

# KOMUNIKACJA POJAZDÓW AUTONOMICZNYCH Z INFRASTRUKTURĄ DROGOWĄ

---

Michał Zawodny

inż., tel.: 513 303 693, email: 216862@student.pwr.edu.pl

---

**Streszczenie.** *Artykuł ma na celu przybliżyć technologie komunikacji pomiędzy pojazdami zautomatyzowanymi i infrastrukturą drogową (V2I – vehicle to infrastructure). Opisano technologie komunikacji, które będą rozwijane w bliższym czasie, jak i obecnie wykorzystywaną metodę wykrywania istniejącej infrastruktury, czyli detekcję krawędzi. Zawarte w niniejszym artykule technologie to: infrastruktura w chmurze, komunikacja za pomocą Bluetooth, WiFi, DSRC oraz 5G. Skupiono się na ich korzyściach, wykorzystaniu do konkretnych zadań i tym jak wpłyną one na infrastrukturę drogową. Na podstawie przeglądu zaproponowano autorskie pomysły wykorzystujące opisane technologie.*

**Słowa kluczowe:** *pojazdy autonomiczne, komunikacja pojazd-droga, infrastruktura drogową*

## 1. Wstęp

Pojazdy autonomiczne jeszcze nie występują w ruchu ulicznym. Jednak pojazdy o częściowym stopniu automatyzacji poruszają się już po drogach publicznych oraz trwają testy ich coraz bardziej zautomatyzowanych wersji. W Stanach Zjednoczonych trwają próby autonomicznej ciężarówki od Tesli [4]. W Szwecji testowane były przez pół roku mini-busy, a od 2020 roku planuje się wprowadzić dwa pełnowymiarowe autobusy do obsługi linii autobusowej w Sztokholmie [13,16]. W Polsce możliwe są już testy pojazdów wysoko zautomatyzowanych, jednak, podobnie jak za granicą, musi się znajdować w nim kierowca mogący zareagować w niebezpiecznej sytuacji [5]. Pojazdy mogą różnić się zaawansowaniem systemów sterujących i ich zakresem kontroli nad ruchem. Society of Automobile Engineers (SAE) podzieliło je na pięć różnych stopni automatyzacji i poziom zerowy, czyli pojazd „klasyczny”, który nie jest zautomatyzowany w żadnym stopniu. Na poziomie piątym, znajduje się już w pełni autonomiczny pojazd, gdzie kierowca nie obsługuje żadnego aspektu związanego ze sterowaniem ruchem samochodu. Odpowiedniki tych poziomów określone są również przez niemiecki BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen – Federalny Urząd Drogownictwa), oraz amerykańskie NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration – urząd ds. bezpieczeństwa ruchu drogowego). Wszystkie poziomy zestawiono na rys. 1.

		kierowanie i przyspieszanie/ zwalnianie	obserwacja otoczenia	reagowanie gdy zawiedzie automatyzacja	system sprawuje kontrolę	Poziom BAST	Poziom NHTSA	
kierowca monitoruje otoczenie pojazdu	0	brak automatyzacji				---	tylko kierowca	0
	1	wspomaganie kierowcy				niektóre tryby jazdy	wspomaganie	1
	2	częściowa automatyzacja				niektóre tryby jazdy	częściowa automatyzacja	2
zautomatyzowany system kierowania monitoruje otoczenie pojazdu	3	warunkowa automatyzacja				niektóre tryby jazdy	wysoka automatyzacja	3
	4	wysoka automatyzacja				niektóre tryby jazdy	pełna automatyzacja	3/4
	5	pełna automatyzacja					pełna automatyzacja	

**Legenda**

KIEROWCA

SYSTEM ZAUTOMATYZOWANY

Rys. 1. Podział pojazdów zautomatyzowanych na stopnie automatyzacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

Przez osoby prywatne są możliwe do zakupu pojazdy o drugim poziomie automatyzacji, a obecnie trwają prace nad poziomami trzecim i czwartym [23]. Zarówno w pojazdach o niskim i wysokim poziomie zautomatyzowania występuje poważny problem, czyli ich sposób komunikacji oraz identyfikacji istniejącej infrastruktury drogowej.

