

Marcin JURCZAK\*, Kinga PAWLICKA\*\*

## TRANSPORT AUTONOMICZNY JAKO ELEMENT ROZWOJU MIASTA ZRÓWNOWAŻONEGO

### AUTONOMOUS TRANSPORT AS A PART OF SUSTAINABLE CITY DEVELOPMENT

DOI: 10.25167/sm.4883

**ABSTRAKT:** W artykule dokonano identyfikacji i określenia zależności pomiędzy budowaniem transportu autonomicznego w mieście a zrównoważonym rozwojem. Innowacyjne rozwiązania transportowe stają się coraz ważniejszym elementem w debacie na temat rozwoju zrównoważonych miast. Niestety obecnie w Europie nie ma ustrukturyzowanej polityki miejskiej w tym obszarze. Celem artykułu było zbadanie obecności zagadnień związanych z pojazdami autonomicznymi w działaniach miast. Problemem badawczym poruszonym w artykule jest wpływ autonomicznej mobilności na kształtowanie strategii zrównoważonego rozwoju miasta. Dodatkowo wskazano wybrane wnioski z badania ankietowego, przeprowadzonego w polskich miastach.

**SŁOWA KLUCZOWE:** transport publiczny, transport autonomiczny, strategia miasta, rozwój miast, zrównoważony rozwój

**ABSTRACT:** The article identifies and determines the relationship between building autonomous transport in the city and sustainable development. Innovative transport solutions are becoming an increasingly important element in the debate on the development of sustainable cities. Unfortunately, there is currently no structured urban policy in this area in Europe. The aim of the article was to examine the presence of issues related to autonomous vehicles in the activities of cities. The research problem raised in the article is the impact of autonomous mobility on shaping the city's sustainable development strategy. In addition, selected conclusions from a survey conducted in Polish cities were indicated.

**KEY WORDS:** Public transport, autonomous transport, city strategy, cities development, sustainable development

## Wprowadzenie

Prowadzone są liczne badania na temat pojazdów autonomicznych, wielu naukowców interesuje też temat strategii miast i aglomeracji (np. Cai, Yutong i in. 2019; Chehri, Mouftah 2019; Duarte, Fabio i Ratti 2018; Rudnicki 2022). Zwykle publikacje te mają jednak charakter inżynierski, odnosząc się do kwestii technicznych czy technologicz-

---

\* <https://orcid.org/0000-0002-0828-308X>

\*\* <https://orcid.org/0000-0002-8634-5282>

nych. Rządziej dotyczą problematyki zarządzania, a sporadycznie – tematyki związanej z wpływem technologii na mobilność i rozwój przestrzeni (np. Shadrin, Varlamov i Ivanov 2017; Hancock, Nourbakhsh i Stewart 2019). W związku z tym autorzy niniejszego opracowania zauważyli lukę badawczą związaną z istnieniem zależności pomiędzy wdrażaniem technologii pojazdów autonomicznych a rozwojem miast. Stało się to załącznikiem dla badań wzajemnych powiązań obu tych obszarów. Celem niniejszej publikacji było zbadanie obecności zagadnień związanych z pojazdami autonomicznymi w działaniach miast. Zakres przestrzenny badania objął miasta polskie mające powyżej 100 tys. mieszkańców. W dalszych podrozdziałach przedstawiono m.in. wstępne wyniki badania ankietowego przeprowadzonego w tych miastach.

Pojazdy autonomiczne mogą być katalizatorem transformacji miast (Rudnicki 2021, 109). Problem ten zauważono także na szczelbu administracji unijnej. Aktualizacja „Białej Księgi” z 2016 r. wskazuje wśród nowych zjawisk zmieniających transport i wpływających na jego rozwój także szybki rozwój technologiczny. Automatyzacja i cyfryzacja to trendy zmieniające mobilność, a inteligentny transport to sposób na rozwiązanie problemów mobilności, wymagający odpowiednich rozwiązań ramowych, zwłaszcza w zakresie standaryzacji, interoperacyjności i wymiany danych (Mężyk i Zamkowska 2019, s. 45–46).

## Transport autonomiczny – przegląd literatury

W niniejszym podrozdziale przedstawiono podstawowe wyzwania związane z wdrażaniem transportu autonomicznego. Skupiono się m.in. na definicji pojazdów autonomicznych, ich społecznym postrzeganiu, infrastrukturze transportu, wadach i zaletach pojazdów autonomicznych oraz ograniczeniach prawnych.

Obszar transportu autonomicznego pozostaje niezwykle interesującym kierunkiem badań. Świadczy o tym chociażby liczba publikacji, jakie na ten temat powstają. W przykładowej bazie (Springer) jest to dla hasła „autonomous vehicles” ponad 106 tys. publikacji (stan na 13.01.2023 r.), najwięcej w obszarze inżynierii (31 tys. rekordów) i informatyki (21 tys.). Zdecydowanie największą część publikacji dotyczy subdyscypliny związanej ze sztuczną inteligencją (prawie 31 tys. publikacji). Wiele publikacji dotyczy także pokrewnych subdyscyplin: inteligencji obliczeniowej (8,4 tys.) i sieci komputerowych (7,1 tys.) czy też mechatroniki (8,5 tys.) oraz robotyzacji i automatyki (5,5 tys. publikacji). Z kolei w bazie Scopus – to 16 919 publikacji dla hasła „autonomous vehicles” (stan na 13.01.2023), w większości z obszaru inżynierii (12 675) i nauk komputerowych (8 838). Zainteresowanie badaczy tym obszarem konsekwentnie rośnie, czego efektem jest wyraźny wzrost liczby publikacji na temat autonomicznego transportu w latach 2019–2021. Należy zauważyć, że zdecydowana większość publikacji dotyczy aspektów technologicznych – wykorzystania sztucznej inteligencji, automatyzacji czy technik komunikacji. Obszar zastosowania tej technologii w transporcie, logistyce i rozwoju miast pozostaje znacznie mniej zbadany. Na przykład już tylko zawężenie wyszukiwania w bazie Scopus do „autonomous vehicles” i „cities” wskazuje nieco po-

nad 2 tys. publikacji, z których zaledwie 134 dotyczą obszaru zarządzania i finansów, a 187 – nauk środowiskowych.

Wśród polskich badaczy tematykę tę podjęli m.in. Choromański, Grabarek, Kozłowski, Czerepicki i Marczuk (2020), wprowadzając swoją definicję dla pojazdu autonomicznego. Zgodnie z tą definicją pojazd autonomiczny jako taki posiada dwie zasadnicze cechy: porusza się samodzielnie (czyli bez udziału kierowcy) i potrafi radzić sobie w sposób inteligentny na drodze – wykonując wymagane manewry (s. 11). Taka definicja zdaniem samych autorów nie musi być uznana za doskonałą – zgodnie z nią za nieautonomiczny może być uznany np. pojazd szynowy poruszający się samodzielnie (gdyż nie wykonuje manewrów).

Zgodnie z klasyfikacją SAE (uznaną m.in. w USA przez National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA) pojazdy zakwalifikować można do sześciu grup, oceniając ich autonomię w skali od 0 (*no driving automation*) do 5 (*full driving automation*). Wraz z kolejnymi poziomami następuje stopniowe przejmowanie pojazdu przez automatykę sterującą – w pierwszych poziomach kierowca stopniowo oddaje prowadzenie pojazdu, pozostając jednak jego nadzorcą, od poziomu 3 kierowca nie jest już niezbędny, a pojazd przejmuje coraz to szerszy zakres odpowiedzialności za poruszanie się (NHTSA 2023; SAE 2023a i 2023b). Obecnie NHTSA wskazuje na pięć poziomów autonomii pojazdów (analogicznie do SAE), wskazując także, że po 2025 r. nastąpi era pojazdów automatycznych (NHTSA 2023). Należy zauważyć, że NHTSA opracowała wcześniej także własną, czteropoziomową (+ poziom zerowy) klasyfikację autonomii pojazdów (Neumann 2018, 787–788). Klasyfikacja SAE stała się obecnie branżowym standardem. Z kolei w odniesieniu do pojazdów szynowych często stosuje się klasyfikację UITP, opisaną w dalszej części artykułu.

