

MIŁOSZ BATORSKI

mgr, Euvic Sp. z o. o.
ul. Przewozowa 32, 44-100 Gliwice,
e-mail: milbat@onet.pl

Pojazdy autonomiczne w miejskim transporcie zbiorowym¹

Streszczenie: Idea pojazdów autonomicznych cieszy się coraz większym zainteresowaniem wśród kierowców i pasażerów samochodów osobowych. Wzmoczone zainteresowanie zaobserwować można również w jednostkach transportu zbiorowego. W artykule zgłębiono zagadnienie autonomiczności pojazdów oraz historię, rozwój i przyszłość samej idei. Wyszczególniono poziomy autonomiczności pojazdów oraz przybliżono lęki, nawyki, przyzwyczajenia i oczekiwania kierowców względem transportu autonomicznego. Przedstawiono przykładowe rozwiązania oraz działania pilotażowe wybranych jednostek transportowych w Polsce i na świecie. Oprócz tego zaprezentowano zarys mechanizmów sterujących pojazdem (samochodem) autonomicznym oraz przykłady systemów używanych w AV. Opisano problemy stojące na drodze upowszechnienia się idei AV oraz nowe możliwości, jakie niosą pojazdy autonomiczne. Poddano też dogłębną analizie wady i zalety potencjalnego powszechnego korzystania z pojazdów autonomicznych.

Słowa kluczowe: transport miejski, transport zbiorowy, pojazd autonomiczny.

Wprowadzenie

Transport jest jedną z podstawowych potrzeb wtórnych człowieka, a potrzeba przemieszczania ludzi i towarów towarzyszy ludzkości od praktycznie jej początków. Kwestie dotyczące sposobów transportu dotyczyły przekroju całej struktury społeczeństwa. Dotychczas istniał jednak pewien wspólny mianownik każdego planu transportowego – transport nie mógł się odbyć bez ingerencji kierującego nim człowieka. Dotyczyło to wszystkich form transportu: wodnego, lądowego, powietrznego oraz zarówno funkcji pierwotnych (przewożenie towarów, przeladunek towarów), jak i wtórnych (budowa, utrzymanie pojazdów i infrastruktury oraz odpowiedzialności za dostarczanie usług związanych z transportem). Rewolucyjne w tym kontekście podejście przedstawiły pojawiające się na rynku pojazdy autonomiczne. W zależności od poziomu autonomiczności, rola człowieka, jako nadzorca czuwającego nad sprawnością i bezpieczeństwem przejazdu, została znacznie zredukowana albo całkowicie wyeliminowana. W przeciągu kilkunastu lat od pierwszych informacji o testach pojazdów autonomicznych dokonał się ogromny postęp w dziedzinie, skupiający się również szerzej na pojazdach autonomicznych w miejskim transporcie zbiorowym. Autor niniejszego artykułu skoncentruje się zatem na definicji i historii autonomiczności, postępach obserwowanych w dziedzinie oraz na charakterystyce pojazdów autonomicznych w transporcie zbiorowym, z naciskiem na wskazanie wad i zalet danych rozwiązań.

Autonomiczność pojazdów w ujęciu teoretycznym

Jak wspomniano we wstępie, na autonomiczność pojazdów składa się spektrum poziomu autonomiczności. Na podstawie tego poziomu można określić stopień „niezależnienia” pojazdu od ludzkiej ingerencji i nadzoru. Powszechnie uznaje się pięć lub sześć różnych poziomów autonomii pojazdów. W artykule przedstawiono pięć poziomów autonomii [1] (rys. 1):

- Poziom 0 (brak automatyzacji): kierowca sprawuje całkowitą kontrolę nad podstawowymi funkcjami pojazdu (hamowanie, sterowanie, napęd) przez cały czas trwania przejazdu. Na kierowcy spoczywa również obowiązek dbania o bezpieczeństwo przejazdu, tj. obserwowanie drogi i omijanie przeszkód.
- Poziom 1 (automatyzacja wybranej funkcji wymaganej w prowadzeniu pojazdu): tzw. *Function-specific automation*, czyli skupienie się na automatyzacji jednej lub większej liczby funkcji kontroli pojazdu. W przypadku automatyzacji wielu funkcji kontrolnych jednocześnie, powinny one działać niezależnie od siebie. Kierowca głównie sprawuje wciąż kontrolę nad pojazdem i jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo przejazdu, ale ma możliwość oddania kontroli nad daną funkcją (np. ACC, *Adaptive Cruise Control*). Pojazd automatycznie przejmuje kontrolę w określonych sytuacjach (ESC, Elektroniczna kontrola stabilizacji); lub system może wspomóc kierowcę dodatkową kontrolą w określonych sytuacjach, zarówno występujących regularnie w jeździe drogowej, jak i tych zdarzających się rzadziej (np. zapobieganie zderzeniom).
- Poziom 2 (automatyzacja wielofunkcyjna): sytuacja, w której dwie lub więcej funkcji współpracują ze sobą w celu odciążenia kierowcy. Kierowca jest wciąż odpowiedzialny za obserwowanie drogi i bezpieczny przejazd. Powinien być też gotowy w każdej chwili na przejście kontroli nad funkcjami zautomatyzowanymi, ponieważ system może zrzec się nadzoru nad nimi bez wcześniejszego ostrzeżenia.
- Poziom 3 (automatyzacja ograniczona): pojazdy na tym poziomie autonomiczności dają kierowcy możliwość zrzeczenia się kontroli nad wszystkimi krytycznymi pod względem bezpieczeństwa funkcjami w określonych warunkach drogowych i pogodowych. Kierowca może również polegać na ocenie systemu w kwestii monitorowania zmian warunków drogowych i pogodowych, koniecznych do oddania nadzoru powrotnie kierowcy. Od kierowcy

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2021.

oczekuje się sporadycznego przejmowania kontroli nad pojazdem, która jest odpowiednio wcześniej komunikowana. Ułatwia to sprawne i komfortowe przejście nadzoru nad pojazdem.

- Poziom 4 (pełna automatyzacja): pojazd jest zaprojektowany z myślą o wykonywaniu wszystkich krytycznych pod względem bezpieczeństwa funkcji kierowania oraz monitorowania warunków drogowych przez cały czas trwania przejazdu. Rola kierowcy ogranicza się w takim przypadku do podania punktu docelowego albo nawigacyjnego przejazdu. Nie jest wymagana żadna inna forma ingerencji kierowcy (np. przejście kontroli nad daną funkcją) w czasie przejazdu.

