposobami. Ta kategoria terminologiczna odzwierciedla zmianę nawyków społecznych i gospodarki. Źródłem zmiany jest zwiększająca się liczba podróży odbywanych przez ludzi, przy coraz szerszej dostępności różnych środków transportu. Samochód stał się standardem dostępnym dla większości gospodarstw domowych, taksówki lub ich tańsze odpowiedniki wymagają tylko kilku kliknięć na telefonie, urządzenia transportu osobistego i rowery są widoczne na każdym kroku – mieszkańiec współczesnego miasta może wybierać sposoby przemieszczania się i nie jest skazany na czekanie na przystanku autobusowym. Idea *MaaS* (*Mobility as a Service*) to koncepcja połączenia tych sposobów poruszania się w jedną usługę dla klienta-pasażera.

Multimodalność

Bezpośrednio z mobilnością związana jest „multimodalność” – łączenie różnych środków transportu. Samorządy inwestują w centra przeładunkowe i parkingi P+R, umożliwiając mieszkańcom szybką przesiadkę z samochodów do pojazdów transportu publicznego. W węzłach

komunikacyjnych pojawiają się stacje do wypożyczenia rowerów, skuterów, hulajnóg elektrycznych. Kolej oferuje korzystanie z autobusów na niektórych odcinkach podróży. To tylko niektóre przykłady tego jak dostawcy usług w obszarze transportu odpowiadają na potrzebę łączenia środków komunikacji. Ma to też związek z eliminacją silnego przywiązania się kierowcy do posiadanego pojazdu. Może on zostawić samochód na pewnym odcinku trasy, jeśli dzięki temu szybciej zostanie się do celu, a także odwrotnie – osoba dojeżdżająca gdzieś pociągiem jest w stanie przejechać „ostatnią milę” korzystając z pojazdu pożyczonego na kilkanaście minut.

Współdzielenie

Kolejną cechą nowych usług w obszarze mobilności jest „współdzielenie pojazdów” (w literaturze nazywa się to szerzej ekonomią współdzielenia, *sharing economy*). Wymienione w poprzednim punkcie hulajnogi i rowery są właśnie urządzeniami współdzielonymi, z których mogą korzystać różne osoby w różnych miejscach, zaraz po sobie. Bardziej kontrowersyjnym przykładem zaliczanym do ekonomii współdzielenia są aplikacje do łączenia kierowców z pasażerami, takie jak Uber, Lyft czy Taxify. Tu także różne osoby korzystają z tego samego auta, jednak są przewożone przez opłacanych kierowców – dokładnie tak samo jak w tradycyjnych taksówkach. Wspólnym mianownikiem dla ekonomii współdzielenia jest oparcie na technologii cyfrowej, tzn. na smartfonach z dostępem do internetu i GPS. Dzięki temu możliwe jest lokalizowanie pojazdów oraz szybkie wypożyczenia i zwroty bez konieczności zatrudniania pracowników przez wypożyczalnię.

Ekologia

Wpływ transportu na zmiany klimatu jest bezdyskusyjny. W Polsce transport odpowiada za ok. 16 proc. emisji CO₂, w Europie jest to ok. 22 proc. (European Environment Agency, 2019a).

Największa odpowiedzialność przypada na auta osobowe produkujące 43 proc. emisji pochodzących z transportu (European Environment Agency, 2019b). Proces spalania paliw w samolotach, samochodach, pociągach i statkach przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych, jednak generuje także inne zanieczyszczenia – takie jak pył zawieszony o średnicy do 10 lub 2,5 mikrometrów. W centrach największych polskich miast to właśnie indywidualne auta są głównymi producentami smogu. Jedną z odpowiedzi na powyższe wyzwania jest elektromobilność¹, czyli rozwój pojazdów wykorzystujących energię elektryczną zmagazynowaną w bateriach, a także wykorzystywanie innych rodzajów napędu niskoemisyjnego, np. gazu lub wodoru zamiast ropy naftowej.

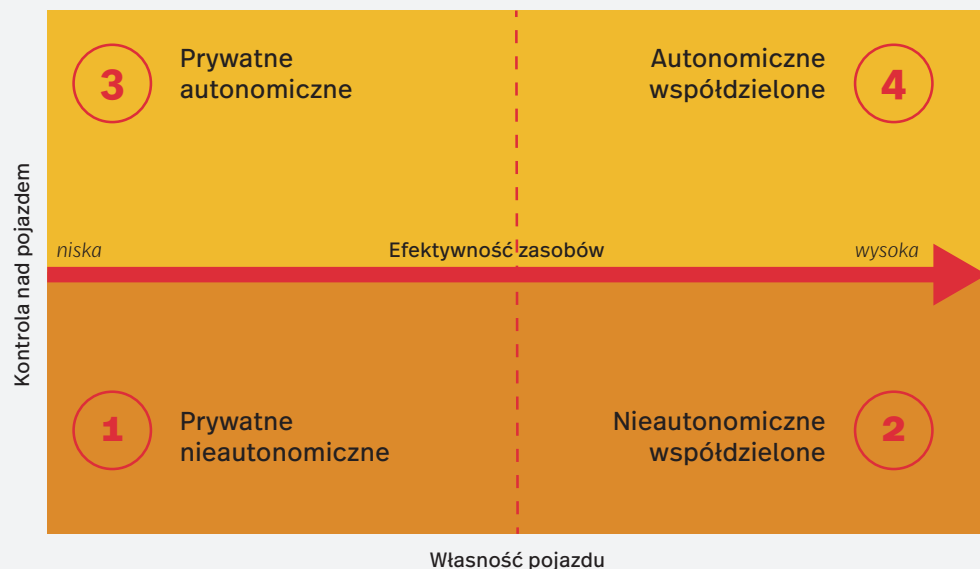
Spaliny wydostające się z rur wydechowych pojazdów odpowiadają tylko za część

zanieczyszczenia powietrza w miastach, równie groźnym źródłem emisji jest unos wtórny oraz odpady eksploatacyjne, np. z klocków hamulcowych. Dlatego też część miast stara się ograniczyć ruch samochodów niezależnie od typu napędu.

Autonomiczność

Najbardziej zaawansowana technicznie, a zarazem potencjalnie najbardziej rewolucyjna zmiana wiąże się z możliwością tworzenia pojazdów poruszających się autonomicznie. Jest to odpowiedź zarówno na wyzwania związane ze starzeniem się społeczeństwa (możliwość stworzenia sposobu komfortowego poruszania się osób starszych), jak i *multitaskingiem* (możliwość wykonywania innych zadań w trakcie podróży pojazdem).

➤ Rysunek 1. Przyszłość motoryzacji



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: Deloitte (2017).

¹ Temu zagadnieniu poświęcony jest oddzielny raport PIE pt. *Jak wspierać elektromobilność?*

Poniższy raport poświęcony zagadnieniu rozwoju i wdrażania technologii wspierających rozwój autonomiczności i automatyzacji transportu, odwołuje się do katalogu zagadnień wskazywanych w dostępnych analizach i raportach, obejmujących: certyfikację, legislację, przetwarzanie danych, bezpieczeństwo systemów i cyberbezpieczeństwo, szkolenia i edukację, prywatność i etykę. Ze względu na obecny etap rozwoju transportu autonomicznego, skoncentrowaliśmy się

jednak na ocenie potencjału i korzyści dla gospodarki oraz identyfikacji warunków jego rozwoju i wdrażania. Raport został ukończony w marcu 2020 r. na początku pandemii koronawirusa. W momencie publikacji raportu jest jeszcze za wcześnie, żeby prognozować zmiany w opisanych przez nas długoterminowych trendach. Z pewnością branża transportu będzie podlegała w najbliższych latach intensywnym przekształceniom także na skutek silnego dotknięcia przez pandemię.

1.2. Technologie wspierające automatyzację w transporcie

Zmiany w obszarze transportu są możliwe dzięki dynamicznemu rozwojowi nowych technologii, pozwalających na wprowadzanie

usprawnień. Autonomizacja transportu opiera się w ostatnich latach na sztucznej inteligencji (*Artificial Intelligence, AI*), a w szczególności

➤ Rysunek 2. Wzrost liczby wniosków patentowych na świecie



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: WIPO (2019).

technologii maszynowego uczenia się (*Machine Learning*, ML) opartego na dużych zbiorach danych (*Big Data*). Ostatnie 10 lat stanowiło okres niezwykle dynamicznego wzrostu liczby wniosków patentowych w obszarze sztucznej inteligencji, ich zdecydowana większość przypadła na technologię uczenia maszynowego. Skalę tego wzrostu pozwalają prześledzić dane Światowej Organizacji Własności Intelektualnej (WIPO), przyjmującej wnioski patentowe z całego świata.

Rozwój sztucznej inteligencji dotyczy bardzo wielu gałęzi gospodarki, jednak w danych na temat ochrony patentowej można zauważyć dwóch wyraźnych liderów – branżę telekomunikacyjną i **transportową**. Spośród obszarów rozwoju technologii w transporcie, przewodzą patenty związane z autonomicznymi pojazdami, a w następnej kolejności także: inteligentne systemy zarządzania ruchem oraz technologie rozpoznawania kierowcy lub pojazdu – oba

związane z rozwojem drogowej autonomii. Także patenty z obszaru telekomunikacji mają często związek z autonomią w transporcie, która potrzebuje nowoczesnych technologii komunikacji między pojazdami. Największymi pionierami rozwoju technologii są Toyota i Bosch (współpracujący z Daimlerem) (WIPO, 2019).

Przełom technologiczny dzieje się na naszych oczach. Technologie objęte patentami lub wnioskami patentowymi złożonymi w ostatnich latach są obecnie testowane, a najpewniej niedługo zostaną wprowadzone na rynek w ramach gotowych produktów. Złożoność technologiczna autonomicznych rozwiązań będzie prowadziła do powstawania złożonych struktur zarządzających patentami, jak *poole* patentowe czy modele licencjonowania FRAND. Przewaga rynkowa będzie budowana na standardach i zaawansowanych modelach zarządzania prawami własności intelektualnej.

1.3. Rynek transportu autonomicznego

W 2019 r. ciężko jest jeszcze mówić o oddzielnym rynku transportu autonomicznego. Rozwiązania tego typu są rozwijane w różnych gałęziach transportu przez rozmaite podmioty. Całość dotychczasowych inwestycji w rozwój autonomicznego transportu drogowego szacowana jest na ok. 100 mld USD (Winton, 2019), a w prognozach ocenia się wartość globalnego rynku pojazdów autonomicznych w 2026 r. na 550-615 mld USD (Allied Market Research, 2018; Market Watch, 2019). Dla porównania największy producent aut osobowych – czyli Toyota – wart był w 2019 r. 282 mld USD (Toyota, 2019). Pokazuje to, że rynek jest na początkowym etapie, ale należy spodziewać się dużej dynamiki wzrostu.

Już teraz w autonomię inwestują największe światowe firmy, zarówno producenci środków transportu, jak i oprogramowania. Właściciel Google i czwarta największa firma świata

pod względem przychodów – Alphabet – finansuje spółkę Waymo, która przeprowadziła już ponad 16 mln km jazd testowych (a także dodatkowe 16 mld km w trakcie symulacji komputerowych) (Transport and Environment, 2019). Inwestycje w obszarze autonomii rozpoczęły też największe koncerny motoryzacyjne. Daimler i BMW zadeklarowały 1,1 mld EUR wydatków na rozwój swoich usług w obszarze elektromobilności i autonomii, w sierpniu 2019 r. dołączyło do nich Audi (Automobilwoche, 2019). Podobne deklaracje złożyły wcześniej Ford i Volkswagen.

Według danych PWC (2018a), pojazdy osobowe w Europie wykonują łącznie prawie 3,7 bln km rocznie. Przy średnim wskaźniku obciążenia wynoszącym 1,3 osoby na pojazd, oznacza to prawie 4,8 bln km podróży osób indywidualnych. Według prognoz PWC (2018a), 27 mln pojazdów autonomicznych (13 proc. ogólnej liczby) dzięki

efektywniejszemu użyciu może być odpowiedzialnych za ponad 40 proc. przejazdów **w 2030 r.**, co przy utrzymaniu obecnej liczby podróży oznaczałoby **1,9 bln km rocznie** przejechanych przez pasażerów pojazdów autonomicznych. Według tych samych szacunków sprzedaż pojazdów autonomicznych (4. lub 5. poziom autonomii – patrz rysunek 3) w 2025 r. w Europie może osiągnąć dwa miliony pojazdów. Prognozy firmy Deloitte (2019) zakładają, że o popularności pojazdów autonomicznych (w szczególności usług współdzielonych) będzie decydował ich niższy koszt w porównaniu do zwykłych pojazdów (średnio 25 proc.).

Technologiczne zmiany w obszarze transportu drogowego dotyczą pojazdów osobowych, ale być może w większym pojazdów ciężarowych. Jest to o tyle istotne, że branża TSL (transport, spedycja, logistyka) zatrudnia 623 tys. pracowników, a licząc łącznie z zatrudnieniem pośrednim (w łańcuchu dostaw) odpowiada za ok. milion pracowników (www1). Wartość usług sprzedanych przez firmy transportowe w 2017 roku wyniosła 200 mld PLN, co przełożyło się na ok. 6,6 proc. polskiego PKB (www1). W rozdziale 4 przedstawiamy potencjalne zmiany dla polskich firm spedycyjnych wynikające z automatyzacji transportu towarów.

Obszarem transportu, który dopiero powstaje jest lotnictwo bezzałogowe (drony,

bezzałogowe statki powietrzne). Rynek znajduje się na początkowym etapie rozwoju, jednak już teraz uprawnienia do komercyjnych lotów BSP posiada w Polsce 15 tys. osób (koniec 2019 r.). Obecnie loty dronami wykonywane są głównie w związku z analizą obrazu i realizowane przez operatorów sterujących zdalnie. Odnotowujemy intensywny wzrost BSP automatycznych, testuje się drony transportowe, które w pewnych obszarach, jak np. w przypadku transportu ostatniej mili dla drobnych przesyłek mogą zastąpić dotychczasowe środki transportu. Rozwój dronów poprzedza rozwój infrastruktury do zarządzania przestrzenią powietrzną i operacjami lotniczymi realizowanymi przez drony. Dzięki niej możliwy jest rozwój coraz bardziej masowych i bezpiecznych operacji lotniczych, które ze swojej natury oparte są na licznych procedurach zapewniających bezpieczeństwo misji. Synergiczny rozwój technologii dronowych i infrastruktury może wyznaczyć kierunek rozwoju autonomii w innych gałęziach transportu. Rozwój dronowych technologii autonomicznych spotyka się z wysokim poparciem społecznym (zgodnie z wynikami badań prowadzonych przez Metropolię Górnośląsko-Zagłębiowską). Z tego względu w niniejszym raporcie prezentujemy też potencjał transportu autonomicznego opartego na BSP i jego potencjalny wpływ na zmiany społeczne i gospodarkę.

1.4. Typologia transportu autonomicznego

▼ **Tabela 1. Rodzaje autonomicznych środków transportu**

Transport drogowy	Transport szynowy	Transport wodny	Transport lotniczy
samochody, pojazdy ciężarowe, autobusy	pociągi, metro, tramwaje	statki, łódzie podwodne, bezzałogowe łódzie patrolowe	bezzałogowe statki powietrzne, samoloty pasażerskie, samoloty towarowe

Źródło: opracowanie własne PIE.

➤ **Rysunek 3.** Opis poziomów automatyzacji transportu drogowego

					
					
Poziom 0. Niezautomatyzowane – Pojazd obsługiwany wyłącznie przez kierowcę	Poziom 1. Z asystą kierowcy – Pojazd wyposażony w układ wspomagający (np. kierowcy albo kierowania) z wykorzystaniem informacji o środowisku jazdy (z oczekiwaniami, że kierowca wykona wszystkie pozostałe czynności związane z jazdą)	Poziom 2. Częściowo zautomatyzowane – Pojazd wyposażony w jeden lub więcej układów wspomagających (np. kierowcy albo kierowania) z wykorzystaniem informacji o środowisku jazdy (z oczekiwaniami, że kierowca wykona wszystkie pozostałe czynności związane z jazdą)	Poziom 3. Warunkowo zautomatyzowane – Pojazd wyposażony w zautomatyzowany system prowadzenia we wszystkich aspektach jazdy (z oczekiwaniami, że kierowca odpowiednio zareaguje na wniosek o interwencję)	Poziom 4. Wysoko zautomatyzowane – Pojazd wyposażony w zautomatyzowany system prowadzenia we wszystkich aspektach jazdy (nawet jeśli kierowca nie reaguje odpowiednio na prośbę o interwencję)	Poziom 5. W pełni zautomatyzowane – Pojazd wyposażony w pełni zautomatyzowany system prowadzenia we wszystkich aspektach jazdy, wszystkich warunkach drogowych i środowiskowych

Źródło: opracowanie własne PLE na podstawie: SAE (2014).

Automatyzacja obejmuje wszystkie typy transportu, tj.: kołowy, szynowy, wodny, lotniczy. Najbardziej dynamiczny rozwój technologii autonomicznych w ostatnich latach dotyczy jednak transportu drogowego. W pociągach i samolotach automatyczne systemy sterowania rozwijają się od wielu lat, a potencjalne zmiany związane z odejściem od ręcznego sterowania pojazdów nie zmieniają w znaczący sposób zasad poruszania się. Inaczej jest z transportem kołowym opierającym się na ruchu 1,2 mld pojazdów (Voelcker, 2014) poruszających się przy różnych zasadach ruchu drogowego na całym świecie. Produkcja samochodów to też największa branża gospodarki związana z transportem o globalnej wartości 1,9 bln EUR (www2).

Obecnie wyróżnia się 6 poziomów automatyzacji pojazdów kołowych. Określiła je branżowa organizacja SAE (Society of Automotive Engineers) w standardzie J3016 (2014).

Ciekawa dyskusja w branży dotyczy autonomicznych rozwiązań z poziomu 2. lub 3., które opierają się na szerokim zakresie zastosowania funkcji autopilota przy jednoczesnej konieczności utrzymania czujności przez kierowcę. Zdaniem wielu ekspertów takie systemy narażone są na duże niebezpieczeństwo związane z rozproszeniem uwagi kierowcy. Eksperyment firmy Waymo, w którym pracownicy testujący pojazdy byli wyraźnie ostrzegani o konieczności zachowania pełnej uwagi na drodze, zakończył się niepowodzeniem właśnie ze względu na brak uwagi kierowców (Gordon, 2019). Okazało się, że nawet świadomi i wyedukowani kierowcy, jeśli tylko samochód zacznie wykonywać poprawnie czynności na drodze, łatwo tracą koncentrację.

Z drugiej strony, szeroki rozwój systemów autopilota w samochodach, w ostatnich latach nie wiąże się z większą liczbą wypadków, a badania kierowców takich pojazdów pokazały, że nie tracili oni zaangażowania po przełączeniu samochodu na funkcję

autopilota (chodzi np. o trzymanie pasa i odpowiedniego dystansu między pojazdami na autostradzie). Lex Fridmann z MIT tłumaczy to naturalną nieufnością ludzi do maszyn autonomicznych, która opiera się na ciągłym badaniu granic maszyny – jakie funkcje jest w stanie wykonać poprawnie. Być może więc klęska eksperymentu Waymo paradoksalnie brała się właśnie ze zbyt dużego zaufania inżynierów do swoich wynalazków (www3).

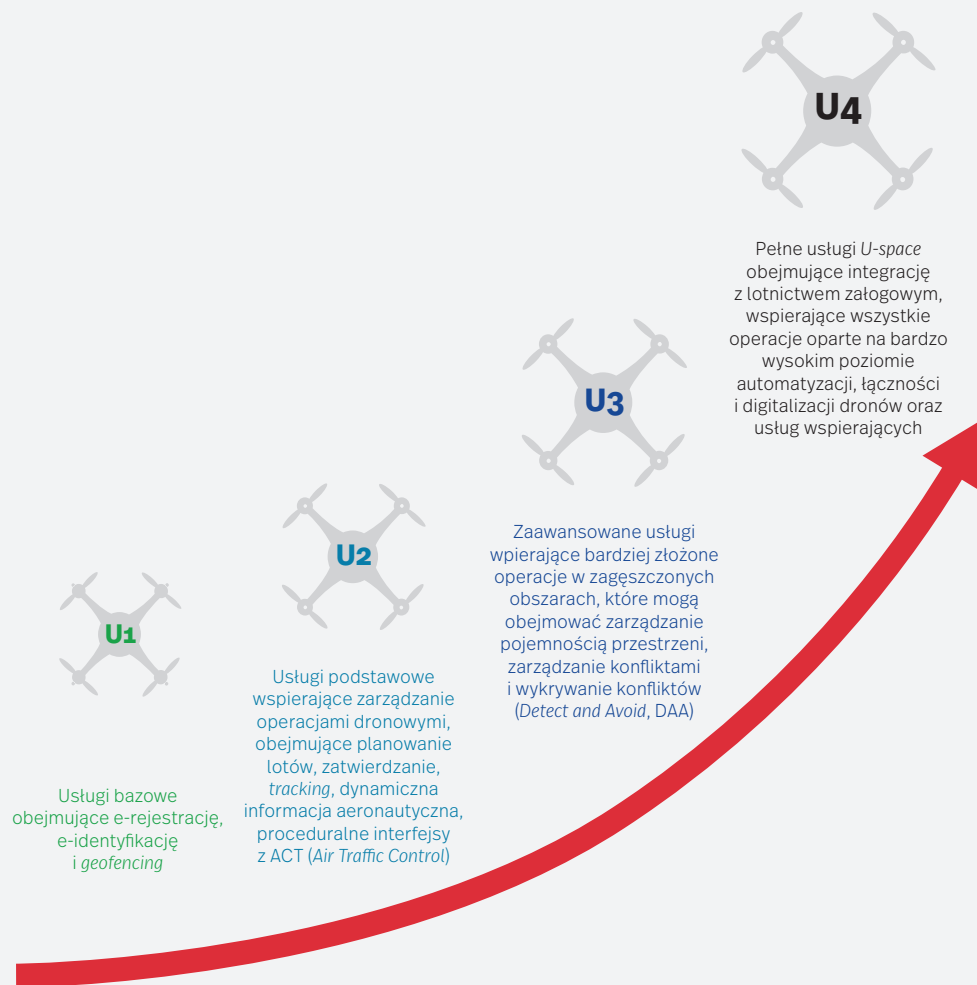
Testy technologii autonomicznych 4. i 5. poziomu odbywają się m.in. w USA, Chinach, Singapurze czy Niemczech. 1 listopada 2019 r. firma Waymo uruchomiła pierwszą usługę w postaci autonomicznej taksówki z poziomu 5. (Nidermeyer, 2019). Pojazdy Waymo jeżdżą jednak tylko po niewielkim obszarze w mieście Phoenix, gdzie od lat odbywały się odpowiednie testy, panują odpowiednie warunki pogodowe, a infrastruktura drogowa została odpowiednio zmapowana i przygotowana.