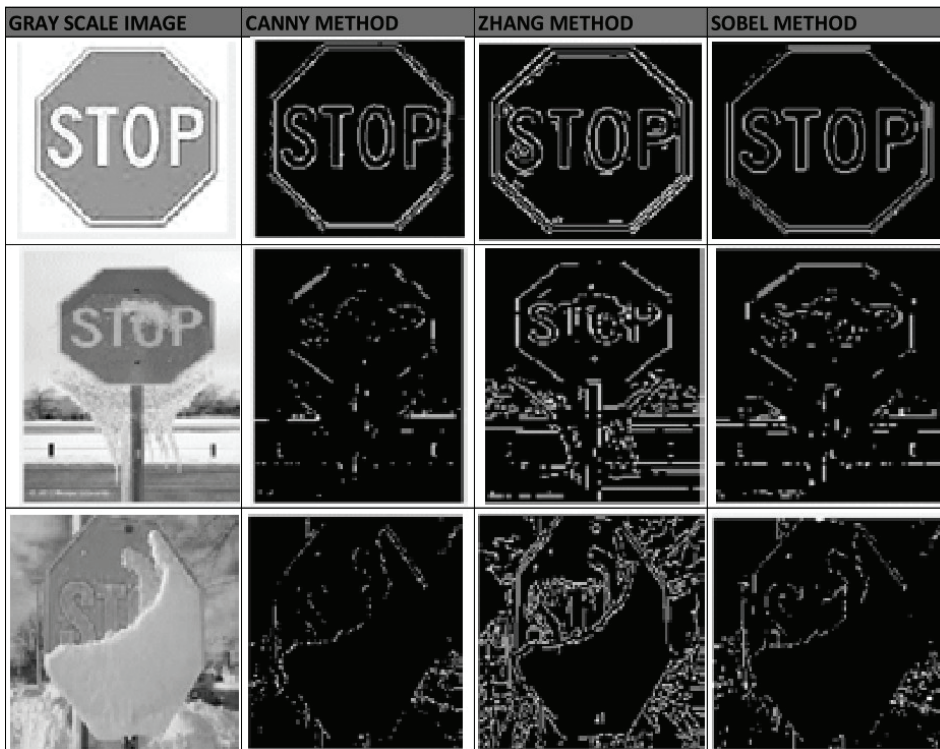
W niniejszym artykule opisano sposoby, którymi pojazdy autonomiczne i zautomatyzowane mogą komunikować się z infrastrukturą drogową (vehicle to infrastructure - V2I), oraz tym, jak ją zmieniają poprzez możliwość wzajemnej interakcji z dotychczas „statycznymi” elementami. Istnieje wiele propozycji form komunikowania się pojazdów z infrastrukturą, a każda oferuje inne możliwości. Inwestycja w takie rozwiązania jest niezbędna, by ruch pojazdów autonomicznych był bezpieczny i płynny. Samo wykrywanie infrastruktury drogowej jest obecnie niewystarczające. Wprowadzenie systemów V2I zapewnia korzyści zarówno wobec pojazdów autonomicznych, jak i o niskim stopniu automatyzacji.

## 2. Detekcja optyczna

Obecne pojazdy zautomatyzowane używają technologii opartej na wykrywaniu krawędzi (Edge detection), by wykrywać oznakowanie drogowe pionowe i poziome. Odbywa się to za pomocą kamer optycznych w które wyposażony jest pojazd.

Detekcja krawędzi to metody matematyczne, które identyfikują punkty w których jasność czarno-białego obrazu gwałtownie się zmienia. Przedstawiają je w postaci pikseli, zatem powstaje obraz stworzony z samych „krawędzi”. Tak stworzony obraz ma zredukowaną ilość niepotrzebnych informacji przy jednoczesnym zachowaniu jego struktury. Większość algorytmów tej metody składa się z czterech faz. Pierwsza to faza filtrowania (filtering stage), która usuwa wszelkie szумы obrazu. Druga to faza wzmocnienia (enhancement stage), wybiera się w niej odpowiedni filtr, by znaleźć punkty krawędziowe i usunąć z obrazu niepożądane elementy, na przykład niepotrzebne tło. W fazie trzeciej, wykrywaniu (detection stage) są znajdowane krawędzie, a w ostatniej fazie, lokalizacji (location stage) wykrywa się ich orientację i lokalizację [22].

Istnieje wiele metod detekcji krawędzi (np. Canny’ego, Zhanga, Prewitta), a każda z nich posiada wady i zalety. Wszystkie metody działają na ww. zasadach, jednak różnią się algorytmami i uzyskanymi rezultatami, które są przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Detekcja krawędzi różnymi metodami na przykładzie amerykańskiego znaku STOP

Źródło: {22}

Pojazdy zautomatyzowane za pomocą kamer nagrywają obraz, który dzielony jest potem na poszczególne nieruchome klatki. Każda klatka jest analizowana przez algorytm na obecność kształtów odpowiadających znakom drogowym i ich treści. Przydatne są tutaj kształty znaków, przykładowo znaku STOP. Detekcja tego typu znaków możliwa jest nawet przy ich zaśnieniu (rys. 2), ponieważ algorytm nie będzie rozpoznawał tylko treści znaku, ale rozpozna jego kształt i nawet sam ten kształt wystarczy, by podjąć przez pojazd odpowiednie działanie. Przykładowo zatrzymać samochód przed znakiem STOP.