SAE Level	Name	Steering, acceleration, deceleration	Monitoring driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)
Human monitors environment	0 No automation the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems.				n/a
	1 Driver assistance the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task.				Some driving modes
	2 Partial automation the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task.				Some driving modes
Car monitors environment	3 Conditional automation the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene.				Some driving modes
	4 High automation the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene.				Some driving modes
	5 Full automation the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver.				All driving modes

Rys. 1. Poziomy automatyzacji

Źródło: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573902/EPRS_BRI\(2016\)573902_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573902/EPRS_BRI(2016)573902_EN.pdf)

Wszystkie opisane powyżej poziomy można oczywiście przełożyć również na transport miejski. Jediną znaczącą różnicą będzie bardziej rygorystyczne podejście do standardów bezpieczeństwa, ponieważ transport publiczny charakteryzuje się naturalnie większą liczbą pasażerów. Wraz z potencjalnym rozszerzeniem się usług będzie rosła też konkurencja na rynku i wymagania klientów względem przewoźnika. Znając więc teoretyczne podstawy zagadnienia, warto skupić się na samej jego definicji.

Definicja autonomiczności

Wśród definicji słowa „autonomia” w Słowniku języka polskiego PWN można znaleźć dwie definicje, które będą dokładnie opisywać terminologię autonomii w kontekście transportu. Można zatem autonomię rozumieć w tym kontekście jako: prawo jakiejś zbiorowości do samodzielnego rozstrzygnięcia swoich spraw wewnętrznych lub samodzielność i niezależność w decydowaniu o sobie (tutaj: w odniesieniu do niezależnego systemu lub sztucznej inteligencji, które będą miały nadzór na pojeździe).

Samoświadomość maszyn nie jest jeszcze terminem stricte naukowym, dla którego moglibyśmy podać funkcjonalne i działające przykłady, szczególnie w kontekście pojazdów transportu miejskiego. System „decyduje o sobie”

i o swoich funkcjach tylko za sprawą uprzedniego, starannie przygotowanego przez projektantów projektu, ale wykazuje z pewnością jakąś formę niezależności już w czasie jazdy na podstawie zbieranych i przetwarzanych z otoczenia danych. Autonomiczność i jej zakres wyrażają się więc w stopniu uniezależnienia pojazdu od czynnika ludzkiego. Tak skonstruowana definicja jest jednak niepełna, ponieważ skupia się tylko na jednym aspekcie autonomiczności. W pracy [2] autorzy podają następującą definicję autonomiczności:

„W przekonaniu autora można by postarać się o inną definicję: przez pojazd autonomiczny rozumiemy taki, który posiada następujące cechy:

- kieruje samodzielnie, czasowo lub ciągle, tzn. eliminuje całkowicie lub częściowo udział kierowcy;
- pozwala na inteligentny wybór trasy (w zależności od celu podróży) oraz wykonanie manewrów (adekwatnych do aktualnej sytuacji na drodze)”.

Interdyscyplinarność jest cechą nauk o autonomicznych pojazdach, co dobrze uwidocznione jest w drugiej części opisywanej definicji. Za stworzenie praktycznego samochodu autonomicznego nie są odpowiedzialni wyłącznie automatycy, projektanci czy pracownicy linii montażowej, ale również informatycy tworzący oprogramowanie pokładowe. Zagadnienie oprogramowania planującego inteligentny wybór tras jest jednym z najciekawszych w kontekście poruszanego problemu, również ze względów ekonomicznych (funkcjonowanie w przyszłości dużych światowych korporacji może być uzależnione od dostarczania usług związanych z autonomicznymi pojazdami na najwyższym poziomie). Idea całkowitej autonomiczności pojazdów zwiększa popyt na rynku i wymusza na producentach prezentowanie nowych rozwiązań oraz funkcjonalności w swoich produktach.

Dla zrozumienia skutków obecnego postępu w tej dziedzinie i czynników, które doprowadziły do jego osiągnięcia, warto skupić się na historii pojazdów autonomicznych, która zostanie opisana w następnym podrozdziale artykułu.

Początki autonomizacji pojazdów

Samochód jest wynalazkiem końca dziewiętnastego wieku, ale już wcześniej powstawały pierwsze prace na temat pojazdów poruszających się samobieżnie. Najpopularniejszym przykładem jest wózek samobieżny Leonarda da Vinci, którego koncepcja powstała w drugiej połowie XV wieku (około roku 1478) [3]. Wózek osiągał 1,7 metra wysokości i 1,5 metra szerokości. Da Vinci wykorzystał mechanizm zwiniętych sprężyn, które rozprężając się, nadają pojazdowi prędkości. Taki mechanizm działania przyrównać dziś można do nakręcanej zabawki albo prymitywnego robota. Wózek nie zakładał istnienia miejsca dla pasażera ani nie miał być produkowany na szerszą skalę.

Pojazdy autonomiczne w koncepcji znanej współcześnie pojawiają się w czasach najnowszych. Projekty pojazdów samobieżnych z miejscem dla pasażera pojawiły się już po wynalezieniu samochodu. W 1925 roku firma Houdina Radio Control pracowała nad samochodem sterowanym

radiowo o nazwie „American Wonder” i odbyła nawet jazdę testową na ulicach Nowego Jorku [4]. Rok później, w 1926, firma Chandler Motor Car rozszerzyła pomysł firmy Houdina i zainstalowała antenę nadawczą na pojeździe, pozwalając osobie kierującej własny pojazd i śledzącej prototyp na odbieranie i wysyłanie sygnałów radiowych.

W 1939 roku firma General Motors wyszła ponownie z pomysłem samochodów sterowanych radiowo. Tym razem miałyby się one poruszać po drodze dzięki polu elektromagnetycznemu wytworzonymu przez obwody wbudowane w jezdnię. Niecałe 20 lat później, bo w 1953 roku, Radio Corporation of America skonstruowało prototyp samochodu sterowanego przewodami. Prototyp został przetestowany w warunkach autostradowych.

W roku 1960 Laboratorium Komunikacji i Systemów Sterowania na Uniwersytecie Stanu Ohio rozpoczęło projekt badawczy nad samochodami autonomicznymi sterowanymi za pomocą urządzeń elektronicznych wbudowanych w jezdnię. Natomiast w latach 70. firma Bendix Corporation opracowywała model samochodu autonomicznego zasilanego i kontrolowanego przez kable doziemne z przydrożnymi transmiterami komunikatów komputerowych.

