

Wpływ pojazdów zautomatyzowanych na ruch oraz projektowanie infrastruktury drogowej – próba oceny

An attempt to evaluate the influence of automated vehicles on traffic flow and design of road infrastructure



Nina Kozaczka

Mgr inż.

Doktorantka, Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

kozaczka.nina@gmail.com



Stanisław Gaca

Prof. dr hab. inż.

Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

sgaca@pk.edu.pl

Streszczenie: W artykule podjęto próbę oceny potencjalnego wpływu pojazdów autonomicznych na projektowanie infrastruktury drogowej oraz na warunki i bezpieczeństwo ruchu. Przedstawiono charakterystykę poszczególnych poziomów automatyzacji oraz wyposażenie pojazdów samosterujących. Zwrócono uwagę na korzyści płynące z rozwoju systemów komunikacji pomiędzy pojazdami a otoczeniem. Zauważono możliwy negatywny wpływ pojazdów częściowo zautomatyzowanych na przepustowość dróg w przypadku występowania ruchu mieszanego, tj. pojazdów zautomatyzowanych i konwencjonalnych. Przedstawiono także potencjalne potrzeby w dostosowaniu infrastruktury drogowej do ruchu pojazdów zautomatyzowanych. Bliżej przedstawiono rozwiązanie zakładające wydzielenie pasa ruchu dla pojazdów zautomatyzowanych, jako elementu poprawiającego płynność i bezpieczeństwo ruchu, przy wysokim udziale tych pojazdów.

Słowa kluczowe: Pojazdy zautomatyzowane; Infrastruktura drogowa; Pojazdy samosterujące

Abstract: The article evaluates the impact of autonomous vehicles on road infrastructure design, road traffic conditions and safety based on a review of existing literature. Levels of driving automation and equipment of self-driving vehicles were presented. Attention was drawn to the benefits of developing communication systems between vehicle and the environment. The possible negative impact of autonomous vehicles on mixed traffic capacity was noted. The potential needs to adapt the road infrastructure to the traffic flow of automated vehicles were also presented. Separation of the lane, dedicated to self-driving vehicles, with a high share of these vehicles was presented as an element that improves the flow of traffic and safety.

Keywords: Automated vehicles; Road infrastructure; Self-driving cars

Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach coraz więcej nowych pojazdów wyposażonych jest w systemy umożliwiające częściową automatyzację procesu jazdy. Producenci pojazdów samochodowych zmierzają do skonstruowania pojazdów w pełni autonomicznych, które będą w stanie podejmować wszystkie decyzje, bez udziału kierowcy. O ile perspektywa samochodów takich pojazdów, występujących powszechnie na drogach, wydaje się jeszcze dość odległa, to należy zauważyć, że pojazdy o niższym stopniu automatyzacji już uczestniczą w ruchu i ich liczba zwiększa się. Systemy wspomaganie kierowcy, takie jak np. aktywny tempomat, asystent pasa ruchu, asystent parkowania, to

udogodnienia, które zaczynają być standardem w nowych pojazdach. Coraz większy stopień automatyzacji samochodów ma na celu poprawę bezpieczeństwa, zwiększenie płynności ruchu i lepszego wykorzystania zdolności przepustowej dróg. Ważnym jest również podniesienie komfortu podróżowania, dzięki odciążeniu kierowcy od śledzenia sytuacji na drodze i podejmowania decyzji, w tym np. wyboru optymalnych tras. Autonomiczne pojazdy stwarzają możliwość łatwiejszego poruszania się osobom o ograniczonej sprawności.

W związku z rozwojem technologii w zakresie automatyzacji pojazdów, pojawiają się następujące pytania dotyczące występowania w ruchu drogowym pojazdów samosterujących:

- czy istniejąca infrastruktura drogowa jest dobrze przygotowana na ruch pojazdów częściowo i w pełni zautomatyzowanych?
- w jaki sposób zautomatyzowane pojazdy mogą wpłynąć na bezpieczeństwo i sprawność ruchu?
- czy należy zmieniać obowiązujące zasady projektowania dróg w reakcji na rosnący udział pojazdów o różnym stopniu automatyzacji?

Poszukiwanie odpowiedzi na te pytania jest niezwykle ważne w aspekcie przygotowywanych zmian przepisów techniczno-budowlanych w drogownictwie i stały się główną inspiracją niniejszego artykułu. Aby lepiej przybliżyć problematykę ruchu pojazdów

Tab. 1. Poziomy automatyzacji wg klasyfikacji SAE [17]

Poziom wg SAE	Nazwa	Kierowanie, przyspieszanie, hamowanie	Monitoring otoczenia	Aktywność w awaryjnych sytuacjach	Możliwości systemu (tryby jazdy)
0	Brak automatyzacji				n/a
1	Wsparcie kierowcy				niektóre tryby jazdy
2	Częściowa automatyzacja				niektóre tryby jazdy
3	Warunkowa automatyzacja				niektóre tryby jazdy
4	Wysoka automatyzacja				niektóre tryby jazdy
5	Całkowita automatyzacja				niektóre tryby jazdy

zautomatyzowanych, przedstawiono charakterystykę techniczną tych pojazdów, ich obecny udział w ruchu oraz perspektywy rozwoju. Następnie poruszono zagadnienia komunikacji pojazdów z otoczeniem (systemy V2V, V2I) oraz ich możliwy wpływ na ruch drogowy i projektowanie infrastruktury drogowej.