Podobna klasyfikacja do SAE definiuje 4 poziomy autonomicznej jazdy pociągów – od wspomagania maszynisty (1), przez system wykonujący część zadań sterującego (2), aż po samodzielnie jeżdżące pociągi z kontrolą człowieka (3) lub bez niej (4) (UITP, 2012). W przypadku ruchu morskiego brakuje podobnej, prostej struktury, wyróżniane są raczej typy rozwiązań autonomicznych stosowanych na statkach (NFAS, 2017).

Lotnictwo bezzałogowe – U-space: U-1 – U-4

Zgodnie z unijną koncepcją *U-space* wdrożenie operacji lotniczych dronów autonomicznych będzie następowało przez jednoczesny rozwój usług i procedur operacyjnych wspierających operacje lotnicze, opartych głównie na cyfrowej wymianie danych i informacji, oraz technologii dronowych. Rozwój usług *U-space* został podzielony na 4 etapy (SESAR, 2017):

» **Rysunek 4. Koncepcja U-space**



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: SESAR (2017).

Testowany przez Polską Agencję Żegludgi Powietrznej system PansaUTM osiągnął pod koniec 2019 r. poziom zaawansowania U3, co

pozycjonowało go jako jedno z wiodących rozwiązań tego typu na świecie.

Zastosowania przemysłowe

Zastosowania przemysłowe pojazdów autonomicznych są specyficznym obszarem użycia z uwagi na uregulowania w zakresie infrastruktury i świadomości użytkowników. W przemyśle pojazdy autonomiczne, tzw. AGV (*Automated Guided Vehicles*), są stosowane od wielu lat, pierwotnie jako rozwiązania dla logistyki wewnętrznej oparte na technologii śledzenia linii, a obecnie zastępowane autonomicznymi systemami nawigacyjnymi. W zakresie technologii nawigacyjnych systemy opierają się głównie na rozwiązaniach SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) używanych technologii Lidar do skanowania otoczenia. Zastosowanie pojazdów autonomicznych ma miejsce w procesach logistycznych, a także w formie mobilnych platform montażowych, w obu przypadkach stanowiąc element rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0.

Warunki przemysłowe (obszary zakładów przemysłowych czy logistycznych) są naturalnym obszarem testowania wszelkich rozwiązań z zakresu transportu autonomicznego z kilku powodów. Po pierwsze infrastruktura przemysłowa podlega uregulowaniom w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa, co pozwala na odniesienia do transportu drogowego, w większości zakładów są wydzielone drogi transportowe wraz z jasno określonymi regulacjami ruchu. Po drugie pracownicy zakładów przemysłowych – z uwagi na regulacje BHP – posiadają dużą świadomość w zakresie zagrożeń, jak i używania narzędzi. Skutkiem tego wdrożenie i testowanie pojazdów autonomicznych w warunkach przemysłowych może być prelude do wprowadzania autonomicznych rozwiązań na drogi.



2. Przegląd inicjatyw w obszarze transportu autonomicznego

2.1. Działania na poziomie krajowym

Polska administracja dostrzega wyzwania związane z autonomizacją transportu, jednak prowadzonym działaniom brakuje skali i koordynacji międzyinstytucjonalnej.

➤ **Rysunek 5.** Projekty w zakresie transportu autonomicznego w Polsce



Źródło: opracowanie własne PIE.

Najważniejsze prace podejmowane są w Ministerstwie Infrastruktury, urzędzie centralnym odpowiedzialnym za kreowanie polityki w dziedzinie transportu. Prowadzone są przede wszystkim działania mające umożliwić rozwój branży bezzałogowych statków powietrznych i przygotowanie do autonomicznego transportu drogowego. Ministerstwo Cyfryzacji koordynowało natomiast prace grupy roboczej ds. internetu rzeczy (*Internet of Things*, IoT), które obejmowały też zastosowania z obszaru transportu autonomicznego.

Własne inicjatywy w zakresie wprowadzania autonomicznych rozwiązań transportowych podejmują polskie samorządy. Prezydent **Rzeszowa** podpisał w lipcu 2019 r. list intencyjny z firmami odpowiedzialnymi za infrastrukturę sieciową, telekomunikację i cyberbezpieczeństwo w sprawie partnerstwa, którego celem są prace badawcze i wdrożeniowe technologii 5G. Ma ona posłużyć do wprowadzenia w mieście autobusów autonomicznych. W Rzeszowie autobusy zabierające ok. 16 pasażerów będą początkowo kursować po linii łączącej dwa dworce kolejowe, a docelowo także na trasie z centrum miasta do lotniska Rzeszów-Jasionka (Terczyńska, 2019). Kolejnym krokiem w kierunku autonomicznego transportu bazującym na sieci 5G mają być autonomiczne drony monitorujące bezpieczeństwo mieszkańców (Breczko, 2019).

We wrześniu 2019 r. demonstracja działania minibusów odbyła się w **Gdańsku**. Pojazd zabierający 10 pasażerów kursował przez miesiąc na trasie z Oliwy do miejskiego ZOO. Trójmiejski pilotaż odbywał się w ramach projektu Sohjoa Baltic objętego finansowaniem z unijnego programu „Interreg Region Morza Bałtyckiego”. Innymi działaniami w projekcie są badania, promocja oraz testy zautomatyzowanych, poruszających się bez kierowcy elektrycznych minibusów, jako połączeń pierwszej lub ostatniej mili w transporcie publicznym.

Testy miesięczne odbywają się także w Vejle i Zemgale, natomiast roczne w Helsinkach, Tallinnie i Kongsbergu (www4).

Także we wrześniu 2019 r. miały odbyć się testy autonomicznych pojazdów osobowych na odcinku autostrady A4 między **Krakowem** a **Tarnowem**. W ostatniej chwili wydarzenie zostało przełożone ze względu na braki formalne po stronie organizatora testów – firmy **Aptiv** (Radio Kraków, 2019). W Krakowie znajduje się centrum badawczo-rozwojowe firmy zatrudniające ponad 2500 pracowników, którego jednym z zadań jest rozwój opartego na AI systemu monitorowania wnętrza pojazdu *Interior Sensing Platform*. Firma Aptiv otrzymała też 33 mln PLN grantu od polskiego rządu i Unii Europejskiej na rozwój technologii z zakresu bezpieczeństwa aktywnego (projekt „KRADAS”) (Duszczyk, 2019).

W proces wdrażania pojazdów autonomicznych zaangażowane jest również **Jaworzno**. W mieście odbyło się już mapowanie ulic i ich otoczenia za pomocą specjalnych pojazdów podobnych do *Street View Cars* (pojazdów mapujących przestrzeń miejską na potrzeby usługi *Google Street View*). Utworzona trójwymiarowa mapa ma w przyszłości posłużyć jako niezbędna nawigacja dla pojazdów autonomicznych. Miasto chce też opracować wytyczne prawne, techniczne i organizacyjne, tak aby zapewnić bezpieczeństwo na drogach, po których będą jeździć pojazdy autonomiczne.

Tramwaje autonomiczne są natomiast testowane w Krakowie we współpracy z MPK, Politechniki Krakowskiej oraz firm prywatnych (w tym NEWAG-u, czyli producenta tramwajów z Nowego Sącza) (InfoTram.pl, 2020). W ramach projektu na ulicach Krakowa odbyły się już pierwsze jazdy próbne. Celem prac jest wprowadzenie autonomicznych tramwajów do ruchu miejskiego.

Projektem na styku rządu i samorządu jest **Centralnoeuropejski Demonstrator**

Dronów (CEDD) zlokalizowany w Metropolii Górnośląsko-Zagłębiowskiej.

Inicjatywę CEDD tworzy Metropolia GZM, jednostka administracyjna złożona z 41 miast i gmin, zamieszкана przez 2,3 mln mieszkańców. To na terenie Metropolii odbywają się testy z wykorzystaniem dronów w warunkach miejskich lub do nich zbliżonych. Ponadto, członkami CEDD są Urząd Lotnictwa Cywilnego i Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, a od sierpnia 2019 r. także Port Gdynia (por. niżej). Pierwszy z tych podmiotów działa na rzecz bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju lotnictwa cywilnego w Polsce, natomiast drugi zapewnia bezpieczny i płynny przepływ ruchu lotniczego w polskiej przestrzeni powietrznej. Projekt CEDD dodatkowo jest koordynowany przez Ministerstwo Infrastruktury. Celem za-inaugurowanej w 2018 r. inicjatywy jest przetestowanie i wdrożenie systemu kontroli ruchu dronów, a także wykorzystania ich w różnych celach na podstawie koncepcji U-Space (PIE, 2019a).

CEDD to program oparty na założeniu, że w niedalekiej przyszłości drony będą świadczyć wszelkiego rodzaju usługi w przestrzeni powietrznej, zarówno dla sektora publicznego, jak i komercyjnego. Twórcy koncepcji CEDD dostrzegają potencjał dronów m.in. przy patrolowaniu dróg i autostrad, koordynacji i wspieraniu akcji ratunkowych, dokumentowaniu strat po klęskach żywiołowych, badaniu poziomu zanieczyszczenia powietrza, a także w transporcie przesyłek. Loty dronami mają się odbywać poza zasięgiem wzroku, w trybach automatycznym i autonomicznym.

Własne działania w obszarze transportu autonomicznego, także w ramach współpracy w CEDD, rozwija **Port Gdynia**. Pierwsze działanie to stworzenie zaawansowanego systemu „AntyDron”, mającego neutralizować zagrożenia ze strony bezzałogowych statków powietrznych. Port Gdynia pełni jednocześnie funkcję granicy państwa, obiektu wojskowego oraz ważnego centrum logistycznego obsługującego tysiące wielotonowych ładunków (w 2017 r. średnio dziennie było to 57 tys. ton). Taka przestrzeń jest więc szczególnie narażona na różnego rodzaju ataki – także w formie cyfrowej. Program obejmuje zakup i wdrożenie dwóch dronów patrolujących teren, stworzenie systemu radarowego wczesnego wykrywania i nieznanych bezzałogowych statków powietrznych, a także Zintegrowanego Stanowiska Bezpieczeństwa Portu. Drugie działanie opiera się na wykorzystaniu bezzałogowej i automatycznej łodzi patrolującej okolice portu, która będzie miała za zadanie monitorowanie stanu wody, a także wykrywanie ew. wycieków i skażeń².

Rozwiązaniem technologicznym wspierającym działanie CEDD jest PansaUTM, koncepcja operacyjna testowana przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej, umożliwiający koordynację lotów bezzałogowych statków powietrznych. Koncepcja operacyjna wypracowana w ramach **PansaUTM** oraz testowane rozwiązania umożliwiły opracowanie studium wykonalności dla projektu „**Usługi Cyfrowe dla Bezzałogowych Statków Powietrznych**”. Przyszłe wdrożenie projektu to ogromne przedsięwzięcie, angażujące wszystkich interesariuszy na terenie całego kraju.

² Informacje od spółki Port Gdynia.

NAZWA: Polska Droga Do Automatyzacji Transportu Drogowego (AV-PL-ROAD)**PODMIOTY:** Ministerstwo Infrastruktury, Politechnika Warszawska, Instytut Transportu Samochodowego**CZAS TRWANIA:** 2018-2021**FINANSOWANIE:** Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach programu „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków – GOSPOSTRATEG”**DEKLAROWANE CELE:**

- „zapewnienie merytorycznego wsparcia dla Rządu RP w zakresie bezpiecznego wdrażania pojazdów CAD w Polsce,
- przygotowanie Polski na wyzwania związane z bezpiecznym wdrażaniem do ruchu drogowego pojazdów zautomatyzowanych, a w przyszłości autonomicznych,
- utworzenie Punktu Kontaktowego CAD,
- zapewnienie wsparcia dla efektywnego funkcjonowania i konkurencyjności krajowego rynku motoryzacyjnego (w tym produkcji części samochodowych) i rynku informatycznego,
- aktywizacja społeczeństwa,
- analiza wpływu wprowadzenia pojazdów i systemów CAD”³.

Projekt AV-PL-ROAD jest najważniejszym działaniem poświęconym autonomicznemu transportowi na poziomie rządowym, choć obejmuje jedynie transport drogowy (ciężarowy i osobowy). Działania rozpisane na 3 lata obejmują m.in. stworzenie zielonej księgi pojazdów autonomicznych, przeprowadzenie badań społecznych na ten temat oraz stworzenie mapy drogowej wprowadzania pojazdów autonomicznych w Polsce.

Za realizację działań odpowiedzialny jest Departament Strategii Transportu w Ministerstwie Infrastruktury wraz z partnerami – ekspertami ds. transportu drogowego z Politechniki Warszawskiej i Instytutu Transportu Samochodowego. W roku 2019 trwały prace analityczne i przygotowawcze do badań podstawowych, obejmujących m.in.: testowanie najbardziej rozpowszechnionych systemów wspomagania jazdy na zamkniętym torze badawczym i na wybranych odcinkach infrastruktury drogowej w Polsce. Efektem będzie pozyskanie wiedzy dotyczącej sposobu działania tych systemów w specyficznych warunkach polskiego oznakowania drogowego i krajowej infrastruktury drogowej oraz na temat wpływu systemów automatyzujących prowadzenie pojazdu na bezpieczeństwo ruchu drogowego interfejsów człowiek-maszyna (ang. HMI – *Human Machine Interface*). Prowadzone są też analizy w zakresie funkcjonowania regulacji dopuszczających pojazdy CAD do ruchu drogowego na poziomie badań i homologacji w innych krajach oraz analizy trendów konstrukcyjnych i technologicznych w automatyzacji transportu drogowego.

Korzyści z projektu:

Całościowa analiza zagadnień związanych z autonomizacją transportu drogowego w Polsce. Propozycje rozwiązań formalnych i organizacyjnych prowadzących do testowania i dopuszczenia do ruchu pojazdów zautomatyzowanych i autonomicznych. Uruchomienie centrum kompetencji w obszarze CAD w Polsce.

³ Cytat z wewnętrznej prezentacji Departamentu Strategii Ministerstwa Infrastruktury.

NAZWA: Raport IoT w Polskiej gospodarce

PODMIOT: Grupa robocza złożona z przedstawicieli biznesu, nauki i organizacji pozarządowych, działająca na zasadzie wolontariatu przy Ministerstwie Cyfryzacji

CZAS TRWANIA: 2018-2019

FINANSOWANIE: Ministerstwo, eksperci pracujący *pro bono*

DEKLAROWANE CELE:

- „analiza potrzeb polskiej gospodarki związanych z zastosowaniem IoT i wskazanie konkretnych rozwiązań, które powinny być wdrożone na szczeblu ministerstwa i rządu,
- wsparcie w wypracowaniu przez ministerstwo rozwiązań mających stymulować rozwój firm, produktów i usług związanych z IoT,
- wskazanie barier prawnych ograniczających rozwój IoT,
- zdefiniowanie obszarów wymagających wprowadzenia standardów i regulacji dla harmonizacji tej części rynku” (Ministerstwo Cyfryzacji, 2019).

Raport opublikowany w lipcu 2019 r. dotyczy wykorzystania rozwiązań z obszaru internetu rzeczy w polskiej gospodarce. Składa się na niego 10 obszarów tematycznych, w tym także Transport, Logistyka i Pojazdy Autonomiczne. Prace grupy dotyczyły wyzwań związanych z automatyzacją transportu, a także wykorzystania rozwiązań z obszaru IoT w istniejących pojazdach i digitalizacji niektórych procesów. Przykładem takiego usprawnienia są elektroniczne listy przewozowe e-CMR – nadal niewprowadzone w Polsce rozwiązanie, które może usprawnić pracę firm logistycznych.

Przywołane przykłady działań opartych na IoT dotyczą też m.in.: systemów ostrzegania przed utrudnieniami na drodze (komunikacja samochód – samochód), optymalizacji zużycia energii elektrycznej (system odzyskiwania energii kinetycznej), nadzoru nad eksploatacją urządzeń infrastrukturalnych (zadanie dla dronów). Bezpośrednio związaną z ruchem autonomicznym kwestią jest system C-ITS, umożliwiający komunikację samochód – samochód (V2V), samochód – infrastruktura (V2I), samochód – pieszy (V2P) i samochód – sieć (V2N).

Podstawowymi barierami dla rozwoju autonomicznego transportu wskazanymi przez ekspertów jest brak odpowiednich regulacji, jednolitych standardów i nowoczesnej infrastruktury. Jedną z rekomendacji końcowych jest stworzenie na poziomie rządu *Białej Księgi Automatyzacji Transportu* (w Ministerstwie Infrastruktury powstaje obecnie *Zielona Księga*, opublikowano natomiast *Białą Księgę Bezzałogowych Statków Powietrznych U-space-Biznes-Wizja Rozwoju*).

Korzyści z projektu:

Zaangażowanie i integracja interesariuszy spoza administracji publicznej w celu wypracowania rekomendacji dla decydentów.

2.2. Działania na poziomie europejskim

Większość działań UE w zakresie rozwoju autonomicznego transportu zawiera się w programie „**Horyzont 2020**” (**Horizon 2020, H2020**). Jest to największy fundusz poświęcony badaniom i innowacjom w perspektywie budżetowej UE 2014-2020 o wartości 80 mld EUR. Tematyka pojazdów autonomicznych stanowi jedynie wycinek wspieranych działań. W ostatnich latach wsparcie otrzymało 206 przedsięwzięć związanych z innowacjami w obszarze transportu, z czego 47 projektów dotyczyło rozwoju autonomicznych systemów transportowych. Jedyny projekt koordynowany przez polską organizację dotyczy technologii odpornych na lód stosowanych przy produkcji materiałów wykorzystywanych w lotnictwie.

Najważniejsze cele programu „Horyzont 2020” to przyspieszenie rozwoju gospodarczego UE oraz stworzenie nowych miejsc pracy w państwach Unii. W ramach programu działają trzy inicjatywy rozwoju nauki i liczne, mniejsze projekty. Warto wyróżnić spośród nich dwa – ERTRAC i ARCADE. Pierwszy powołano w celu stworzenia strategii działania na rzecz autonomizacji oraz elektryfikacji transportu przez wydawanie cyklicznych raportów. Drugi natomiast ma na celu zapewnienie skoordynowanego wprowadzania rozwiązań zautomatyzowanej jazdy (CAD) w ramach utworzonego forum interesariuszy.

Wśród organizacji przedstawicielskich programu ERTRAC można wyróżnić:

- EARPA – Europejskie Stowarzyszenie Partnerów Badań Motoryzacyjnych, zrzeszające organizacje B+R z branży;
 - EUCAR – Europejską Radę ds. Badań i Rozwoju Motoryzacji, która koordynuje projekty badawczo-rozwojowe koncernów motoryzacyjnych;
 - CLEPA – Europejskie Stowarzyszenie Dostawców Motoryzacyjnych, które skupia ponad 3000 dostawców części samochodowych, systemów i modułów. Grupy robocze stowarzyszenia opracowują strategiczne stanowiska dla branży;
 - ERTICO ITS Europe – platformę współpracy firm i stowarzyszeń na rzecz rozwoju inteligentnych systemów transportowych.
- Inną, ważną inicjatywą z tego obszaru jest EATA – Europejski Sojusz Telekomunikacji i Motoryzacji, czyli stowarzyszenie największych firm z obu tych branż. Ich celem jest współdziałanie na rzecz rozwoju autonomicznego transportu, tzn. pozbycia się przeszkód regulacyjnych, wspieranie projektów testowych i demonstracyjnych, mobilizowanie funduszy publicznych w tym obszarze oraz aktywne zaangażowanie w dialog z decydentami politycznymi w celu wspólnego rozwiązywania wyzwań stojących na drodze do automatyzacji transportu.

Wśród osobnych działań Komisji Europejskiej można wyróżnić także liczne inicjatywy w formie platform do dyskusji i map drogowych. Jedną z nich jest Platforma CCAM (*Cooperative, Connected and Automated Mobility*). Inicjatywa ta ma na celu wsparcie krajów UE i europejskiego przemysłu motoryzacyjnego w przejściu na CAD, zapewniając jednocześnie najlepsze środowisko mobilności dla społeczeństwa. Związana z tym jest też inicjatywa wyznaczenia międzynarodowych korytarzy transportowych, które docelowo będą pokryte siecią 5G (Komisja Europejska, 2020). W pierwszej kolejności zaplanowano wykonanie czterech odcinków tras w Europie Zachodniej.

3. Determinanty rozwoju technologii

Intensywny rozwój nowych technologii dotyczy równolegle czterech głównych obszarów – wyposażenia środków transportu, łączącej je infrastruktury sieciowej, analizy

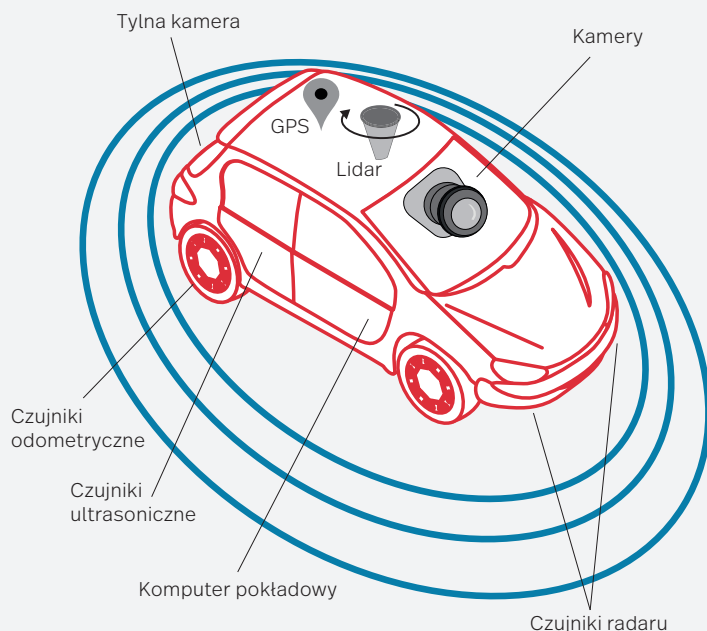
dużych zbiorów danych a także wyzwań związanych z bezpieczeństwem cyfrowym. W tym rozdziale przedstawiamy wyzwania w poszczególnych obszarach.