Na rysunku 2 pokazano, jak detekcja krawędzi radzi sobie z detekcją amerykańskiego wariantu znaku STOP w różnych warunkach. Na górze pokazany jest znak w sprzyjających warunkach atmosferycznych, poniżej oblodzony, a najniżej zaśniony. W kolumnie pierwszej pokazane jest zdjęcie analizowanego obiektu. Pozostałe kolumny przedstawiają wynik działania trzech różnych metod detekcji krawędzi. Podczas normalnych warunków pogodowych wszystkie trzy metody są w stanie rozpoznać ośmiokątny kształt. Jednak tylko druga metoda w każdym przypadku jest w stanie wykryć ośmiokątny kształt znaku STOP. Doświadczenia te mogą się przydać również wtedy, gdy znak będzie uszkodzony w akcie wandalizmu. Zamiast śniegu na znaku może znajdować się sprej, bądź nalepka częściowo zakrywająca treść znaku. Znak może też być wygięty. W Polsce przydatne będzie to w przypadku detekcji znaków takich jak znak B-20 STOP, który można rozpoznać po ośmiokątnym kształcie, podobnie jak charakterystyczne znaki D-1 – Droga z pierwszeństwem oraz A-7 Ustąp pierwszeństwa. Wystarczy skalibrować algorytm do wymiarów znaków polskich.

Systemy optyczne wzbudzają kontrowersje. Chińscy badacze z Tencent Keen Security Lab testowali systemy Tesli i udało im się je zmylić za pomocą trzech kropek naklejonych na jezdnię. Autopilot zinterpretował je jako linię i dokonał niebezpiecznego manewru wjeżdżając na przeciwległy pas ruchu [17]. Innym niebezpiecznym zdarzeniem był wypadek śmiertelny z 2018 roku w którym autopilot nie zauważył betonowej bariery pomiędzy jezdniami w Kalifornii. Problemem dla systemu są również tymczasowe betonowe bariery, które nie są oznakowane w wyraźny sposób, przykładowo liniami tymczasowej organizacji ruchu. Jeden taki przypadek został opublikowany w październiku 2019 roku przez użytkownika samochodu od Tesli w serwisie YouTube [18]. Zdarzenie odbyło się na Coronado Bay Brigade w San Diego, USA. Na materiale filmowym widać, że bariery „przecinają” pas ruchu, a autopilot najprawdopodobniej zinterpretował linię światła słonecznego odbijającego się na barierze jako linię krawędziową jezdni i kontynuował jazdę w jej kierunku. W tym przypadku kierowca zareagował i przejął kontrolę nad pojazdem. W tym miejscu bariery są przestawiane pomiędzy porannymi i wieczornymi godzinami szczytu ze względu na natężenie ruchu. Tworzy się w ten sposób dodatkowy pas ruchu raz w jednym, a raz w drugim kierunku jazdy, więc niemożliwe jest stworzenie jednoznacznego oznakowania poziomego.

Pomimo ciągłego ulepszania systemów detekcji optycznej wciąż mogą znaleźć się sytuacje skrajne, w których może dochodzić do błędów popełnianych przez

system. Potrzebne więc są inne systemy wspomagające jazdę pojazdów autonomicznych.

### 3. Komunikowanie się z infrastrukturą drogową w chmurze

Obecnie infrastruktura drogową jest w pełni fizyczna. Znaki drogowe, sygnalizacja świetlna i układ geometryczny drogi jest odbierany przez kierowcę dopiero w zasięgu jego pola widzenia. Jednak istnieją już systemy przechowujące część tych informacji w postaci elektronicznej bazy danych. Systemy tego typu w niedalekiej przyszłości będą przekazywać do analizy dane zdobywane przez pojazd w czasie rzeczywistym, pochodzące na przykład z kamer optycznych lub elektronicznego programu stabilizacji (ESP), by sklasyfikować warunki atmosferyczne na drodze. Możliwa jest tym samym ocena przyczepności koła z jezdnią. Informacje te będą przesyłane do chmury wraz z innymi danymi meteorologicznymi. Wtedy informacja zinterpretowana przez algorytm prześle informację zwrotną do pojazdów na określonym odcinku drogi, by te przykładowo zachowały ostrożność [9]. Jeden rozwijany system nawiązał już współpracę z państwowymi instytucjami takimi jak np. MétéoFrance. Przesyłane przez niego informacje są przetwarzane przez francuską instytucję, która ostrzega kierowców i pojazdy przed niebezpiecznymi warunkami na drogach [3]. System w tym momencie wspomaga firmy transportowe w oszczędzaniu paliwa, poprzez przesyłanie do pojazdu informacji na temat pochyłeń podłużnych, czy promieni łuków. W przyszłości będzie mieć za zadanie wspomagać zautomatyzowane funkcje jeżdżenia. Jego częścią jest też możliwość wcześniejszej redukcji prędkości przed niebezpiecznym łukiem poziomym poza widocznością kierowcy. System będzie uwzględniać warunki pogodowe występujące na łuku i dostosowywać prędkość do przyczepności pojazdu [9]. Kolejnym zastosowaniem baz danych aktualizowanych w czasie rzeczywistym jest możliwość pomocy w znalezieniu miejsca parkingowego. Pojazd może dostać informację gdzie jest wolne miejsce parkingowe oraz informacje o charakterystyce i regulaminie konkretnej strefy płatnego parkowania [8]. Boczne czujniki ultradźwiękowe pojazdu autonomicznego dokonują detekcji otoczenia pojazdu podczas jego przemieszczania się i przesyłają dane o wolnych miejscach parkingowych wzdłuż ulicy. Dane te wykorzystują pojazdy chcące zaparkować w danej okolicy. Zastosowanie to ma pozytywny wpływ na ruch w miastach, ponieważ prowadzi do redukcji natężenia ruchu spowodowanego pojazdami szukającymi miejsca. Pojazd pokierowany przez system zacznie przemieszczać się bezpośrednio do wolnego miejsca parkingowego, zamiast go szukać. W podobny sposób może omijać pełne parkingi podziemne, czy Park and Ride. Obecnie nawet gdy parking wyposażony jest w system zliczający zaparkowane pojazdy, to kierowca dowiaduje się o tym dopiero tuż przed wjazdem na jego teren. Systemy V2I poinformują go o tym wcześniej, zanim kierowca zacznie do niego zmierzać.