W latach 80. firma Mercedes-Benz zaprojektowała i przetestowała robotycznego vana, który był w stanie osiągnąć prędkość 63 km/h na ulicach z ograniczonym ruchem drogowym. Defense Advanced Research Projects Agency (Agencja Zaawansowanych Projektów w Obszarze Obronności) współpracowała w tym samym czasie z kilkoma uniwersytetami amerykańskimi w celu stworzenia własnego modelu pojazdu autonomicznego. Powstał wtedy projekt ALV (Autonomous Land Driven Vehicle), dzięki któremu udało się stworzyć pojazd łączący zastosowanie metody pomiarowej LIDAR (Light Detection and Ranging) wraz z techniką rozpoznawania obrazów. W fazie demonstracyjnej pojazd osiągał prędkość 31 km/h. W roku 1989 Uniwersytet Carnegiego i Mellonów (Carnegie Mellon University) w Pensylwanii wyszedł z propozycją zastosowania sieci neuronowej w sprawowaniu kontroli nad pojazdami autonomicznymi [5].

W 1994 roku pojazd częściowo autonomiczny firmy Mercedes-Benz zdołał przejechać ponad 1000 km z prędkością nawet do 130 km/h. Rok później naukowcom z Carnegie Mellon University udało się przeprowadzić ogólnokrajowe jazdy swoim pojazdem pod hasłem „No Hands Across America”. Pojazd przejechał autonomicznie 98,2% z długiej na 5000 km trasy. W 1998 roku firma Toyota wprowadziła na rynek pierwsze urządzenie ACC (Adaptive Cruise Control) odpowiedzialne za utrzymanie bezpiecznego odstępu pomiędzy poruszającymi się samochodami.

Obecnie nie istnieje żadna oficjalnie ustalona granica rozdzielająca rozwój idei pojazdów autonomicznych na okres historyczny i współczesny, w tym artykule postanowiono w związku z tym wybrać początek lat dwutysięcznych jako punkt zwrotny. Wpłynęła na to przede wszystkim komercjalizacja idei i masowe zainteresowanie pojazdami autonomicznymi już nie tylko wśród korporacji samochodowych, ale też osób prywatnych.

Postęp w dziedzinie autonomiczności pojazdów

Lata dwutysięczne przyspieszyły stanowczo rozwój pojazdów autonomicznych. Rząd Stanów Zjednoczonych sfinansował badania nad pojazdami naziemnymi dla celów wojskowych, mające ułatwić nawigację na drogach gorszej jakości oraz omijanie przeszkód. W 2009 roku firma Google otworzyła własny projekt badający możliwości pojazdów autonomicznych.

W 2011 roku pojawiła się koncepcja samochodu elektrycznego firmy General Motors o nazwie Electric Networked Vehicle (EN-V). Rok później, w 2012 roku, firma Volkswagen stworzyła półautomatyczny pilot samochodowy o nazwie TAP (Temporary Auto Pilot). TAP umożliwiał jazdę z prędkością do 130 km/h. Jazda była zaprojektowana jednak w trybie półautomatycznym, ponieważ docelowym założeniem projektu nie było stworzenie w pełni autonomicznego pojazdu, a jedynie system wspomagający kierowcę i zapobiegający przed wypadkami samochodowymi, których główną przyczyną było przemęczenie i roztargnienie osoby prowadzącej pojazd.

W roku 2014 na rynku pojawił się samochód firmy Mercedes posiadający zestaw funkcjonalności autonomicznych. Przetestowany został w jeździe miejskiej, jak i autostradowej przy maksymalnej prędkości 200 km/h.

W tym samym czasie kluczowe korporacje samochodowe, wśród których wymienić można: Audi, General Motors i Volkswagena, kontynuowały lub otwierały podobne projekty badawcze we własnym zakresie, próbując stworzyć w pełni autonomiczny samochód.

O ile XX-wieczne pomysły na samochód autonomiczny opierały się głównie na technologii radiowej i sensorach wychwytyjących częstotliwości radiowe, o tyle współczesne pojazdy autonomiczne w założeniu mogą opierać się na systemach lokalizacji GPS w celu zwiększenia bezpieczeństwa przejazdu. Powszechna dostępność systemów lokalizacji GPS w prywatnych samochodach osobowych również znacząco przyczyniła się do wzrostu zainteresowania ideą autonomiczności pojazdów, a co za tym idzie do postępów w tej dziedzinie.

Przyszłość i współczesność pojazdów autonomicznych w transporcie zbiorowym

Przed rokiem dwutysięcznym projekty autonomizacji skupiały się głównie na samochodach osobowych. Nowe tysiąclecie przyniosło zainteresowanie możliwością wykorzystania pojazdów autonomicznych w transporcie zbiorowym. Przykładem jest miasto-państwo Singapur, gdzie władze postanowiły walczyć z problemem niedoboru kierowców autobusów poprzez autonomizację komunikacji miejskiej [2]. W 2016 roku Singapur jako pierwszy kraj na świecie postawił na autonomiczną taksówkę poruszającą się po drogach publicznych. W 2018 roku wdrożone zostały również dynamicznie zarządzane autobusy. Ze względu na zbyt dużą liczbę samochodów na ulicach władze Singapuru określiły plan polityki transportowej sięgający w przyszłość do roku 2040. Plan ten (Car-lite Singapore) zakłada umożliwienie stałego wprowadzenia pojazdów autonomicznych

do krajowego transportu zbiorowego [2]. Założenia planu przewidują kursowanie autobusów w interwałach czasowych około 5 minut lub krótszych. Ma to usprawnić komunikację z metrem, które jest głównym środkiem transportu w Singapurze.

Z przykładów europejskich przytoczyć można Cambridge na Wyspach Brytyjskich, gdzie w maju 2021 roku przeprowadzono pierwsze publiczne testy trzech autonomicznych minibusów wyprodukowanych przez firmę Aurigo. Każdy minibus jest zasilany energią elektryczną, może pomieścić dziesięciu pasażerów i porusza się z prędkością około 30 km/h. Minibusy z Cambridge oferują też miejsce dla wózka inwalidzkiego, który ma możliwość wjazdu na pokład dzięki automatycznie rozkładanej rampie. Trasa autobusów przewiduje przejazd na linii łączącej Madingley Road Park and Ride z kampusem Uniwersytetu Cambridge. Planowaną innowacją jest pomysł umożliwienia pasażerom tzw. transportu na żądanie na trasie linii, dzięki specjalnie zaprojektowanej aplikacji Aurigo².