3.1. Kluczowe komponenty w środkach transportu

Do poprawnego poruszania się autonomicznego środka transportu niezbędne są urządzenia monitorujące i analizujące otoczenie.

W przypadku pojazdów kołowych, wyróżnia się trzy główne rodzaje sensorów: kamery, radary oraz system Lidar (radar laserowy).

➤ **Rysunek 6.** Kluczowe komponenty samochodu autonomicznego



Źródło: <https://innovationatwork.ieee.org/lidr-is-the-latest-game-changing-advancement-for-autonomous-vehicles/> [dostęp: 20.02.2020].

Kamery służą do obserwacji i interpretacji obiektów na drodze. Pełny zakres (360°) jest możliwy dzięki odpowiedniemu rozmieszczeniu urządzeń (Khvoynitskaya, 2020). Kamery są doskonałym narzędziem do wykrywania świateł oraz znaków drogowych, jednak nie zawsze działają poprawnie przy zmiennych warunkach pogodowych (mgła, deszcz, śnieg). Algorytm rozpoznający obiekty może ponadto napotkać problem w momencie, gdy kolory obiektów w tle są zbliżone lub gdy zachowany jest mały kontrast (z tego powodu na pasach zagrożone są osoby ubrane w kolorach podobnych do tła, po którym się poruszają).

Radary wysyłają fale radiowe, za pomocą których wykrywane są obiekty, mierzona jest odległość i prędkość w czasie rzeczywistym. Podczas gdy aplikacje radarowe bliskiego zasięgu (24 GHz) umożliwiają monitorowanie „martwego pola” (przestrzeń poza zasięgiem kamery), pomagają utrzymać pas ruchu i ułatwiają parkowanie, rola czujników radarowych dalekiego zasięgu (77 GHz) obejmuje automatyczne sterowanie odległością i wspomaganie hamowania. W przeciwieństwie do kamer, systemy radarowe zwykle nie mają problemów z identyfikacją obiektów podczas mgły lub deszczu (Kocic, Jovicic, Drndarevic, 2018). Poprawy wymaga jednak algorytm rozpoznawania pieszych, którego skuteczność wynosi obecnie 95 proc. Najbardziej popularne czujniki radarowe 2D skanują przestrzeń horyzontalnie i nie rozpoznają wysokości obiektów, co może powodować problemy szczególnie podczas przejazdu pod mostami.

System **Lidar** działa podobnie do radarów, jednak zamiast fal używa laserów. Umożliwia to tworzenie obrazów 3D i mapowanie otoczenia. Odpowiednia konfiguracja pozwala na utworzenie pełnej mapy (360°) wokół pojazdu. Czujniki Lidar są droższe od radarów i kamer (w 2019 r. był to koszt ok. 75 000 USD przypadający na jeden pojazd) (Spencer, 2019), w związku z wykorzystaniem metali ziem rzadkich w produkcji,

jednak wiele firm pracuje obecnie nad stworzeniem taniej wersji czujnika (Lienert, Lanhee Lee, 2020). Lidar jest wykorzystywany przez firmy pracujące nad stworzeniem autonomicznego pojazdu z poziomu 5., ponieważ zapewnia najbardziej doskonały obraz otoczenia auta. Część firm – np. Tesla – rozwija autonomiczne pojazdy bez użycia lidar, argumentując to wysokimi kosztami i brzydkim wyglądem pojazdów „z nadbudową”. Nie jest do końca jasne, czy lidar będzie popularyzował się wraz z obniżeniem jego ceny, czy też zostanie zastąpiony przez doskonalsze kamery i radary.

3.1.1. Czujniki w innych środkach transportu

W **samolotach** większa część lotu została zautomatyzowana długo przed rewolucją cyfrową przy wykorzystaniu prostych technologii. Początki tzw. autopilota sięgają jeszcze początku XX w. Z początku technologia była oparta na żyroskopach pozycjonujących i kierunkowych, umożliwiających prosty lot według wytycznych kompasu (Dłapilota.pl, 2019). Nowoczesne, cyfrowe autopiloty mogą wykorzystywać wiele różnych czujników, takich jak żyroskopy MEMS lub towarzyszące im akcelerometry półprzewodnikowe i magnetometri (www5). Ich systemy są zaprojektowane do wykonywania sygnałów wejściowych otrzymanych z komputera pilota.

W autonomicznych bezzałogowych statkach powietrznych wykorzystuje się wiele czujników, których zadaniem jest zdobywanie informacji o otoczeniu, takich jak wielokierunkowy czujnik głębokości o skończonym maksymalnym zasięgu, przymocowany do pojazdu i działający w linii widzenia. Klasa czujników lotniczych obejmuje aktywne czujniki głębokości, takie jak LIDAR lub RADAR oraz czujniki pasywne, takie jak widzenie stereo lub optyczne systemy przepływu (Goerzen, Whalley, 2012). Natomiast systemy ADS-B dzięki informacji ze źródła GNSS, kierunku i wysokości lotu oraz numeru statku umożliwiają

precyzyjne określenie położenia BSP względem innych uczestników ruchu lotniczego, tak załogowego, jak i bezzałogowego. Umożliwiają w ten sposób bezpieczną integrację oraz współdziałanie przestrzeni powietrznej. Wymiana informacji odbywa się na poziomie statek – statek oraz statek – naziemny system kontroli, co dzięki funkcji multilateracji pozwala na precyzyjne pozycjonowanie bezzałogowców oraz daje możliwość weryfikacji legalności sygnału. Zminiaturyzowane ADS-B (mikro ADS-B) mogą z powodzeniem być instalowane nawet w najmniejszych bezzałogowych statkach powietrznych. Taką technologię posiadają dwie firmy na świecie, w tym polska firma Aerobits.

Najważniejszymi składowymi autopilota na **statku** są czułość i współczynnik steru. Podobnie jak w samolotach, głównym zadaniem autopilota jest utrzymanie kursu maszyny na podstawie wskazań kompasu. Współcześnie do tego celu wykorzystuje się też GPS. Wszystkie autopiloty korzystające z nawigacji satelitarnej mogą podążać do odległego celu z wieloma oddzielnymi punktami na trasie i automatycznie przełączać się na nowy kurs odniesienia po przejściu do następnego punktu drogi. Na statkach wykorzystuje się również czujniki wiatru, jeśli zamiast utrzymania określonego kursu, utrzymuje się kąt względem wiatru (www6).

Technologia sensorów do statków jest już dobrze rozwinięta i znajduje zastosowanie w wielu formach autonomicznego działania tych maszyn. W projekcie AAWA (*Advanced Autonomous Waterborne Applications*) zbadano wkład różnych technologii czujników w zapewnienie statkowi lub jego zdalnym operatorom dokładnego spojrzenia na otoczenie statku przez cały czas i w każdych warunkach. Przewiduje się, że wypracowane rozwiązania pozwolą na wypłynięcie w pełni autonomicznych jednostek ok. 2035 r. (Rolls-Royce, 2016).

Na **kolei** podstawą rozwoju autonomii jest zintegrowany system komunikacyjny między

pojazdami a infrastrukturą. Technologia CBTC (*Communication Based Train Control*) opiera się na sieci Wi-Fi i komunikacji radiowej. Ponieważ pociągi poruszają się po stałej trasie, zadaniem autonomicznego systemu jest jedynie dostrzeżenie zagrożenia na torach i dopasowanie prędkości do panujących warunków. Należy przy tym zaznaczyć, że w odróżnieniu od innych środków transportu pociągi poruszają się po wydzielonej drodze i wykorzystują własną infrastrukturę, a skrzyżowania z ulicami są zazwyczaj wyposażone w aparaturę mającą na celu zamknięcie przejazdu. To otoczenie uważa i wypatruje pociągu, głównie z racji długiej drogi hamowania i dużej masy maszyny. W związku z tym istotniejszą rolę od obserwacji otoczenia przez systemy sterujące pociągami odgrywa komunikacja z infrastrukturą i innymi pociągami (Farooq, Soler, 2017).

3.1.2. Główne wyzwania związane z czujnikami

Czujniki w pojazdach, statkach i maszynach latających generują wiele danych różnego typu. Wymaga to odpowiedniej platformy obliczeniowej do ich połączenia i stworzenia jednolitego widoku środowiska pojazdu. *Sensor Fusion* to podejście do łączenia danych dostarczanych z różnych źródeł, tak by tworzone informacje były spójne (Kocic, Jovicic, Drndarevic, 2018).

Obok trudności jakie przysparza nakładanie na siebie danych pochodzących z czujników różnego typu, istotnym zagadnieniem w kwestii bezpieczeństwa pojazdów autonomicznych jest problem martwego punktu – tzn. sfery, która umyka kamerom lub radarom. Wyróżniane są tu różnego rodzaju nietypowe sytuacje, które mogą zaskoczyć pojazd – np. otwarte drzwi do bagażnika w aucie naprzeciwko, rowerzyści przejeżdżający blisko pojazdu, niskie słupki zagrażające kołom (www7). W celu namierzenia tego rodzaju zagrożeń konieczne jest umieszczenie na pojeździe dużej liczby czujników różnego typu, co znacząco zwiększa koszty produkcji.

3.2. Infrastruktura cyfrowa

Wybór właściwej technologii bezprzewodowej komunikacji dla aut i systemów drogowych stanowi jedno z ważniejszych działań UE na rzecz bezpieczeństwa w transporcie drogowym, a zarazem krok ku automatyzacji transportu

drogowego. W ostatnich latach można zaobserwować konkurencję dwóch standardów bezprzewodowej komunikacji między pojazdami i infrastrukturą: **ITS-G5**, inaczej zwane **DSRC** oraz **C-V2X**.

ITS-G5 jest bezprzewodową technologią komunikacji krótkiego zasięgu dostosowaną do komunikacji V2V (pojazd – pojazd), pozwalającą na bardzo szybkie przesyłanie małych ilości danych. Stanowi rozszerzenie ogólnego standardu Wi-Fi, który został zmodyfikowany i zoptymalizowany do pracy w dynamicznym środowisku motoryzacyjnym (Turley i in., 2018). Służy do bezpośredniej komunikacji między poruszającymi się pojazdami i nie zależy od chmury ani infrastruktury komórkowej (Elinoff, 2019).



C-V2X to termin odnoszący się do połączenia komórkowej komunikacji bliskiego i dalekiego zasięgu (Autotalks i in., 2018). Definiuje dwa tryby transmisji, które łącznie umożliwiają szeroki zakres zastosowań. Direct C-V2X, który obejmuje komunikację pojazd – pojazd (V2V), pojazd – infrastruktura (V2I) i pojazd – pieszy (V2P), zapewnia zwiększony zasięg komunikacji i niezawodność w specjalnym paśmie ITS 5,9 GHz niezależnym od sieci komórkowej.



Obie technologie mają swoich zwolenników wśród największych firm z branży motoryzacyjnej: Volkswagen i Renault promują ITS-G5, Daimler, Ford i PSA Group (Peugeot) aktywnie działają na rzecz C-V2X. W Chinach i Stanach Zjednoczonych rozwijana jest technologia C-V2X, natomiast w Europie preferuje się ITS-G5 (Ahmad, 2018), co wynika z opinii o niewystarczającym poziomie bezpieczeństwa

w ramach technologii opartych na komórkowych sieciach komunikacyjnych dalekiego zasięgu. Po wielu latach testów technologia ITS-G5 została stworzona specjalnie z myślą o zastosowaniach związanych z bezpieczeństwem na drodze, zapewniając niewielkie opóźnienia, jedyne dopuszczalne dla pojazdów poruszających się z dużą prędkością. Komunikacja krótkiego zasięgu związana z 5G – zdaniem Komisji Europejskiej

– nie rozwinęła się wystarczająco, aby mogła być poddawana szczegółowej dyskusji technicznej, dlatego ITS-G5 pozostaje wobec niej istotną alternatywą (Autotalks i in., 2018).

Niektóre środowiska branżowe, w tym 5GAA (5G Automotive Alliance), opowiadają się za współistnieniem technologii łączności C-V2X i ITS-G5 w paśmie 5,9 GHz (5GAA, 2018). Systemy łączności pojazdów mogłyby być przyjmowane w poszczególnych krajach osobno zamiast ustanawiać standardy międzynarodowe (Ahmad, 2018). Ważną kwestią dla rozwoju łączności między komunikującymi się pojazdami będzie sieć komórkowa piątej generacji, tzn. 5G – umożliwiająca znaczne zwiększenie wielkości i szybkości przesyłu. W Polsce planowana jest pierwsza aukcja częstotliwości 5G w 2020 r.

W odniesieniu do **bezzałogowych statków powietrznych** nadal trwają prace nad standardem komunikacji. Technologia, którą bierze się pod uwagę jest karta SIM (GSM) lub **mikro ADS-B**, przy czym ta druga ma zdecydowaną przewagę, ze względu na bardzo wysoką precyzję działania i niskie koszty inwestycji w infrastrukturę naziemną (odbiorniki). Trwają prace nad standardami umożliwiającymi przyszłą certyfikację mikro ADS-B, co ma istotne znaczenie dla wymiany informacji między certyfikowanymi odbiornikami ADS-B i mikro ADS-B. Mikro ADS-B z powodzeniem działają w standardzie LTE, choć sieć 5G dawałaby dużo większe możliwości.

W odniesieniu do dronów brakuje nadal wyodrębnienia pasma przeznaczonego do

komunikacji. Kluczowym komponentem infrastruktury cyfrowej umożliwiającej udostępnianie przestrzeni powietrznej dla ruchu BSP, zarządzanie rosnącym wolumenem dronów automatycznych i autonomicznych przy zapewnieniu najwyższego poziomu bezpieczeństwa, planowania i realizacji operacji lotniczych jest system UTM (*Unmanned Traffic Management System*). Opiera się na digitalizacji wszystkich procesów związanych z wydzielaniem stref lotu (także dynamicznym) i wszelkich informacji aeronautycznych. Podstawową funkcją systemu UTM jest separacja lotnictwa załogowego i bezzałogowego w strefach kontrolowanych lotnisk. System zapewnia dwustronną niewerbalną komunikację między wieżą kontrolną a operatorem i ciągłe przekazywanie informacji mogących wpłynąć na wykonywane operacje lotnicze. UTM umożliwia wysokopoziomowe zarządzanie bezzałogowym ruchem lotniczym na terenie całego kraju, natomiast na potrzeby zarządzania ruchem lotniczym na określonym terenie tworzone są komponenty DTM (*Local Administration Unit* – LAU).

Wdrożenie operacyjne usług bazujących na systemie UTM, obejmujących m.in. rejestrację i licencjonowanie operatorów, uzyskiwanie zgód na loty, objęte jest projektem „Usługi Cyfrowe dla Bezzałogowych Statków Powietrznych”, którego liderem jest Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, w partnerstwie z Urzędem Lotnictwa Cywilnego i Ministerstwem Infrastruktury. Operacyjne wdrożenie usług ma zakończyć się w lutym 2023 r.

3.3. Analiza danych

„Paliwem” dla pojazdów autonomicznych (niezależnie od ich napędu) są dane, które przez cały czas zbiera samochód. Te dane są konieczne dla sztucznej inteligencji do podejmowania decyzji na podstawie możliwie najszerzej wiedzy o otoczeniu pojazdu. Czujniki pojazdu

autonomicznego generują od 1 do 19 TB danych na godzinę (Heinrich, 2017) – tyle samo pamięci zajmuje 1235 filmów (przeciętny rozmiar 15 GB), albo 47,5 mln dokumentów (przeciętny rozmiar 400 KB). Pozyskiwanie, przechowywanie, zarządzanie i etykietowanie takich danych wymaga

więc odpowiedniego zaplanowania infrastruktury komputerowej, uwzględniającego potrzeby

chmury obliczeniowej i centrów koordynujących ruch.

➤ **Rysunek 7. Porównanie wielkości danych przetwarzanych przez pojazd autonomiczny**

Minuta jazdy samochodu autonomicznego wymaga tyle pamięci co:	20 filmów pełnometrażowych	31 000 zdjęć	800 000 dokumentów tekstowych
			

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: Heinrich (2017).

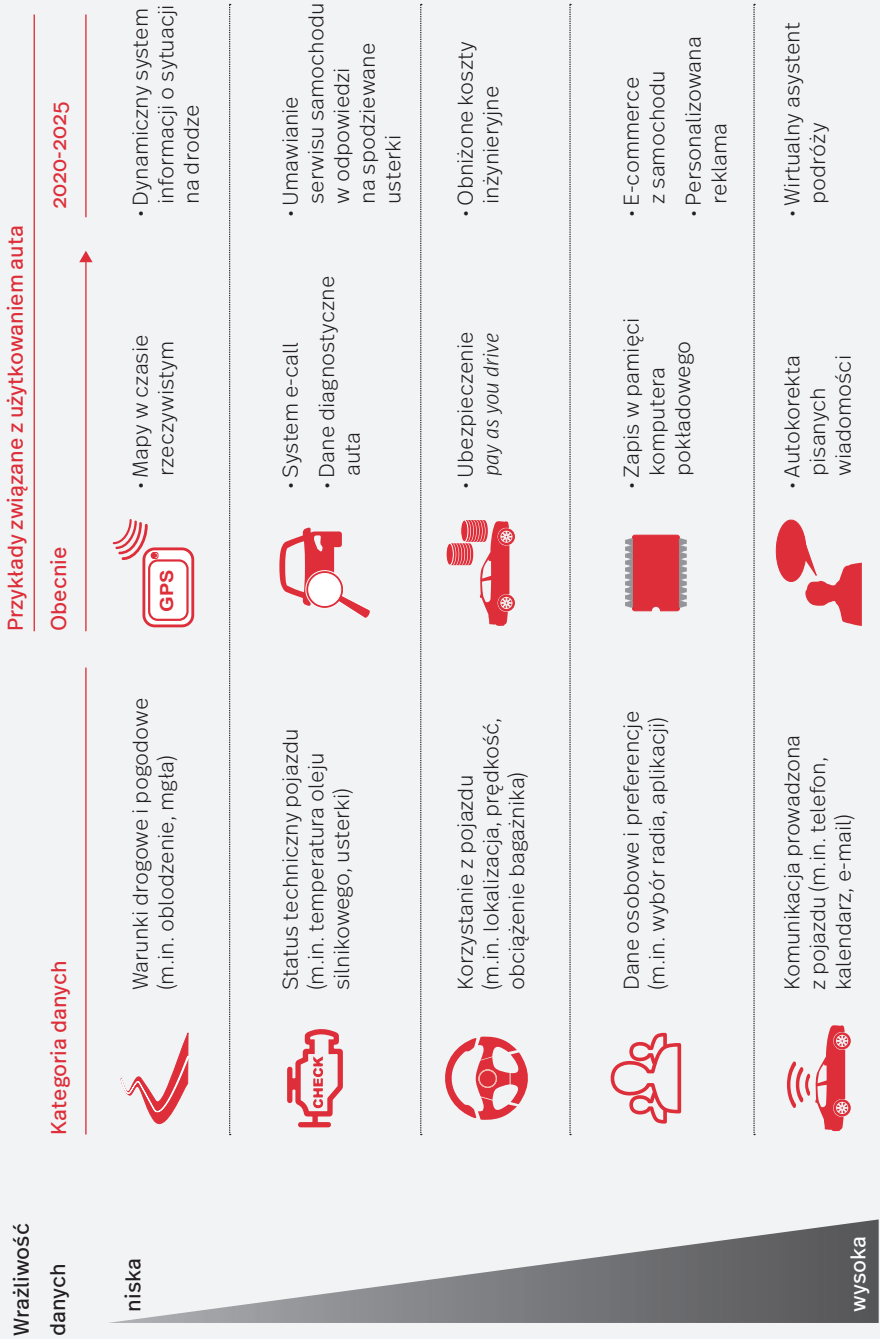
Pojazdy autonomiczne muszą być przygotowane na różne scenariusze wydarzeń podczas jazdy. Do uczenia zachowań potrzebne są dane o topografii, różnorodności warunków pogodowych, rodzajach nawierzchni czy przepisach drogowych w danym kraju. Producenci muszą jednak rozważyć zakres istotnych w uczeniu informacji, tak by nie obciążać pojazdów zbędnymi danymi obliczeniowymi (Accenture, 2018).

Z punktu widzenia prawodawcy, ważnym zagadnieniem jest kwestia własności danych i ogromnej wiedzy o użytkownikach aut, które gromadzą producenci samochodów i zarządzający przyszłymi systemami transportu autonomicznego. Zgromadzenie danych o ruchach samochodu, wykonywanych trasach, nagrania z kamer znajdujących się naokoło pojazdu, dźwięk z kabiny pasażerskiej – wszystkie te dane są technicznie dostępne dla firm motoryzacyjnych. Wymogi ogólnego rozporządzenia o ochronie danych osobowych wymuszają jednak na europejskich firmach większą ostrożność, a także

ograniczenie zakresu zbieranych i przechowywanych danych. Tego rodzaju wymogu nie posiadają np. firmy chińskie, gdzie szczegółowe dane dot. obywateli służą do doskonalenia projektu kredytu społecznego.

Nie jest do końca jasne na ile wysokie wymagania związane z ochroną danych osobowych będą stanowić szansę, a na ile zagrożenie dla rozwoju autonomicznego transportu w Europie. Z pewnością szeroki zakres danych i swoboda w ich używaniu pozwala firmom szybciej rozwijać systemy sztucznej inteligencji, w tym także rozwiązania służące bezpieczeństwu i jakości usług. Jednocześnie jednak zbyt szerokie oddanie firmom władzy nad danymi mogłoby wiązać się z utratą zaufania społecznego koniecznego do rozwoju autonomicznych środków transportu. Europa ma ważną globalną rolę w zakresie ustalania standardów prawnych – rozwiązania oparte na RODO rozwijane są w wielu krajach świata (Japonia, Australia, Brazylia) (Simons, 2019).

➤ **Rysunek 8.** Dane zbieranie przez pojazd autonomiczny



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: McKinsey (2016).

Analiza danych zbieranych przez samochody może stanowić dla firm poważne źródło dochodów i możliwości rozwijania dodatkowych usług. Firma McKinsey szacuje, że rynek danych powiązanych z samochodami osobowymi osiągnie do 2030 r. wartość 750 mld USD (McKinsey, 2016).