Jednym z ciekawych obszarów poruszanych dziś przez badaczy jest społeczna akceptacja dla systemów transportu publicznego opartego na pojazdach autonomicznych. Badania przeprowadzone w Pekinie wskazują, że odbiór autonomicznego transportu publicznego jest zasadniczo pozytywny, a pojazdy autonomiczne mają na użytkowników pozytywny wpływ (Yuen, Choo, Li, Wong, Ma i Wang 2022). Analiza prowadzona była na podstawie dwóch grup czynników, związanych z teorią wartości i teorią wymiany społecznej. Autorzy wskazują, że w literaturze przedmiotu wciąż są interesujące luki badawcze na ten temat, dotyczące publicznej akceptacji pojazdów autonomicznych, ich oddziaływania socjologicznego, demograficznego czy też psychologicznych aspektów użytkowania tego typu pojazdów. Badania prowadzono na grupie mieszkańców Pekinu.

Także badania dotyczące pojazdów autonomicznych w Singapurze potwierdzają, że zarządzanie zcentralizowaną flotą pojazdów autonomicznych daje obiecujące rezultaty, powoduje jednak pojawienie się wątpliwości natury społecznej – dotyczącej zarówno akceptacji publicznej, jak i całościowego wpływu mobilności autonomicznej na kształt sektora usług publicznych. Autorzy tych badań wskazują m.in. na kolejne obszary wymagające analizy: zróżnicowanie podejścia do transportu publicznego *last mile* względem tradycyjnych, dłuższych podróży w całości realizowanych transportem autonomicznym, zwrócenie uwagi na wiek i kondycję ekonomiczną respondentów

w badaniach (jako czynniki mające wpływ na społeczny odbiór pojazdów autonomicznych). Inne wyniki notowane są w badaniach prowadzonych na mieszkańcach, a inne na pozostałych użytkownikach miejskiej przestrzeni (Cai i in. 2019).

Obszarem badań pozostaje także wpływ autonomicznej mobilności na infrastrukturę miejską i koszty jej budowy, utrzymania czy korzystania z niej. Szacuje się, że pojazdy autonomiczne wpłyną na zmniejszenie ogólnych kosztów transportu i poprawę mobilności, wpływając na nasze zachowania, ale także stawki opłat (np. za dostęp do infrastruktury parkingowej). Tym samym w modelowaniu ruchu w zakresie wpływu pojazdów autonomicznych na transport w miastach wziąć należy pod uwagę także dodatkowe elementy, dotyczące podróży z wykorzystaniem różnych środków transportu, pojazdów współdzielonych, stawek za dostęp do infrastruktury itp. (Shafiei i in. 2021).

W literaturze przedmiotu stosuje się pojęcie *shuttle* (lub *driverless shuttle*) – dla określenia niewielkich pojazdów komunikacji publicznej poruszających się bez kierowcy (Luger-Bazinger i in. 2021, s. 657–658). Komunikacja autobusowa oparta na pojazdach autonomicznych typu *shuttle* musi być dobrze zintegrowana z pozostałymi podsystemami publicznego transportu zbiorowego (Photopoulos 2020). Nowoczesne miasta wprowadzają tego typu pojazdy, są bowiem zmotywowane, aby wprowadzać nowe usługi współdzielonej mobilności, usługi o wyższym poziomie efektywności i wiarygodności z najniższym możliwym kosztem (Benyahya i in. 2022).

Osobnym zagadnieniem pozostaje ocena efektywności samych pojazdów i ich wpływu środowiskowego na rozwój systemów transportu publicznego. Pojazdy autonomiczne pozwalają bowiem zmniejszyć zużycie paliwa, kongestię i poprawić płynność ruchu drogowego (Huber i in. 2021). Wśród korzyści związanych z wdrażaniem pojazdów autonomicznych wskazuje się także: ograniczanie wypadków drogowych, emisję zanieczyszczeń, wzrost mobilności (zatem i poziomu jakości życia dla osób niezdolnych do samodzielnego prowadzenia pojazdów), redukcję stresu i wzrost bezpieczeństwa rowerzystów (Pettigrew i in. 2018, za: Crayton 2017 i KPMG 2016). Na podstawie danych zbieranych z eksploatacji pojedynczych pojazdów tego typu szacuje się, że pełna autonomizacja ruchu pozwoliłaby na redukcję zanieczyszczeń powietrza o 15% w przypadku dwutlenku węgla i 73% dla tlenków azotu (Stern i in. 2019). Wśród zalet wdrażania pojazdów autonomicznych wymienia się dodatkowo redukcję globalnej liczby pojazdów w mieście i związaną z tym mniejszą presję na wyznaczanie miejsc parkingowych (Hasan i Van Hentenryck 2021). Dzięki swoim zaletom pojazdy autonomiczne mają więc pozytywny wpływ na zrównoważony rozwój miasta. Osobnym interesującym zagadnieniem pozostaje odpowiedzialność za przemieszczanie się pojazdu autonomicznego. Za szkody związane z ruchem pojazdu autonomicznego mogą być odpowiedzialne różne podmioty, potencjalnie może to być: kierujący pojazdem, posiadacz pojazdu, operator pojazdu, producent pojazdu, producent/autor oprogramowania, a także organ władzy publicznej decydujący o zasadach przemieszczania się tego typu pojazdów (Robaczyński 2022, 69). W literaturze przedmiotu znaleźć można liczne publikacje na temat odpowiedzialności pojazdów autonomicznych i związanych z tym kwestii etycznych (Hevelke i Nida-Rümelin 2015; McManus i Rutchick 2019; Li

i in. 2016; Liu 2017). Rolą miasta i jego władz nie jest określanie ram prawnych, a jedynie zaplanowanie wykorzystania technologii w obrębie tych ram. Brak ram prawnych lub ich niewystarczający kształt może być z punktu widzenia miasta po prostu dodatkowym ryzykiem projektowym.

## Rola transportu w działaniach miasta zrównoważonego

Pojęcie „zrównoważony rozwój” zostało rozpowszechnione wraz z publikacją raportu G.H. Brundtlanda w 1983 r. pod tytułem „Nasza Wspólna Przyszłość”, w którym określono je jako rozwój zaspokajający potrzeby obecnego pokolenia bez narażenia na negatywne konsekwencje przyszłych pokoleń w zakresie zaspokajania ich potrzeb własnych (Brundtland 1987). Zatem rozwój zrównoważony ma polegać na właściwym i świadomym kształtowaniu relacji między wzrostem gospodarczym a dbałością o środowisko przy zaspokajaniu różnego typu potrzeb ludzkich (Petrișor i Petrișor 2013).

Miasta zrównoważone to te, których funkcjonowanie jest procesem gwarantującym bardziej wydajne działanie, przyjazne środowisko, mniej hałaśliwe otoczenie, a zarazem poprawiające zarówno jakość usług rządowych, jak i dobrobyt obywateli (Duarte i Ratti 2018; Gopalakrishnan, Chitturi i Prentkovskis 2015; Mccarthy 2017; Parkin, Clark, Clayton, Ricci i Parkhurst 2018).