Z przykładów zastosowania autonomizacji w transporcie zbiorowym bliższych geograficznie i kulturowo można wymienić Kraków, gdzie odbyły się pierwsze w Polsce przejazdy tramwajem sterowanym autonomicznie. Układ nawigacji satelitarnej odpowiadał za poruszanie się tramwaju zgodnie z trasą, bez ingerencji motorniczego. Projekt zakładał jednak, że dla tramwajów wdrożony zostanie wyłącznie asystent jazdy zwalniający kierujących pracowników z części ich codziennych obowiązków. Rola ostatecznego nadzorca nad trasą i bezpieczeństwem przejazdu pozostać miałyby dalej w gestii motorniczego [6]. Tramwaj wyprodukowany przez firmę NEWAG SA z Nowego Sącza o handlowej nazwie „Nevelo” sukcesywnie przejechał w nocy z 27/28 stycznia 2020 z Muzeum Narodowego do pętli w Cichym Kąciku oraz drogę powrotną. Trasę liczącą ponad 2 km udało mu się przebyć bez jakiegokolwiek ingerencji motorniczego.

W 2019 roku w Gdańsku zdecydowano się na ponowne kursy pilotażowe autonomicznego mikrobusu po przejazdach na linii do gdańskiego zoo. W roku 2021 wystartował przetarg na pilotażowe przejazdy po cmentarzu Łostowickim. Przedsięwzięcie jest związane z uzyskaniem przez miasto dofinansowaniem z funduszy europejskich na rozwój projektu Sohoja Last Mile. Testowe przejazdy będą odbywać się na trasie o długości około 800 m na terenie nekropolii. Okres pilotażowego kursowania mikrobusu obliczono na minimum 24 i maksimum 36 dni. Zastrzeżeniem związanym z bezpieczeństwem przejazdu jest fakt, że w pierwszym tygodniu kursowania linii na pokładzie znajdować się będzie operator odpowiedzialny za reagowanie w sytuacji zagrożenia. Mikrobus kursować będzie autonomicznie przez 6 dni w tygodniu, minimum 5 godzin dziennie³.

² Cambridge testuje autonomiczne autobusy Aurigo, Transinfo.pl, 2021. <https://transinfo.pl/infobus/cambridge-testuje-autonomiczne-autobusy-aurigo/> [dostęp: 08.06.2021]

³ Gdańsk wraca do autonomicznych kursów. Tym razem na cmentarzu, Transinfo.pl, 2021. <https://transinfo.pl/infobus/gdansk-wraca-do-autonomiczny-kursow-tym-razem-na-cmentarzu/> [dostęp: 08.06.2021]

Polscy naukowcy z Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem prof. W. Choromańskiego opracowali również system o nazwie HMASSUT Prometheus, który jest rozszerzeniem systemu PRT [2]. System powstał w ramach projektu „EcoMobility”, którego celem były rozwój i badania nad nowoczesnymi technologiami. W założeniu system unifikuje trzy technologie: pojazdu elektrycznego, pojazdu autonomicznego i PRT. Projekt przewidywał pojazdy o autonomizacji na poziomie L3/L4, które miały realizować transport *point to point* (od przystanku początkowego do końcowego, bez przystanków pośrednich). Działanie systemu miałyby opierać się na małych czterosobowych pojazdach elektrycznych poruszających się autonomicznie po infrastrukturze naziemnej (zarówno w trybie autonomicznym, jak i torowym).

Natomiast miasto Rzeszów podpisało w lipcu 2019 roku list intencyjny z firmami zajmującymi się infrastrukturą sieciową, telekomunikacją i cyberbezpieczeństwem w sprawie partnerstwa badawczo-wdrożeniowego technologii 5G. Celem partnerstwa byłoby wprowadzenie linii autobusów autonomicznych kursujących między dworcami kolejowymi oraz łączących centrum miasta z lotniskiem Rzeszów-Jasionka. Autobusy miałyby zabierać na pokład około 16 osób [7].

Ogromnym wyzwaniem będzie zbudowanie zaufania opinii publicznej do pojazdów autonomicznych. W 2014 roku przeprowadzono na ten temat badanie opinii w 28 krajach UE. Ankietowanych zapytano o to, czy czuliby się komfortowo, podróżując samochodem autonomicznym. Zdaniem ponad połowy respondentów (61%) jazda samochodem autonomicznym bez kierowcy sprawiałaby, że czuliby się niezręcznie [2]. Nieufność względem maszyn wywołuje przede wszystkim perspektywa utraty kontroli nad własnym losem, co jest jednym z podstawowych zagadnień filozoficznych w kontekście rozwoju sztucznej inteligencji. Kluczowe wydaje się więc dokładne zbadanie tego lęku przez socjologów i psychologów oraz opracowanie planu edukacji społeczeństwa. Poza tym pokładanie nadmiernego zaufania w systemy automatyczne opóźnia czasy reakcji kierowców w sytuacjach kryzysowych oraz zagraża ich gotowości do przejścia kontroli ręcznej [2]. Większa ufność prowadzi też do wydłużenia czasów reakcji kierowców na ostrzeżenia na drodze.

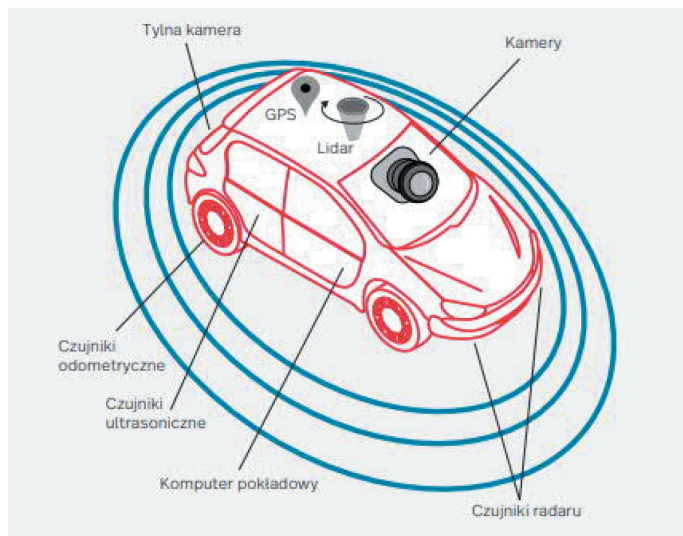
Kolejnym rozważanym atutem wprowadzenia w transporcie zbiorowym pojazdów autonomicznych byłaby redukcja wypadków śmiertelnych. Według statystyk błąd kierowcy przyczynia się do 75–90% wszystkich wypadków drogowych, a w samej Unii Europejskiej w 2017 roku zginęło na drogach 25 300 osób. Wyeliminowanie błędu kierowcy mogłoby znacząco wpłynąć na zmniejszenie śmiertelności kierowców i pasażerów. Krytycy tego podejścia wskazują jednak na fakt, iż automatyzacja może jedynie naprawić niektóre błędy ludzkie, ale nie jest w stanie ich całkowicie wyeliminować, tylko umiejscowić na innym etapie życia obiektu [2].