Charakterystyka pojazdów autonomicznych

Określenie „pojazd autonomiczny” sugeruje niezależność systemu sterującego pojazdem, która umożliwi prowadzenie samochodu bez udziału kierowcy. W rzeczywistości jednak istnieje 5 poziomów automatyzacji, które zostały wyszczególnione przez SAE International [17]. Pojazdy charakteryzujące się poziomem automatyzacji 0, nie posiadają żadnych systemów wspomagających kierowcę, natomiast do poziomu 5 zaliczane są pojazdy, które nie wymagają obecności kierowcy i nie są wyposażone w tradycyjne elementy sterowania. W przypadku poziomu 1 można mówić jedynie o występowaniu w pojeździe elementów wsparcia kierowcy, tj. systemu awaryjnego hamowania, utrzymywania odległości od pojazdu poprzedzającego itp. Poziomy 2 i 3 definiują pojazdy częściowo zautomatyzowane, posiadające bardziej zaawansowane systemy, które przetwarzają kilka zadań jednocześnie. Zasadnicza różnica między nimi, polega na stopniu zaangażowania

kierującego pojazdem. W przypadku niższego poziomu, kierowca musi stale kontrolować jazdę, natomiast pojazd charakteryzujący się 3 poziomem automatyzacji, może wymagać interwencji człowieka, przy założeniu kilkusekundowego opóźnienia potrzebnego na analizę sytuacji oraz reakcję kierowcy. Pełna automatyzacja dotyczy poziomu 4 – pojazd sam pokonuje trasę, jednak wciąż wyposażony jest w układ sterowniczy i może w wyjątkowych sytuacjach wymagać przejęcia kontroli przez kierowcę nim [2],[12],[19].

Obecnie na rynku nie są jeszcze dostępne samochody o 4 i 5 poziomie automatyzacji, istnieją jedynie prototypy takich pojazdów. Należy jednak zauważyć, że samochody o niższym poziomie zautomatyzowania (poziom 2 i 3) są już dostępne w sprzedaży i można przypuszczać, że ich zwiększający się udział będzie miał znaczący wpływ na ruch drogowy.

W tabeli 1 przedstawiono klasyfikację poziomów automatyzacji wg SAE [13], gdzie:

- poziomy 0-2 oznaczają niski stopień automatyzacji - człowiek monitoruje przestrzeń drogi i jej otoczenie,
- poziomy 3-5 oznaczają wysoki stopień automatyzacji - czujniki w pojeździe monitorują przestrzeń drogi i jej otoczenie.

Wyposażenie pojazdów autonomicznych

Ważnym elementem pojazdów, charakteryzujących się określonym stopniem automatyzacji, są czujniki i lasery, które umożliwiają zarówno samodzielną jazdę, jak i mają również za zadanie wyeliminować błędy popełniane przez człowieka w procesie kierowania takim pojazdem. Jednym z systemów, wykorzystywanych w pojazdach samosterujących, jest system nawigacji satelitarnej, który odbiera i przetwarza sygnał z satelitów systemów GPS, GLONASS, Galileo i Beidou, umożliwiając określenie dokładnej lokalizacji.

Dodatkowo wykorzystywane są [11],[9]:

- lasery LiDAR - skanujące otoczenie pojazdu i tworzące trójwymiarowy obraz tego otoczenia,
- radary - ustalające odległość od innych pojazdów oraz prędkość z jaką się poruszają,
- kamery – wykrywające oraz interpretujące m.in. oznakowanie poziome i pionowe drogi,
- czujniki ultradźwiękowe – rozpoznające elementy znajdujące się w niewielkiej odległości od pojazdu.

Obecnie wiodący producenci samochodów osobowych posiadają w swojej ofercie sprzedaży pojazdy o poziomie automatyzacji 1 i 2, natomiast w przypadku poziomu 3 na razie tylko jeden model spełnia przyjęte założenia tego poziomu. Pozwala on na jazdę częściowo autonomiczną i nie wymaga ciągłej uwagi ze strony kierowcy [5].