Transport umożliwił przemieszczenie ludzi, towarów, informacji, a tym samym zapewnia wzrost interakcji społecznych i zasobowych. Mobilność można więc rozumieć jako walor poprawiający atrakcyjność i konkurencyjność miast w obszarze społecznym, przestrzennym, gospodarczym i środowiskowym. Stąd miasta są załączkami innowacji w zakresie mobilności. Prognozuje się, że wraz ze wzrostem liczby ludności w miastach będzie rosła kongestia, wzrośnie czas dojazdów – do 2050 r. przewiduje się trzykrotny wzrost tego miernika, natomiast koszty transportu mogą wzrosnąć czterokrotnie, a emisja dwutlenku węgla może wzrosnąć pięciokrotnie w stosunku do obecnego poziomu (Chehri i Mouftah 2019). Wdrażając pojazdy autonomiczne, miasta będą mogły osiągać wskazane wcześniej korzyści. Dlatego władze miast powinny przygotować plany, cele i harmonogram wdrażania transportu autonomicznego zawarte w swoich strategiach rozwoju. Dokumenty strategiczne stanowią odzwierciedlenie polityki transportowej, wyznaczając główne kierunki działań dla miasta<sup>1</sup>.

Według statystyk serwisu Web of Science (2.11.2021) prowadzone są liczne badania na temat *sustainable city strategy* (potwierdza to 7 847 rekordów), natomiast rzadziej na temat *transport in the sustainable city strategy* (tylko 959 rekordów). Luka badawcza pojawia się w odniesieniu do zagadnienia *autonomous transport in a sustainable city*

---

<sup>1</sup> Autorzy przyjmują, że przegląd dokumentów strategicznych pozwolił im pozyskać wiedzę na temat kierunków i trendów w obszarze polityki transportowej miast. W artykule zastosowano triangulację badań. Posłużono się wynikami zebranymi w formie ankiety badawczej, w której uzyskano opinie władz miasta (respondentów) na temat zawartości strategii, oraz zastosowano analizę dokumentów strategicznych miast przeprowadzoną przez autorów.

*strategy* (tylko 17 rekordów dla kombinacji *autonomous and transport and sustainable and city and strategy*). Według bazy danych Scopus istnieją obecnie 22 publikacje, które dotyczą hasła *autonomous transport in a sustainable city strategy*.

Prace naukowe nad oceną transportu miejskiego pod kątem jego oddziaływania na środowisko można zaobserwować w literaturze od około 1999 r. Jedną z pierwszych prac łączących zrównoważony rozwój miasta z transportem pasażerskim, przy założeniu rozwijania polityki transportowej, jest autorstwa A. Maclver (1999). Podobną tematyką zajmował się również J.F. Wang (1999), który zauważył, że w celu osiągnięcia zrównoważonego rozwoju miasta należy dążyć do optymalizacji kształtowania sieci dróg ulicznych poprzez zachowanie odpowiedniej jakości środowiska naturalnego.

A. Black, A. Paez i P.A. Suthanaya (2002) przedstawili związek między celami polityki na szczeblu krajowym w zakresie zrównoważonego rozwoju z działaniami i wskaźnikami ich wydajności prowadzonymi na poziomie lokalnym. Badania podkreślające aspekt przestrzenny w realizacji celów zrównoważonego transportu przedstawili P. Loukopoulos i R.W. Scholz (2004). Stwierdzili oni, że niezbędna jest ocena preferencji obywateli w postaci modelu negocjacji dotyczących zagospodarowania terenu, który umożliwia oceny scenariuszy przyszłej mobilności miejskiej przeprowadzone przez różne grupy interesariuszy za pomocą wieloatrybutowych analiz użyteczności.

Kolejne prace z zakresu zrównoważonej mobilności są autorstwa K. Doi i M. Kii (2012) oraz H.D. Miranda i A.N.R. da Silva (2012). Aspekt formułowania strategii w tym zakresie poruszyli K. Doi i M. Kii (2012), którzy opracowali narzędzie analityczne do przygotowywania strategii zrównoważonego transportu miejskiego i użytkowania gruntów przez społeczeństwa. Badania tych autorów wykazały, że trzy czynniki wartości związane z efektywnością, sprawiedliwością i środowiskiem niekoniecznie są ze sobą w sprzeczności. W szczególności wyjaśnia się, że cele redukcji emisji dwutlenku węgla mogą przyczynić się do poprawy bilansu finansowego i korzyści dla użytkowników na poziomie krajowym. Ponadto wyniki analizy porównawczej między scenariuszami związanymi z użytkowaniem gruntów i integracją transportu pokazują, że połączenie strategii transportu miejskiego z kontrolą użytkowania gruntów zapewnia większą redukcję emisji i większe korzyści dla użytkowników.

Opracowania scenariuszy zrównoważonego transportu podjęli się Basaric i in. (2015). W niniejszym artykule zaproponowano metodę polegającą na opracowaniu optymalnych wskaźników i scenariuszy wykorzystania transportu publicznego, które dążą do ograniczenia korzystania z samochodów osobowych w celu zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko i kosztów zewnętrznych jako części kosztów społecznych poprzez wdrożenie proponowanych środków polityki transportowej.

Znaczący wzrost liczby artykułów skoncentrowanych na zrównoważonym rozwoju transportu nastąpił, gdy Komisja Europejska opublikowała raport „Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach” (Urban Mobility Package 2013). W dokumencie zaprezentowano instrumenty mające sprzyjać zmianie zachowań komunikacyjnych i wzorców mobilności w obszarach zurbanizowanych. Uwzględnić powinny one: przeprowadzenie oceny aktualnych i przyszłych

wyników mobilności miejskiej na ich terytorium, opracowanie podejścia w zakresie mobilności w miastach, zapewniającego skoordynowane i wzajemnie wzmocniające się działania, zapewnienie, by plany były opracowywane i wdrażane oraz włączone w strategię rozwoju obszarów miejskich lub rozwoju terytorialnego o szerszym zakresie, podjęcie działań pozwalających unikać fragmentarycznego podejścia.

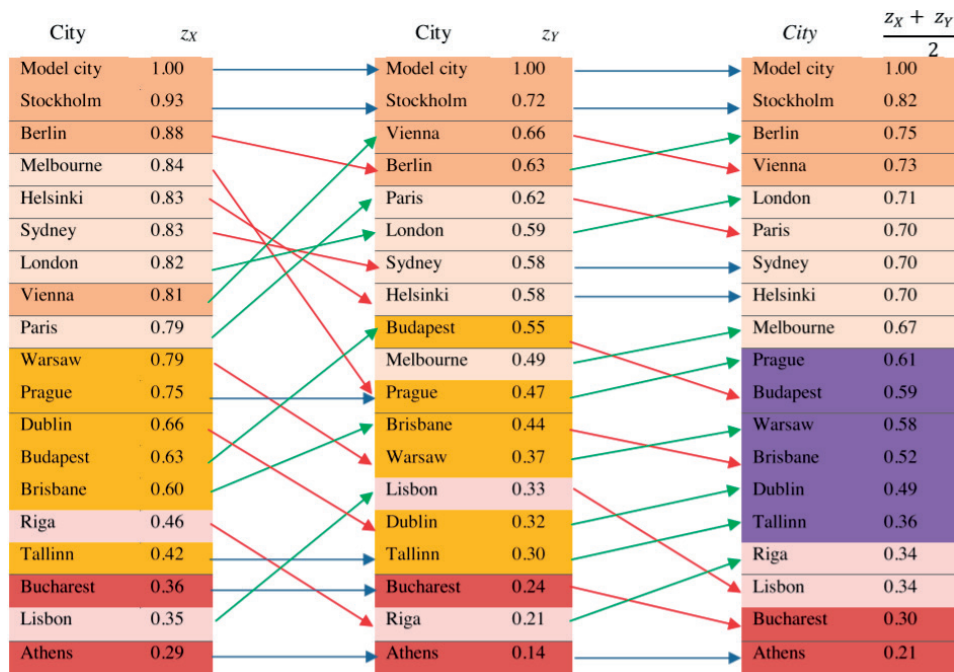
W załączniku do Pakietu Mobilności Miejskiej Komisja Europejska zdefiniowała założenia Planów Zrównoważonej Mobilności Miejskiej. Założenia te są planem stworzonym z myślą o zaspokajaniu potrzeb w zakresie mobilności ludzi i przedsiębiorstw w miastach i ich otoczeniu dla lepszej jakości życia. Wytyczne opierają się na istniejących praktykach planowania i należyście uwzględniają zasady integracji, uczestnictwa oraz oceny.