Prognozy w zakresie zwiększania dostępności do opisanej technologii są jednak optymistyczne. Zdaniem Komisarz ds.

Transportu UE do roku 2030 drogi w państwach członkowskich będą współdzielone przez samochody z warunkową automatyzacją oraz samochody standardowe. Perspektywa pełnej automatyzacji to kolejne 10–15 lat [2].

Charakterystyka pojazdów autonomicznych w transporcie drogowym

Dla lepszego zrozumienia działania systemów autonomicznych w pojazdach potrzebne jest dokładniejsze poznanie komponentów tworzących samochód autonomiczny. Na rysunku 2 przedstawiono w uproszczeniu urządzenia monitorujące i analizujące otoczenie.



Rys. 2. Kluczowe komponenty samochodu autonomicznego
Źródło: https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/05/PIE-Raport_Autonomiczny-transport-przysz%C5%82o%C5%9Bci.pdf

Celem radarów jest stałe wysyłanie fal radiowych pomagających systemowi w wykrywaniu obiektów i przeszkód. Dzięki wysyłanym falom można również zmierzyć prędkość i odległość w czasie rzeczywistym w trakcie przejazdu. W zależności od zaprojektowanego docelowego zasięgu wysyłanych fal można wymienić następującą funkcjonalność wspomagającą: aplikacje radarowe bliskiego zasięgu (24 GHz), które wspierają monitorowanie tzw. martwego pola; utrzymanie pasa ruchu i parkowanie; czujniki radarowe dalekiego zasięgu (77 GHz) odpowiadają za wspomaganie hamowania i sterowanie odległością. Obecne na rynku czujniki nie są jednak bezbłędne i te najbardziej popularne stwarzają problemy w zakresie rozpoznawania wysokości przeszkód oraz rozpoznawania pieszych [7].

Kamery odpowiadają za rejestrację otoczenia pojazdu i interpretację obiektów oraz przeszkód. W założeniu pełnią funkcję zbliżoną do ludzkiego oka. Współczesna technologia pozwala na pełny zakres obserwacji (360-stopniowe pole widzenia) pod warunkiem odpowiedniego rozmieszczenia urządzeń monitorujących. Kamery o dużym zasięgu działania (od 100 m wzwyż) potrafią rozpoznawać znaki drogowe, obliczyć odległość do oddalonych obiektów, klasyfikować obiekty, szacować prędkość ruchomych obiektów oraz obserwować pobocze. Wadą tych rozwiązań jest jednak zmienna niezawodność, ponieważ warunki pogodowe mogą wpłynąć

na poprawność interpretacji systemu. Kamery mają dodatkowo problemy z interpretacją obiektów, które ze sobą nie kontrastują, co może prowadzić do powstawania sytuacji niebezpiecznych na drodze [2].

Ostatnim opisywanym komponentem jest technologia znana pod nazwą lidar (Light Detection and Ranging). Lidar pozwala na rejestrowanie i przetwarzanie informacji dotyczących położenia przedmiotów za pomocą światła laserowego. Laser wysyła wiązkę światła (stałą lub w postaci przerywanych impulsów), która ulega rozproszeniu, żeby następnie być zarejestrowaną przez elementy światłoczułe odbiornika. Procesor analizuje intensywność odbitej wiązki oraz czas jej rejestracji, określając na tej podstawie położenie obiektu w przestrzeni oraz odległość samochodu od obiektu. Podobnie jak w przypadku kamer, odpowiednie rozmieszczenie urządzeń monitorujących pozwala na otrzymanie pełnego zakresu obserwacji (360 stopni pola widzenia). Lidar jest najdroższą oraz najbardziej niezawodną technologią wykorzystywaną w pojazdach autonomicznych. To właśnie z tym systemem wiąże się też największe nadzieje w kontekście stworzenia w pełni autonomicznych pojazdów, niewymagających nadzoru człowieka [7].

Porównanie rozwiązań różnych jednostek transportowych

W kontekście rozważań nad przyszłością pojazdów autonomicznych wymieniono już wyżej system HMASSUT Prometheus oraz pomysły władz Rzeszowa, Krakowa oraz Singapuru. Porównując te rozwiązania między sobą, należy również pokazać przykład miasta Gdańska, gdzie skupiono się na demonstracji możliwości autonomicznych minibusów. We wrześniu 2019 roku uruchomiono kurs autonomicznego minibusu poruszającego się na trasie Oliwa–Zoo Gdańsk. Pojazd kursował w ten sposób przez miesiąc, zabierając na pokład do 10 pasażerów. Testy pilotażowe objęte były patronatem Unii Europejskiej w ramach projektu „Interreg Region Morza Bałtyckiego” [7].

Od strony techniczno-organizacyjnej wymienić też można FMS – Fleet Management Systems, czyli systemy zarządzania flotą pojazdów. Są to rozwiązania stosowane na dużą skalę: zarówno w tradycyjnym transporcie towarowym, jak i kolejowym, lotniczym oraz w usługach mobilności na żądanie i systemach przeładunku materiałów. Systemy zarządzania taborem cieszą się dosyć sporą popularnością przede wszystkim ze względu na szeroki zakres zastosowań, jaki oferują, obejmujący cały proces transportowy. Od funkcji planujących i projektujących, jak np. planowanie operacji i projektowanie floty, przez funkcje kontrolne, jak śledzenie i diagnostyka pojazdów oraz analizę prędkości, po zarządzanie zasobami (paliwo) i bezpieczeństwem. Głównym zadaniem systemów zarządzania taborem jest minimalizacja kosztów i maksymalizacja wydajności i produktywności przejazdu [2].