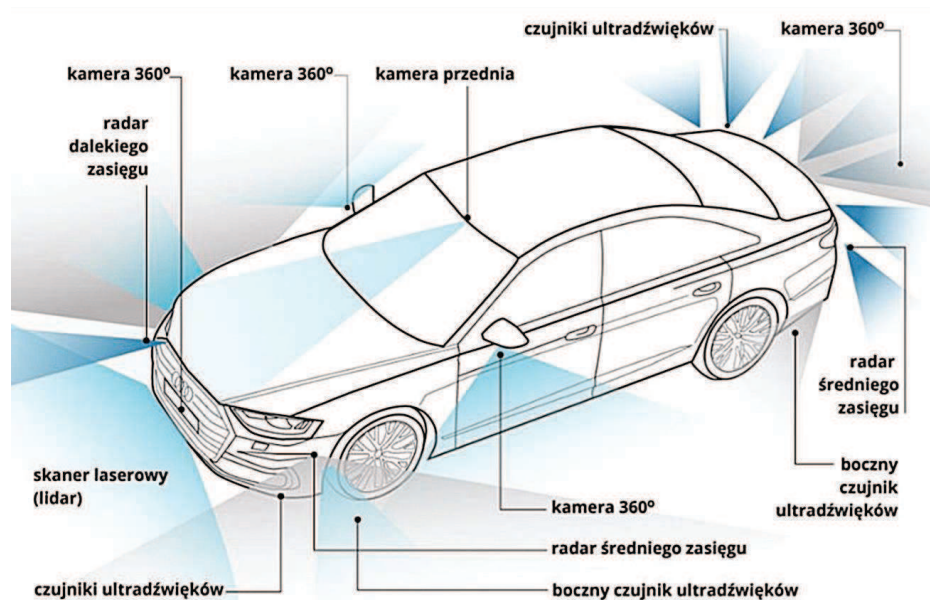
Na rysunku 1 przedstawiono schemat rozmieszczenia czujników i radarów w pojeździe zautomatyzowanym.

Można oczekiwać, że dzięki zastosowaniu wielu zaawansowanych systemów w pojeździe, prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez system prowadzenia pojazdu będzie niewielkie. Statystyki pokazują

jednak, że konieczność interwencji kierującego podczas jazd testowych nie należy do rzadkości. Jak wynika z raportu DMV (The California Department of Motor Vehicles) [18], obejmującego okres od grudnia 2017 r. do listopada 2018 r., podczas testowania pojazdów autonomicznych na publicznych drogach w Kalifornii, przejęcie kontroli nad pojazdem przez kierowcę nastąpiło 143 720 razy. Łączna długość odcinków dróg jakie pokonało 496 testowych pojazdów różnych producentów wynosiła 3 258 074 km. Wyniki te pokazują, że niezbędne są dalsze badania nad rozwojem technologii sterowania zastosowanych w pojazdach. Można również przypuszczać, że czujniki i radary nie są wystarczające, aby jazdy poruszały się w sposób w pełni bezpieczny i komfortowy. Niezbędnym elementem, zwiększającym bezpieczeństwo oraz poprawiających warunki ruchu są systemy umożliwiające komunikację pomiędzy pojazdami - V2V (vehicle-to-vehicle), a także między pojazdami a otoczeniem - V2I (vehicle-to-infrastructure) oraz I2V (infrastructure-to-vehicle). System V2V pozwala na wymianę informacji między pojazdami zautomatyzowanymi znajdującymi się blisko siebie. Dzięki powiadomieniu np. o nagłym hamowaniu innego pojazdu, kierowca może odpowiednio wcześniej zareagować na nietypową sytuację drogową. Systemy V2I oraz I2V odpowiadają za inteligentną współpracę pojazdów i infrastruktury [10],[13].

Samochody w pełni autonomiczne obecnie nie są jeszcze dostępne w sprzedaży, ale rośnie udział pojazdów częściowo zautomatyzowanych, który wynosi już około 5%, a do 2030 r. pojazdy częściowo i w pełni zautomatyzowane będą stanowić około 15-18% floty pojazdów [2]. Do momentu, gdy po drogach poruszać się będą wyłącznie pojazdy bezzałogowe, przez wiele lat będzie występował ruch mieszany, tj. pojazdów tradycyjnych i autonomicznych.

Zgodnie z wizją Unii Europejskiej, do 2050 roku ma nastąpić całkowite



1. Przykładowy schemat rozmieszczenia czujników i detektorów w pojeździe zautomatyzowanym. Źródło: [14]

wyeliminowanie wypadków śmiertelnych na europejskich drogach, a realizacja tego planu opiera się na zautomatyzowanej mobilności, zintegrowanej z całym systemem transportowym. Szacuje się, że do 2020 r. powinny być już dostępne niektóre pojazdy o wyższym poziomie automatyzacji (3 i 4), np. z funkcją autopilota na autostradzie, czy też samochodu osobowe samodzielnie parkujące. W [7] zwrócono uwagę na korzyści wynikające z łączności pomiędzy pojazdami, która umożliwi inteligentne sterowanie ruchem, zapewniając bezpieczeństwo i płynność ruchu. Z tego powodu, oczekuje się, że do 2022 r. wszystkie nowe samochody powinny mieć połączenie z internetem.