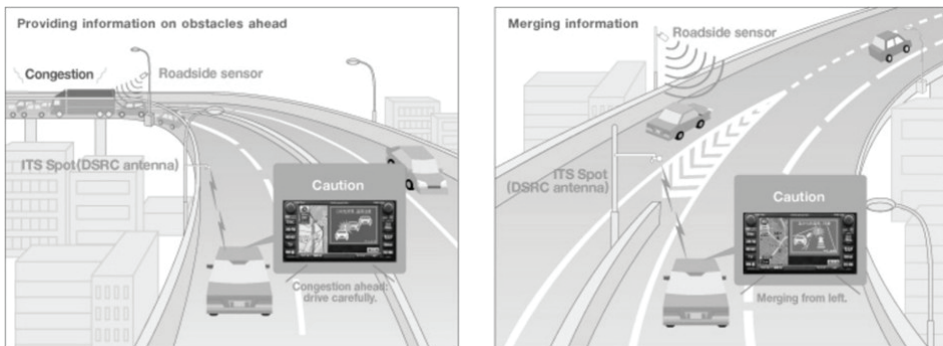
Opisane systemy mogą stać się więc kolejnym elementem infrastruktury drogowej, takim jak przykładowo znaki zmiennej treści. Lecz informacje będą przekazywane w czasie rzeczywistym do pojazdu i będą na niego bezpośrednio i natychmiastowo wpływać, zwiększając bezpieczeństwo. Warto rozważyć stworzenie krajowego systemu tego typu. Mogłaby posłużyć temu Chmura Krajowa. Plusem takiego rozwiązania jest infrastruktura techniczna chmury zlokalizowana w Warszawie [15]. Wpłyne to pozytywnie na szybkość odbierania informacji, za sprawą małej odległości od pojazdów. Zarządzanie chmurą mogłoby wchodzić w kompetencje przykładowo Krajowego Systemu Zarządzania Ruchem.

#### 4. Komunikacja za pomocą fal radiowych

Problemem systemów obecnie tworzonych, może okazać się ich komercjalizacja. W przypadku gdy zaistnieje potrzeba przekazania użytkownikowi drogi ważnego komunikatu może okazać się, że będzie to skomplikowane zagadnienie, jeżeli pojazdy poruszające się po drodze będą „należec” do osobnych, rywalizujących baz danych. Zajdzie wtedy potrzeba informowania o tym każdej bazy z osobna. Istnieją propozycje wykorzystania innych form komunikacji bezprzewodowej z pojazdami, niż te oparte na połączeniu internetowym z wirtualną drogą w chmurze. Systemy te mogą opierać się na falach radiowych. Jest wiele nadających się do tego technologii, które mogą przekazać informację natychmiastowo, bez zróżnicowanych pośredników i konieczności zachowania łączności z chmurą.

Przykładem może być Bluetooth. Technologia ta jest już używana w przemyśle samochodowym i ma szereg zalet. Pierwszą zaletą wykorzystania Bluetooth jako formy komunikacji pomiędzy pojazdami, a elementami infrastruktury (V2I) jest jego bezpieczeństwo. W przypadku komunikacji opartej o sieć internetową pojawiają się wątpliwości czy nie zostanie ona zaatakowana na przykład atakami DDoS i jej funkcjonalność nie zostanie chwilowo zablokowana. Bluetooth to komunikacja pomiędzy konkretnymi obiektami na stosunkowo niewielkich dystansach. Urządzenia łączą się w tzw. pikosieci (ang. piconet), są one tworzone dynamicznie i automatycznie gdy urządzenia zbliżą się do siebie. Są to sieci typu ad hoc, czyli są zdecentralizowane i połączenia nie wymagają istnienia żadnej tradycyjnej infrastruktury sieciowej. Najwyższa klasa mocy urządzenia, klasa pierwsza oferuje zasięg około 100 m. O ile zasięg może wydawać się niewystarczający z perspektywy systemów opartych na chmurze, mających wręcz globalny zasięg działania, to jest on wystarczający przy komunikacji pojazdu z elementami infrastruktury typowo miejskiej jak na przykład sygnalizacja świetlna. Kolejnymi wymienianymi zaletami tej technologii jest jej energooszczędność i niski koszt. Technologia ta umożliwi również badania ruchu drogowego za pomocą wykrywania przemieszczającego się pojazdu z włączoną funkcją Bluetooth pomiędzy poszczególnymi punktami dostępu [7].