W Polsce ze względu na infrastrukturę drogową większych miast wydaje się, że najłatwiejszym sposobem na prowadzenie dalszych badań byłoby wprowadzenie i rozwój autonomicznych tramwajów. Osobny pas ruchu dla tram-

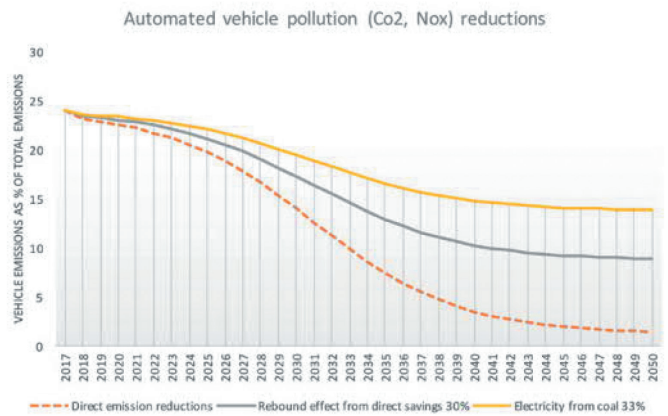
wajów np. w Warszawie powoduje, że pojazdy rządziej stoją w korkach drogowych i istnieje mniejsze niebezpieczeństwo kolizji z prywatnymi samochodami osobowymi. Przy testach istotnym ułatwieniem byłby również brak konieczności wyłączania poszczególnych odcinków z ruchu. Interesujące w tym kontekście wydają się być więc wspomniane wcześniej badania prowadzone w Krakowie nad autonomicznym tramwajem „Nevelo”. Problematyczny jednak jest fakt, że tramwaje jako środek transportu są rozwiązaniem używanym wyłącznie w większych miastach Polski. Dla szerszego dostępu pasażerów do transportu autonomicznego wymagane byłyby intensywniejsze prace nad autonomicznym autobusem.

Porównywanie rozwiązań poszczególnych jednostek jest jednak na obecną chwilę utrudnione, ponieważ większość z nich jest wciąż w fazie pilotażowej, nie dającej wystarczających dowodów na poprawę albo pogorszenie się jakości transportu publicznego w danym mieście. Dodatkowym problemem jest fakt różnorodności miast. Zawierają się w tym odmienne oczekiwania i przyzwyczajenia pasażerów odnośnie preferowanego środka transportu, a także niekiedy nieporównywalne ze sobą plany urbanistyczne miast. Dla przykładu i porównania można przytoczyć opisywany wcześniej Singapur z liczbą 18 542 taksówek przy populacji 5,7 mln [8] oraz Nowy Jork z nieco ponad trzynastoma tysiącami taksówek przy ponad ośmiomilionowej populacji [9]. Rozważania teoretycznie nie wykluczają jednak badań symulacyjnych, dzięki którym może powstać koncepcja odpowiadająca na pytanie, jak dane rozwiązanie mogłoby wpłynąć na czas, koszt i komfort podróży, niezawodność, dostępność, bezpieczeństwo oraz przyjazność środowisku. Takie kryteria właśnie badali naukowcy z Politechniki Poznańskiej. W pracy [10] nie skupiono się jedynie na poszczególnych nowo powstających rozwiązaniach autonomicznych w transporcie zbiorowym, lecz na bardziej ogólnej symulacji przejazdu znanymi obecnie środkami transportu. Efektem pracy była konkluzja, iż podróż pojazdem autonomicznym oraz podróż łączona: pojazdem autonomicznym i autobusem były najlepszymi rozwiązaniami w kontekście podróży miejskiej.

Wady i zalety pojazdów autonomicznych

Przy planowaniu potencjalnej autonomizacji należy wykonać oczywisty bilans zysków i strat. Uwzględnić trzeba uwarunkowania środowiskowe, aspekty psychologiczne natury ludzkiej, kwestie formalne (pozwolenia, zmiany w ustawodawstwie) oraz budżet potrzebny na przeprowadzenie innowacji. Poniżej uwzględniono potencjalne zalety, jak i wady wcześniej opisywanych rozwiązań

Pojazdy autonomiczne w miejskim transporcie zbiorowym mogą mieć pozytywny wpływ na środowisko. Przy zastosowaniu coraz popularniejszej techniki jazdy zwanej *eco-driving* (czyli w skrócie płynniejszej jazdy, mniej obciążającej pracę silnika) dochodzi zarówno do redukcji spalin wytwarzanych przez samochody, jak i oszczędności paliwa. Na rysunku 3 przedstawiono estymacje redukcji emisji dwutlenku węgla osiągniętą dzięki rozpowszechnieniu się samochodów autonomicznych.



Rys. 3. Emisja spalin przy upowszechnieniu się idei samochodów autonomicznych
Źródło: <http://policynetwork.org/wp-content/uploads/2017/09/Freeing-the-road.pdf>

Idea autonomizacji samochodów sprzyja upowszechnieniu zjawiska współdzielenia się samochodami i/lub kosztami przejazdu, czyli tzw. *car sharing*. Wpłynąć może również pozytywnie na redukcję cen przejazdów taksówkami w miastach, ponieważ samochód autonomiczny nie nakłada na korporacjach taksówkarskich stałego obciążenia w postaci wypłacanej comiesięcznej pensji dla kierowców.

Inną kluczową zaletą jest zapewnienie wyższego poziomu bezpieczeństwa na drogach. Jazda kontrolowana przez komputer znacznie zmniejszyłaby zachowania ryzykowne (takie jak brawura czy lekkomyślność) na drodze, a co za tym idzie liczba osób rannych i zmarłych uległaby znacznej redukcji, co było już szerzej opisywane powyżej. Warunkiem byłoby jednak znaczne upowszechnienie się jazdy autonomicznej, ponieważ przy wciąż wysokim odsetku samochodów sterowanych wyłącznie przez kierowców zachowania ryzykowne byłyby wciąż na porządku dziennym. Znaczną trudnością dla człowieka byłaby zmiana przyzwyczajeń w odczytywaniu reakcji samochodów sterowanych przez człowieka i komputer, jeżeli założymy, że w przypadku obu form transportu korzystano by z tej samej infrastruktury drogowej. Zakładając masowe upowszechnienie się jazdy autonomicznej, można też ograniczyć problem dotyczący osób nadużywających substancji psychoaktywnych podczas prowadzenia pojazdów. Kolejnym czynnikiem ludzkim zmniejszającym bezpieczeństwo w transporcie jest stres, który z oczywistych względów nie będzie dotyczył pojazdów w pełni autonomicznych (Neumann 2018).

Miejski transport zbiorowy w swoim założeniu ma ułatwiać przemieszczanie się wszystkim osobom, ale istotna część społeczeństwa, która z niego korzysta, to osoby starsze i niepełnosprawne. Brak kierowcy w pojazdach autonomicznych wpłynąć może jednak na komfort przejazdu np. pasażerów niepełnosprawnych, ponieważ niweluje konieczność angażowania postronnych osób w pomoc np. z ustawieniem podjazdu czy przestawieniem wózka inwalidzkiego. Przejazd autonomicznym transportem miejskim nie tylko zwiększa mobilność niepełnosprawnych, ale i niweluje izolację społeczną oraz potencjalny dyskomfort psychiczny.