W miarę rozwoju usług związanych z inteligentną nawigacją pokładową, która będzie w stanie podpowiedzieć sugerowane kierunki podróży, a także pokierować tam samochód, istotne staną się zagadnienia związane z handlem danymi i tym na ile chcemy być kierowani przez sztuczną inteligencję w naszym

codziennym życiu. Tak jak obecnie zdarza się, że słuchamy utworów podszywanych przez platformy *streamingowe* lub kupujemy produkty sugerowane na platformach *e-commerce*, tak w niedługim czasie realne będzie jeżdżenie od miejsca do miejsca, które zaproponuje samochód na podstawie wcześniejszych decyzji jego użytkownika. Potrzebna jest więc społeczna debata na temat zasad jakimi powinna kierować się autonomia nie tylko od strony bezpieczeństwa (kogo chronić – ta debata się odbywa), ale też od strony prywatności i autonomii jednostki w relacji jednostka-maszyna.

3.4. Cyberbezpieczeństwo

Pojazdy i inne autonomiczne środki transportu są wysoce podatne na ataki hakerów z racji ciągłego podłączenia do sieci. Już teraz nowoczesne pojazdy posiadające np. system Bluetooth można zhakować wprowadzając do pojazdu złośliwe oprogramowanie. Komunikacja V2V (pojazd-pojazd) to paradygmat, który producenci samochodów zaczynają wprowadzać już w dzisiejszych pojazdach, umożliwiając każdemu samochodowi komunikowanie się z innymi na drodze w celu wymiany danych na temat natężenia ruchu, wypadków lub złej pogody. Takie technologie umożliwiają upłynnienie jazdy i zapobieganie wypadkom, ale jednocześnie czynią pojazdy bardziej podatnymi na zagrożenia cyfrowe.

Podstawowym zagrożeniem jest możliwość przejęcia kontroli nad pojazdem lub innym urządzeniem i wykorzystania go do celów przestępczych o potencjalnie terrorystycznym charakterze. W ostatnich latach w Europie upowszechniły się ataki terrorystyczne z udziałem ukradzionych ciężarówek wjeżdżających na popularne deptaki. Zdalna kradzież ciężarówki czyni z niej jeszcze bardziej doskonałe narzędzie zbrodni. Podobnie w przypadku dronów już teraz używanych w licznych konfliktach zbrojnych na świecie – zarówno

uzbrojone (z zamontowanym ładunkiem wybuchowym), jak i nieuzbrojone stanowią potencjalne zagrożenie – przy umiejętnym uderzeniu delikatnego celu. Z takimi wyzwaniami mierzy się m.in. Port Gdynia, wdrażający zintegrowany system bezpieczeństwa „Anty-dron”.

Możliwość zdalnego przejęcia kontroli nad autem może być też znaczącym ułatwieniem dla złodziei samochodów. Obecnie Polska jest jednym z bezpieczniejszych krajów dla kierowców w UE. Liczba zgłaszanych kradzieży na przestrzeni ostatnich lat spadała osiągając rekordowo niski poziom 12,5 tys. ukradzionych aut w 2017 r. (dane Eurostat). Innym zagrożeniem hakerskim może być zmiana widzianego przez kamerę obrazu lub zaburzenie sygnałów odbieranych przez radary i lidar, która jest w stanie doprowadzić do tragicznego wypadku drogowego (Raiyn, 2018). W celu zabezpieczenia komunikacji i przepływu informacji w pojazdach autonomicznych eksperci zalecają autoryzację biometryczną, taką jak odciski palców, tęczęwka, głos, twarz, siatkówka czy geometria dłoni (Parwin, Verma, 2016).

Zupełnie odmiennym typem zagrożeń z obszaru cyberbezpieczeństwa są wyzwania związane z danymi o kierowcach.

Anty-dron w Porcie Gdynia

Ekspersi Pionu Bezpieczeństwa Portu Gdynia opracowali wieloetapowy plan związany z projektem „Anty-dron”. Pierwszym elementem było rozmieszczenie tablic informacyjnych o zakazie lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi na terenie zarządzanym przez Port Gdynia oraz wprowadzenie procedur uzyskania takiej zgody. Następnie, w kwietniu 2018 r., zorganizowano ogólnopolską konferencję „Bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej oraz imprez masowych w dobie przelotu technologicznego XXI w.”, której wątkiem przewodnim był rozwój branży bezzałogowych statków powietrznych, możliwości ich wykorzystania oraz związane z tym uregulowania prawne. Na tej konferencji podpisano umowę z firmą Hawk-e Sp. z o.o., na mocy której Port Gdynia stał się pierwszym testującym system DTM, który umożliwia przez aplikację lokalne zarządzanie lotami bezzałogowych statków powietrznych w określonej przestrzeni powietrznej. Obecnie trwają prace nad przetargiem, który pozwoli wyłonić wykonawcę badań i analiz mających na celu określenie warunków wdrożenia i konfiguracji kompleksowego systemu antydronowego, który będzie funkcjonował na obszarze Portu Gdynia.

Ponadto Zarząd Morskiego Portu Gdynia S.A. podjął się realizacji projektu dotyczącego utworzenia Zintegrowanego Stanowiska Bezpieczeństwa Portu. Zadaniem stanowiska będzie skupienie w miejscu wyznaczonym przez ZMPG S.A. wszystkich służb ratunkowych oraz dyspozytorskich, a także monitorowanie sygnałów z systemu integrującego elektroniczne zabezpieczenia budynków oraz terenów portu. Najistotniejszym elementem wyposażenia stanowiska będą dwa duże drony – płatowce. Wykorzystanie tych urządzeń pozwoli na dostarczanie obrazu w czasie rzeczywistym podczas działań ratowniczych, czy wykonywanie oblotów pozwalających na obserwację potencjalnych wycieków substancji ze statków lub bieżącej sytuacji w Porcie Gdynia.



4. Warunki wdrażania technologii

Nawet najlepsza technologia nie będzie rozwijana bez zaufania jej użytkowników, bez szerokiej akceptacji społecznej. Do uzyskania takiej akceptacji konieczne jest jednak sformułowanie odpowiednich regulacji, opartych na standaryzacji nowych rozwiązań, odpowiednio wcześniej

przetestowanych. Najważniejsze warunki wdrożenia do użytku nowych technologii można więc skategoryzować następująco: testowanie, standaryzowanie, odpowiednie regulacje prawne, uzyskanie społecznej akceptacji. Dopiero po przebyciu tej drogi nowa technologia z laboratoriów przeniesie się na ulice miast.

4.1. Regulacje

Rozwój technologii autonomicznych umożliwia rewolucyjne zmiany w sposobie funkcjonowania transportu. Przeniesienie rozwiązań z obszarów testowych i hal produkcyjnych na ulice miast wymaga jednak odpowiednich regulacji prawnych, wypracowanych w toku rzetelnej debaty publicznej. W międzynarodowych konwencjach dot. prawa o ruchu drogowym (genewska i wiedeńska), których Polska jest sygnatariuszem, zawarte są zapisy o obowiązkach kierowcy stanowiące barierę do wprowadzenia pojazdów autonomicznych na drogi. Odpowiedzią na rozwój autonomicznego transportu była poprawka nr 79 do Konwencji genewskiej uchwalona w 2017 r., która określa warunki produkcji, testowania i korzystania z samochodów z systemem wspomagania kierowcy (tj. 2 poziom autonomii). Nie usuwa ona jednak barier związanych z koniecznością sprawowania kontroli nad autem przez kierowcę (*Agreement...*, 2017).

Sytuacja wygląda zupełnie inaczej w Stanach Zjednoczonych, które nie są sygnatariuszem żadnej konwencji wiedeńskiej ani genewskiej. Ruch pojazdów autonomicznych jest tam dozwolony domyślnie, jednak na przestrzeni ostatnich lat kolejne stany wprowadzają własne regulacje, określające ramy dla automatyzacji transportu drogowego. Wytyczne w tej sprawie

wydała w tym roku federalna agencja bezpieczeństwa na autostradach (NHTSA).

W pojazdach autonomicznych zupełnie nowego znaczenia nabiera odpowiedzialność za szkody (*liability*). W klasycznych pojazdach odpowiedzialność spoczywa na kierowcy, który ew. może dowodzić błędów konstrukcyjnych pojazdu. W przypadku pojazdów autonomicznych konieczne jest takie rozłożenie odpowiedzialności prawnej między kierowcę i producenta auta, które lepiej będzie uwzględniać faktyczny zakres władzy nad autem. Wraz z rozpowszechnianiem się pojazdów autonomicznych, eksperci zauważają potrzebę wydawania danych systemów EDR (*Event Data Recorder*) dotyczących poszczególnych parametrów ewentualnych wypadków oraz konieczność współpracy środowiska technologicznego z prawnym i ustawodawczym już na etapie rozwijania poszczególnych funkcjonalności (Pinter, Szalay, Vida, 2017).

Kongres Stanów Zjednoczonych zaproponował przepisy, które zwalniają pojazdy autonomiczne z pełnej odpowiedzialności za szkody. Eksperci rozważają również utworzenie funduszu kompensacyjnego w celu rozwiązywania spraw bez orzeczenia winy (Tyson, Schultz, 2018). Istotne jest odpowiednie rozłożenie odpowiedzialności między kierowcą, pojazdem,

producentem, operatorem infrastruktury oraz innymi, w zależności od poziomu automatyzacji (Pinter, Szalay, Vida, 2017). Do momentu, w którym pojazdy zostaną w pełni zautomatyzowane nie można jednak wyczerpująco określić wszystkich aspektów w prawodawstwie.

Na poziomie krajowym regulacje odnoszą się do możliwości testowania pojazdów autonomicznych. Wprowadziła ją ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z 2018 roku (Ustawa..., 2018), która znowelizowała Prawo o ruchu drogowym, wprowadzając do niego zapisy umożliwiające testowanie pojazdów autonomicznych na drogach publicznych po uzyskaniu zezwolenia od zarządcy drogi. Obowiązkowe jest m.in. posiadanie przez pojazd testowy zgodnej z przepisami prawa tablicy rejestracyjnej, przeprowadzenie konsultacji z mieszkańcami gminy dot. testów pojazdu, a także obecność osoby w pojeździe, która „w każdej chwili może przejąć kontrolę nad tym pojazdem”.

Regulacje krajowe i unijne dotyczące bezzałogowych statków powietrznych dopuszczają możliwość wykonywania autonomicznych operacji lotniczych, w których czynnik ludzki (*human factor*) jest ograniczony. Zgodnie z prawem lotniczym odpowiedzialność za operację ponosi operator (pilot) BSP, regulacje dotyczące operacji autonomicznych wprowadzają szczególne wymagania techniczne i operacyjne, umożliwiające podział ról związany z jej wykonywaniem. Zgodnie z polskimi regulacjami lot automatyczny to operacja, w której

bezzałogowy statek powietrzny w sposób automatyczny realizuje start i lądowanie w wyznaczonym miejscu oraz lot po zaprogramowanej trasie, gdy operator pełni jedynie zdalny nadzór nad operacją, zachowując możliwość niezwłocznego przejęcia zdalnego sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym lub podjęcia innych działań na wypadek wystąpienia niebezpiecznej sytuacji. Rozporządzenie ustanawia szczegółowe wymagania techniczne dotyczące planowania i realizacji lotów automatycznych.

Rozporządzenie wykonawcze Komisji Europejskiej (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych definiuje operacje autonomiczne jako te, w których bezzałogowy statek powietrzny wykonuje operacje bez możliwości podjęcia interwencji przez pilota. Do każdej operacji autonomicznej należy zapewnić odpowiedni podział obowiązków i zadań między podmioty w nią zaangażowane.

Przy obecnym stanie technologii cywilnych bezzałogowe statki powietrzne wykorzystywane są przede wszystkim do monitorowania, w transporcie – nadal rzadko. Rozwój technologii BSP następuje jednak bardzo szybko i można spodziewać się coraz częstszych zastosowań w transporcie. Będzie on postępował wraz z pracami standaryzacyjnymi, certyfikacją oraz wdrażaniem kolejnych funkcjonalności systemów klasy UTM.

4.2. Infrastruktura do testowania i wdrażania

Zgodnie z wspomnianymi wyżej regulacjami Prawa o ruchu drogowym, testowanie pojazdów autonomicznych odbywa się na drogach publicznych. Obszarem testowym może stać się więc każda droga publiczna w razie wskazania takiego zapotrzebowania przez firmy. W 2019 r.

testy na autostradzie A4 planowała firma Aptiv, jednak z powodu braku odpowiedniej dokumentacji testy przełożono.

Własny obszar testowy posiada Instytut Kolejnictwa, który jest położony 5 km od **Żmigrodu** i 40 km od Wrocławia. Tor o długości

ponad 7 km umożliwia testy pociągów, jednak na razie nie odbywają się tam testy technologii autonomicznych. W ramach przygotowania do budowy Centralnego Portu Komunikacyjnego tor doświadczalny pod Żmigrodem ma zostać dostosowany do testowania kolei dużych prędkości.

Miejsce testowania autonomicznych technologii bezzałogowych statków powietrznych są wyznaczone obszary na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, wytyczone w ramach programu Centralnoeuropejski Demonstrator Dronów. Są one umiejscowione na terenie **Sławkowa** oraz gminy Rudziniec (CEDD, 2020). Wydzielono tam strefy lotnicze, w których można wykonywać operacje bez ryzyka kolizji z innymi typami użytkowników przestrzeni.

Obszar testowy wyposażono w infrastrukturę obejmującą system Luciad umożliwiający wizualizację terenu oraz stacje ADS-B, dzięki którym możliwa jest rejestracja i *tracking* BSP w systemie. Specyfika obszarów umożliwia testowanie różnych operacji lotniczych dla różnych zastosowań, zarówno do monitorowania, jak i transportu i telekomunikacji. Jest to kluczowy punkt na logistycznej mapie Polski za sprawą terminalu rozładunkowego, gdzie dociera wysunięta najdalej na zachód szerokotorowa trasa kolejowa (1520 mm) Europy. Do Sławkowa mogą docierać towary prosto z Azji, stąd też tak ważnym jest odpowiednie wykorzystanie potencjału tego miejsca do testowania i podjęcie przygotowań do wdrożenia różnych modeli biznesowych wykorzystujących drony.

4.3. Standaryzacja

Funkcjonowanie pojazdów autonomicznych i zapewnienie bezpieczeństwa ich użytkowania będzie wiązało się z przeprowadzeniem kompleksowej normalizacji obejmującej m.in. działanie urządzeń i systemów, a także ich cyberbezpieczeństwo. Przy założeniu równoległego występowania wielu producentów pojazdów autonomicznych (oraz komponentów do takich pojazdów) rysuje się potrzeba zapewnienia jednolitości miar i wymagań.

Metrologia pojazdów autonomicznych obejmuje wiele zagadnień, do których można zaliczyć weryfikację i zapewnienie wiarygodności, m.in.:

- pomiarów realizowanych przez wewnętrzne czujniki pojazdu autonomicznego w celu zapewnienia poprawności funkcjonowania, właściwej orientacji w przestrzeni, monitorowania odległości od przeszkód i innych obiektów w ruchu, bezpieczeństwa ruchu pojazdu,
- pomiarów parametrów ruchu pojazdu autonomicznego jako całości, obserwowanego

przez zewnętrzne systemy pomiarowe (realizowane poza pojazdem autonomicznym podczas testów oraz w trakcie użytkowania w celu zewnętrznego monitorowania bezpieczeństwa i poprawności jego funkcjonowania),

- pomiarów realizowanych przez zewnętrzne systemy wspomagające monitorujące środowisko i przestrzeń, w której porusza się pojazd autonomiczny (warunki pogodowe, natężenie ruchu, widoczność, etc.),
- synchronizacji i monitorowania położenia pojedynczych pojazdów autonomicznych, pojazdów autonomicznych poruszających się w zwartej grupie oraz parametrów ich ruchu,
- pomiarów realizowanych przez dodatkowe urządzenia i systemy zainstalowane w pojeździe autonomicznym, w przypadku gdy pojazd autonomiczny służy jako środek transportu dla tych urządzeń lub systemów pomiarowych przez ułatwienie, czy poszerzenie dostępu do mierzonego obiektu

oraz przyspieszenie realizacji pomiarów (np. skanowanie terenu, dynamiczny monitoring jakości powietrza).

Wszystkie pomiary powinny mieć zapewnianą spójność pomiarową, czyli odniesienie do wzorców jednostek miar, przy czym powinny być realizowane w trybie dynamicznym w systemach RTC (*real time controls*, systemy czasu rzeczywistego) na poziomie dokładności niezbędnym do zapewnienia bezpieczeństwa. Należy również brać pod uwagę duży stopień skomplikowania algorytmów, które będą przetwarzały dane pomiarowe, a także bezpieczeństwo przepływu i przetwarzania danych, zarówno między elementami sterującymi pojazdów autonomicznych, jak również między tymi pojazdami a komputerowymi systemami wspierającymi. Innym krytycznym aspektem dla bezpieczeństwa ruchu tych pojazdów jest niezawodność oprogramowania.

Obecnie elementy pojazdów, jak i całe pojazdy, podlegają homologacji, można więc przypuszczać, że wymagania prawne postawione pojazdom autonomicznym wymuszą dodatkową **certyfikację** co najmniej niektórych ich podzespołów (w odniesieniu do bezzałogowych systemów powietrznych istnieją już odpowiednie regulacje na poziomie wspólnotowym).

Dodatkowym elementem związanym z certyfikacją jest **nadzór rynku wyrobów wprowadzonych do użytkowania**, który obecnie nie obejmuje pojazdów lub elementów pojazdów autonomicznych. Celem nadzoru rynku jest zapewnianie, aby wyroby spełniały obowiązujące wymagania, przyczyniając się do wysokiego poziomu ochrony interesów publicznych, a jednocześnie zagwarantowanie, że swobodny przepływ wyrobów nie jest ograniczony w większym stopniu niż przewidziany w unijnym prawodawstwie.

4.4. Przychyłność opinii społecznej

Już teraz możliwa jest automatyzacja w lotnictwie. Piloci manualnie sterują samolotem przez stosunkowo krótki fragment lotu, a zdecydowana większość ich zadań (np. komunikacja z kontrolą ruchu lotniczego czy standardowa nawigacja) teoretycznie mogłaby zostać zautomatyzowana. A jednak, mimo wysokich kosztów wynagrodzeń, linie lotnicze nadal zatrudniają dwuosobowe zespoły pilotów w każdym rejsie. Czynnikiem hamującym automatyzację ich pracy są poważne obawy pasażerów przed podróżowaniem samolotem sterowanym automatycznie. **Według amerykańskich badań, tylko 15 proc. pasażerów czułoby się komfortowo lecąc samolotem bez pilota.** Dwóch na trzech podróżnych do lotu automatycznym samolotem nie przekonałyby nawet bilety tańsze o 30 proc. Jedynie 19 proc. badanych uważa, że lotnictwo może zostać zautomatyzowane, choć

jednocześnie 82 proc. dostrzega potencjał automatyzacji w transporcie kolejowym, a 43 proc. w transporcie drogowym (IPSOS, 2018).

Nawet najlepsza technologia nie zadziała, jeśli nie wzbudzi zaufania u swoich potencjalnych odbiorców i użytkowników. Chociaż prawie połowa amerykańskich respondentów wierzy w to, że transport drogowy może zostać zautomatyzowany, 71 proc. osób w innym badaniu zadeklarowało obawy związane z tym zjawiskiem, a tylko 19 proc. zadeklarowało, że nie miałyby problemu z autonomiczną przejażdżką bliskich im osób. Obawy wzrosły po pierwszych wypadkach z udziałem pojazdów autonomicznych Tesli, które wydarzyły się w 2018 i na początku 2019 r. (AAA, 2019). Po zapytaniu na temat bardziej specyficznych zastosowań autonomicznych pojazdów, takich jak powolne mikrobusy przewożące ludzi, akceptacja wzrosła

do 53 proc. Dane Eurobarometru z 2017 r. wskazują, że 52-63 proc. Europejczyków czułoby się niekomfortowo jadąc pojazdem autonomicznym (Komisja Europejska, 2019). Bardziej otwarte na takie doznania są osoby młode (szczególnie mężczyźni) z większych metropolii.

W Wielkiej Brytanii Ministerstwo Transportu (Department for Transport, 2019) przeprowadziło w 2018 r. pogłębione badania postaw związanych z samochodami autonomicznymi. Dłuższe rozmowy moderatorów z uczestnikami pozwoliły poznać obawy i nadzieje związane z upowszechnianiem technologii autonomicznych na drogach. Większość uczestników podzielała przekonanie o nieuchronności autonomizacji, a obawy dotyczyły m.in. współdzielonych modeli użytkowania – uniemożliwiających korzystanie z własnego pojazdu kiedy ma się ochotę, a także bezpieczeństwa systemu autonomicznego ruchu. Ważna jest niezawodność autonomicznego samochodu niezależnie od warunków na jezdni, ale także możliwość przejęcia kontroli nad pojazdem w razie zmiany zdania.

W Polsce informacji na temat nastawienia opinii publicznej do autonomicznego transportu ma dostarczyć realizacja projektu „PL-AV-ROAD”. Odpowiedzi na pytanie dotyczące społecznego odbioru pojazdów autonomicznych możemy szukać w badaniu Kantar TNS z grudnia 2018 r.⁴ **58 proc. ankietowanych spodziewa się pojawienia się na ulicach miast pojazdów autonomicznych w ciągu najbliższych 15 lat, a 11 proc. uważa, że nastąpi to maksymalnie za 5 lat.** W badaniu, gdzie pytano respondentów o to z jakich nowych technologii chcieliby skorzystać autonomiczne autobusy miejskie zostały wskazane przez 29 proc. osób i uplasowały się na ostatnim miejscu spośród różnych nowych technologii (Digital Poland, 2019).

W odniesieniu do bezzałogowych statków powietrznych i rozwoju autonomii pod koniec roku 2019 badania przeprowadziła na swoim terenie Górnośląsko – Zagłębiowska Metropolia. Wyniki wykazały bardzo pozytywne nastawienie ankietowanych do rozwoju zastosowań dronów autonomicznych.



⁴ Badanie na zlecenie Renault Polska w ramach projektu „Renault Easy City. Design the Future”.

5. Korzyści i koszty transportu autonomicznego

Dalszy rozwój autonomicznego transportu będzie związany z dużymi zmianami społecznymi i gospodarczymi, m.in. w trzech kluczowych obszarach: ograniczenie kosztów pracy dla firm, wzrost poziomu bezpieczeństwa transportu oraz poprawa efektywności, która przyniesie spadek jednostkowych emisji i tym samym wygeneruje dodatkowe korzyści środowiskowe. Równocześnie jednak automatyzacja

wymaga poważnych inwestycji (poza nakładami na sam rozwój technologii) związanych z budową infrastruktury przystosowanej do nowego typu pojazdów, a także może oznaczać konieczność zmiany pracy dla części osób zatrudnionych w branży. W poniższym rozdziale opisaliśmy potencjalne korzyści związane z autonomizacją a także koszty konieczne do podjęcia w celu rozwinięcia systemów autonomii drogowej.