Kolejną braną pod uwagę technologią komunikacji jest Wi-Fi oraz WLAN. Działają one w standardzie IEEE 802.11. Istnieje wiele rodzin standardu, jednak w niniejszym artykule skupiono się na 802.11p WAVE. Jest to technologia dostosowana do DSRC (ang. Dedicated Short Range Communications), które według [11] są jedną z dwóch technologii mających najmniejsze opóźnienia, czyli najbardziej pasujących do komunikacji związanej z ruchem pojazdów autonomicznych - V2X (vehicle to everything, czyli komunikacja pojazdu z elementami które mogą na niego wpłynąć). DSRC to zarezerwowane, na poczet komunikacji pojazdów zautomatyzowanych, fale radiowe o widmie 75 MHz i paśmie 5,9 GHz, w przypadku Stanów Zjednoczonych. W Unii Europejskiej jest to widmo 30 MHz, jednak pasmo 5,9 GHz jest niezmiennie, co w połączeniu ze zbliżoną częstotliwością widma daje możliwość kompatybilności systemów. Zaletą takiego rozwiązania jest właśnie taka częstotliwość pasma, nie jest możliwe zakłócenie go przez internetowe sieci Wi-Fi operujące na częstotliwościach 2,4 lub 5 GHz, ani przez Bluetooth działający na częstotliwości 2,4 GHz. Jest to przewaga nad tymi występującymi w strefach miejskich falami, które mogą być zakłócanie lub źle odbierane przez urządzenia ze względu na powszechność użycia [7]. Przykłady wykorzystania DSRC to przykładowo zainstalowanie detektora w miejscu gdzie dochodzi do zatok przy braku odpowiedniej widoczności na zatrzymanie. W bezpiecznej odległości od stojących pojazdów umieszcza się nadajnik przesyłający sygnał w technologii DSRC do pojazdów zbliżających się do stojących samochodów poza zasięgiem widzenia kierowcy. Wtedy kierowca lub pojazd autonomiczny wie, że ma zwolnić. Wizualizację takiej sytuacji przedstawiono na rys. 3 po lewej stronie. W prawej części rysunku przedstawiono natomiast wykorzystanie detekcji pojazdu włączającego się do ruchu na drodze szybkiego ruchu. W tej sytuacji kierowca pojazdu poruszającego się lewym pasem drogi dostaje informację o zbliżającym się pojeździe i jest w stanie zmienić pas na prawy, by go wpuścić. Rozwiązanie te zwiększy przepustowość węzłów drogowych.



Rys. 3. Zobrazowany przykład wykorzystania DSRC w infrastrukturze drogowej

*Źródło: [7,20]*

Obecnie są już testowane w ruchu drogowym systemy oparte na DSRC. Obszar badawczy obejmuje całe miasto Ann Arbor w Stanach Zjednoczonych jako

Ann Arbor Connected Vehicle Test Environment (AACVTE). Jest to powierzchnia 70 km<sup>2</sup> na której znajduje się 75 punktów RSU (ang. roadside unit), czyli elementów infrastruktury komunikującej się z pojazdem. Elementy te znajdują się na skrzyżowaniach, łukach poziomych drogi, przejściach dla pieszych i na jednym rondzie. Połączonych z systemem i między sobą jest 2500 pojazdów [1].

W przekazywaniu bezpośrednich sygnałów radiowych jest możliwość wykorzystania istniejącej sieci telefonii komórkowej. Konkurencyjne dla DSRC możliwości transmisji danych bez zakłóceń oferuje technologia 5G. Zaletą tej technologii jest częściowe wykorzystanie istniejącej już infrastruktury [15]. Budowa sieci 5G wzdłuż sieci dróg ma również korzyści dla pasażerów pojazdów samochodowych, zapewni to dostęp do szybkiego Internetu zwiększając znacząco komfort podróży. Zapewni też dobre połączenie z systemami komercyjnymi opartymi na chmurze. System taki mógłby początkowo działać podobnie do alertów Rządowego Centrum Bezpieczeństwa.