Upowszechnienie się idei przejazdów autonomicznych, również wśród kierowców samochodów osobowych, przy-

czyni się do znacznej redukcji kongestii. Na poprawę sytuacji wpływa możliwość stałej obserwacji otoczenia i przejazdu innych pojazdów oraz zdolność do dostosowania odpowiedniej reakcji adekwatnej do sytuacji drogowej. Zgodnie z wynikami badań oczekiwać można, iż zdolność pojazdów autonomicznych do stałej analizy sytuacji na drodze i dostosowywanie do niej reakcji pojazdu ułatwi zwiększenie pojemności na pasie ruchu (w relacji pojazd na pasie na godzinę) [12].

W ujęciu teoretycznym wskazuje się również na wyrównanie szans i stworzenie bardziej sprawiedliwego transportu miejskiego jako zaletę pojazdów autonomicznych. Wynika to ze zmniejszenia wymagań względem użytkowników, tzn. wyeliminowanie konieczności posiadania prawa jazdy oraz brak jakichkolwiek wymagań dotyczących sprawności sensorycznej i motorycznej. W tym kontekście zwrócić należy uwagę na fakt, iż średnia zdawalność egzaminu praktycznego na prawo jazdy w Polsce wynosi jedynie 35% [15]. Sytuacja pandemiczna mogła wpłynąć dodatkowo stresująco na zdających ze względu na konieczność stosowania się do rygorystycznych i w pewnym stopniu uciążliwych wymogów sanitarno-epidemiologicznych (mierzenie temperatury ciała przed rozpoczęciem jazdy, wymóg zasłaniania ust i nosa maseczką przez cały czas trwania egzaminu). Na rysunku 4. dla zobrazowania problemu przedstawiono mapę z zaznaczonymi punktami Wojewódzkich Ośrodków Ruchu Drogowego, w których poziom zdawalności był najniższy.

W kontekście transportu zbiorowego fakt eliminacji kompetencji w postaci prawa jazdy może być jednak częściowo rozważany jako wada. Wykwalifikowani kierowcy zawodowi nie będą już potrzebni w społeczeństwie, w którym każdy ma dostęp do autonomicznego pojazdu podejmującego decyzje za człowieka. Zanik pewnych zawodów może prowadzić do sprzeciwu grup zawodowych i lobbowania na

rzecz opóźnienia lub całkowitego zaniechania prac nad wprowadzeniem autonomicznych pojazdów w transporcie zbiorowym. Społeczno-ekonomiczną konsekwencją jest też nagły wzrost osób bezrobotnych o ograniczonej możliwości przekwalifikowania się. Problematyczne jest też potencjalne załamanie się systemu. W przypadku dobrowolnej rezygnacji większości użytkowników z posiadania prawa jazdy, całkowite poleganie na niezawodności maszyn jest ryzykowne i może doprowadzić do katastrofalnego w skutkach paraliżu komunikacyjnego na ogromną skalę.

Inną poważną wadą może być podatność na ataki hakerskie. Postępująca cyfryzacja społeczeństwa otwiera nowe możliwości wrogiego przejęcia wrażliwych danych dotyczących użytkowników pojazdów autonomicznych. Oprócz przejmowania baz danych, zawierających wrażliwe informacje, istnieje również ryzyko przejęcia kontroli nad pojazdem przez osobę niepożądaną, co mogłoby też prowadzić do ataków terrorystycznych za sprawą np. przejęcia kontroli nad pojazdem autonomicznym przewożącym określoną liczbę pasażerów.

W tym kontekście należy też rozważyć kolejny problem natury etycznej – jak wykazały badania użytkownicy są bardziej skłonni wybaczyć błąd kierowcy-człowieka niż pojazdu autonomicznego [2]. W przypadku wystąpienia wypadku spowodowanego przez samochód autonomiczny mogłoby dojść do eskalacji społecznej paniki, która skutkować mogłaby blokadą rozwoju idei powszechnego dostępu do pojazdów autonomicznych.

Kolejną wadą może być też proces legislacyjny mający dostosować ustawodawstwo do wymogów i realiów przewozu autonomicznego. Obecne przepisy mówią o konieczności przebywania kierowcy w każdym samodzielnie poruszającym się po drodze pojeździe, jak i obowiązku kierowcy względem stałego panowania nad pojazdem. W przyszłości zapis ten musiałby być odpowiednio zmieniony, aby uwzględnić przejazdy autonomiczne. Konieczne byłoby też odpowiednie oraz sprawiedliwe oddelegowanie odpowiedzialności za potencjalne wypadki drogowe. W przypadku, gdy samochodem steruje w pełni komputer, problematyczne staje się zidentyfikowanie sprawcy. Ustawodawca byłby zmuszony ustalić na kim spoczywa ostateczna odpowiedzialność za wszelkie błędy systemu, co mogłoby działać odstręczająco na firmy produkujące pojazdy autonomiczne, a co za tym idzie znacząco opóźnić proces powszechnego dostępu do transportu autonomicznego. Alternatywnym rozwiązaniem byłoby przeniesienie pełnej odpowiedzialności na państwo albo stworzenie specjalnego funduszu odszkodowawczego dla poszkodowanych oraz rodzin ofiar wypadków drogowych. Obecnie pionierem w dziedzinie aktualizacji przepisów pod zmieniający się rynek samochodowy są Niemcy. Nowelizacja przepisów ustawy o ruchu drogowym tzw. Straßenverkehrsgesetz przewiduje określone warunki dopuszczania pojazdów AV do ruchu drogowego. Wśród wymogów wymienić można konieczność przebywania w pojeździe osoby z ważnym prawem jazdy na miejscu przeznaczonym dla kierowcy oraz wyposażenie pojazdu w czarne skrzynki, pomagające ustalić przebieg zdarzeń w sytuacji wypadku czy awarii



Rys. 4. Gdzie w Polsce najtrudniej zdać egzamin praktyczny?

Źródło: <https://rankomat.pl/samochod/gdzie-najlatwiej-zdac-egzamin-na-prawo-jazdy> (portalnaukijazdy.pl [od 01.01.2019 do 31.10.2019] na podstawie analizy przeprowadzonych egzaminów kat. B w współpracy z WORD)

samochodu. Czarne skrzynki będą też narzędziem pomocnym w ustalaniu winnego wypadku. Nowelizacja przewiduje obarczenie winą kierowcy za wypadki drogowe, które nie wynikły z powodu awarii systemów bezpieczeństwa (w oczywisty sposób taka awaria uniemożliwiłaby kierowcy przejęcie kontroli nad pojazdem) [14]. Z punktu widzenia interesu użytkowników konieczne jest też ujednoczenie standardów bezpieczeństwa użytkowania pojazdów autonomicznych. Przy konkurencyjnych warunkach wolnego rynku firmy produkujące pojazdy autonomiczne będą wychodzić naprzeciw różnym oczekiwaniom użytkowników, a co za tym idzie testować różne funkcjonalności. Korporacje musiałyby wybrać najlepsze (pod względem bezpieczeństwa, wygody i ochrony środowiska) innowacje. Metodą prób i błędów ustawodawca musiałyby w ostateczności wybrać powszechnie przyjęte standardy jako wymóg.