5.1. Oszczędności związane z poprawą bezpieczeństwa ruchu drogowego

Jednym z podstawowych założeń automatyzacji ruchu pojazdów jest doprowadzenie do poprawy bezpieczeństwa na drogach. Poza bezcennym charakterem ludzkiego życia, działania na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego mają też konkretny wymiar finansowy. W 2018 r. wypadki

drogowe w Polsce kosztowały łącznie 44,9 mld PLN, a kolizje drogowe – kolejne 11,7 mld PLN (KRBRD, 2019). Łącznie koszty te stanowiły 2,7 proc. polskiego PKB. W 2018 r. doszło w Polsce do prawie 32 tys. wypadków drogowych, w których zginęło 2862 osób oraz ponad 436 tys. kolizji drogowych.

» **Tabela 2.** Koszty wypadków i kolizji drogowych w Polsce w 2018 r.

Typ wydatków	Koszt
Utrzymanie i praca jednostek operacyjnych (np. policji, straży) w związku z wypadkami i kolizjami	8,9 mld PLN
Hospitalizacja ofiar wypadków	0,3 mld PLN
Postępowania karne	0,4 mld PLN
Rekompensaty wraz z wypłatą odszkodowań	1,8 mld PLN
Straty materialne	12,1 mld PLN
Straty gospodarcze (w tym koszty utraconej produkcji w wyniku przedwczesnej śmierci lub niezdolności do pracy ofiar wypadków)	32,9 mld PLN
Pozostałe	0,2 mld PLN

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych KRBRD (2019).

Potencjalne oszczędności w przypadku eliminacji wypadków i kolizji drogowych wynoszą więc ponad 50 mld PLN rocznie. Według wyliczeń amerykańskiego biura Roland Berger (2016) w 2040 r. liczba wypadków z udziałem ciężarówek może być o 90 proc. niższa dzięki zastosowaniu rozwiązań automatycznych w odniesieniu do scenariusza bez takich rozwiązań. Automatyzacja ma bowiem pozwolić na niemal całkowite wyeliminowanie wypadków związanych z wystąpieniem błędu ludzkiego w ruchu ciężarówek. W 2000 r. liczba takich wypadków w Stanach wynosiła 222 na 100 mln pojazdów (jednostka oznacza jedną milę przejechaną przez jeden pojazd), natomiast w 2040 r. ma wynieść zaledwie 8 – mimo znacznego prognozowanego wzrostu pracy przewozowej. W odniesieniu do danych z 2018 r., można szacować, że zmniejszenie liczby wypadków powodowanych przez ciężarówkę w Polsce o 90 proc. przełożyłoby się **na oszczędności o co najmniej 3,6-4,9 mld PLN** (Komenda Główna Policji, 2019)⁵.

Dane dot. odsetka wypadków do wyeliminowania w związku z automatyzacją transportu opierają się na raporcie amerykańskiej Narodowej Agencji ds. Bezpieczeństwa Drogowego, w którym wykazano, że właśnie 90 proc. wypadków drogowych w USA związane było z wystąpieniem błędu ludzkiego (NHTSA, 2008). Autonomizacja pojazdów ciężarowych ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego z uwagi na to, że w wypadkach z ich udziałem ginie dużo osób (w 2018 r. kierowcy pojazdów ciężarowych spowodowali 8,1 proc. wszystkich wypadków w Polsce, ale zginęło w nich 10,9 proc. wszystkich ofiar) (Komenda Główna Policji, 2019).

Już stosunkowo niewielkie innowacje z zakresu automatyzacji transportu mogą mieć istotne przełożenie na liczbę i koszty wypadków drogowych. Wprowadzenie obowiązkowego

eCall, czyli automatycznego systemu powiadamiającego służby ratunkowe w momencie wypadku, może zmniejszyć liczbę ofiar wypadków drogowych o 4-8 proc., choć według niektórych badań może to być nawet 15 proc. (Ministry of Transport and Communications Finland, 2006). W 2018 r. koszty związane ze śmiercią ofiar wypadków drogowych w Polsce wyniosły 6,8 mld PLN – całkowite wdrożenie automatycznego systemu *eCall* mogłoby je zatem obniżyć o **270-1 020 mln PLN rocznie** (Ministerstwo Cyfryzacji, 2019). System od 1 kwietnia 2018 r. jest obowiązkowy we wszystkich nowych pojazdach osobowych i dostawczych do 3,5 tony, choć niektórzy producenci montowali te urządzenia w samochodach już wcześniej. W 2018 r. w Polsce zarejestrowano 264 powiadomienia za pomocą systemu *eCall* (w tym 34 przed kwietniem) (MSWiA, 2019), nie ma jednak danych o wpływie działania systemu na skutki tych zdarzeń drogowych. Statystycznie w 2018 r. w Polsce na 1000 zdarzeń drogowych (wypadków i kolizji) ginęło ponad 6 osób; teoretycznie w 264 zdarzeniach mogły zatem zginąć 2 osoby – uniknięcie tylko tych dwóch śmierci mogłoby **zaoszczędzić Polsce 4,5 mln PLN rocznie**.

Wzrost poziomu bezpieczeństwa oznacza dla firm z sektora transportu także spadek kosztów ubezpieczeń. Jest to kwota znacznie niższa niż całkowite koszty wypadków, ale w obliczu niskiej rentowności firm transportowych, może mieć istotne znaczenie. Według analizy Roland Berger, w warunkach amerykańskich ubezpieczenie pojazdów autonomicznych może być tańsze o 7 centów na przejechaną milę (Roland Berger, 2016). Według innych źródeł **koszt ubezpieczenia pojazdu autonomicznego będzie o połowę niższy** niż pojazdu z kierowcą (Bösch i in., 2018). Inne źródła szacują spadek o 21-40 proc. (Bank of England, 2017).

⁵ Wartość obliczona na podstawie proporcjonalnego udziału wypadków i liczby ofiar w wypadkach spowodowanych przez pojazdy ciężarowe wg Komendy Głównej Policji za 2018 r.

▼ **Tabela 3.** Potencjalne oszczędności związane z automatyzacją transportu w branży logistycznej

Wyszczególnienie	Wartość w 2017 r.	Potencjał oszczędności	Oszczędności (rocznie)
Wynagrodzenia wraz ze świadczeniami w sektorze transportu	20 mld PLN ⁶	do 10 proc. do 2040 r.	2 mld PLN
Zużycie materiałów (bez energii), w tym głównie paliwo	8,7 mld PLN	do 5 proc.	400 mln PLN
Zużycie benzyny i oleju napędowego	25,6 mld m ³	do 5 proc.	1,3 mld m ³
Koszty wypadków drogowych	ok. 4,2 mld PLN rocznie (2018 r.)	do 90 proc. w perspektywie do 2040 r.	3,8 mld PLN

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych: GUS (2019); Roland Berger (2016).

5.2. Oszczędności związane z optymalizacją pracy

Koszty pracy stanowią obecnie ok. 20 proc. wydatków polskich przedsiębiorstw transportowych (GUS, 2019a). Znaczna część tych wydatków przypada na kierowców, a ich udział w całkowitej strukturze kosztów rośnie – wynika to przede wszystkim z rosnących wynagrodzeń oraz niedoboru kierowców, dodatkowo też inflacji przyspieszającej wzrost płac. W docelowym kształcie automatyzacja może pozwolić nawet całkowicie wyeliminować te koszty, ponieważ stanowiska kierowcy czy maszynisty nie będą już potrzebne.

Oszczędności byłyby szczególnie odczuwalne w sektorze transportu drogowego, w Polsce zdecydowanie dominującego w strukturze przewozów towarów – w 2018 r. miał 81 proc. udziału pod względem przewozów tonokilometrów (GUS, 2019b). Przyjmując wydatki na wynagrodzenia podawane przez GUS (2019a) dla 2017 r. w branży transportu drogowego,

automatyzacja może przynieść ok. **2 mld PLN oszczędności** rocznie dla firm w perspektywie do 2040 r. Koszty pracy to też istotny czynnik ryzyka w innych gałęziach transportu, gdzie również mają one dwucyfrowy udział w całkowitej strukturze wydatków.

Całkowita automatyzacja zawodu kierowcy, pilota czy maszynisty (rozumiana jako możliwość rezygnacji z zatrudniania takiej osoby, a nie tylko przejęcie dużej części obowiązków przez system automatyczny, ale z pracownikiem wciąż obecnym w kabinie) to scenariusz nieosiągalny w dającej się przewidzieć przyszłości. **W przypadku kierowców ciężarówek do 2040 r. automatyzacja pozwoli na obniżenie zapotrzebowania na kierowców jedynie o 10 proc. w stosunku do scenariusza bez automatyzacji** (Roland Berger, 2016), jednak nawet na etapach przejściowych automatyzacja może doprowadzić do stopniowego spadku wydatków. Polskie

⁶ Oficjalne dane GUS (2019a) za 2017 r. wykazują sumę 10 mld PLN przeznaczaną na wynagrodzenia i świadczenia pracownicze w firmach transportowych zatrudniających powyżej 9 pracowników. Zgodnie z danymi branży cytowanymi przez PWC (2016), kierowców pracuje ok. 600-650 tys. Oznacza to, że około połowa pracowników zatrudnionych jest przez mikrofirmy. W tej analizie założyliśmy, że otrzymują oni średnio takie samo wynagrodzenie.

firmy transportu drogowego mają bardzo niskie marże netto, nieprzekraczające 5 proc. (Deloitte, 2015), więc dla wielu z nich nawet częściowa redukcja kosztów pracy może oznaczać różnicę między zyskiem a stratą.

Z drugiej jednak strony niska rentowność polskich firm logistycznych utrudnia inwestycje w kosztowne nowe technologie. Automatyzacja może zatem doprowadzić do konsolidacji bardzo rozdrobnionego rynku – w 2017 r. spośród prawie 35 tys. działających na polskim rynku przedsiębiorstw z licencjami na przewóz dóbr, 87 proc. posiadało 10 lub mniej pojazdów (GITD, 2019). Duże firmy, dysponujące większym kapitałem i zdolnością kredytową, będą mogły zainwestować w autonomizację, co zwiększy ich przewagę kosztową nad małymi firmami, które będą musiały albo wyspecjalizować się w niszowym przewozach niepodlegających autonomizacji (np. z uwagi na brak infrastruktury) lub zniknąć z rynku.

Trudno mierzalnym, ale istotnym dla branży logistycznej aspektem nawet częściowej automatyzacji jest zwiększenie atrakcyjności pracy, szczególnie kierowców. Większość rozwiązań automatyzujących jazdę podnosi komfort pracy i równocześnie zmniejsza odpowiedzialność oraz stres kierowcy. W stosunkowo nieodległej przyszłości prawdopodobne jest wprowadzenie możliwości pracy zdalnej, czyli sterowania ciężarówką za pomocą pulpitu znajdującego się w biurze. Ograniczyłyby to jedną z największych niedogodności tego zawodu, czyli częste wyjazdy i długotrwałe pobyty poza domem. To mogłoby przyciągnąć nowych kandydatów do pracy. Już w 2015 r. w organizacja branżowa Transport i Logistyka Polska szacowała braki kierowców na ponad 100 tys. osób, opierając się na deklaracjach firm (PWC, 2016). Sektor zgłasza

zapotrzebowanie na ponad 20 proc. kierowców więcej niż jest w stanie obecnie zatrudnić. Jednocześnie wg danych GUS, w branży na koniec drugiego kwartału 2019 r. występowało ok. 11 tys. wakujących stanowisk. Do myślenia dają też dane dot. uprawnień do prowadzenia pojazdów ciężarowych z przyczepą (prawo jazdy C+E) – 29 proc. osób przekroczyło wiek emerytalny, a kolejne 21 proc. jest w wieku przedemerytalnym (56-64 lata) (CEPiK, 2019)⁷.

Wzrost atrakcyjności połączony z przynajmniej częściowym zmniejszeniem zapotrzebowania na kierowców ograniczy skalę niedoboru pracowników i tym samym nie tyle przyniesie oszczędności, co umożliwi dalszy rozwój sektora i **zapobiegnie powstaniu kosztów utraczonych możliwości**. Jednodniowy postój pojazdu ciężarowego oznacza koszt (faktyczny oraz utraconych możliwości) na poziomie 650 EUR (PWC, 2016). Przyjmując, że automatyzacja pozwoli załatać 20-procentową lukę w liczbie kierowców w sektorze transportu drogowego, **przychody tego sektora mogą wzrosnąć nawet o ok. 30 mld PLN rocznie** (PWC, 2016).

Warto zwrócić uwagę, że automatyzacja – przekładająca się wprost na zmniejszenie udziału kosztów pracy w całkowitych wydatkach przedsiębiorstw transportowych – to dla polskich firm nie tylko szansa, ale i zagrożenie. Obecnie niskie koszty pracy są jedną z najważniejszych przyczyn dominacji polskich przedsiębiorstw transportowych (oraz innych z regionu Europy Środkowo-Wschodniej) na rynku europejskim – na rynku tym trudno wyróżnić się jakością, a koszty paliwa są zbliżone dla przedsiębiorstw z całej wspólnoty (choć nieco niższe w Europie Środkowo-Wschodniej). Przykładowo kierowca ciężarówki zatrudniony przez polską firmę zarabia, po uwzględnieniu wszystkich diet

⁷ Dane z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców, stan na 31.12.2018 r. Na tak dużą liczbę osób 56+ posiadających prawo jazdy kat. C+E wpływa fakt uzyskania przez wielu osób uprawnień w trakcie służby wojskowej w czasach PRL.

i dodatków pozapłacowych, o ponad 50 proc. mniej niż pracownicy firm francuskich czy niemieckich – 19,8 tys. EUR wobec 45-55 tys. EUR (Comité National Routier, 2016).

Biorąc pod uwagę, że polscy kierowcy pracują dłużej niż ci z Europy Zachodniej, godzinowy koszt zatrudnienia kierowcy w Polsce może być nawet trzykrotnie niższy niż w najdroższych pod tym względem krajach, takich jak Francja

czy Belgia – w Polsce to 10 EUR za godzinę pracy, we Francji prawie 30 EUR (Comité National Routier, 2016). W ramach postępującej automatyzacji koszty pracy będą traciły na znaczeniu na rzecz innych przewag konkurencyjnych. Może to z jednej strony osłabić polskie firmy, ale z drugiej będzie dla nich impulsem do szukania nowych przewag konkurencyjnych i wyrwania się z pułapki średniego rozwoju.

» **Tabela 4. Koszty pracy kierowców w wybranych krajach w transporcie międzynarodowym w 2016 r.**

Kraj pracy kierowcy	Roczne wynagrodzenie (pensja i dodatki, w tys. EUR)	Godziny pracy roczne	Koszt godziny pracy (w EUR)
Belgia	55,8	1 672	33,4
Francja	45,8	1 540	29,8
Włochy	51,2	1 820	28,1
Niemcy (zachodnie landy)	45,4	1 806	25,1
Polska	19,8	1 980	10,0
Rumunia	17,9	1 980	9,0
Bułgaria	15,8	1 980	8,0
Litwa	18,0	2 025	8,9

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: Comité National Routier (2016).

Wprowadzenie autonomicznych pojazdów na dużą skalę w transporcie dalekodystansowym jest kwestią długoterminową. W krótszym terminie realne jest wykorzystanie automatyzacji do stworzenia **modelu pracy zmianowej, określanej jako pony-express model**. W takim modelu nowoczesne technologie umożliwiają zaplanowanie pracy kierowcy tak, aby czas jego pracy kończył się na parkingu, na którym czeka już kierowca, który zakończył odpoczynek i może przejąć ciężarówkę bez powodowania przerwy w transporcie. Jest to model oparty na

automatyzacji nie tyle samej jazdy, co procesów zarządzania i przenoszący rozwiązania znane z ekonomii współdzielenia.

Na kolejnym etapie automatyzacji możliwe będzie połączenie transportu autonomicznego w transporcie międzymiastowym (np. po odpowiednio przystosowanych autostradach) i konwencjonalnego w obrębie miast. Oszczędności z tego tytułu są trudne do oszacowania. Obecnie kierowca zatrudniony przez polską firmę pracuje przeciętnie 1980 godzin rocznie, czyli przez 22,6 proc. roku. Całkowita automatyzacja nie

oznaczałaby oczywiście możliwości jazdy przez 24 godziny na dobę przez cały rok (ograniczona byłaby koniecznością załadunku i wyładunku, napraw czy zakazami ruchu), ale pozwoliłaby na istotne zwiększenie produktywności pojazdu i tym samym obniżenie kosztów jednostkowych przewozu.

Pomijając praktyczne ograniczenia związane z organizacją przewozu, przepisy ograniczają obecnie czas pracy kierowcy do 56 godzin tygodniowo (90 godzin w ciągu dwóch tygodni). Teoretycznie ciężarówka autonomiczna nie wymagałaby postojów na odpoczynek. Nieznacznie skróciłby się też czas przejazdu z powodu lepszego dostosowania trasy i prędkości do warunków drogowych. Marginalną korzyścią byłoby też

zredukowanie czasu potrzebnego na tankowanie z uwagi na poprawę ekonomiki jazdy (jednak już teraz pojazdy ciężarowe posiadają zbiorniki na paliwo o całkowitej pojemności do 1500 litrów, co przy przeciętnym spalaniu na poziomie 35 litrów na 100 km (Transport and Environment, 2015), oznacza konieczność tankowania jedynie co 4,2 tys. kilometrów). Większa liczba godzin w ruchu mogłaby spowodować skrócenie żywotności pojazdów oraz czasu między przeglądami, jednak ten negatywny wpływ będzie kompensowany innymi usprawnieniami i zmianami technologicznymi – przykładowo silniki elektryczne wymagają znacznie rzadszych przeglądów niż spalinowe, a automatyzacja ruchu będzie zapewne wiązała się też z jego elektryfikacją.

▼ **Tabela 5. Czas jazdy samochodu ciężarowego autonomicznego w porównaniu do konwencjonalnego**

Wyszczególnienie	Kierowca	Maksimum dla pojazdu autonomicznego	Zysk
Tygodniowy czas pracy	56 godzin (90 godzin w ciągu dwóch kolejnych tygodni)	168 godzin w ciągu tygodnia	300 proc.
Dzienny czas pracy	9-10 godzin	24 godziny	240-267 proc.

Uwaga: w przykładzie nie uwzględniono czasu potrzebnego na załadunek i wyładunek towaru.

Źródło: opracowanie własne PIE.

W kontekście miejskiego i regionalnego transportu publicznego automatyzacja oznaczałaby znaczne zmniejszenie wydatków na jego organizację. Mimo większych kosztów kapitałowych w stosunku do pojazdów konwencjonalnych, dzięki ograniczeniu kosztów pracy, utrzymania i ubezpieczenia autobusów autonomicznych całkowite koszty ich funkcjonowania mogłyby spaść nawet o 55 proc. w stosunku

do pojazdów z kierowcami. Przyjmując podobny wskaźnik dla innych rodzajów transportu miejskiego, w samej tylko Warszawie mogłoby to przynieść **oszczędności ok. 600 mln PLN rocznie⁸**.

Automatyzacja jest stosowana już na szeroką skalę w transporcie szynowym, co również przekłada się na wymierne oszczędności. W przypadku systemów metra, wprowadzenie

⁸ Szacunek na podstawie nakładów na transport autobusowy wynoszących 1,1 mld PLN w 2019 r.

pociągów autonomicznych pozwala na redukcję kosztów operacyjnych o 30 proc., ułatwia rozwój sieci bez konieczności szkolenia dodatkowych motorniczych, daje możliwość zwiększenia liczby kursów pociągów, a do tego zwiększa pojemność pociągów nawet o 6 proc. dzięki likwidacji kabin maszynistów (Wang i in., 2016). Biorąc pod uwagę ten wskaźnik, w warszawskim metrze można stworzyć ponad **72-86 dodatkowych miejsc** stojących w zależności od modelu pociągu, co w godzinach szczytu pozwoliłoby przewieźć na trasie Metra M1 nawet **2000 więcej pasażerów co godzinę**⁹. Autonomiczne pociągi metra mogą do tego jeździć z większą częstotliwością, zużywają o jedną trzecią mniej energii dzięki bardziej optymalnej prędkości, a równocześnie mają lepsze wskaźniki punktualności.

Automatyzacja może docelowo przynieść także duże oszczędności oraz możliwości rozwoju branży lotniczej, która podobnie jak transport drogowy, zmaga się z niedoborami pilotów. W ciągu najbliższych 20 lat, branża lotnicza będzie potrzebowała ok. 800 tys. nowych pilotów – w samej Europie zapotrzebowanie ma wynieść prawie 150 tys. (Boeing, 2019). Z uwagi na koszt i czasochłonność wyszkolenia nowych pilotów,

branża postrzega obecnie ten niedobór za jedno z największych wyzwań. Koszty pracy w branży lotniczej stanowią ponad jedną piątą wszystkich wydatków (Bryan, 2018), choć stosunkowo niewielka część tej sumy przypada na pilotów. Potencjał jest więc na oszczędności rzędu kilku procent – z uwagi na skalę wydatków w tej branży, będą to jednak **kwoty rzędu kilkudziesięciu milionów rocznie** dla dużych firm. Z uwagi na to, że dwie największe polskie linie lotnicze (PLL LOT i Enter Air) raportują wydatki na wynagrodzenia jedynie pracowników etatowych, a nie osób pracujących dla nich w inny sposób, trudno oszacować całkowity udział kosztów pracy w ich wydatkach. Największy regionalny rywal, Lufthansa Group, w 2018 r. wydała na wynagrodzenia 8,8 mld EUR, czyli prawie 25 proc. całkowitych kosztów.

Obecnie największą barierą dla automatyzacji lotnictwa nie jest technologia, a opinia publiczna i obawy wiążące się z lotem maszyną bez pilota (patrz rozdział 4.4.). W obszarze przestrzeni powietrznej automatyzacja związana jest jednak także z bezałogowymi statkami powietrznymi, czyli dronami, które mogą przenosić nieduże towary. Globalna wartość branży w 2026 r. jest szacowana na ponad 6 mld USD (PIE, 2019a).