By zapewnić bezpieczeństwo ruchu drogowego może zająć konieczność wprowadzenia ogólnokrajowego, bądź międzynarodowego znormalizowanego systemu łączności z pojazdami zautomatyzowanymi. Jednolity system komunikacji pojazdów z elementami infrastruktury i innymi użytkownikami drogi (V2X) może okazać się niezbędny, by ruch odbywał się bezpiecznie i płynnie. Należy zwrócić uwagę, że technologie te nie są zarezerwowane wyłącznie dla pojazdów autonomicznych i zautomatyzowanych. By zwiększyć bezpieczeństwo ruchu drogowego można je zaimplementować w pojazdach o zerowym poziomie automatyzacji wg. SAE. W programie badawczym AACVTE w pojazdach montuje się nieinwazyjnie systemy w formie skrzynki z antenami. Pierwszy to VAD (Vehicle Awareness Device), który na podstawie GPS wysyła sygnały do innych pojazdów i ostrzega ich przed kolizją z pojazdem użytkownika. Drugi, ASD (Aftermarket Safety Device), dodatkowo odbiera sygnały od innych pojazdów i ostrzega, za pomocą głośnika, użytkownika pojazdu przed sytuacjami niebezpiecznymi [1]. Można również wykorzystać smartfon użytkownika drogi do łączenia się ze smartfonem, a nie pojazdem. Zapowiadane są już aplikacje integrujące rozwiązania oparte na chmurze z tablicą rozdzielczą motocyklu, gdzie odbiornikiem jest smartfon schowany w kieszeni [6]. Nie powinno być problemem wykorzystanie podobnego rozwiązania w reszcie typów pojazdów. Wtedy smartfon łączyłby się z tablicą rozdzielczą samochodu osobowego.

## 5. Systemy V2I w sygnalizacji świetlnej

Kluczowym elementem infrastruktury, który należy skomunikować pojazdem jest sygnalizacja świetlna. Dobrze zaimplementowana forma komunikacji może zwiększyć bezpieczeństwo oraz przepustowość skrzyżowań. Rozwiązania takie są już testowane na przykład w Japonii od końca 2015 roku. ITS Connect używa zarezerwowanej dla systemów ITS częstotliwości fal radiowych 760 MHz. Sys-



tem został zapoczątkowany od wprowadzenia go do trzech modeli samochodów sprzedawanych w Japonii. Przekaz medialny z 2018 roku podaje już informację o ponad 100 000 pojazdach połączonych z tą technologią [21]. Wprowadzenie ITS Connect wiąże się z chęcią redukcji ilości wypadków na skrzyżowaniach stawiących, według powołań na dane japońskiej policji z roku 2014, 40% wypadków drogowych w kraju [19].

Bezpieczeństwo można zwiększyć poprzez ostrzeganie kierowców przed możliwymi kolizjami na skrzyżowaniach z pieszymi lub pojazdami, w momencie, gdy relacja na skrzyżowaniu jest kolizyjna, lub skrzyżowanie nie posiada w ogóle sygnalizacji świetlnej. Systemy V2I mogą dokonywać detekcji zbliżających się pojazdów i informować o kursie kolizyjnym lub zrobią to same pojazdy mające połączenie V2V (pojazd z pojazdem – vehicle to vehicle). Mniej zaawansowaną formą takiej informacji jest samo powiadomienie o niebezpieczeństwie bezpośrednio pojazdu zautomatyzowanego lub tylko kierowcy za sprawą komunikatów audio lub video. Inną niebezpieczną sytuacją w której może przydać się ostrzeżenie jest zbliżanie się do czerwonego sygnału poruszając się z dużą prędkością bez rozpoczęcia zwalniania. Komunikaty mogą zapobiec przejechaniu na czerwonym sygnale świetlnym poprzez nieuwagę.

Kolejne aspekty, które polepszą komunikacja pojazdów z sygnalizacją świetlną, są kwestie przepustowości oraz ekonomii jazdy i powiązanej z nią oszczędnością paliwa. Pojazd autonomiczny mający zapewnione połączenie ze skrzyżowaniem uzyska szereg korzyści. Zbliżając się do skrzyżowania nie musi ograniczać prędkości w przypadku braku identyfikacji sygnalizacji świetlnej za pomocą systemów optycznych. Będzie on wiedział o tym jaki jest w danym momencie sygnał, nawet gdy zasięg widzenia kamer ogranicza mu przykładowo znajdujący się przed nim samochód ciężarowy. Kolejną korzyścią jest wcześniejsze dostosowanie prędkości do przewidywanego sygnału w momencie dotarcia do skrzyżowania. Pozwoli to na przykład powolne wyhamowanie pojazdu, gdy niemożliwe jest dotarcie na czas do skrzyżowania podczas trwania sygnału zielonego. Uspokoi to zatem ruch oraz zaoszczędzi w ten sposób paliwo. Następną możliwą korzyścią jest przygotowanie się pojazdu do jazdy przed zobaczeniem sygnału zielonego, czy jeszcze najpierw czerwonego z żółtym. Tak samo mogą również działać pojazdy kierowane przez człowieka, tutaj jednak potrzebna jest umiejętność odpowiedniego sterowania pojazdem w celu uzyskania wyżej wymienionych korzyści. Pojazd autonomiczny odpowiednio wcześniej może zacząć proces ruszania z miejsca, podobnie może zrobić kierowca pojazdu kierowanego manualnie, ruszy on w momencie sygnału zielonego mając w swoim pojeździe sekundnik. Gdy duży odsetek pojazdów będzie mieć taki system, ekonomicznie niezasadne będzie montowanie takich urządzeń przy sygnalizatorach świetlnych, a co za tym idzie zajdzie możliwość oszczędności zarządcy drogi na infrastrukturze „fizycznej”. Korzyścią ekonomicznoekologiczną będzie możliwość wyłączenia silnika pojazdu w momencie, gdy czas oczekiwania na sygnał zielony jest długi. Gdy pojazd lub kierowca zdaje sobie sprawę za ile czasu wyświetli się sygnał zielony jest możliwe uruchomienie go w odpowiednim czasie, by nie robić tego dopiero po zobaczeniu sygnału do jazdy. W czasie długie-