Systemy komunikacji pojazdów autonomicznych

Ze względu na dotychczasowo niewielki udział samochodów częściowo zautomatyzowanych, inwestycje w dostosowanie infrastruktury do potrzeb funkcjonowania systemów łączności między pojazdami a otoczeniem są ograniczone. Istnieją jednak miejsca, również w Europie, gdzie testuje się system V2X (vehicle-to-everything). System ten to połączenie systemów V2V, V2I oraz V2P, umożliwiający m.in. komunikację po-

jazdu z sygnalizacją świetlną oraz znakami drogowymi. Docelowo może on zostać wykorzystany do sterowania ruchem – zamiast pętli indukcyjnych czy kamer, zgłoszenie zapotrzebowania na wykonanie danego manewru na skrzyżowaniu może odbywać się automatycznie przez przekazanie informacji z podjazdu. Posiadanie informacji dotyczących trasy przejazdu każdego z pojazdów autonomicznych, umożliwi optymalizację sterowania ruchem i efektywniejsze wykorzystanie infrastruktury [11], [15].

W Wiedniu, firma Kapsch TrafficCom zaproponowała rozwiązanie polegające na zapewnieniu łączności pojazdów i elementów przydrożnych z centralnym systemem zarządzania ruchem, który generuje komunikaty dla kierowców. Wykorzystuje się do tego celu sieć radiową o częstotliwości 5.9 GHz, która w odróżnieniu od sieci GSM czy GPS, ma gwarantować brak opóźnień w przekazywaniu informacji. Niezawodność sieci wykorzystywanych do transmisji danych jest bardzo istotna dla bezpieczeństwa i sprawności ruchu. Powiadomienia np. o hamowaniu awaryjnym lub otworzeniu poduszek powietrznych, trafiają do centralnego systemu zarządzania ruchem, są analizowane i mogą być wysyłane do innych uczestników ruchu. Komunikacja infrastruktury z pojazdami umożliwi

również informowanie o występujących utrudnieniach i wypadkach. Omawiane rozwiązanie testowane jest w Wiedniu oraz Pradze, a docelowo ma funkcjonować na wszystkich drogach tzw. „Korytarza Europejskiego” [16].

Systemy umożliwiające łączność między pojazdami i infrastrukturą są niezbędnym, z punktu widzenia bezpieczeństwa, uzupełnieniem czujników i radarów, w które wyposażone są pojazdy. Należy zauważyć, że w przypadku niekorzystnych warunków atmosferycznych, opadów czy też niewłaściwego utrzymania znaków pionowych i poziomych, może pojawiać się problem z identyfikacją oznakowania przez kamery umieszczone w pojeździe. Zapis pozyskany dzięki nim, przetwarzany jest na serię nieruchomych obrazów. Następnie poddane są one procesowi wykrywania krawędzi, polegającemu na identyfikacji punktów, w których następuje gwałtowna zmiana jasności obrazu. Przeprowadzono badania [12], z których wynika, że wykorzystanie predykcji liniowej, która przewiduje przyszłe wartości sygnału na podstawie wartości przeszłych i obecnych, pozwala na rozpoznanie znaku STOP nawet w trudnych warunkach pogodowych i przy częściowym zaśnięciu znaku. Nadal trwają prace nad efektywnym i niezawodnym systemem rozpoznawania także innych znaków, np. ograniczenia prędkości.

Strefami, potencjalnie problematycznymi dla pojazdów autonomicznych, mogą być skrzyżowania oraz drogi, na których pasy ruchu nie są wyznaczone liniami lub oznakowanie nie jest odpowiednio utrzymane. Z tego względu szczególnie ważna jest komunikacja pomiędzy podjazdami oraz pomiędzy pojazdami i infrastrukturą. Stworzenie baz danych, w których byłyby cyfrowo zapisane informacje dotyczące dróg i ich otoczenia umożliwiłoby bardziej efektywne sterowanie pojazdu, ze względu na mniejszą ilość danych analizowanych w czasie rzeczywistym oraz eliminację problemu związanego z identyfikacją

oznakowania [6]. Takie rozwiązanie wymaga jednak sporych nakładów finansowych i zanim stanie się ono powszechne może minąć wiele lat.

Pojazdy autonomiczne a projektowanie infrastruktury i jej przepustowość

Zakłada się, że pojazdy autonomiczne docelowo mają zwiększyć przepustowość dróg i płynność ruchu oraz umożliwić bardziej ekonomiczne projektowanie infrastruktury drogowej [1], [2], [11]. Zanim jednak ruch będzie zdominowany przez pojazdy samosterujące, prawdopodobnie przez kilkadziesiąt lat będą one współistniały z pojazdami konwencjonalnymi. Pojawiają się zatem pytania, jak ta sytuacja wpłynie na przepustowość dróg i jak należy przystosować obecną infrastrukturę drogową do omawianego okresu przejściowego?