5.3. Oszczędności związane z poprawą efektywności i zmniejszeniem emisji CO₂

Pod względem zużycia paliwa i powiązanych z tym emisji, pojazdy autonomiczne są preferowane w stosunku do pojazdów z kierowcami przede wszystkim z uwagi na lepsze umiejętności przewidywania i reagowania na zdarzenia w ruchu (np. hamowanie w odpowiedniej odległości od światła, ekonomiczne przyspieszanie itp.). **Stopniowa automatyzacja już do 2020 r. może wpłynąć na zmniejszenie zużycia paliwa w drogowym transporcie dóbr o 5 proc. w stosunku do scenariusza**

bez automatyzacji. Do 2040 r. oszczędności te mogą wynieść 10 proc. (Roland Berger, 2016). Według innych badań, nawet częściowo zautomatyzowane pojazdy osobowe mogą realnie obniżyć zużycie paliwa o 20-30 proc. (Pourabdollah i in., 2017). Koszty paliwa stanowią obecnie nawet 40 proc. wydatków w transporcie drogowym (Zimon, 2015), więc zmniejszenie ich nawet o kilka proc. przełoży się wymiennie na kondycję firm w tym sektorze. Przyjmując najniższą skalę oszczędności rzędu

⁹ Obliczenia własne przy częstotliwości pociągów jeżdżących co 2,5 minuty.

5 proc., przedsiębiorstwa transportu drogowego mogłyby **oszczędzić ponad 400 mln PLN rocznie na kosztach paliwa**¹⁰.

Biorąc pod uwagę, że w 2015 r. koszty zewnętrzne samych emisji zanieczyszczeń

z pojazdów samochodowych były szacowane na 32,2 mld PLN, redukcja spalania o 5 proc. oznaczałaby nawet **1,6 mld PLN korzyści rocznie dla społeczeństwa (GUS, 2019c)**.

➤ **Tabela 6.** Szacunkowe koszty zewnętrzne związane z emisją spalin rocznie

Wyszczególnienie	NO _x	CO	PM _{2,5}	PM ₁₀
Ogółem	16,1 mld PLN	8,4 mld PLN	4,2 mld PLN	3,2 mld PLN
Na pojazd – ogółem	759 PLN	406 PLN	204 PLN	152 PLN
Udział w kosztach emisji – samochody osobowe	39 proc.	61 proc.	52 proc.	52 proc.
Udział w kosztach emisji – samochody ciężarowe	38 proc.	23 proc.	25 proc.	24 proc.
Udział w kosztach emisji – autobusy i autokary	9 proc.	5 proc.	5 proc.	5 proc.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych GUS (2019c).

Używanie samochodów autonomicznych, które w pełni zrealizują możliwe oszczędności, nie nastąpi w najbliższych kilku latach. Jednak prawdopodobne jest wdrożenie rozwiązań opartych na automatyzacji, takich jak *platooning*, czyli zestawianie konwojów z pojazdów ciężarowych na tej samej trasie. Dzięki temu znacznie spada zużycie paliwa i emisje (bo pojazdy korzystają ze śladu aerodynamicznego). Całkowite wdrożenie *platooningu* daje szansę na **zmniejszenie zużycia paliwa przez samochody ciężarowe o 4 proc.** (Muratori i in., 2017), **a emisji dwutlenku węgla o 10 proc.** Samochody ciężarowe odpowiadają obecnie za istotną część kosztów zewnętrznych emisji – w 2015 r. było to prawie 10 mld PLN (GUS,

2019c). Około dwóch trzecich emisji powstaje na autostradach i drogach ekspresowych, co oznacza, że wprowadzenie platooningu tylko na tych odcinkach mogłoby zmniejszyć **koszty emisji o ponad 600 mln PLN rocznie**.

Automatyzacja daje też znaczne możliwości oszczędności związanych z zarządzaniem flotą. Nie chodzi tu o automatyzację pracy kierowców, lecz procesów. Jednym z nich jest tzw. *predictive maintenance*, czyli wykorzystywanie automatyzacji (w tym *big data*) do przeprowadzania napraw pojazdów zanim usterka wyłączy je z użytkowania. Choć oszczędności z tego tytułu są bardzo trudne do oszacowania, w niektórych firmach mogą sięgać nawet 30 proc. (Park, 2018).

¹⁰ Szacunek na podstawie wydatków na „zużycie materiałów i energii” w sektorze transportu w 2017 r. (GUS, 2019a).

5.4. Korzyści dla gospodarki

Automatyzacja transportu postępuje, ale nadal kwestią otwartą pozostaje to jakie kraje i firmy będą czerpały z niej największe korzyści, a które będą tylko kupowały cudze technologie. Wymienione w tym raporcie przykłady pokazują, że największe firmy świata inwestują w rozwój autonomicznego transportu, jednak nadal nie są jasne standardy, według których będzie funkcjonowała branża. Kiedy to nastąpi osiągnięcie gospodarczych sukcesów na polu rozwiązań autonomicznych będzie znacznie trudniejsze niż obecnie.

Potencjalne korzyści gospodarcze z rozwoju technologii autonomicznych można rozpatrywać na trzech płaszczyznach:

1. Poprawy efektywności istniejących gałęzi przemysłu przy wykorzystaniu nowych technologii.
2. Wyształcenia nowych modeli biznesowych przy wykorzystaniu nowych autonomicznych technologii.
3. Rozwoju nowych gałęzi przemysłu zdolnych do eksportu technologii autonomicznych.

Pierwszy aspekt, po części omówiony w poprzednich podrozdziałach, dotyczy głównie oszczędności związanych z obniżaniem kosztów pracowniczych, lepszym planowaniem działań w obszarze transportu, oszczędnością surowców. Drugi i trzeci aspekt to nowe efekty gospodarcze wynikające z rozwoju technologii, co omówimy poniżej.

Należy w tym miejscu podkreślić, że technologie autonomiczne mogą stanowić zagrożenie polegające na osłabieniu znaczenia polskich firm opierających się na niskich kosztach pracy w branży logistycznej (patrz rozdział 5.2) oraz innych przedsiębiorstw narażonych na utratę konkurencyjności w wyniku zapóźnienia technologicznego. Dlatego też rozwój technologii autonomicznych dla wielu branż stanowi konieczność w celu

kontynuowania działalności w zmieniającym się otoczeniu gospodarczym.

Wyształcenie nowych modeli biznesowych

We współczesnej gospodarce nie ma potrzeby wytwarzania urządzeń i technologii, żeby bazując na nich tworzyć innowacyjne przedsiębiorstwa. Dlatego też upowszechnienie się autonomicznych środków transportu może stanowić podstawę do stworzenia nowych modeli biznesowych. W przestrzeni miejskiej wykorzystywanymi środkami transportu mogą być samochody i drony, potrafiące docierać w różne miejsca. W przypadku kolei i statków trudno wyobrazić sobie zastosowania biznesowe na masową skalę.

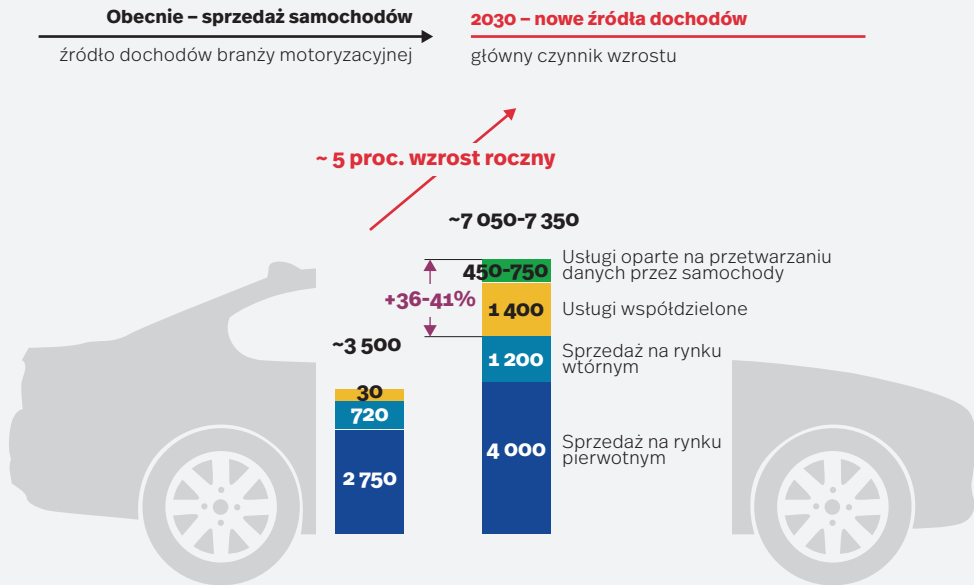
Wykorzystanie środków transportu może dotyczyć osób i towarów, organizowanego w sposób inny niż do tej pory (współdzielenie urządzeń, nowy typ usług taksówkarskich lub kurierskich). Jeszcze ciekawsze są jednak modele biznesowe oparte na pozyskiwaniu i analizie danych pochodzących z urządzeń (o tym jak ważną rolę w rozwoju transportu autonomicznego odgrywa analiza danych pisaliśmy w rozdziale 3.3). Przytoczona już estymacja dotyczy wartości rynku danych samochodów **od 450 do 750 mld USD w 2030 r.** (McKinsey, 2016). Pozyskiwanie danych dot. zachowań kierowców i warunków na drodze jest konieczne do rozwoju systemów autopilota. Duża część tych danych prezentuje także wartość sama w sobie jako zbiór informacji o kierowcy pojeździe. Na jej podstawie, podobnie jak w przypadku danych zbieranych przez smartfony i komputery, firmy mogą dostarczać klientom dopasowane usługi.

Upowszechnienie inteligentnych środków transportu stanowi przestrzeń dla nowych firm, zajmujących się analizowaniem danych

i dostarczaniem usług cyfrowych opierających się na dokładnym dopasowaniu do potrzeb odbiorcy. Warto pamiętać, że pasażerowie autonomicznych środków transportu w czasie podróży będą mogli skupiać uwagę na rozrywce lub pracy, nie musząc śledzić na bieżąco sytuacji

na drodze – nawet jeśli będą w aucie sami. Można wyobrazić więc sobie wykształcenie nowego typu usługi cyfrowej opartej na połączeniu inteligentnej nawigacji pokładowej z rozrywką – np. przekazującej informacje o otoczeniu i docelowym miejscu podróży.

➤ **Rysunek 9.** Rosnąca wartość danych zbieranych przez samochody.



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: McKinsey (2016).

Rozwój nowych gałęzi przemysłu

Trzeci obszar potencjalnych korzyści z rozwoju transportu autonomicznego wiąże się z przemysłową produkcją rozwiązań dla nowych urządzeń. Aby rozumieć jak ważną branżą dla polskiej gospodarki jest produkcja na potrzeby sektora transportu, należy przytoczyć dane z GUS dotyczące eksportu polskich towarów (2019d). Polska jest silnym eksporterem w szczególności akcesoriów

samochodowych, a także taboru szynowego i tożdzi.

Branża motoryzacyjna zatrudnia w Polsce ponad 300 tys. osób i przyczynia się do wytwarzania ponad 8 proc. produkcji narodowej (PIE, 2019b), tym samym stanowi jedną z kluczowych gałęzi przemysłu. Polska specjalizacja w regionalnym łańcuchu produkcji (będącym zapleczem gospodarki niemieckiej) jest obiecująca pod kątem utrzymania

produkcji po zmianach, których doświadcza branża motoryzacyjna (chodzi m.in. o opony, tapicerki, lampy). Szczególnie przyszłościowa jest pozycja Polski na rynku baterii

jonowo-litowych, koniecznych do produkcji pojazdów elektrycznych – Polska w 2019 r. była największym eksporterem baterii spośród państw UE (Mioduszewski, 2019).

▼ **Tabela 7. Wartość handlu zagranicznego towarów w 2018 r. (ceny bieżące, w mln PLN)**

Towary wg działów	Eksport	Import
Pojazdy kołowe oraz ich części i akcesoria	108 590	95 465
Tabor szynowy (także osprzęt i inne urządzenia kolejowe)	4 668	2 149
Statki powietrzne, statki kosmiczne i ich części	4 806	6 637
Statki, łodzie oraz konstrukcje pływające	12 297	7 710
Sprzęt transportowy ogółem	130 361	111 962

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych: GUS (2019d).

Innym obszarem, w którym będą rozwijać się technologie autonomiczne jest produkcja dronów. Choć jest to nadal nieduży rynek, można spodziewać się jego dynamicznego wzrostu (PIE, 2019a), a coraz większą rolę będą odgrywały rozwiązania autonomiczne. Z kolei w dziedzinie produkcji taboru szynowego (zarówno tramwajów, jak i pociągów) Polska odgrywa sporą rolę na europejskim rynku za sprawą firm – m.in. PESA, Stadler, NEWAG, Bombardier. W tym obszarze możemy spodziewać się przestrzemi dla poddostawców, którzy zaoferują rozwiązania automatyzujące jazdę, takich jak czujniki i kamery. Pierwsze próby już się odbyły

– w Krakowie w styczniu 2020 r. trasą wzdłuż Błot przejechał tramwaj autonomiczny produkcji NEWAG-u (InfoTram.pl, 2020).

Rozwój powyższych gałęzi przemysłu odgrywa kluczową rolę dla poprawy efektywności polskiej gospodarki i przeniesienia produkcji do wysokomarżowych i zaawansowanych prac. W obliczu postępującej automatyzacji pracy ważne jest zapewnienie rozwoju sektorów opierających się na zaawansowanych technologiach. Transport autonomiczny może być motorem do transformacji przemysłowej Polski, należy tylko właściwie określić priorytety i ustanowić programy flagowe.

5.5 Korzyści w innych obszarach

Jednym z podstawowych efektów automatyzacji transportu będzie uniezależnienie ruchu pojazdu od fizycznej obecności kierowcy, co oznacza, że może zniknąć potrzeba parkowania samochodów osobowych i ciężarówek.

Możliwe do wyobrażenia są scenariusze rozwoju, w których pojazdy po dowiezieniu pasażera do pracy czy szkoły nie muszą parkować, lecz samodzielnie wracają do domu lub w ramach ekonomii współdzielenia szukają kolejnych

pasażerów. Takie rozwiązanie znacząco podniosłoby efektywność transportu przez zwiększenie liczby godzin w ruchu (obecnie samochód osobowy jest przeciętnie zaparkowany przez 92 proc. czasu (Ellen McArthur Foundation, 2015)) i ograniczenie liczby pustych przejazdów. Równocześnie dzięki ograniczeniu ruchu związanego z szukaniem miejsc parkingowych – a więc powolnego, związanego z częstymi zatrzymaniami – zużycie paliwa i emisje spalin związanego z ruchem lekkich samochodów dostawczych w mieście mogłyby spaść o 5-11 proc. (Fuller, 2016). W przypadku transportu osobowego można przyjąć, że korzyści te byłyby niższe z uwagi na rzadsze postoje, ale również odczuwalne.

W Europie znajduje się obecnie ponad 280 mln pojazdów, z których większość stanowi własność prywatną. Inwestowanie w mobilność autonomiczną i współdzieloną spowoduje, że do 2030 r. flota pojazdów osobowych może zmaleć do 170 mln (PWC, 2018).

Spadek liczby pojazdów, a tym samym ich krótsze postoje, doprowadzą do spadku zapotrzebowania na miejsca parkingowe (Fuller, 2016). Odzyskanie przestrzeni miejskiej obecnie przeznaczonej na parkingi stanowiłoby dużą szansę rozwojową dla polskich miast, zarówno w warstwie ekonomicznej, jak i w aspektach poprawy jakości życia. Jednym z przykładowych efektów takiej zmiany mogłoby być przeznaczenie odzyskanych miejsc parkingowych na jezdniach na nowe ścieżki rowerowe, co byłoby znacznie tańsze i prostsze niż wytyczanie nowych. Odzyskaną przestrzeń miejską można by również zadrzewić, tym samym pozytywnie wpływając na redukcję poziomu zanieczyszczeń w mieście.

Cieężko wycenić korzyści z likwidacji miejsc parkingowych, choć pewnym wskaźnikiem może być już sama powierzchnia przestrzeni, którą można w taki sposób udostępnić. W Warszawie w strefie płatnego parkowania (czyli w szeroko rozumianym centrum miasta) znajduje się obecnie ok. 30 tys. miejsc parkingowych. Zgodnie z przepisami każde miejsce parkingowe musi mieć co najmniej 11,5 m² powierzchni. Oznacza to, że całkowita przestrzeń zajmowana przez miejsca parkingowe w strefie płatnego parkowania (bez uwzględnienia parkingów prywatnych) to 345 tys. m² (34,5 ha). Gdyby grunty o takiej powierzchni posiadały możliwość zabudowy, ich wartość wynosiłaby **między 0,9, a 8,6 mld PLN** (w zależności od zapisów Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego)¹¹. To pokazuje jak dużą wartość mają tereny obecnie zajęte przez parkujące samochody.

Elementem trudnym do wyceny jest możliwość uwolnienia czasu i uwagi kierowców samochodów, przedstawiana przez osoby rozwijające technologię, jako jedna z kluczowych. Kierowca pozostający w skupieniu przez cały czas prowadzenia samochodu byłby w stanie w trakcie jazdy wykonywać pracę, rozmawiać, jeść, spać – podobnie jak ma to np. miejsce w pociągach. Możliwość korzystania z samochodu w stanie nietrzeźwym, albo przez osoby nieposiadające prawa jazdy mogłaby też ograniczyć liczbę „pustych” jazd osób, które kogoś podwożą – co byłoby realną oszczędnością czasu i energii.

Z pewnością pozytywnym społecznym aspektem drogowej autonomii będzie ułatwienie mobilności osobom z ograniczeniami ruchowymi, które nie są w stanie samodzielnie prowadzić pojazdów.

¹¹ Szacunki oparte na ofertach sprzedaży działek w dzielnicy Śródmieście m.st. Warszawy na dzień 30.10.2019 r. na portalu Morizon.pl.

5.6. Koszty związane z budową infrastruktury

Oszacowanie kosztów związanych z dostosowaniem infrastruktury drogowej do pojazdów autonomicznych jest trudne ze względu na brak jasności kierunku, w którym zmierza branża. Potentaci z Kalifornii postawili od początku na samowystarczalne pojazdy autonomiczne, które są w stanie poradzić sobie w istniejącej infrastrukturze – czytając istniejące znaki drogowe, obserwując otoczenie i podejmując decyzje na podstawie algorytmów sztucznej, samouczącej się inteligencji. Przy takim założeniu rozwój technologii autonomicznych nie stanowił wyzwania dla państwa od strony inwestycyjnej, zmiany w technologii pojazdów nie wymuszały zmian w infrastrukturze i organizacji ruchu na drogach.

Wiara w możliwość stworzenia inteligentnego auta bez zmian w infrastrukturze napotkała jednak na kilka barier. Rozwój sztucznej inteligencji okazał się być procesem znacznie bardziej wymagającym niż zakładali to jeszcze kilka lat temu np. Elon Musk (Thompson, 2016). Samochody, które miały być już w sprzedaży nadal pozostają na etapie testów („The Economist”, 2019a), a autonomiczna taksówka Waymo choć działa, to na bardzo ograniczonym obszarze i dla wąskiej grupy klientów. Niepokój badaczy wzbudza też nieprzejrzystość algorytmów, którymi kieruje się sztuczna inteligencja (The Washington Post, 2019). **Nawet jeśli ryzyko wypadku związanego z błędem pojazdu autonomicznego jest niskie, dla osób odpowiedzialnych za flotę pojazdów kluczowe jest zrozumienie przyczyny takiego zdarzenia.** To może być jednak niemożliwe, jeśli algorytm podejmie decyzję na podstawie niezrozumiałych dla człowieka przesłanek – np. mylnie interpretując nakładające się na siebie kolory lub kształty.

Barierą dla upowszechniania się pojazdów autonomicznych okazały się też być różnice w przepisach i zwyczajach związanych z ruchem

drogowym, które wymagają powtarzania procesu uczenia pojazdu w różnych lokalizacjach. Dla przykładu, pojazd który w USA jest w stanie włączyć się do ruchu wymuszając pierwszeństwo na innym (legalne w Ameryce) nie będzie mógł tego zrobić w Europie. W przypadku samouczącej się sztucznej inteligencji taka zmiana nie będzie możliwa na poziomie przeprogramowania algorytmu, ale „nauczenia” pojazdu nowej sytuacji. Barierą związaną z poruszaniem się autonomicznych pojazdów elektrycznych jest też zużycie energii związane ze zbieraniem danych i ich ciągłą analizą przez pojazd – konieczność szczegółowej analizy terabajtów nagrań z kamer bardzo obciąża baterie takich pojazdów.

Najwięcej korzyści związanych z automatyzacją ruchu drogowego opartych jest na sieciowaniu pojazdów i ciągłej wymianie informacji między nimi. **Najbardziej prawdopodobne będzie więc oparcie ruchu autonomicznego na infrastrukturze wyposażonej w odpowiednie czujniki komunikujące się ze sobą i z samochodami.** Technologia V2I wymaga jednak nakładów finansowych nie tylko na systemy zainstalowane w samochodach, ale również umieszczone w elementach drogowych. **Zgodnie z dostępną wyceną to wartość 5 tys. USD za czujniki odpowiadające za przebycie 100 metrów drogi** (Ray, 2019). W Polsce koszt takiego sprzętu na drogach szybkiego ruchu wyniosłby w przybliżeniu 750 mln PLN. Mówimy tu jednak o samym koszcie urządzeń, bez wliczania pracy, a także ew. zmian w organizacji ruchu. Dla wszystkich dróg o nawierzchni twardej ulepszonej koszt rośnie do 55 mld PLN – jednak znaczna jego część przypada na drogi utrzymane przez samorządy.

Nie jest w tym momencie jasne czy same czujniki wystarczą do przystosowania istniejących dróg do potrzeb pojazdów autonomicznych. Bardzo możliwe, że zamiast uczenia

samochodów pokonywania rozmaitych prze- szkód na drodze, to drogi będą zmieniane, żeby odpowiadać logice ruchu pojazdów au- tonomicznych. W tym kierunku zdają się po- dążać Chiny, tworzące wydzielone obszary te- stowe, gdzie na równi z pojazdami testowane

są rozwiązania infrastrukturalne („The Econo- mist”, 2019b). Obecnie funkcjonujące pojazdy autonomiczne – takie jak *shuttle bus* na lotni- sku London-Heathrow – bazują właśnie na wy- dzielonej infrastrukturze, gdzie na pojazd nie czyhają żadne pułapki.