Według autorów niniejszej pracy wytyczne zawarte w koncepcji są nadal aktualne i słuszne, jednakże wymagają stałej ewaluacji i dostosowania do zmieniających się warunków technicznych oraz środowiskowych.

Opracowanie Planów Zrównoważonej Mobilności Miejskiej zachęciło badaczy do przygotowania narzędzi wspierających władze lokalne w diagnozie ich polityki transportowej (Jeon, Amekudzi, Guensler 2013). Ocena zrównoważonego rozwoju może być prowadzona na poziomie planowania w celu wpływania na podejmowanie decyzji i wspieranie rozwiązań, które oddziałują na zrównoważony rozwój transportu lub rozwiązań już wdrożonych. W badaniu autorzy założyli cztery miary wydajności i zagregowali je w indeksy reprezentujące parametry zrównoważonego rozwoju: efektywność systemu, wpływ na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo, aby umożliwić wizualizację i ocenę konkurencyjnych alternatyw.

System transportu w mieście można kształtować przy pomocy benchmarkingu, co udowodnili R. Zope i in. (2019). Wyniki uzyskane w ramach ich badania pokazują, że miasta o wyższym udziale zrównoważonych środków transportu zajmują wyższą pozycję pod względem wdrażania zrównoważonego rozwoju w innych aspektach. Zope i in. (2019) opracowali również narzędzie programowe do monitorowania systemu transportowego pod względem wydajności zrównoważenia w oparciu o zespół zdefiniowanych mierników. Ograniczeniem tego narzędzia może być mała grupa wybranych wskaźników, która nie uwzględnia na przykład lokalnych uwarunkowań środowiskowych.

Kompleksowe narzędzie umożliwiające ocenę dojrzałości poziomu wdrażania i formułowania zintegrowanej strategii transportu opracowali M. Kiba-Janiak, R. Thompson i K. Cheba (2021). Badanie zostało przeprowadzone w kilku miastach położonych na dwóch różnych kontynentach – w Europie i Australii. Struktury administracyjne miast wybranych do analizy znacząco się od siebie różnią, stąd odmienna jest również strategiczna polityka transportowa. Według autorów badania strategię transportu miast europejskich skupiają się na aspekcie zanieczyszczenia środowiska (np. mobilność ekologiczna, minimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko). Natomiast w miastach australijskich kładzie się nacisk na bezpieczeństwo w transporcie. Wysoki poziom dojrzałości pod względem formułowania i wdrażania zrównoważonej strategii transportowej został przypisany trzem miastom – Sztokholm, Berlin i Wiedeń (rys. 1).



\* wartość  $x$  – stopień zaawansowania w formułowaniu strategii logistycznej miasta,  
 wartość  $y$  – zakres realizacji strategii logistycznej miasta,  
 $z$  – wartość miary taksonomicznej (dla wartości  $X$  lub  $Y$ ).

Rys. 1. Ranking miast pod względem poziomu dojrzałości do formułowania i realizacji zrównoważonej zintegrowanej strategii transportu pasażerskiego i towarowego

Źródło: M. Kiba-Janiak, R. Thompson i K. Cheba (2021).

W drugiej, niższej grupie znalazły się miasta, w których zrównoważony transport jest priorytetem, natomiast realizowane działania z tego zakresu są nieefektywne. Do tych miast należą: Londyn, Paryż, Sydney, Helsinki i Melbourne. Najniższy poziom w analizowanym badaniu uzyskały Ateny.

Istnieją liczne badania łączące zrównoważony rozwój ze strategią transportu miejskiego, jednakże brak całościowego podejścia obejmującego prace nad przygotowaniem strategii, przez jej implementację, po ewaluację. Większość opracowań podejmuje tematykę opracowania narzędzi pomiarowych i oceniających efekty działań.

## Przełąd wdrożeń z zakresu systemów autonomicznego transportu miejskiego

Po ponad stu latach intensywnego rozwoju motoryzacji pojazdy autonomiczne mogą stać się przyczyną gwałtownego przeobrażenia mobilności miejskiej w nadchodzących dziesięcioleciach, rzutując na projektowanie zarówno w obszarze urbanistyki, jak i infrastruktury transportowej (Rudnicki 2021, 109–110). Systemy autonomicznego



transportu miejskiego podzielić można na kilka podstawowych grup z uwagi na: rodzaj środka transportu, poziom jego odseparowania od ruchu ulicznego oraz czas eksploatacji (systemy stałe oraz uruchamiane czasowo).

W artykule omówiono wybrane zagadnienia w odniesieniu zarówno do pojazdów drogowych, jak i pojazdów szynowych. Autonomia ruchu pojazdów szynowych jest zasadniczo zjawiskiem mniej złożonym z uwagi na separację od ruchu ulicznego, zatem jest zjawiskiem bardziej powszechnym. W praktyce w odniesieniu do sieci metra przyjmuje się zgodnie z klasyfikacją UITP<sup>2</sup> podział na cztery poziomy automatyzacji. Zgodnie z tą koncepcją wyróżnia się cztery podstawowe poziomy automatyzacji ruchu pociągów, odpowiadające podziałowi zadań pomiędzy operatora pojazdu a jego automatykę. Na poziomie GoA2 wprowadzanie pojazdu w ruch i hamowanie odbywają się już na poziomie automatycznym, na poziomie GoA4 – całość ruchu (w tym zamykanie drzwi o obsługa zdarzeń w razie zakłóceń) odbywa się już w sposób automatyczny. Wyższe poziomy (od trzeciego) oznaczają także pojazdy poruszające się bez maszynisty (metroautomation.org 2022).

Z danych UITP (2018) wynika, że w marcu 2018 r. globalna liczba autonomicznych linii metra przekroczyła 1 000 km. Na koniec 2018 r. co czwarta sieć metra na świecie miała co najmniej jedną linię obsługiwana automatycznie, a łączna liczba takich linii osiągnęła poziom 64 linii w 42 miastach, o całkowitej długości 1026 km, co stanowiło wzrost o 27,7% względem raportu z 2016 r. (UITP 2018). Połowa światowej sieci linii tego typu skupiona była wokół czterech krajów. Były to Korea Południowa, Francja, Singapur i Malezja, a największy wzrost w ciągu dekady odnotowały wspomniane trzy kraje azjatyckie i Zjednoczone Emiraty Arabskie (UITP 2018). W tym samym raporcie prognozuje się, że w 2028 r. długość autonomicznych linii metra osiągnie 3800 km, wliczając w to zarówno linie nowe, jak i przebudowane linie już wcześniej funkcjonującego tradycyjnego metra. Największe wzrosty planowane są w krajach Azji Pacyficznej (z 512 do 1 489 km), MENA (z 80 do 428 km) i Europie (z 303 do 611 km) (UITP 2018).