go oczekiwania możliwe też jest zagospodarowanie przez kierowcę czasu na czynności niezwiązane z kierowaniem, takie jak na przykład zdjęcie odzieży wierzchniej w przypadku odczucia dyskomfortu cieplnego, lub wykonanie czynności kosmetycznej, co wpłynie pozytywnie na komfort jazdy. Skończenie tych czynności w odpowiednim czasie nie zablokuje chwilowo ruchu lub nie rozproszy kierowcy podczas kierowania pojazdem. Bardziej odległą w czasie, a niemalże futurystyczną wizją, z dzisiejszego punktu widzenia, będzie zlikwidowanie całkowicie sygnalizacji świetlnej i zastąpienie jej nadajnikami. Jednak by mogło do tego dojść zachodzi potrzeba wyposażenia każdego pojazdu w systemy V2I. Jeszcze bardziej odległą, hipotetycznie możliwą, wizją może być całkowita eliminacja obecnie występujących form organizacji ruchu na skrzyżowaniach. Zastąpi się ją płynnym ruchem pojazdów już w pełni autonomicznych, które bez błędu ludzkiego mogłyby wymijać się w niebezpiecznych, z obecnego punktu widzenia, odległościach. Jednak by wizję urzeczywistnić może okazać się konieczna niezawodna i wysoce zaawansowana komunikacja V2V oraz brak ruchu pojazdów o niskim stopniu automatyzacji. W przypadku wzajemnej komunikacji V2V wszystkich pojazdów są one w stanie przewidzieć swój wzajemny ruch, więc możliwe jest bezpieczne wykonanie manewrów na „granicy kolizji”.

## 6. Propozycje i pomysły zastosowania V2I

Na bazie przeglądu autor zaproponował szereg idei mogących w oparciu o wymienione w artykule technologie poprawić bezpieczeństwo lub płynność ruchu na drogach publicznych.

Systemy bazujące na chmurze, opierają się na wykrywaniu zagrożeń i potencjalnych niebezpieczeństw takich jak na przykład roboty drogowe. Odbywa się to za pomocą detekcji zagrożeń przez poruszające się pojazdy będące połączone z chmurą. Informacja o zdarzeniu jednak nie dotyczy pierwszego pojazdu, który napotka niebezpieczeństwo. Dopiero ten i kilka następnych pojazdów przekazuje dane do przeanalizowania przez algorytmy infrastruktury w chmurze i później informacja o danym zagrożeniu jest przesyłana już do następnych pojazdów. Można wyposażać w nadajniki robotników, by informacja o utrudnieniach pojawiła się jeszcze przed wykryciem i identyfikacją zagrożenia przez bazę danych. Byłoby to jeszcze bardziej cenne w przypadku utrudnień przemieszczających się wzdłuż drogi, takich jak roboty utrzymaniowe lub badania konstrukcji jezdnii. Tego typu utrudnienia musiałyby być cały czas analizowane przez algorytmy, co w przypadku ciągłego przemieszczania się nigdy nie byłoby precyzyjne. Robotnicy utrzymaniowi zawsze znajdowałiby się dalej niż miejsce wykrycia ich przez poprzedzający pojazd. Możliwe jest też wyposażenie w nadajniki tymczasowego oznakowania drogowego, co przy przykładowo trudnych warunkach atmosferycznych utrudniających detekcję zapewniłoby wykrycie ich przez pojazd. W przypadku gdy sygnał dociera nawet do pojazdu o niskim stopniu automatyzacji bezpieczeństwo jest w stanie zwiększyć

sytuacja w której zasięg transmisji informacji wykracza poza zasięg widzenia kierowcy. Na płynność ruchu natomiast pozytywnie mogłaby wpłynąć wcześniejsza zmiana pasa ruchu przez pojazd zautomatyzowany. Rozwiązanie to wymaga rozbudowanej sieci telefonii komórkowej wzdłuż drogi, najlepiej 5G. Potrzebny jest duży zasięg oraz brak zakłóceń w przesyłaniu informacji.