➤ **Tabela 8.** Szacunkowy koszt czujników technologii V2I w podziale na typy dróg w Polsce

Typ drogi (wg zarządcy)	Długość (w km)	Koszt czujników V2I (w mln PLN)
Krajowe	19 399,6	3 783
w tym: autostrady:	1671,5	326
drogi ekspresowe:	2164,8	422
Wojewódzkie	28 850,2	5 626
Powiatowe	111 599,4	21 762
Gminne	122 015,7	23 793
Ogółem (o nawierzchni twardej, ulepszonej)	281 864,9	54 964

Źródło: opracowanie własne PIE.

Konieczność przebudowy infrastruktury pod kątem wydzielania specjalnych pasów ru- chu lub ulic oznaczałaby jednak wydatki idące w biliony złotych, jeśli miałyby objąć obszar ca- łego kraju. Bardziej prawdopodobna w tym sce- nariuszu jest więc autonomia ograniczona do pojedynczych lokalizacji i branż.

Autonomizacja ruchu dronów wiąże się natomiast ze znacznie mniejszymi kosztami. System czujników pozwalających na rejestra- cję, identyfikację i tracking dronów to według danych Ministerstwa Infrastruktury w przybli- żeniu ok. 10 mln PLN.

6. Analizy SWOT i PEST

6.1. SWOT

Silne strony Polski w kontekście autonomizacji transportu:

- S1. Rozwinięta branża transportowa** zatrudniająca 623 tys. osób (na koniec 2018 r.) z zapotrzebowaniem na kolejnych pracowników i dalszy rozwój. Dobre wyniki eksportu – w szczególności części samochodowych, taboru szynowego i łodzi.
- S2. Odpowiednie przygotowanie do rozwoju bezzałogowych statków powietrznych** od strony legislacyjnej i organizacyjnej. Obejmuje to tzw. rozporządzenie BVLOS wraz ze stosownymi procedurami zgłoszeń, regulacje unijne oraz Centralnoeuropejski Demonstrator Dronów, umożliwiające testowanie dronów autonomicznych na obszarach testowych.
- S3. Niewielka liczba kradzieży samochodów.** Wprowadzanie nowych rozwiązań do przestrzeni drogowej nie wiąże się z lękiem ich posiadaczy dot. kradzieży, a policja jest przygotowana na zagrożenia związane z nowoczesnymi metodami kradzieży pojazdów.
- S4. Zachowane sieci tramwajów oraz trolejbusów** w największych polskich miastach. Pojazdy poruszające się po stałych trasach są znacznie łatwiejsze do autonomizacji. Sieć trakcyjna to też dobry sposób dostarczania energii do pojazdów z napędem elektrycznym – w Niemczech tworzone są obecnie sieci trakcyjne dla elektrycznych pojazdów ciężarowych.
- S5. Dobre położenie geograficzne** na kluczowych szlakach transportowych ze

wschodu na zachód Europy, bliskość Niemiec – jednego z krajów rozwijających narzędzia z obszaru autonomizacji transportu. Także amerykańskie firmy dostrzegają w Niemczech potencjalny rynek zbytu – na terenie graniczącej z Polską Brandenburgii swoją europejską fabrykę planuje wybudować Tesla („Financial Times”, 2019). Obecność nowoczesnej fabryki tak blisko naszych granic będzie dużą szansą dla polskich podwykonawców i specjalistów.

S6. Mocna branża informatyczna. To, co kiedyś stanowiło o potęgę największych firm motoryzacyjnych – produkcja silników i ogromne fabryki, w których tworzone są pojazdy, ustąpiło potęgę algorytmów i rozwiązań w obszarze AI. Mocny zespół informatyków z odpowiednim finansowaniem i zapleczem jest w stanie odegrać dużą rolę na rynku transportowym. O sile branży świadczy pozycja CD Projekt – jednego z największych producentów gier komputerowych na świecie.

S7. Dobrze rozwinięta sieć komórkowa. Według deklaracji operatorów głównych sieci, 99 proc. populacji Polski mieszka w zasięgu sieci komórkowej LTE (4G), co stanowi dobry wynik na tle świata i podstawę do rozwoju łączności między pojazdami bazującą na sieci komórkowej.

Słabe strony Polski w kontekście autonomizacji transportu:**W1. Rozdrobiony charakter branży logistycznej.**

Liczna i zatrudniająca tysiące kierowców branża opiera się na małych i średnich przedsiębiorstwach dających pracę od kilku do kilkudziesięciu kierowców. To sprawia, że większości polskich firm nie stać na inwestowanie w nowoczesny sprzęt i nowoczesne rozwiązania autonomiczne.

W2. Niski poziom bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

Polska na tle Europy jest jednym z niechlubnych liderów jak chodzi o ofiary wypadków drogowych. Główną przyczyną wypadków jest nieuważny lub brawurowy styl jazdy, który prowadzi do przekraczania prędkości, wymuszania pierwszeństwa i wykonywania niebezpiecznych manewrów drogowych. Taki styl jazdy będzie stał w dużej sprzeczności ze stylem jazdy pojazdów autonomicznych nastawionych na przestrzeganie reguł bezpieczeństwa.

W3. Brak własnej branży autonomicznej.

Mimo że autonomiczne środki transportu pojawiają się już w przestrzeni różnych miast na świecie, w Polsce ma siedzibę lub oddział niewiele przedsiębiorstw zajmujących się rozwojem technologii autonomicznych.

W4. Nieduża świadomość społeczna.

Dyskusja na temat autonomicznych środków transportu jest w polskich mediach często sprowadzana do roli wizji z filmu SF. Brakuje pogłębionych artykułów przedstawiających wyzwania stojące przed branżą, zagadnień etycznych, prawnych i społecznych związanych z rozwojem autonomii.

W5. Nieprzygotowanie administracji.

Poniższy raport jest jednym z zaledwie kilku działań

na poziomie rządowym w obszarze analizy i zrozumienia zagadnień związanych z transportem autonomicznym. Choć Polska posiada plan rozwoju elektromobilności, wciąż brakuje strategii rozwoju autonomii w transporcie.

W6. Wysoki poziom zanieczyszczenie powietrza.

Kwestia ta nie przeszkadza w rozwoju systemów autonomicznych, ale potrzebuje być podkreślona w obszarze problemów powiązanych z transportem w Polsce.

W7. Duże zatłoczenie w największych miastach.

Największe polskie miasta w ciągu ostatnich 10 lat wyprzedziły w statystykach posiadanych aut największe stolicy Europy. Samochód stał się obecny w zdecydowanej większości polskich rodzin, jednak infrastruktura miast nie jest gotowa na tę zmianę. Chodniki, trawniki i przestrzenie publiczne zastawione przez zaparkowane samochody – to smutna codzienność w największych polskich miastach.

W8. Nieprzyjazne relacje ze wschodnimi sąsiadami.

Niespokojne relacje z Rosją i Białorusią powodują, że wiele zagadnień związanych z codziennym życiem musi być analizowanych przez pryzmat bezpieczeństwa narodowego Polski.

W9. Nieduży zasięg komunikacji publicznej na terenach wiejskich.

Problem upadku PKS na terenach wiejskich wszedł w ostatnim czasie do dyskusji publicznej, choć jest to efekt wieloletnich zaniedbań w zakresie komunikacji publicznej poza największymi miastami. 2/3 polskich gmin nie widzi potrzeby dotowania w żaden sposób przewozów pasażerskich¹².

¹² Dane PAN przedstawione przez prof. Monikę Stanny na konferencji PIE dot. wykluczenia transportowego w maju 2019 r.

Szanse dla Polski związane z rozwojem transportu autonomicznego:

- **Ad S1, W1. Możliwość rozszerzenia działalności przez branżę logistyczną** w wyniku automatyzacji pracy i uniknięcia problemów związanych z niedoborem pracowników w celu konkutowania z innymi krajami, w których niedobory kadrowe są mniejszym wyzwaniem.
- **Ad W2. Poprawa bezpieczeństwa na drogach** związana ze stopniową eliminacją wypadków związanych z czynnikiem ludzkim.
- **Ad W6. Poprawa jakości powietrza** związana z ograniczeniem ruchu pojazdów, bardziej efektywnym zużyciem paliw, a także rozwojem elektromobilności powiązanej z autonomią.
- **Ad S4. Poprawa wydajności komunikacji publicznej**, dzięki bardziej efektywnemu zarządzaniu, oszczędnościom, zwiększonej pojemności pojazdów i pociągów (dzięki likwidacji kabin dla kierowcy, maszynisty). Jest to ważne także ze względu na plany wiążące się z budową Centralnego Portu Komunikacyjnego i połączeń kolejowych na terenie całej Polski.
- **Ad W7. Odblokowanie miejsca w centrach miast obecnie zajmowanego przez samochody.** Jeśli popularyzacja transportu autonomicznego będzie prowadziła do popularyzacji usług *car-sharingowych* i ograniczenia wykorzystania prywatnych

samochodów, możemy spodziewać się zmniejszenia liczby aut parkujących w miejscach docelowych podróży – takich jak obiekty kultury, sklepy, urzędy itd. a także zmniejszenia liczby aut posiadanych przez mieszkańców polskich miast.

- **Ad S6. Rozwój firm dostarczających usługi oparte na danych.** Autonomiczne pojazdy dzięki zbieraniu olbrzymiej ilości danych, a także zwolnieniu uwagi kierowcy mogą stanowić doskonałą podstawę do rozwijania nowych usług opartych na analizie danych, dostarczaniu życiowych ułatwień lub rozrywki. Polskie firmy kreatywne mogą więc odnaleźć niszę w dostarczaniu rozrywki dla pasażerów pojazdów autonomicznych.
- **Ad S7. Przyspieszenie rozwoju sieci 5G.** Ponieważ nie podjęto jeszcze kluczowych decyzji dotyczących sprzedaży pasm częstotliwości 5G, Polska ma nadal szansę na pokrycie tą siecią kluczowej infrastruktury drogowej na przestrzeni najbliższych lat.
- **Ad W9. Zwiększenie mobilności społecznej** na skutek poprawy efektywności transportu. Na mniej zurbanizowanych obszarach możliwe jest stosowanie rozwiązań opierających się na zamawianych usługach *semi-autonomicznego* transportu publicznego.

Zagrożenia dla Polski związane z rozwojem transportu autonomicznego:

- **Ad S1, W1. Spadek znaczenia polskich firm logistycznych** na skutek przejęcia rynku przez duże korporacje, które będą w stanie ponieść koszty transformacji floty pojazdów w kierunku transportu autonomicznego.
- **Ad W7. Zwiększenie zatłoczenia w miastach.** Pesymistyczne prognozy związane

z transportem autonomicznym przewidują, że bezzałogowe pojazdy sprawy będą stanowiły nie tyle alternatywę dla obecnego ruchu, co dodatkowy element na drogach (Transport & Environment, 2019),(Deloitte, 2019). Jeśli koszty jazdy nie będą wysokie, a koszty parkowania – tak, możliwa stanie się sytuacja, w której bezzałogowy pojazd

kursuje przypadkowo po mieście dla zabicia czasu, w trakcie oczekiwania na pasażera lub wraca do domu i jedzie ponownie po jego odbiór, zwiększając w ten sposób korki.

- **Ad W4, W5. Niepokój społeczny związany z nowymi technologiami.** Brak odpowiedniej dyskusji i rozwiązań prawnych przed pojawieniem się nowych usług autonomicznych może spowodować duży chaos w przestrzeni powietrznej lub drogowej. Niebezpieczne zdarzenia z udziałem maszyny autonomicznej mogą przyczynić się do zakazu rozwoju technologii, a także uniemożliwić firmom korzystanie z nowych rozwiązań.

- **Ad W2. Chaos na drogach w okresie przejściowym.** Niski poziom skuteczności działań zmierzających do poprawy bezpieczeństwa na drogach może spowodować, że w trakcie wprowadzania do Polski pojazdów autonomicznych sytuacja na drogach jeszcze bardziej się pogorszy.

- **Ad W8. Ułatwienie wrogich działań militarnych.** Bezpośrednimi zagrożeniami związanymi z rozwojem autonomicznych środków transportu są cyberzagrożenia opisane w rozdziale 3.4 – w szczególności możliwość wykorzystania pojazdów do celów militarnych lub terrorystycznych.

6.2. PEST

↗ **Tabela 9.** Czynniki wpływające na rozwój autonomicznego transportu w Polsce

Typ	Czynniki
Polityczne	- polityka rozwoju ze zdefiniowanymi programami i projektami we współpracy z interesariuszami, wyznaczenie zadań w ramach administracji, projekty pilotażowe, - polityka technologiczna, - odpowiednie regulacje prawne, - współpraca między instytucjami państwowymi i samorządowymi - bezpieczeństwo narodowe – odpowiedź na zagrożenia wewnętrzne i zewnętrzne.
Ekonomiczne	- rozwój branży informatycznej, - transformacja firm transportowych w kierunku autonomiczności, - rozwój e-handlu (napęd do rozwoju dostaw autonomicznych), - zmiany cen paliw, energii, a także surowców potrzebnych do tworzenia czujników i baterii, - dostęp do finansowania dla firm.
Społeczne	- nastawienie opinii społecznej do transportu autonomicznego, - nastawienie do ruchu aut w miastach, - świadomość ekologiczna, - kultura jazdy, bezpieczeństwo ruchu drogowego.
Technologiczne	- rozwój technologii sztucznej inteligencji, - nakłady na badania i rozwój technologii autonomicznych w Polsce, - testy nowych technologii, - rozwój sieci 5G oraz infrastruktury naziemnej (dla BSP).

Źródło: opracowanie własne PIE.

7. Rekomendacje

1. Organizacja systemu koordynacji i nadzoru transportu autonomicznego

Autonomiczne pojazdy do efektywnego funkcjonowania muszą pozostawać w ciągłym kontakcie ze sobą (konceptcja CAD, *Connected Automated Driving*). Podobnie sytuacja wygląda w przypadku innych autonomicznych środków transportu – kolej, transport morski, lotnictwo. Już teraz przestrzeń powietrzna podlega regulacjom Urzędu Lotnictwa Cywilnego oraz Polskiej

Agencji Żeglugi Powietrznej, które także wzięły na siebie zadania związane z regulacjami ruchu dronów. Potrzebna jest koordynacja działań instytucji, które zajmą się nadzorem nad całością transportu autonomicznego. W dalszej przyszłości można rozważyć utworzenie instytucji, która zajmie się koordynacją i nadzorem nad całością transportu autonomicznego.

2. Normalizacja i standaryzacja rozwiązań w zakresie transportu autonomicznego

W tym celu konieczna jest taka reorganizacja pracy jednostek standaryzacyjnych, homologujących i certyfikujących, żeby możliwe było realizowanie nowych zadań w zakresie normalizacji, opiniowania i nadzoru nad jakością autonomicznych środków transportu oraz systemów transportowych. Normalizacja jest

punktem wyjścia do tworzenia konkretnych aktów prawnych regulujących rolę autonomicznych środków transportu, operatorów systemu, wymagań związanych z bezpieczeństwem ich użytkowania oraz bezpieczeństwem innych uczestników ruchu.

3. Stworzenie dobrych warunków do testowania rozwiązań autonomicznych

Niezależnie od decyzji w zakresie dopuszczenia do użytku konkretnych technologii, konieczne jest stworzenie warunków dla firm, samorządów i naukowców do testowania nowych rozwiązań i ich interakcji z otoczeniem. Do tego potrzebne są obszary testowe, odpowiednie

regulacje, a także wsparcie finansowe dla jednostek zajmujących się badaniem technologii autonomicznych. Ważna jest też odpowiednia priorytetyzacja działań, tak żeby środki publiczne szły w pierwszej kolejności na cele publiczne, np. na rozwój transportu zbiorowego.

4. Wykorzystanie danych z autonomicznych środków transportu do celów publicznych

Głównym bogactwem firm z branży cyfrowej jest dostęp do danych osób korzystających z ich usług. Podobnie w przypadku usług z obszaru transportu autonomicznego, to dane stają się kluczowym zasobem gromadzonym przez firmy, który może także pomóc instytucjom publicznym w rozwiązywaniu problemów obywateli. Dane dotyczące częstotliwości przejazdów mogą posłużyć do lepszego

dopasowania oferty komunikacji publicznej do potrzeb mieszkańców. Dane o niebezpiecznych zachowaniach kierowców mogą pozwolić wyeliminować piratów drogowych z dróg. Potrzebna jest współpraca z sektorem prywatnym a także rozwiązania prawne, które wymuszają wykorzystanie danych do istotnych celów publicznych, a także zabezpieczą prywatność użytkowników pojazdów.

5. Działanie na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego

Pojazdy autonomiczne mogą w długiej perspektywie zapewnić poprawę bezpieczeństwa na drogach, ale na wstępie wymagają względnej przewidywalności ruchu drogowego. Polska jest jednym z najbardziej niebezpiecznych krajów w Unii Europejskiej w zakresie bezpieczeństwa na drogach. 90 proc. kierowców przekracza dozwoloną prędkość przed przejściem dla pieszych (KRBRD, 2018); głównymi przyczynami wypadków są więc

nieprzestrzeganie pierwszeństwa i nadmierna prędkość (Komenda Główna Policji, 2019). Nawet najdoskonalsza sztuczna inteligencja nie poradzi sobie z piractwem drogowym, potrzebne są więc działania administracyjne, takie jak: podwyższenie wartości mandatów za wykroczenia drogowe, budowa fotoradarów, przebudowa infrastruktury pod kątem uspokajania ruchu, skuteczniejsza kontrola drogowa przez odpowiednie służby.

6. Pogłębiona analiza zagrożeń związanych z cyberbezpieczeństwem

Przedstawione w raporcie przykłady dowodzą, że cyberzagrożenia związane z autonomicznym transportem należy traktować bardzo szeroko, biorąc pod uwagę, że technologia autonomiczna jest także rozwijana i wykorzystywana w celach militarnych. Spektakularne ataki z użyciem dronów na Bliskim Wschodzie mogą stanowić poważne ostrzeżenie również

dla Polski. Szpiegostwo, ataki terrorystyczne, a także zdalne prowadzenie działań o charakterze wojennym – takie możliwości daje autonomiczny transport organizacjom i państwom, które zechcą wywoływać chaos. Wojsko Polskie i służby mundurowe muszą być świadome tych zagrożeń i umieć na nie adekwatnie odpowiedzieć.

7. Przestrzeń miast dostosowana do autonomii

Pojazdy autonomiczne, wbrew zapewnieniom rozwijających je firm, same nie są w stanie rozwiązać problemów trapiących współczesne miasta. Smog, korki, brak bezpieczeństwa na drogach – to wszystko kwestie, które rozwiązać mogą tylko samorządy przez mądrą politykę urbanistyczną. Autonomiczne pojazdy mogą poprawić lub pogorszyć sytuację w zależności od tego jak zostanie ukształtowana przestrzeń i zasady w niej

panujące. Brak ograniczeń ruchu aut w zatłoczonych rejonach polskich miast spowoduje, że wprowadzenie pojazdów autonomicznych tylko pogorszy sytuację. Jeśli transport autonomiczny ma rozładować korki i ograniczyć zanieczyszczenia, samorządy muszą postawić na transport zbiorowy i wygodę korzystania z przestrzeni publicznej, tak żeby w miastach drogowy transport indywidualny pełnił funkcję uzupełniającą, a nie dominującą.

8. Zrozumienie postaw obywateli w stosunku do autonomii w transporcie

W tym celu konieczne jest przeprowadzenie (podobnie jak w Wielkiej Brytanii) pogłębionych badań dotyczących stosunku społecznego do autonomicznych środków transportu – zarówno jakościowych, jak i ilościowych. Szczególnie istotne jest zrozumienie obaw i nadziei, jakie wiąże Polacy z transportem autonomicznym. Dobre zrozumienie źródeł obaw i lęków pozwoli na takie zaplanowanie przepisów i infrastruktury, które będzie odpowiadało społecznym

potrzebom i ograniczało niepokój związany ze zmianą. Być może autonomiczne taksówki będą budziły obawy nie ze względu na niechęć do autonomii, ale przez lęk przed podróżą z nieznanym pasażerem. Być może drony transportujące towary będą wiązały się z obawami o hałas i podglądanie mieszkań – to tylko przykłady wniosków, które będzie można czerpać z pogłębionej diagnozy postaw Polaków wobec autonomii w transporcie.

9. Wykorzystanie szansy w postaci aukcji zakresów częstotliwości 5G do wyposażenia dróg w odpowiednią infrastrukturę telekomunikacyjną

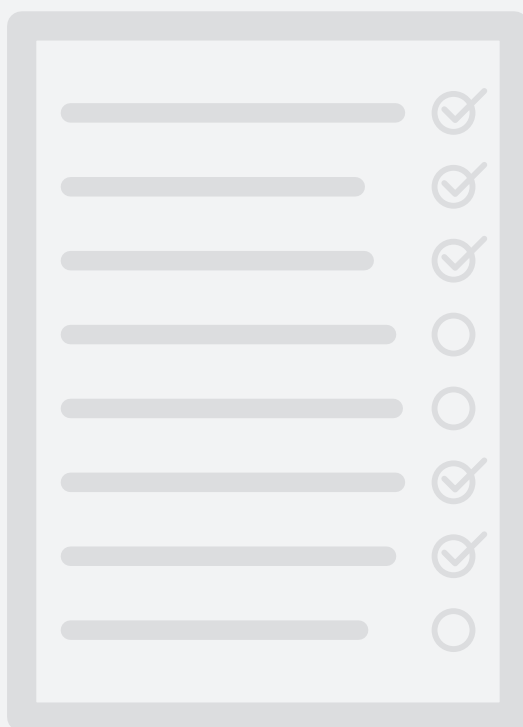
Aukcje częstotliwości 5G są okazją do formułowania strategicznych celów rozwojowych kraju. Obszary, które zostaną pokryte superszybką siecią w pierwszej kolejności, a w związku z nimi odpowiednie regiony lub

sektory gospodarki, otrzymają silny bodziec rozwojowy. Wyposażenie w sieć 5G kluczowej infrastruktury transportowej prawdopodobnie umożliwi szybki rozwój pojazdów autonomicznych.

10. Przygotowanie branży logistycznej do wyzwań związanych z autonomizacją

Polska branża logistyczna opiera obecnie swoją siłę na dużej liczbie kierowców i niskich kosztach pracy. W obliczu postępującej automatyzacji transportu ciężarowego te atuty mogą stać się niewystarczające na rynku europejskim. Jednocześnie struktura branży opartej

na małych firmach uniemożliwia działania badawczo-rozwojowe. Potrzebne jest wsparcie, które umożliwi współpracę firm i pozyskiwanie nowych technologii, pozwalających konkurować z większymi europejskimi graczami z branży logistycznej.