Przegląd rozwiązań warto rozpocząć od projektu Sohjoa Last Mile, w ramach którego wprowadzono do ruchu pojazdy autonomiczne o napędzie elektrycznym w trzech miastach: Kongsberg (Norwegia), Tallinn (Estonia) i Gdańsk (Polska). Cały projekt objął swoim zasięgiem pięć krajów (dodatkowo Finlandię i Łotwę), a współfinansowany był ze środków europejskich w ramach Interreg dla regionu Morza Bałtyckiego. Z przeprowadzonych działań i jazd pilotażowych wyciągnąć można kilka podstawowych wniosków: w podsumowaniu projektu wskazano, że działania w zakresie autonomicznej mobilności powinny być realizowane nie w przyszłości, ale już teraz. Niezbędne są zmiany (prawne, formalne) na poziomie zarówno międzynarodowym (UE), jak i krajowym, tak aby zapewnić z jednej strony możliwość rozwijania autonomicznej mobilności,

---

<sup>2</sup> Z języka francuskiego: L'Union internationale des transports publics, międzynarodowa unia transportu publicznego, największa organizacja zrzeszająca podmioty transportu publicznego.

a z drugiej – zabezpieczenia konkurencyjności Unii Europejskiej (Sohjoa 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021e).

Wśród programów pilotażowych związanych z uruchomieniem autonomicznych minibusów wskazać należy także projekt realizowany w 2021 r. w Cambridge. Autonomiczny pojazd przemierza ulice dookoła uniwersytetu, współdzieląc drogę z innymi uczestnikami ruchu drogowego. Na pokładzie pojazdu znajdują się operatorzy, którzy czuwają i podejmują reakcję w razie sytuacji niespodziewanych. Cały projekt ma na celu wsparcie dla możliwości stworzenia regularnej komunikacji publicznej *on demand* z wykorzystaniem tego typu pojazdu. A doświadczenia zarówno techniczne, jak i społeczne są pozytywne – 97% pasażerów ponownie skorzystałoby z pojazdu tego typu (Greatercambridge.co.uk 2021). Podobny projekt realizowany jest w Hamburgu. HEAT – Hamburg Electric Autonomous Transport to projekt badawczo-rozwojowy prowadzony przez miejskiego operatora komunikacji publicznej. Ma on na celu zwerifikowanie, tego na ile pojazdy autonomiczne mogą dziś stanowić efektywne wsparcie komunikacji publicznej. Pojazd kursuje po specjalnej trasie wyznaczonej na terenie portu w Hamburgu, a doświadczenia zbierane są także od pasażerów (Hochbahn.de 2021).

Wśród podmiotów intensywnie pracujących nad technologią autonomicznej mobilności jest Transdev. Projekty naukowo-badawcze dotyczące autonomicznej mobilności prowadzone są m.in. we Francji, w Rouen i Paryżu, a wśród realizowanych projektów są także NAVETTY czy NIMFEA – mające na celu sprawdzenie sposobu funkcjonowania pojazdów autonomicznych w wybranych obszarach: cyberbezpieczeństwa, infrastruktury, dostępności czy nadzoru zdalnego i nowych funkcjonalności (Transdev.com 2022).

We wskazanych projektach (Sohjoa, HEAT, Cambridge, Transdev) pojazdy autonomiczne są jednocześnie pojazdami elektrycznymi. Pojazdy elektryczne stały się w ostatniej dekadzie zrównoważoną alternatywą dla pojazdów spalinowych (Vdovic i in. 2019). Tym samym możliwe jest osiągnięcie efektów synergii – wprowadzanie do ruchu pojazdów autonomicznych, które jednocześnie wspierać będą zrównoważony rozwój.

Wśród rozwiązań służących autonomizacji transportu publicznego wiele jest projektów mających charakter testów i analiz przedwdrożeniowych. Jako przykład posłużyć tu może projekt autonomizacji jazdy w tramwaju typu 126N, zainicjowany w 2019 r., a zrealizowany rok później w Krakowie. W ramach projektu „Autonomizacja jazdy tramwajem jako narzędzia wspierającego pracę motorniczych” zaprojektowano i wykonano układ sterowania tramwajem wyprodukowanym przez NEWAG S.A. Układ ten steruje pracą wagonu i umożliwia m.in. jazdę bez motorniczego. Celem tego projektu było m.in. wdrożenie systemu tzw. asystenta prowadzącego, wspomagającego pracę motorniczego i nadzorującego parametry jazdy. Podstawą działania całego układu jest układ pozycjonowania pojazdu oparty o dwa niezależne systemy nawigacji – satelitarnej GNSS i inercyjnej INS-IMU. Pozycja pojazdu porównywana jest przez system sterujący z faktycznie przebytą drogą (układ pomiaru prędkości na osiach tocznych). Dobór trasy testowej miał na celu m.in. jak najlepsze odwzorowanie „wyzwań” pojawiających się na trasie (takich jak zwrotnice z ograniczeniem prędkości, izolatory sekcyjne czy

przystanki). Po przeprowadzonych próbach (dokonano autonomicznego przejazdu tramwaju na odcinku 3 km w porze nocnej) planowane są dalsze prace. System automatycznego wykrywania zagrożeń testowany jest w pojazdach kolejowych przez firmę NEWAG S.A., a w trakcji tramwajowej przewiduje się zaprogramowanie wybranej trasy tramwaju i rozpoczęcie nadzorowanej eksploatacji układu tzw. asystenta motorniczego. Uwarunkowania formalno-prawne nie pozwalają dziś na dopuszczenie do ruchu tramwaju bez motorniczego, funkcjonalności asystenta mają jednak wesprzeć motorniczego i zwiększyć bezpieczeństwo jazdy (Michnej i Górowski 2021, 59–68).

To nie pierwszy pomysł na autonomizowanie ruchu pojazdów. Swoje prace w tym obszarze prowadzi także Siemens. Szacuje się, że w 2026 r. technologia ta będzie na tyle rozwinięta i dojrzała, by funkcjonować na rynku. Projekt AStrID (Autonomous Tram in Depot) zakłada zautomatyzowanie pracy zajezdni tramwajowej i redukcję czasu związanego z przemieszczaniem pojazdów. Automatyczne przemieszczanie się tramwajów po terenie zajezdni (np. do myjni czy uzupełniania piasku) wymaga dziś obecności personelu, a w pełni automatyczna zajezdnia pozwoli efektywniej zarządzać personelem i zoptymalizować cały proces. Cały projekt ma charakter badawczy i uruchomiony został w 2019 r. we współpracy z operatorem sieci tramwajowej w Poczdamie (railjournal.com, 2021). W projekcie uczestniczy także kilku innych partnerów, m.in. dostawca infrastruktury do zarządzania danymi (Codewerk), dostawca cyfrowych map (Mapillary) czy instytucja naukowa (Karlsruhe Institute of Technology) zapewniająca wsparcie w digitalizacji zajezdni i automatyzacji procesów (railjournal.com 2019).

## **Autonomiczny transport w polskich miastach – wyniki badań ankietowych**

Celem ankiety było zweryfikowanie, na ile koncepcje z zakresu transportu publicznego są dziś obecne zarówno w strategiach, jak i działaniach miast. Badanie przeprowadzono pomiędzy majem a sierpniem 2022 r. dla populacji 39 miast w Polsce o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., niezależnie od sposobu organizacji transportu publicznego. Ostatecznie do końca sierpnia 2022 r. udało się zebrać 30 wypełnionych ankiet. Relatywnie najniższą responsywność ankietą miała w województwie śląskim. Było to związane z przekazaniem decyzyjności w zakresie transportu zbiorowego (gdzie organizatorem jest Górnośląska Zagłębiowska Metropolia). Odbiorcą ankiety były podmioty odpowiedzialne za kreowanie polityki transportowej i jej realizację (władze samorządowe lub dedykowane miejskie jednostki organizacyjne).