W [5] przeanalizowano potencjalny wpływ pojazdów autonomicznych na przepustowość w zależności od udziału tych pojazdów w ruchu. Założono zmniejszenie odstępu czasu pomiędzy pojazdami w pełni autonomicznymi do 0,5 s, przy średnich odstępach utrzymywanych przez kierowców pojazdów konwencjonalnych równych 1,15 s. W przypadku ruchu „pojazd samosterujący - pojazd konwencjonalny” odstęp czasu między nimi wynosiłby 0,9 s ze względu na komfort kierującego pojazdem konwencjonalnym. Wyniki analiz, uwzględniających powyższe założenia, wskazują na możliwość znacznego wzrostu przepustowości przy zwiększającym się udziale pojazdów autonomicznych (np. o około 40% przy udziale pojazdów autonomicznych w ruchu równym 70%). Należy jednak zauważyć, że przy ich udziale niższym niż 50% przepustowość wzrasta bardzo powoli (przy 50% udziale występuje wzrost o około 20%), natomiast powyżej tej wartości przyrost jest znacznie szybszy i może sięgać 75% dla ruchu w pełni autonomicznego.

Biorąc pod uwagę możliwy wzrost

przepustowości przy wysokim udziale pojazdów zautomatyzowanych, korzystna wydaje się segregacja pojazdów samosterujących i konwencjonalnych, poprzez wydzielenie pasów przeznaczonych wyłącznie dla pojazdów autonomicznych. Ze względu na jednorodność ruchu możliwe jest zwiększenie płynności ruchu oraz poprawa bezpieczeństwa, dzięki uniknięciu sytuacji potencjalnie kolizyjnych czy wypadkowych w ruchu mieszanym. Dedykowany pojazdom autonomicznym pas ruchu, pozwoliłby na jazdę z jednakową prędkością, przy utrzymaniu stałych odstępów pomiędzy nimi.

W odróżnieniu od pojazdów samosterujących, prędkość z jaką poruszają się pojazdy konwencjonalne, odstępy pomiędzy nimi, a także sposób jazdy kierowców są zróżnicowane i wynikają w dużym stopniu z indywidualnych cech kierujących pojazdami. Zatem ruch mieszanym może powodować problemy z odpowiednią reakcją systemów sterowania pojazdów autonomicznych na nietypowe działania podejmowane przez kierujących. Z drugiej strony, kierujący mogą negatywnie odbierać sposób jazdy samochodów samosterujących, które dostosowując się do ograniczeń prędkości, mogą tworzyć trudne do wyprzedzenia kolumny. Nie bez znaczenia jest również aspekt prawny – konieczne jest stworzenie przepisów, regulujących zasady podejmowania decyzji przez systemy sterujące, które wiążą się z dylematami etycznymi oraz wskazujących podmiot odpowiedzialny za ewentualne wypadki [11]. Pomimo wyraźnych korzyści wynikających z segregacji pojazdów autonomicznych i tradycyjnych, w [2] zwrócono uwagę, że przy małym udziale tych pierwszych, wydzielenie pasów przeznaczonych wyłącznie dla ruchu autonomicznego byłoby nieuzasadnione ekonomicznie. W [3] przeprowadzono analizę, z której wynika, że przy udziale pojazdów autonomicznych mniejszym niż 20%, nie zaleca się stosowania wydzielonych pasów ruchu. Z kolei badania opisa-

ne w [20] wskazują, że korzystne jest wydzielenie pasa ruchu w przypadku 40% udziału pojazdów autonomicznych w ruchu lub 30%, przy założeniu wyższych dopuszczalnych prędkości na wydzielonym pasie, w stosunku do dopuszczalnej prędkości dla pojazdów tradycyjnych.

Jednym z przykładów badań wpływu pojazdów częściowo zautomatyzowanych na ruch drogowy są badania opisane w [2]. W ramach tych badań zbudowano model symulacyjny odcinka autostrady o 3 pasach ruchu, na którym założono ruch mieszany, z różnym udziałem podjazdów o niskim poziomie automatyzacji. Zauważono, że w przypadku ruchu mieszanego, pojazdy częściowo zautomatyzowane, przy ich udziale mniejszym niż około 80%, mogą mieć nieznacznie negatywny wpływ na przepustowość (spadek przepustowości o 1-7% w zależności od przyjętych odstępów czasu pomiędzy pojazdami). Główną przyczyną pogorszenia warunków ruchu jest utrzymywanie przez pojazdy częściowo zautomatyzowane, większych odstępów między poprzednikiem, na wypadek konieczności przejęcia sterowania przez kierującego.

Opisane powyżej badania nasuwają pytanie, czy biorąc pod uwagę okres przejściowy ze współistnieniem konwencjonalnych i zautomatyzowanych pojazdów, należy zmieniać infrastrukturę, aby lepiej dopasować ją do specyfiki „mieszanego” ruchu? Jak już wcześniej zauważono, wydzielenie pasa ruchu tylko dla pojazdów samosterujących, może być opłacalne jedynie w przypadku, gdy staną się one bardziej powszechne. Pomimo tego, że okres przejściowy będzie trwał jeszcze przez wiele lat, rozbudowa infrastruktury dedykowana pojazdom zautomatyzowanym nie wydaje się jednak konieczna. Możliwy spadek przepustowości dróg przy występowaniu ruchu „mieszanego” jest oszacowany w wielu badaniach jako nieznaczny. Należy jednak zauważyć, że takie oszacowania opierają się na wielu założeniach i uproszczeniach,

które są trudne do zweryfikowania poprzez wykonanie badań empirycznych (niski udział tych pojazdów w ruchu).