Bibliografia

DOKUMENTY

- 5GAA (2018), *Coexistence of C-V2X and ITS-G5 at 5.9GHz*, <https://5gaa.org/wp-content/uploads/2018/10/Position-Paper-ITG5.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Agreement Concerning the Adoption of Harmonized Technical United Nations Regulations for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations (2017), UN Regulation, No. 79, <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2017/R079r3e.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- NFAS (2017), *Definitions for Autonomous Merchant Ships*, Norwegian Forum for Unmanned Ships, <http://nfas.autonomous-ship.org/resources/autonom-defs.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Komisja Europejska (2019), *Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=IT> [dostęp: 20.02.2020].
- SAE (2014), *Standard J3016*, <https://www.sae.org/news/2020/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> [dostęp: 20.02.2020].
- SESAR (2017), *U-space Blueprint*, <https://www.sesarju.eu/u-space-blueprint> [dostęp: 20.02.2020].
- Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 roku (Dz.U. 2018 poz. 317).

RAPORTY

- Accenture (2018), *Autonomous Vehicles: The Race is On*, https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-73/Accenture-Autonomous-Vehicles-The-Race-Is-On.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Bank of England (2017), *Potential impacts of autonomous vehicles on the UK insurance sector*, Quarterly Bulletin, <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/2017/potential-impacts-of-autonomous-vehicles-on-the-uk-insurance-sector.pdf?la=en&hash=9E9149D8659F22ABBE9EB22761FF1AC8900B6EAE> [dostęp: 20.02.2020].
- Deloitte (2015), *Dokąd zmierza jednolity rynek europejski? Wpływ ustawy MiLoG na branżę transportu drogowego w Polsce*, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl_Deloitte_MiLoG_PL.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Deloitte (2017), *The race to autonomous driving*, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3565_Race-to-autonomous-driving/DR20_The%20race%20to%20autonomous%20driving_reprint.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Deloitte (2019), *Urban Mobility and Autonomous Driving in 2035*, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20Autonomes%20Fahren_EN_Safe.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Department for Transport (2019), *CAV public acceptability dialogue. Engagement report*, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/837958/cav-public-acceptability-dialogue-engagement-report.pdf [dostęp: 20.02.2020].

- Komisja Europejska (2019), *The Future Of Road Transport*, <https://op.europa.eu/pl/publication-detail/-/publication/c5ccf1a7-96f4-11e9-9369-01aa75ed71a1> [dostęp: 20.02.2020].
- Ministerstwo Cyfryzacji (2019), *IoT w polskiej gospodarce*, <https://www.gov.pl/attachment/82ad18f8-2ac1-4433-a1ea-f887b522e46b>, [dostęp: 20.02.2020].
- McKinsey (2016), *Monetizing Car Data: New Service Business Opportunities to Create New Customer Benefits*, [https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Industries/Automotive and Assembly/Our Insights/Monetizing car data/Monetizing-car-data.ashx](https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Monetizing%20car%20data/Monetizing-car-data.ashx) [dostęp: 20.02.2020].
- PIE (2019a), *Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych*, http://pie.net.pl/wp-content/uploads/2019/02/Bia%C5%82a_Ksi%C4%99ga_Bezza%C5%82ogowych_Statk%C3%B3w_Powietrznych.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- PIE (2019b), *Automotive Industry In The Visegrad Group*, http://pie.net.pl/wp-content/uploads/2019/08/PIE-Raport_Automotive.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- PWC (2016), *Rynek pracy kierowców w Polsce*, <https://www.pwc.pl/pl/pdf/pwc-raport-rynek-pracy-kierowcow.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- PWC (2018a), *Five trends transforming the Automotive Industry*, https://www.pwc.at/de/publikationen/branchen-und-wirtschaftsstudien/eascy-five-trends-transforming-the-automotive-industry_2018.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- PWC (2018b), *Industrial Mobility. How autonomous vehicles can change manufacturing*, <https://www.pwc.com/mx/es/publicaciones/c2g/2018-03-01-industrial-mobility-and-manufacturing.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Roland Berger (2016), *Automated Trucks - The next big disruptor in the automotive industry?*, https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_automated_trucks_20160517.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Rolls-Royce (2016), *Remote and Autonomous Ships: The next steps*, <http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Transport & Environment (2019), *Less (Cars) Is More: how to go from new to sustainable mobility*, https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Less_is_more_4Rs_FINAL%20%281%29.pdf [dostęp: 20.02.2020].

ARTYKUŁY

- Ahmad, M. (2018), *Cellular V2X vs. ITS-G5: who will dominate autonomous car connectivity?*, <https://www.embedded-computing.com/automotive/cellular-v2x-vs-its-g5-who-will-dominate-autonomous-car-connectivity> [dostęp: 20.02.2020].
- Bösch, P., Becker, F., Becker, H., Axhausen, K. (2018), *Cost-based analysis of autonomous mobility services*, "Transport Policy", No. 64.
- Breczko, B. (2019), *Autonomiczny autobus pojedzie w Rzeszowie*, <https://tech.wp.pl/autor/oprac-boleslaw-breczko/615794622577281> [dostęp: 20.02.2020].
- Bryan, V. (2018), *Higher wages, fuel prices turn up cost pressure on airlines*, <https://www.reuters.com/article/us-airlines-wages-inflation-analysis/higher-wages-fuel-prices-turn-up-cost-pressure-on-airlines-idUSKCN1FY292> [dostęp: 20.02.2020].
- DlaPilota.pl (2019), *Loty według przrządów - jakie były początki?*, <https://dlapilota.pl/wiadomosci/planeandpilotamagcom/latanie-wedlug-przyrzadow-jakie-byly-poczatki> [dostęp: 20.02.2020].

- Duszczyk, M. (2019), *Przyszłość autonomicznych aut wykuwa się w...* Krakowie, Rzeczpospolita, <https://cyfrowa.rp.pl/biznes/34285-autonomiczne-auto-z-polski> [dostęp: 20.02.2020].
- Elinoff, G. (2019), *Is C-V2X Overtaking DSRC in Vehicle-to-Vehicle Communications?*, <https://www.allaboutcircuits.com/news/is-c-v2x-overtaking-dsrc-in-vehicle-to-vehicle-communications-platform/> [dostęp: 20.02.2020].
- Farooq, J., Soler, J. (2017), *Radio Communication for Communications-Based Train Control (CBTC): A Tutorial and Survey*, IEEE Communications Surveys and Tutorials, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7836324> [dostęp: 20.02.2020].
- „Financial Times” (2019), *Tesla's Berlin plant sets up 'duel' with German carmakers*, <https://www.ft.com/content/3a793902-0787-11ea-9afa-d9e2401fa7ca> [dostęp: 20.02.2020].
- Fuller, B. (2016), *Cautious Optimism About Driverless Cars and Land Use in American Metropolitan Areas*, <https://www.huduser.gov/portal/periodicals/cityscape/vol18num3/ch10.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Goerzen, C., Whalley, M. (2012), *Sensor Requirements for Autonomous Flight, Proceedings of the 2012 International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, https://nams.usra.edu/NAMS/assets/AFDD/ICUAS2012_Goerzen.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Gordon, A. (2019), *Google's Waymo Asked People To Test Its Semi-Autonomous Car Tech. What Happened Next Will Not Surprise You*, Jalopnik, <https://jalopnik.com/googles-waymo-asked-people-to-test-its-semi-autonomous-1838068842> [dostęp: 20.02.2020].
- Heinrich, S. (2017), *Flash Memory in the emerging age of autonomy*, https://www.flashmemorysummit.com/English/Collaterals/Proceedings/2017/20170808_FT12_Heinrich.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- InfoTram.pl (2020), *Pierwszy w Polsce przejazd autonomicznym tramwajem Newagu*, http://infotram.pl/pierwszy-w-polsce-przejazd-autonomicznym-tramwajem-newagu_more_120783.html [dostęp: 20.02.2020].
- Khvoynitskaya, S. (2020), *3 types of autonomous vehicle sensors in self-driving cars*, <https://www.itransition.com/blog/autonomous-vehicle-sensors> [dostęp: 20.02.2020].
- Kocic, J., Jovicic, N., Drndarevic, V. (2018), *Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles*, 2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR 2018), https://www.researchgate.net/publication/329153240_Sensors_and_Sensor_Fusion_in_Autonomous_Vehicles [dostęp: 20.02.2020].
- Lienert, P., Lanhee Lee, J. (2020), *Lidar laser-sensing technology: from self-driving cars to dance contests*, <https://www.reuters.com/article/us-tech-ces-lidar/lidar-laser-sensing-technology-from-self-driving-cars-to-dance-contests-idUSKBN1Z62AS> [dostęp: 20.02.2020].
- Mioduszewski, J. (2019), *Batteryland Polska. Jak nasz kraj stał się unijnym liderem w eksporcie akumulatorów litowo-jonowych*, <https://forsal.pl/artykuly/1432261,impact-eksport-akumulatorow-litowo-jonowych-polska-european-battery-alliance-lg-chem.html> [dostęp: 20.02.2020].
- Muratori, M. i in. (2017), *Potentials for Platooning in U.S. Highway Freight Transport*, <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67618.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- NCBR (2018), *NCBR przetestuje autonomiczne pojazdy transportu publicznego w Jaworznie*, <https://www.ncbr.gov.pl/o-centrum/aktualnosci/szczegoly-aktualnosci/news/ncbr-przetestuje-autonomiczne-pojazdy-transportu-publicznego-w-jaworznie-40363/> [dostęp: 20.02.2020].
- Nidermeyer, E. (2019), *Hailing a Driverless Ride in a Waymo*, <https://techcrunch.com/2019/11/01/hailing-a-driverless-ride-in-a-waymo> [dostęp: 20.02.2020].
- Park, J. (2018), *How Data Is Changing Predictive Maintenance*, “Trucking Info”, <https://www.truckinginfo.com/312738/how-data-is-changing-predictive-maintenance> [dostęp: 20.02.2020].

- Parwin, R., Verma, S. (2016), *Iris Recognition Using Dual tree complex transform*, <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1604109.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Pinter, K., Szalay, Z., Vida, G. (2017), *Liability in Autonomous Vehicle Accidents*, "Communications", No. 4.
- Pourabdollah, M., Björkvik, E., Furer, F., Lindenberg, B., Burgdorf, K. (2017), *Fuel economy assessment of semi-autonomous vehicles using measured data*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7993365/authors> [dostęp: 20.02.2020].
- Raijn, J. (2018), *Data and cyber security in autonomous vehicle networks*, "Transport and Telecommunication", No. 19(4).
- Simons, D. (2019), *6 Countries with GDPR-like Data Privacy Laws*, Comfote Insights, <https://insights.comfote.com/6-countries-with-gdpr-like-data-privacy-laws> [dostęp: 20.02.2020].
- Spencer, L. (2019), *The price of LiDAR is falling. Will driverless cars be on the road sooner?*, <https://news.itu.int/the-price-of-lidar-is-falling/> [dostęp: 20.02.2020].
- Szymczak, M. (2013), *W oczekiwaniu na autonomiczne samochody. Czy spełnią oczekiwania kierowców i jak wpłyną na miasta?*, "Transport Miejski i Regionalny", nr 10.
- Terczyńska, B. (2019), *Rzeszów przymierza się do autobusów bez kierowców. Wiceprezydent oglądał takie w Lyonie*, "Nowiny24", <https://nowiny24.pl/rzeszow-przymierza-sie-do-autobusow-bez-kierowcow-wiceprezydent-ogladal-takie-w-lyonie/ar/c1-14280571> [dostęp: 20.02.2020].
- "The Economist" (2019a), *Driverless cars are stuck in a jam*, <https://www.economist.com/leaders/2019/10/10/driverless-cars-are-stuck-in-a-jam> [dostęp: 20.02.2020].
- "The Economist" (2019b), *Chinese firms are taking a different route to driverless cars*, <https://www.economist.com/business/2019/10/12/chinese-firms-are-taking-a-different-route-to-driverless-cars> [dostęp: 20.02.2020].
- "The Washington Post" (2019), *Silicon Valley pioneered self-driving cars. But some of its tech-savvy residents don't want them tested in their neighborhoods*, <https://www.washingtonpost.com/technology/2019/10/03/silicon-valley-pioneered-self-driving-cars-some-its-tech-savvy-residents-dont-want-them-tested-their-neighborhoods/> [dostęp: 20.02.2020].
- Thompson, C. (2016), *Elon Musk: Fully autonomous Tesla will drive across the country by the end of 2017*, <https://www.businessinsider.com/elon-musk-autonomous-tesla-drive-across-country-by-end-of-2017-2016-10?IR=T> [dostęp: 20.02.2020].
- Transport and Environment (2015), *Europe's lost decade of truck fuel economy*, https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2015_12_trucks_lost_decade_briefing_FINAL_O.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Tyson, R., Schultz, G. (2018), *Liability in the age of autonomous vehicles*, <https://www.propertycasualty360.com/2018/06/06/liability-in-the-age-of-autonomous-vehicles/?&slreturn=20200121154229> [dostęp: 20.02.2020].
- Wang, Y., Zhang, M., Ma, J., Zhou, X. (2016), *Survey on Driverless Train Operation*, "Urban Rail Transit", No. 2.
- Zimon, G. (2015), *Analiza kosztów w przedsiębiorstwach transportu samochodowego*, http://www.wneiz.pl/nauka_wneiz/frfu/77-2015/FRFU-77-349.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- (www5), <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/autopilot-components.html> [dostęp: 20.02.2020].
- (www6), <http://tmqeuropa.com/information/how-does-an-autopilot-work/> [dostęp: 12.11.2019].
- (www7), <https://autonomous-driving.org/2019/01/25/positioning-sensors-for-autonomous-vehicles/> [dostęp: 20.02.2020].

ŹRÓDŁA DANYCH

- AAA (2019), *Three in Four Americans Remain Afraid of Fully Self-Driving Vehicles*, <https://newsroom.aaa.com/2019/03/americans-fear-self-driving-cars-survey/> [dostęp: 20.02.2020].
- Allied Market Research (2018), *Autonomous Vehicle Market Outlook – 2026*, <https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-vehicle-market> [dostęp: 20.02.2020].
- Automobilwoche (2019), *Audi schließt sich offenbar Kooperation von BMW und Daimler an*, <https://www.automobilwoche.de/article/20190824/NACHRICHTEN/190829927/autonomes-fahren-audi-schliesst-sich-offenbar-kooperation-von-bmw-und-daimler-an> [dostęp: 20.02.2020].
- Autotalks, Kapsch, NXP, Siemens (2018), *ITS-G5 technology – A Fact Sheet*, https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/feedback/18167/attachment/090166e5c12a3443_en [dostęp: 12.11.2019].
- Boeing (2019), *Pilot & Technician Outlook 2019-2038*, <https://www.boeing.com/commercial/market/pilot-technician-outlook/> [dostęp: 20.02.2020].
- CEDD (2020), *Obszary testowe CEDD*, <http://cedd.pl/en/obszary-testowe/> [dostęp: 20.02.2020].
- CEPiK (2019), *Prawa jazdy i uprawnienia w 2018 r.*, <http://www.cepik.gov.pl/statystyki> [dostęp: 20.02.2020].
- Comité National Routier (2016), *Comparative study of employment and pay conditions of international lorry drivers in Europe*, <http://www.cnr.fr/en/content/download/50313/656829/version/30/file/Comparative%20study%20of%20employment%20and%20pay%20conditions%20of%20international%20lorry%20drivers%20in%20Europe.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Digital Poland (2019), *Technologia w służbie społeczeństwu*, <https://www.digitalpoland.org/assets/publications/spoleczenstwo-50/technologia-w-sluzbie-spoleczenstwu-czy-polacy-zostana-spoleczenstwem-50.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Ellen McArthur Foundation (2015), *Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe*, https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- European Environment Agency (2019a), *EEA greenhouse gas - data viewer*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> [dostęp: 20.02.2020].
- European Environment Agency (2019b), *Share of transport greenhouse gas emissions*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-transport-ghg-emissions-1> [dostęp: 20.02.2020].
- GITD (2019), *Sprawozdanie. Dokumenty wydane przez GITD – ważne w obrocie prawnym – stan na dzień 31 grudnia 2017 r.*, Główna Inspekcja Transportu Drogowego, <https://gitd.gov.pl/fileadmin/imported/direct/64944/Dane-statystyczne-2017.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- GUS (2019a), *Transport drogowy w Polsce w latach 2016 i 2017*, Główny Urząd Statystyczny, https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5511/6/5/1/transport_drogowy_w_polsce_w_latach_2016_i_2017_.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- GUS (2019b), *Przewozy ładunków i pasażerów w 2018 r.*, Główny Urząd Statystyczny, https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5511/11/7/1/przewozy_ladunkow_i_pasazerow_w_2018_roku.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- GUS (2019c), *Opracowanie metodyki i oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego ze środków transportu drogowego na poziomie kraju*, https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/6334/6/1/1/raport_opracowanie_metodyki_i_oszacowanie_kosztow_zewnetrznych_emisji_zanieczyszczen.pdf [dostęp: 20.02.2020].

- GUS (2019d), *Rocznik statystyczny handlu zagranicznego 2019*, https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/9/13/1/rocznik_statystyczny_handlu_zagranicznego_2019.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- IPSOS (2018), *Research findings - Few Would be Comfortable with Flying on Pilotless Airlines*, <https://www.ipsos.com/en-us/news-polls/Few-Would-be-Comfortable-with-Flying-on-Pilotless-Airlines> [dostęp: 20.02.2020].
- Komenda Główna Policji (2019), *Wypadki drogowe w Polsce w 2018 roku*, <http://statystyka.policja.pl/download/20/308515/Wypadki2018.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Komisja Europejska (2020), *Cross-border corridors for Connected and Automated Mobility (CAM)*, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/cross-border-corridors-connected-and-automated-mobility-cam> [dostęp: 20.02.2020].
- KRBRD (2018), *Badania zachowań pieszych i relacji pieszy – kierowca wrzesień-grudzień 2018 r.*, https://www.krbrd.gov.pl/files/file_add/download/506_badanie-zachowan-pieszych-i-relacji-pieszy-kierowca-wrzesien-grudzien-2018-r.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- KRBRD (2019), *Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2018, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej*, https://www.krbrd.gov.pl/files/file_add/download/509-wycena-kosztow-wypadkow-i-kolizji-drogowych-2018.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Market Watch (2019), *Global Autonomous Vehicles Market 2019 to Boom \$615.02 Billion Value by 2026 at a CAGR of 41.5% – Analytical Research Cognizance*, <https://www.marketwatch.com/press-release/global-autonomous-vehicles-market-2019-to-boom-61502-billion-value-by-2026-at-a-cagr-of-415-analytical-research-cognizance-2020-06-25> [dostęp: 20.02.2020].
- Ministry of Transport and Communications Finland (2006), *Impacts of an automatic emergency call system on accident consequences Ministry of Transport and Communications Finland Finnish Re:D Programme on Real-Time Transport Information AINO Impacts of an automatic emergency call system on accident consequences*, <http://www.bruxelles2.eu/wp-content/uploads/2015/04/eCallFinlandeEtud2006re%CC%81sum.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- MSWiA (2019), *Raport z funkcjonowania systemu powiadamiania ratunkowego w 2018 r.*, <https://www.gov.pl/attachment/b7882117-b536-4e6e-91ab-c3fefaf30738> [dostęp: 20.02.2020].
- Navigant Research (2017), <https://www.navigantresearch.com/reports/transportation-forecast-light-duty-vehicles> [dostęp: 20.02.2020].
- NHTSA (2008), *National Motor Vehicle Crash Causation Survey*, <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811059> [dostęp: 20.02.2020].
- Radio Kraków (2019), *Nie będzie testów samochodów autonomicznych na małopolskim odcinku autostrady A4*, <https://www.radiokrakow.pl/wiadomosci/aktualnosci/nie-bedzie-testow-samochodow-autonomicznych-na-malopolskim-odcinku-autostrady-a4/> [dostęp: 20.02.2020].
- Ray, K. (2019), *Driverless Roads*, "National Affairs", <https://www.nationalaffairs.com/publications/detail/driverless-roads> [dostęp: 20.02.2020].
- Toyota (2019), *Financial Summary FY2019*, https://global.toyota/pages/global_toyota/ir/financial-results/2019_4q_summary_en.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- Turley, A., Moerman, K., Filippi, A., Martinez, V. (2018), *C-ITS: Three observations on LTE-V2X and ETSI-ITS G5*, <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/CITSCOMPWP.pdf> [dostęp: 20.02.2020].

- UITP (2012), *Metro Automation Facts, Figures and Trends*, International Association of Public Transport, <http://www.uitp.org/sites/default/files/Metro%20automation%20-%20facts%20and%20figures.pdf> [dostęp: 20.02.2020].
- Voelcker, J. (2014), *1.2 Billion Vehicles On Roads Now, 2 Billion By 2035: Report*, Green Car Reports, https://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report [dostęp: 20.02.2020].
- Winton, N. (2019), *Computer Driven Cars, Trucks Are Coming But Pace Slows To A Dawdle*, Forbes, <https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2019/06/05/computer-driven-cars-trucks-are-coming-but-pace-slows-to-a-dawdle> [dostęp: 20.02.2020].
- WIPO (2019), *WIPO Technology Trends 2020: Artificial Intelligence*, World Intellectual Property Organization, https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055.pdf [dostęp: 20.02.2020].
- (www1), <https://tlp.org.pl/informacje-branzowe/> [dostęp: 20.02.2020].
- (www2), <http://www.oica.net/category/economic-contributions/> [dostęp: 20.02.2020].
- (www3), https://www.youtube.com/watch?v=_OCjqIgxwHw [dostęp: 20.02.2020].
- (www4), <https://www.sohjoabaltic.eu/pl/> [dostęp: 20.02.2020].

Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* gospodarczy, którego historia sięga 1928 roku. Obszary badawcze Polskiego Instytutu Ekonomicznego to przede wszystkim handel zagraniczny, makroekonomia, energetyka i gospodarka cyfrowa oraz analizy strategiczne dotyczące kluczowych obszarów życia społecznego i publicznego Polski. Instytut zajmuje się dostarczaniem analiz i ekspertyz do realizacji Strategii na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, a także popularyzacją polskich badań naukowych z zakresu nauk ekonomicznych i społecznych w kraju oraz za granicą.