Zebrane wyniki badań nie napawają optymizmem. Zdecydowana większość ankietowanych nie planuje rozwoju transportu publicznego w oparciu o pojazdy autonomiczne w najbliższych latach (60%) lub nie ma wiedzy na ten temat (26,7%). Jedynie 10% ankietowanych wskazało takie plany, precyzując horyzont czasowy. We wszystkich tych przypadkach był on relatywnie długi – zakładano pojawienie się takich projektów po 2025 r.

Zapytani o zawartość aktualnej strategii transportu w mieście, ankietowani obok transportu publicznego (100%) wskazywali także elementy dotyczące transportu indywidualnego (53,8%), rzadziej UTO (34,6%) czy transportu cargo (23,1%). To pokazuje priorytety polskich miast – „tradycyjny” transport publiczny uzupełniany motoryzacją indywidualną. W samych strategiach miast prawie zawsze pojawiają się elementy związane z alternatywnymi źródłami energii (96,3%) czy tworzeniem i rozwijaniem systemów IT (92,6%), rzadko natomiast są tam elementy dotyczące pojazdów autonomicznych (wskazywało je 14,8%) respondentów. To o tyle ciekawe, że 83,3% respondentów wskazuje jednocześnie, że ich strategia rozwoju miasta zawiera w sobie elementy związane z wizją transportu przyszłości.

Jak wynika z przeprowadzonego badania, strategie miast bazują zwykle na wewnętrznych lub krajowych doświadczeniach, znacznie rzadziej – międzynarodowych wzorcach i benchmarkingu miast. Zwykle też nie są analizowane relacje między rozwojem pojazdów autonomicznych a rozwojem samych miast. I choć miasta posiadają zwykle dokumenty o charakterze strategicznym, z uwagi na czas ich tworzenia zwykle nie obejmują one aspektów związanych z wdrażaniem transportu autonomicznego i nie śledzą trendów w tym zakresie<sup>3</sup>.

## Rekomendacje

Z punktu widzenia innowacji pojazdy autonomiczne klasyfikowane są jako innowacje o charakterze zarówno produktowym, jak i technicznym, mające bezpośredni zasięg oddziaływania na system transportu publicznego. Są to jednocześnie innowacje o wysokim poziomie kosztowności i kosztogenności (Jurczak 2021, 70).

Zazwyczaj władze samorządowe polskich miast mają bardzo fragmentaryczne podejście do kształtowania innowacji w transporcie miejskim (w tym w transporcie autonomicznym), koncentrując się głównie na przewozie osób (pomijając tym samym transport towarów). Rosnące wymagania dotyczące zrównoważonego rozwoju i działań proekologicznych wymagają zintegrowanego podejścia do planowania strategicznego transportu w miastach. Stąd podjęto próbę sformułowania rekomendacji dotyczących realizacji i wdrożenia strategii transportu zrównoważonego, uwzględniając transport autonomiczny i postęp w tej dziedzinie. Sformułowano następujące rekomendacje:

1. Niezbędna jest ocena propozycji działań wprowadzonych w strategii przed ich wdrożeniem. Firdausiyah i in. (2019) zauważyli, że niepewność otoczenia transportu miejskiego sprawia, że podejmowanie właściwych decyzji jest coraz trudniejsze. Planowanie działań oraz podejmowanie decyzji w zakresie wdrażania autonomicznego transportu w mieście powinno być oparte na dobrych praktykach państw/miast, które

---

<sup>3</sup> Szczegółowe wyniki badania miast polskich wraz z barierami rozwoju transportu autonomicznego i kontekstem makroekonomicznym przedstawione zostaną przez autorów w osobnej publikacji.

już mają dokumenty strategiczne w tym zakresie (np. Dubaj). W logistyce miejskiej czerpanie doświadczeń z innych jest właściwym podejściem zwłaszcza dla przedsiębiorstw, które dotyczą wielu interesariuszy oraz związane są z fluktuującym i zmieniającym się środowiskiem systemowym, jakim jest transport miejski.

2. Fundamentem dla rozwoju autonomicznego transportu publicznego w miastach jest stworzenie ram formalno-prawnych takiego transportu na poziomie Unii Europejskiej oraz krajowym. Dodatkowo miasta powinny posiadać dokumenty strategiczne dotyczące projektowania i wdrożenia autonomicznych systemów transportu publicznego, w tym m.in. diagnozę infrastruktury dla transportu autonomicznego, podział zadań i odpowiedzialności za wdrożenie autonomicznych pojazdów.

3. Ocena zrównoważonego rozwoju powinna być prowadzona na poziomie planowania w celu wpływania na podejmowanie decyzji i wspieranie rozwiązań, które oddziałują na zrównoważony rozwój transportu lub wdrażonych już rozwiązań. Miasta powinny opracować narzędzia programowe do monitorowania systemu transportowego pod względem wydajności zrównoważenia w oparciu o zespół zdefiniowanych mierników (Bienias i in. 2012). Komisja Europejska podaje wytyczne i regulacje dotyczące ewaluacji np. polityki spójności czy strategii rozwoju miast. Obecnie nie ma takich dokumentów na poziomie europejskim, dlatego można pomyśleć nad takim rozwiązaniem na poziomie krajowym.

4. Dobrą okazją jest równoczesne podążanie dwoma trendami – dokonując inwestycji w pojazdy autonomiczne, należałoby równolegle rozwijać alternatywne źródła napędu tych pojazdów, łącząc miasto inteligentne z miastem zrównoważonym. Przedstawione wcześniej (w ramach przeglądu wdrożeń z zakresu systemów autonomicznego transportu miejskiego) przykłady potwierdzają, że pojazdy autonomiczne o napędzie elektrycznym to sprawdzony kierunek rozwoju.

5. Ważne jest akcentowanie trendów dotyczących cyfryzacji i automatyzacji ruchu pojazdów (zarówno indywidualnych, jak i publicznych) w strategii miast. Rewolucja cyfrowa i robotyzacja są nieuniknione i w pierwszej kolejności dotkną przemysł i szeroko pojętą branżę logistyczną, a w dalszej kolejności logistykę miejską (Wolak i in. 2019). Stąd miasta powinny w planowaniu działań polityki miejskiej zwracać większą uwagę na rozwijające się trendy w transporcie, obecnie niekoniecznie jeszcze publicznym.

6. Niezbędne jest stworzenie mechanizmów zachęty dla miast do tworzenia systemów opartych na pojazdach autonomicznych – zarówno na poziomie europejskim, jak i krajowym.

## Wnioski

Polskie miasta zasadniczo nie planują w najbliższych latach realizacji usług transportu publicznego z wykorzystaniem pojazdów autonomicznych. W większości przypadków nie planują takich projektów, a nawet jeżeli w dalekiej perspektywie pojawiają się takie rozwiązania, to rzadko mają sprecyzowany czasookres i zasięg funkcjonalny czy przestrzenny. Choć w strategiach rozwoju miast pojawia się element związany z „przy-

szłością transportu”, zwykle oznacza on rozwój narzędzi IT czy alternatywnych źródeł energii. Rozwój transportu autonomicznego skutkuje zwiększoną liczbą tego typu projektów w miastach europejskich. To wszystko sprawia, że transport autonomiczny stanowić będzie interesujący przedmiot badań w nadchodzących latach.