Wadą organizacyjną jest konieczność dokładnego przeskanowania terenów, na których wprowadzony ma zostać autonomiczny ruch drogowy. Na podstawie przeskanowanych terenów muszą powstać szczegółowe mapy, które będą przetwarzane przez systemy lokalizacji, oparte na wspomnianych wcześniej systemach typu Lidar, kamerach oraz radarach. Przedsięwzięcie takie wiąże się z ogromnymi kosztami i odpowiedzialnością.

Trwająca obecnie pandemia COVID-19 mogła chwilowo zaburzyć rozwój technologii AV na całym świecie. Obostrzenia związane z utrzymywaniem dystansu społecznego oraz troska o własne zdrowie znacząco wpłynęły na zmniejszenie się liczby pasażerów transportu zbiorowego. Poza tym pojawiły się nowe możliwości rozpropagowania idei transportu autonomicznego w innych dziedzinach, ze względu na wyższą niż zwykle konieczność transportu dóbr przy jak najrzadszych interakcjach międzyludzkich. Zważywszy na zmianę modelu zakupowego coraz więcej firm kurierskich oraz firm zajmujących się dostawą jedzenia na zamówienie, zainteresowanych jest ideą pojazdów autonomicznych [13]. Aktualna sytuacja jest zatem okolicznością sprzyjającą idei powszechnej automatyzacji pojazdów w niektórych branżach. Pomimo faktu, iż pełna automatyzacja w ruchu drogowym jest raczej wciąż perspektywą odległą, to wzmożone działania jednostek transportu zbiorowego w różnych częściach świata (w tym w Polsce) pozwalają na jeszcze intensywniejszy rozwój pojazdów autonomicznych i szersze rozpropagowanie idei. Pomimo ogromnych wyzwań i oczywistych wad, związanych z wprowadzeniem idei AV w życie, zalety z potencjalnego powszechnego zautomatyzowania pojazdów wydają się zdecydowanie przeważać. Przeprowadzenie w przyszłości pełnej automatyzacji będzie jednak procesem długotrwałym, obciążonym zbiorowym wysiłkiem producentów, naukowców, ustawodawców i użytkowników.

Podsumowanie

W artykule podjęto tematykę pojazdów autonomicznych w miejskim transporcie zbiorowym. Celem pracy było przedstawienie spójnego obrazu innowacji z zakresu AV w transporcie zbiorowym oraz przybliżenie funkcjonalności

wybranych systemów. Ze względu na pilotażowość badań nad pojazdami automatycznymi w transporcie zbiorowym oraz na obecny kryzys w transporcie zbiorowym związany z pandemią COVID-19 cel został osiągnięty wyłącznie częściowo.

W pierwszej części artykułu skupiono się na zaprezentowaniu ogólnych zagadnień, w tym autonomiczności w ujęciu teoretycznym, jej definicji, początkom autonomizacji pojazdów oraz postępowi w dziedzinie autonomiczności oraz przyszłości pojazdów autonomicznych. Zwrócono uwagę również na interdyscyplinarność i złożoność przedstawianego zagadnienia.

Charakteryzując pojazdy autonomiczne w transporcie zaprezentowano zarys mechanizmów sterujących samochodem autonomicznym oraz przykłady systemów używanych w AV. W kolejnych rozdziałach porównano przykładowe rozwiązania różnych jednostek transportowych w Polsce i na świecie oraz wzięto pod uwagę wady i zalety danych rozwiązań, w tym opinię co do użyteczności, dalszej popularyzacji i rozwoju idei w przyszłości.

Literatura

1. *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*, Rand Corporation, 2016.
2. Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K., *Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 2020.
3. Newman L., *Self-Driving Cars*, Cherry Lake Publishing, 2018.
4. Raviteja T., Vedaraj R., *An introduction of autonomous vehicles and a brief survey*, "Journal of Critical Reviews", 2020.
5. Pomerleau D., *Alvin: An autonomous land vehicle in neural network*, Morgan Kaufmann Publishers, 1989.
6. Górowski M., Konieczek Z., *Autonomizacja jazdy tramwajem jako narzędzie wspierające pracę motorniczych*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2020, nr 2.
7. Darowska M., Grzeszak J., Sipiński D., *Autonomiczny transport przyszłości*, Polski Instytut Ekonomiczny, 2020.
8. Müller J., *Number of taxis operating in Singapore 2012–2020, 2021*. <https://www.statista.com/statistics/953759/size-of-taxi-fleet-singapore/> [dostęp: 02.05.2021]
9. The New York City Taxi and Limousine Commission (TLC), 2021. <https://www1.nyc.gov/site/tlc/businesses/yellow-cab.page> [dostęp: 02.05.2021]
10. Owczarzak Ł., Zak J., *Design of passenger public transportation solutions based on autonomous vehicles and their multiple criteria comparison with traditional forms of passenger transportation*, "Transportation Research Procedia", 2015.
11. Pakusch C., Bossauer P., *User acceptance of Fully Autonomous Public Transport*, 2017.
12. Neumann T., *Perspektywy wykorzystania pojazdów autonomicznych w transporcie drogowym w Polsce*, 2018.
13. Newsweek, Niska zdawalność egzaminu na prawo jazdy. Powód? System wynagradzania egzaminatorów <https://www.newsweek.pl/polska/spoleczenstwo/niska-zdawalnosc-egzaminu-na-prawo-jazdy-powod-system-wynagradzania-egzaminatorow/6r0cls7> [dostęp: 14.08.2021]
14. T. Okurowski, Niemcy legalizują autonomiczne samochody, 2017. <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/niemcy-legalizuja-autonomiczne-samochody/nn4qem1> [dostęp: 14.08.2021]
15. Boll C., *The Impact of COVID-19 on Adoption of Autonomous Vehicle Technology*, 2020. <https://www.foley.com/en/insights/publications/2020/08/covid-19-adoption-autonomous-vehicle-technology> [dostęp 02.05.2021]