Docelowo pojazdy autonomiczne mają umożliwić bardziej ekonomiczne projektowanie pasów ruchu, które mogą być węższe niż dla pojazdów konwencjonalnych. W związku z powyższym, może zaistnieć potrzeba poddania weryfikacji sposobu projektowania konstrukcji nawierzchni drogowej. Pojazdy samosterujące będą poruszać się po ściśle wyznaczonym torze jazdy, stale obciążając konstrukcję w tym samym śladzie. Inaczej jest w przypadku pojazdów konwencjonalnych, dla których występuje konieczność projektowania szerszych pasów ruchu, jednak obciążenia rozłożone są dużo bardziej nierównomiernie, ze względu na różnorodny sposób jazdy kierowców. Przy coraz większym udziale pojazdów autonomicznych w ruchu, mogą one wywierać niekorzystny wpływ na trwałość zmęczeniową nawierzchni.

Stan nawierzchni drogowej jest ważnym czynnikiem, mającym wpływ na komfort i bezpieczeństwo jazdy. Pojazd autonomiczny powinien potrafić zidentyfikować ewentualne uszkodzenia i w zależności od występujących warunków, dostosować swoją prędkość. Pojawiają się już koncepcje opon zawierających czujniki światłowodowe umożliwiające monitorowanie warunków drogowych oraz łączenie otrzymanych danych z informacjami pochodzącymi z komunikacji V2V oraz V2I [15]. Taki system umożliwia dostosowanie prędkości, w zależności od warunków pogodowych, które mają istotny wpływ na długość drogi hamowania.

Ważnym aspektem, na który należy zwrócić uwagę w kontekście dostosowania infrastruktury do ruchu pojazdów autonomicznych, jest bezpieczeństwo pieszych. Pojazd może zidentyfikować tych użytkowników dróg przy pomocy dwóch metod. Pierwsza z nich to detekcja przy użyciu czujników i laserów zamontowanych w pojeździe. Istotnym

ograniczeniem takiej detekcji jest konieczność występowania dobrej widoczności, gdyż w przeciwnym wypadku nie ma pewności, że system czujników zadziała poprawnie. W związku z tym piesi wychodzący zza elementu ograniczającego widoczność (np. przechodzący między zaparkowanymi pojazdami), mogą nie zostać skutecznie zidentyfikowani. Druga metoda oparta jest na komunikacji bezprzewodowej pomiędzy pojazdem a pieszym i zakłada użycie do tego celu rozszerzenia sieci WiFi (IEEE 802.11p) lub sieci komórkowych (3G, LTE). W [1] zwrócono uwagę, że wykorzystanie obecnych technologii komunikacyjnych do rozwoju komunikacji V2P (vehicle-to-pedestrian), nie wymaga inwestycji w infrastrukturę. Smartfon, należący do pieszego, automatycznie przesyłałby informacje o jego aktualnej pozycji i prędkości poruszania się, a także dodatkowe dane, takie jak historia trasy czy maksymalna prędkość pieszego. Zastosowanie zaawansowanego filtrowania, wykorzystującego pozyskane dane od pieszych i pojazdów, umożliwiłoby ocenę ryzyka wystąpienia kolizji. Jeśli okazałoby się ono wysokie, to zarówno do pojazdu jak i na smartfon pieszego zostałaby przesłana informacja o zagrożeniu. Ograniczenia dotyczące tej metody dotyczą konieczności posiadania przez pieszego smartfona oraz czasu pracy jego baterii [4]. Połączenie obu metod pozwala zwiększyć bezpieczeństwo pieszych i nie wymaga dodatkowych inwestycji w infrastrukturę.

Innym istotnym aspektem, związanym z interakcją pomiędzy pieszymi a pojazdami autonomicznymi, jest zdefiniowanie charakteru jazdy pojazdów samosterujących. Przy założeniu bardziej agresywnego sposobu jazdy (mniejsze odstępy między pojazdami, ustępowanie pierwszeństwa pieszym tylko w razie konieczności) mogą one powodować spadek bezpieczeństwa, natomiast dla bardziej zachowawczego stylu jazdy (większe odstępy między pojazdami, ustępowanie pierwszeństwa pieszym w każdym

Tab. 2. Potencjalny wpływ pojazdów zautomatyzowanych na projektowanie infrastruktury drogowej