## Bibliografia

- Basaric, Valentina, Vladimir Djoric, Aleksandar Jevdjenic i Jadranka Jovic. 2015. Efficient methodology for assessment of targets and policy measures for sustainable mobility systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 9, 3, 217–226.
- Benyahya, Meriem, Anastasija Collen, Sotiria Kechagia i Niels Alexander Nijdam. 2022. Automated city shuttles: Mapping the key challenges in cybersecurity, privacy and standards to future developments. *Computers & Security*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102904>.
- Bibri, Simon Elias. 2021. Data-driven smart sustainable cities of the future: An evidence synthesis approach to a comprehensive state-of-the-art literature review. *Sustainable Futures*, 3.
- Bienias, Stanisław i in. 2012. *Ewaluacja. Poradnik dla pracowników administracji publicznej*. Warszawa: Ministerstwo Rozwoju Regionalnego.
- Black, John A., Antonio Paez i Putu A. Suthanaya. 2002. Sustainable urban transportation: performance indicators and some analytical approaches. *Journal of urban planning and development*, 128, 4, 184–209.
- Cai, Yutong, Hua Wang, Ghim Ping Ong, Qiang Meng i Der-Horng Lee. 2019. Investigating user perception on autonomous vehicle (AV) based mobility-on-demand (MOD) services in Singapore using the logit kernel approach. *Transportation*, 46, 2063–2080. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10032-8>.
- Chehri, Abdellah i Hussein Mouftah. 2019. Autonomous vehicles in the sustainable cities, the beginning of a green adventure. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101751. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101751>.
- Chromański, Włodzimierz i in. 2020. *Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Colville, Roy. N., S. Kaur, Rex E. Britter, Alan G. Robins, Margaret C. Bell, Dudley E. Shallcross, Stephen E. Belcher. 2004. Sustainable development of urban transport systems and human exposure to air pollution. *Science of the Total Environment*, 334–335. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.052>.
- Connecting Cambridgeshire. 2021. *Hundreds take part in ground breaking autonomous shuttle passenger trial*. Dostęp: 1.03.2022. <https://www.greatercambridge.org.uk/news/hundreds-take-part-in-ground-breaking-autonomous-shuttle-passenger-trial>.
- Doi, Kenji i Kii Masanobu. 2012. Looking at sustainable urban mobility through a cross-assessment model within the framework of land-use and transport integration. *IATSS research*, 35.2. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2012.02.004>.
- Duarte, Fábio i Carlo Ratti. 2018. The impact of autonomous vehicles on cities: A review. *Journal of Urban Technology*, 25(4), 3–18.
- Feng, Xuesong, Akimasa Fujiwara, J. Y. Zhang, X. J. Niu i Y. Hayashi. 2010. Backcasting assessment of strategies for efficiently sustainable urban transport developments of developing cities. *Traffic and Transportation Studies*. [https://doi.org/10.1061/41123\(383\)2](https://doi.org/10.1061/41123(383)2).
- Firdausiyah, Nailah, Taniguchi, Eiichi i Aligul Qureshi. 2019. Modeling city logistics using adaptive dynamic programming based multi-agent simulation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 74–96.
- de Freitas Miranda, Hellem i Antonio Nelson Rodrigues da Silva. 2012. Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba. *Transport Policy*, 21, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.03.009>.
- Gopalakrishnan, Kasthurirangan, Madhav V. Chitturi i Olegas Prentkovskis. Smart and sustainable transport: Short review of the special issue. *Transport*, 30, 3 (2015), 243–246.
- Hancock, Peter A., Illah Nourbakhsh i Jack Stewart. 2019. On the future of transportation in an era of automated and autonomous vehicles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(16), 7684–7691.

- Hasan, Mohd Hafiz i Pascal Van Hentenryck. 2021. The benefits of autonomous vehicles for community-based trip sharing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102929>.
- Henson, Ralph i Stephen Essex. 2003. The development, design, and evaluation of sustainable local transport networks. *International Social Science Journal*, 55(176). <https://doi.org/10.1111/1468-2451.5502004>.
- Hevelke, Alexander i Julian Nida-Rümelin. 2015. Responsibility for crashes of autonomous vehicles: An ethical analysis. *Science and engineering ethics*, 21(3), 619–630.
- Himanen, Veli, Lee-Gosselin, Martin i Perrels, Adriaan. 2004. Impacts of transport on sustainability: Towards an integrated transatlantic evidence base. *Transport Reviews*, 24(6), 691–705.
- Hochbahn.de. 2021. *The Heat project*. Dostęp: 1.03.2022. <https://www.hochbahn.de/en/projects/the-heat-project>.
- Huber, Dominik, Tobias Viere, Eliane Horschütz Nemoto, Ines Jaroudi, Dorien Korbee i Guy Fournier. 2021. Climate and environmental impacts of automated minibuses in future public transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103160>.
- International Railway Journal. 2019. *Autonomous tram depot research project launched in Potsdam*. Dostęp: 10.09.2022. <https://www.railjournal.com/technology/autonomous-tram-depot-research-project-launched-in-potsdam/>.
- Jeon, Christy Mihyeon, Amekudzi, Adjo A. i Randall L. Guensler. 2013. Sustainability assessment at the transportation planning level: Performance measures and indexes. *Transport Policy*, 25. <https://doi.org/10.1080/0144164042000272470>.
- Jurczak, Marcin. 2021. *Innowacje w transporcie publicznym*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. <https://doi.org/10.18559/978-83-8211-097-5>.
- Kennedy, Christopher. 2002. A comparison of the sustainability of public and private transportation systems: Study of the Greater Toronto Area. *Transportation*, 29, 459–493. <https://doi.org/10.1023/A:1016302913909>.
- Kiba-Janiak, Maja, Russell Thompson i Katarzyna Cheba. 2021. An assessment tool of the formulation and implementation a sustainable integrated passenger and freight transport strategies. An example of selected European and Australian cities. *Sustainable Cities and Society*, 71.
- Li, Jamy, Xuan Zhao, Mu-Jung Cho, Wendy Ju i Bertram F. Malle. 2016. From trolley to autonomous vehicle: Perceptions of responsibility and moral norms in traffic accidents with self-driving cars. *SAE Technical paper*, 10, 1.
- Liu, Hin-Yan. 2017. Irresponsibilities, inequalities and injustice for autonomous vehicles. *Ethics and Information Technology*, 19(3), 193–207.
- Loukopoulos, Peter i Roland Scholz. 2004. Sustainable future urban mobility: Using 'area development negotiations' for scenario assessment and participatory strategic planning. *Environment and Planning A* 36(12), 2203–2226. <https://doi.org/10.1068/a36292>.
- Luger-Bazinger, Claudia, Cornelia Zankl, Karin Klieber, Veronika Hornung-Prähauser i Karl Rehr. 2021. Factors Influencing and Contributing to Perceived Safety of Passengers during Driverless Shuttle Rides. *Future Transportation*, 1(3), 657–671. <https://doi.org/10.3390/futuretransp1030035>.
- MacIver, Andrew. 1999. Transportation impact assessment: Forecasting travel demand. *Traffic Engineering and Control*, 40(5), 262–266.
- Magagnin, Renata Cardoso, Antônio Nelson Rodrigues da Silva i Rui AR Ramos. 2007. An assessment of evaluation methods applied in decision support systems for sustainable urban mobility planning. *In Proceedings of 10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. Utrecht: Utrecht University.
- Mccarthy, John Francis. 2017. *Sustainability of self-driving mobility: An analysis of carbon emissions between autonomous vehicles and conventional modes of transportation* (Doctoral dissertation).
- McManus, Ryan M. i Abraham M. Rutchick. Autonomous vehicles and the attribution of moral responsibility. *Social psychological and personality science*, 10, 3 (2019), 345–352.
- Metroautomation.org. 2022. *Automation essentials*. Dostęp: 13.04.2022 r. <https://metroautomation.org/automation-essentials/>.