Problem projektowy	Potencjalny wpływ na projektowanie
Prędkość projektowa i miarodajna	Możliwość zdefiniowania określonej wartości prędkości projektowej dla poszczególnych odcinków danej klasy drogi, projektowanie elementów drogi w dostosowaniu do tej prędkości jako maksymalnej
	Możliwość powiązania wartości prędkości projektowej z optymalnym przepływem strumienia pojazdów, tj. maksymalizacja przepustowości (wpływ utrzymywania przez pojazdy autonomiczne mniejszych odstępów, większa jednorodność ruchu)
	Brak konieczności definiowania i wyznaczania prędkości miarodajnej ze względu na znaną maksymalną prędkość, z jaką będą poruszać się pojazdy autonomiczne
Szerokość pasów ruchu	Zmniejszenie szerokości pasów ruchu, szczególnie w przypadku dużych prędkości (przy uwzględnieniu wymagań wynikających z gabarytów pojazdów dopuszczonych do ruchu na danej drodze)
Promień łuków poziomych	Możliwość indywidualnego projektowania w nawiązaniu do lokalnych uwarunkowań (automatyczna identyfikacja parametrów geometrycznych drogi z dostosowaniem prędkości do tych parametrów)
Maksymalna długość odcinka prostego	Brak konieczności określania maksymalnej długości odcinka prostego (brak zagrożenia monotonią jazdy oraz konieczności szacowania przez kierowcę prędkości pojazdów poruszających się z naprzeciwka)
Skrzyżowania	Pośredni wpływ poprzez możliwość indywidualnego definiowania prędkości do projektowania w obrębie skrzyżowania
Urządzenia techniczne drogi	Możliwość zmniejszenia odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni
	Brak konieczności stosowania barier ze względu na minimalizację liczby wypadków (występowanie sytuacji potencjalnie niebezpiecznych, tylko w przypadku awarii systemu sterowania), z drugiej strony, brak urządzeń związanych z bezpieczeństwem może być trudny do zaakceptowania przez ludzi podróżujących pojazdem autonomicznym (aspekty subiektywnej oceny zagrożeń)
Konstrukcja nawierzchni drogi	Konieczność utrzymywania nawierzchni w dobrym stanie, ze względu na brak możliwości oceny jej stanu przez kierującego i dostosowania prędkości do warunków lub zastosowanie czujników, które przekazując informacje, przy pomocy systemów komunikacji (I2V), dotyczące aktualnego stanu nawierzchni, umożliwiłyby indywidualne dostosowywanie prędkości i określenie drogi hamowania
	Powtarzalność obciążeń w obrębie wąskich pasm wymaga wzmocnienia konstrukcji nawierzchni
Widoczność	Możliwość ograniczenia wymaganej odległości widoczności na zatrzymanie przez automatyczną identyfikację odcinków z ograniczeniami prędkości powodowanymi brakami widoczności
	Dostosowanie wymagań widoczności do możliwości detekcji przez systemy czujników i laserów

przypadku) może nastąpić pogorszenie warunków ruchu. Niezbędne są zatem badania, mające na celu określenie optymalnych parametrów sterowania z punktu widzenia bezpieczeństwa i warunków ruchu.

Rosnący udział pojazdów zautomatyzowanych poziomu 3 i 4 może wpłynąć na obowiązujące zasady dotyczące projektowania infrastruktury drogowej. W tabeli 2 przedstawiono problemy projektowe oraz potencjalny wpływ rosnącego udziału pojazdów zautomatyzowanych na projektowanie. Z tego zestawienia wynika, że zakres zmian zasad projektowania infrastruktury drogowej będzie determinowany tempem zmiany floty pojazdów i rozwoju systemów wspomagających w pojazdach. Ze względu na duży udział międzynarodowego ruchu tranzytowego bardzo ważne będzie także ujednoczenie w skali europejskiej niektórych wymagań projektowych wynikających z auto-

matyzacji pojazdów.

Podsumowanie

Obecnie pojazdy autonomiczne o różnym poziomie automatyzacji stanowią niewielki procent wszystkich uczestników ruchu drogowego, jednak wzrost ich udziału w przyszłości wydaje się nieunikniony. Taki rozwój jest wspierany m.in. polityką Unii Europejskiej [7]. W związku z tym, pojawiają się uzasadnione pytania dotyczące potencjalnego wpływu tych pojazdów na ruch i projektowanie oraz utrzymanie infrastruktury drogowej.

W wielu opracowaniach wskazuje się, że oparcie systemu sterowania wyłącznie na sygnałach z czujników i laserów, umieszczonych w pojeździe, może być niewystarczające z punktu widzenia bezpieczeństwa i sprawności ruchu. Zwraca się także uwagę na możliwe trudności z identyfikacją oznakowania, wynikające z

niewłaściwego utrzymania dróg bądź występowania trudnych warunków pogodowych. Niezbędne są więc inwestycje w rozwój systemu komunikacji pojazdu z infrastrukturą, który umożliwiłby wymianę informacji w czasie rzeczywistym oraz dostęp do bazy map, zawierających wiarygodne dane o drodze i jej otoczeniu.

Za bardzo trudny uznaje się okres przejściowy, w którym będzie występował ruch mieszany pojazdów autonomicznych i konwencjonalnych. Główne problemy tego współistnienia dotyczą bezpieczeństwa i przepustowości dróg. Dopiero przy wysokim udziale pojazdów samosterujących, może zostać osiągnięty wzrost przepustowości dróg i skrzyżowań, natomiast w przypadku niskiego udziału pojazdów częściowo zautomatyzowanych może wystąpić niewielki spadek przepustowości. Z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu, istotne jest wprowadzenie regulacji prawnych określających podmiot odpowiedzialny za decyzje podejmowane przez systemy sterowania pojazdów autonomicznych.

Docelowo upowszechnienie pojazdów autonomicznych ma umożliwić bardziej ekonomiczne projektowanie infrastruktury drogowej. Występowanie ruchu mieszanego pojazdów autonomicznych i konwencjonalnych nie wymaga zasadniczych zmian w dotychczasowych sposobach projektowania infrastruktury drogowej, chociaż można oczekiwać pogorszenia warunków ruchu w okresie przejściowym z dominującym udziałem pojazdów konwencjonalnych. Rozwiązaniem zwiększającym bezpieczeństwo i poprawiającym płynność ruchu we wspomnianym okresie mogą być pasy dedykowane wyłącznie pojazdom samosterującym. Jednak ich wydzielenie z istniejących przekrojów drogowych, kosztem zmniejszenia liczby pasów dla pojazdów konwencjonalnych, jest uzasadnione tylko w przypadku dużego udziału pojazdów autonomicznych w ruchu przekraczającego 30-40%. ◀

Materiały źródłowe

- [1] M. Bagheri, M. Siekkinen, J. K. Nurminen, Cellular-based Vehicle to Pedestrian (V2P) Adaptive Communication for Collision Avoidance, 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Wiedeń, 3-7 listopada 2014r., s.450-456
- [2] S. C. Calvert, W. J. Schakel, and J. W. C. van Lint, Will Automated Vehicles Negatively Impact Traffic Flow?, Journal of Advanced Transportation, 2017
- [3] Z. Chen, F. He, L. Zhang, Y. Yin, Optimal deployment of autonomous vehicle lanes with endogenous market penetration, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, Volume 72, s. 143-156
- [4] K. David, A. Flach, Car-2-X and Pedestrian Safety Innovative Collision Avoidance System, IEEE Vehicular Technology Magazine, 2010, Volume 5, s. 70-76
- [5] B. Friedrich, The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic, Autonomous Driving. Technical, Legal and Social Aspects, 2016, s. 317-334
- [6] B. Kollmus, T. M. Gasser, P. Lubrich, J. Ritter, L. Rittershaus, K. Scharnigg, Infra-strukturbedarf beim Automatisierten Fahren, Straßenverkehrstechnik, 2019, nr 4, s. 255-260
- [7] Komisja Europejska, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, Droga do zautomatyzowanej mobilności: strategia UE na rzecz mobilności w przyszłości, 2018
- [8] W. Kühn, Hochautomatisiertes Fahren und Straßenverkehrsinfrastruktur, Straßenverkehrstechnik, 2018, nr 9, s. 623-630
- [9] M. Martínez-Díaz, F. Soriguera, Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges, Transportation Research Procedia, 2018, Volume 33, s. 275-282
- [10] M. Szymczak, W oczekiwaniu na autonomiczne samochody. Czy spełnią oczekiwania kierowców i jak wpłyną na miasta?, Transport Miejski i Regionalny, 2013, nr 10, s. 4-9
- [11] T. Tettamanti, I. Varga, and Z. Szalay, Impacts of Autonomous Cars from a Traffic Engineering Perspective, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2016, 44(4), s. 244-250
- [12] H. Vishwanathan, D. L. Peters, J. Z. Zhang, Traffic sign recognition in autonomous vehicles using edge detection, Proceedings of the ASME 2017 Dynamic Systems and Control Conference DSCC2017 Tysons, Virginia, USA October 11-13, 2017
- [13] www.autodna.pl/blog/nowatorskie-systemy-bezpieczenstwa-v2x-juz-na-japonskich-drogach/ (dostęp: 10.04.2019)
- [14] www.autoexpert.pl/technika-i-serwis/Jak-dzialaja-samochody-autonomiczne,11062,1 (dostęp: 17.04.2019)
- [15] www.autoexpert.pl/produkty/Goodyear-AERO-opona-koncepcyjna-dla-autonomicznych-i-latajacych-samochodow,12910,1 (dostęp: 07.05.2019)
- [16] www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/wieksza-plynnosc-ruchu-dzieki-its-51444.html (dostęp: 10.04.2019)
- [17] www.standards.sae.org/j3016_201401 (dostęp: 08.04.2019)
- [18] www.thelastdriverlicenseholder.com/2019/02/13/update-disengagement-reports-2018-final-results/ (dostęp: 10.04.2019)
- [19] www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/o-testowaniu-samochodow-autonomicznych-krytycznych-slow-kilka-57672.html (dostęp: 08.04.2019)
- [20] L. Ye, T. Yamamoto, Impact of dedicated lanes for connected and autonomous vehicle on traffic flow throughput, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2018, Volume 512, s. 588-597

REKLAMA

WWW.TRAKOTARGI.PL

TRAKO

13. MIĘDZYNARODOWE TARGI KOLEJOWE

24-27.09.2019 | GDAŃSK | AMBEREXPO