- Mężyk, Anna i Stanisława Zamkowska. 2019. *Problemy transportowe miast. Stan i kierunki rozwiązań*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Michnej, Maciej i Maciej Górowski. 2021. Możliwości i wyzwania wdrażania autonomicznych systemów sterowania w pojazdach szynowych na przykładzie tramwaju 126 „Nevelo”. *Horyzont 2050 – Lepszy transport & lepsze miast. Annaly inżynierii ruchu i badań transportu*. T. 4 (XIII), 2021. Poznań: Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej, Oddział w Poznaniu.
- NHTSA. 2023. *Automated Vehicles for Safety*. Dostęp: 13.01.2023. <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>.
- Neumann, Tomasz, 2018. Perspektywy wykorzystania pojazdów autonomicznych w transporcie drogowym w Polsce. *Autobusy TEST*, 12/2018, 787–794.
- Parkin, John, Benjamin Clark, William Clayton, Miriam Ricci, and Graham Parkhurst. 2018. Autonomous vehicle interactions in the urban street environment: A research agenda. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, 171, 1, 15–25. Thomas Telford Ltd.
- Petrișor, Alexandru-Ionuț i Liliana Elza Petrișor. 2013. The shifting relationship between urban and spatial planning and the protection of the environment: Romania as a case study. *Present Environment and Sustainable Development*, 7, 1, 268–276.
- Pettigrew, Simone, Zenobia Talati i Richard Norman. 2018. The health benefits of autonomous vehicles: Public awareness and receptivity in Australia. *Australian and New Zealand journal of public health*, 42, 5, 480–483.
- Photopoulos, Julianna. 2020. *Driverless shuttles: what are we waiting for? Horizon – The EU Research \* Innovation Magazine*. Dostęp: 13.04.2022. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/driverless-shuttles-what-are-we-waiting>.
- Railjournal.com. 2019. *Siemens Mobility targets 2026 launch for Autonomous Tram in Depot technology*. Dostęp: 10.09.2022. <https://www.railjournal.com/technology/siemens-mobility-targets-2026-launch-for-autonomous-tram-in-depot-technology/>.
- Railjournal.com. 2021. *Autonomous tram depot research project launched in Potsdam*. Dostęp: 10.09.2022. <https://www.railjournal.com/technology/autonomous-tram-depot-research-project-launched-in-potsdam/>.
- Robaczyński, Wojciech, 2022. Odpowiedzialność za szkody wyrządzone przez pojazdy autonomiczne. *Forum Prawnicze*, 1 (69), 67–84.
- Rudnicki, Andrzej. 2022. Przegląd badań prognozujących wpływ pojazdów autonomicznych na funkcjonowanie systemu transportu oraz na strukturę przestrzenną miast. *Horyzont 2050 – Lepszy transport & lepsze miasta. Annaly inżynierii ruchu i badań transportu*. T. 4 (XIII), 2021. Poznań: Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej, Oddział w Poznaniu.
- SAE. 2023a. *Levels of Driving Automation™ Refined for Clarity and International Audience*. Dostęp: 13.01.2023. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>.
- SAE. 2023b. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles J3016\_202104*. Dostęp: 13.01.2023. [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/).
- Shadrin, Sergey, Oleg Sergeevich, Varlamov Olegovich i Andrey Mikhailovich Ivanov. 2017. Experimental autonomous road vehicle with logical artificial intelligence. *Journal of advanced transportation* 2017 (2017).
- Shafiei, Sajjad, Ziyuan Gu, Hanna Grzybowska i Chen Cai. 2021. Impact of self-parking autonomous vehicles on urban traffic congestion. *Transportation*, 50, 1, 183–203.
- Sohjoa. 2021a. *Sohjoa Last Mile Explored the Future of Autonomous Transport*. Dostęp: 3.01.2022. <https://www.sohjoalastmile.eu/>.
- Sohjoa. 2021b. *Sohjoa Last Mile projekt, Tallinn pilot output report 2021*. Dostęp: 3.01.2022. <https://docs.google.com/document/d/1d7WaR1RFafgXo01IUTvgsilbJl5GB-q/edit>.
- Sohjoa. 2021c. *Sohjoa Last Mile projekt, Gdansk pilot output report 2021*. Dostęp: 3.01.2022. [https://docs.google.com/document/d/1hHOMWgcF6GU\\_Kijk2k\\_tOTpAEjioMOsT/edit](https://docs.google.com/document/d/1hHOMWgcF6GU_Kijk2k_tOTpAEjioMOsT/edit).
- Sohjoa. 2021d. *Sohjoa Last Mile projekt, Kongsberg pilot output report 2021*. Dostęp: 3.01.2022. [https://docs.google.com/document/d/1-wlk\\_o9n4uDhGNMHiYUJY8P2Q12-G6MY/edit](https://docs.google.com/document/d/1-wlk_o9n4uDhGNMHiYUJY8P2Q12-G6MY/edit).



- Sohjoa. 2021e. *Sohjoa Last Mile projekt, Key messages, slide presentation Forum Virium Helsinki 2021*. Dostęp: 3.01.2022. [https://docs.google.com/presentation/d/1sOr\\_xPYHJfcRj-vy3nwE0gdXTKpSK8Lv/edit#slide=id.gf6ec6efac4\\_0\\_0](https://docs.google.com/presentation/d/1sOr_xPYHJfcRj-vy3nwE0gdXTKpSK8Lv/edit#slide=id.gf6ec6efac4_0_0).
- Stern, Raphael E., Yuche Chen, Miles Churchill, Fangyu Wu, Maria Laura Delle Monache, Benedetto Piccoli, Benjamin Seibold, Jonathan Sprinkle i Daniel B. Work. 2019. Quantifying air quality benefits resulting from few autonomous vehicles stabilizing traffic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 351–365.
- Transdev.com. 2022. *Solutions for shared autonomous mobility*. Dostęp: 1.03.2022. <https://www.transdev.com/en/our-solutions/autonomous-transport/>.
- UITP. 2018. *World Report on Metro Automation*. Dostęp: 13.04.2022. [https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Statistics-Brief-Metro-automation\\_final\\_web03.pdf](https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Statistics-Brief-Metro-automation_final_web03.pdf).
- Urban Mobility Package. 2013. *Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach*. European Commission. Dostęp: 1.04.2022. [https://www.europarl.europa.eu/meet-docs/2014\\_2019/documents/com/com\\_com\(2013\)0913\\_/com\\_com\(2013\)0913\\_pl.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meet-docs/2014_2019/documents/com/com_com(2013)0913_/com_com(2013)0913_pl.pdf).
- Wang, Jin-feng. 1999. An urban traffic-environment model. *Journal of Environmental Sciences*, 11(3).
- White Paper on the future of Europe. Reflections and scenarios for the EU27 by 2025. 2017. European Commission. Dostęp: 1.04.2022. [https://commission.europa.eu/system/files/2017\\_03/white\\_paper\\_on\\_the\\_future\\_of\\_europe\\_en.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2017_03/white_paper_on_the_future_of_europe_en.pdf).
- Wolak, Marcin i in. 2019. *Rewolucja Technologiczna. Kierunki rozwoju branży TSL*. Wrocław: Polski Instytut Transportu Drogowego.
- Vdovic, Hrvoje, Jurica Babic i Vedran Podobnik. Automotive software in connected and autonomous electric vehicles: A review. *IEEE Access*, 7 (2019), 166365–166379.
- Zhang, Dan, Loo Geok Pee, Shan L. Pan i Lili Cui. 2022. Big data analytics, resource orchestration, and digital sustainability: A case study of smart city development. *Government Information Quarterly*, 39, 1, 101626.