Kolejną propozycją związaną z widocznością na drodze jest wyposażenie pojazdów szynowych w nadajniki V2V lub umieszczenie zsynchronizowanego z urządzeniami sterowania ruchem kolejowym, czy pojazdem szynowym, nadajnika nieopodal przejazdu kolejowo-drogowego. Nadajniki w obydwu przypadkach ostrzegąby zbliżający się pojazd, żeby zatrzymał się przed przejazdem kolejowym. Nadajnik umieszczony w pociągu mógłby na podstawie GPS określić prędkość pociągu i czas w którym zbliży się on do przejazdu. Umożliwiłoby to bardziej precyzyjne „zamknięcie” przejazdu strzeżonego, co pozwoliłoby oszczędzić czas stracony na oczekiwanie nadjeżdżającego pojazdu szynowego. Pojazd szynowy powinien przekazywać sygnał w technologii 5G. Potrzebny jest tu duży zasięg i szybkość. Sygnał ten byłby odbierany przez urządzenia przejazdu kolejowo-drogowego, który dalej przekazałby sygnał w technologii nie wymagającej dużego zasięgu. Około 100 m w technologii Bluetooth wystarczy, by pojazd zareagował i zatrzymał się przed przejazdem. Rozwiązanie to miałoby niewymiernie większą wartość dla bezpieczeństwa w przypadku przejazdów kolejowo-drogowych kategorii D, czyli tych, które nie posiadają żadnej formy ostrzegania kierowców przed nadjeżdżającym pojazdem szynowym. Według [14] przejazdy tej kategorii stanowią 51,4% przejazdów w Polsce oraz dochodzi na nich do 61,4% całkowitej liczby wypadków. Wyposażyć w podobne systemy V2V można też tramwaje oraz wzbogacić pomysł o ostrzeżenia dla kierowców, którzy mają zamiar skręcić w lewo przez torowisko tramwajowe, by upewnili się, że nie porusza się za nimi tramwaj.

Ostatnią propozycją jest aktywny system przeciwdziałania pojazdom poruszającym się pod prąd na drogach dwujezdniowych. W obliczu przekroczenia w Polsce 4000 km dróg szybkiego ruchu ryzyko wystąpienia zdarzeń związanych z jazdą pod prąd rośnie. W niektórych przypadkach jest to najprawdopodobniej działanie zamierzone przez kierowcę [10]. W okolicach węzłów drogowych można rozważyć rozmieszczenie czujników wykrywających ruch pod prąd. Czujniki te przekazywałyby informację o lokalizacji zdarzenia do tablic zmiennej treści, przez co pojazdy zbliżające się do niebezpieczeństwa miały informację skłaniającą do zwolnienia i zachowania szczególnej ostrożności. Poinformować można też o tym jednocześnie policję, która mogłaby spróbować dokonać ujęcia kierowcy jadącego pod prąd. Jest to możliwe do wykonania przy obecnym stanie rozwoju technologicznego, jednak wraz z rozpowszechnieniem komunikacji V2X rozwiązanie to można rozwinąć. Sygnał, oprócz do tablic zmiennej treści, można przesłać już bezpośrednio do pojazdów, zarówno tych jadących prawidłowo, jak i tego łamiącego przepisy, wzbogacając jednak w tym przypadku przekaz o informację o grożących mu sankcjach prawnych. W przypadku wariantu mniej zaawansowanego, czyli przekazywania sygnału do tablic zmiennej treści nie jest wymagane inwestowanie w infrastrukturę transmisji danych, przepustowość sieci np. 3G wystarcza w zupełności.

W przypadku, gdy dane wysyła się już do poszczególnych pojazdów wskazane jest zwiększenie przepustowości sieci, na przykład do standardu 5G.

## 7. Podsumowanie

Obecnie pojazdy są w stanie skutecznie identyfikować infrastrukturę drogową, nawet w trudnych warunkach atmosferycznych. Jest to możliwe za sprawą detekcji krawędzi. Nie jest to system pozbawiony błędów. Pojazdy mogą mylnie zinterpretować otoczenie, a nawet istnieje możliwość celowego wprowadzenia ich w błąd. W obydwu przypadkach grozi to niebezpiecznymi zdarzeniami na drodze. W tym celu opracowywane są nowe technologie mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa pojazdów autonomicznych. Za ich sprawą pojazdy zautomatyzowane mogą mieć informacje o infrastrukturze drogowej długo przed wykryciem jej elementów. Obecnie trwają prace nad stworzeniem chmury z którą pojazd będzie łączył się w czasie rzeczywistym. Dane o drodze oraz warunkach na niej występujących są przesyłane do systemu, który interpretuje je i po ich analizie przekazuje informacje zwrotne do pojazdów poruszających się po danym odcinku drogi. Nie jest to jedyna możliwość komunikacji z pojazdem, istnieje wiele innych technologii V2I opierających się na falach radiowych, które mogą dostarczyć informacje do pojazdów autonomicznych. Najbardziej obiecujące to wykorzystanie 5G lub DSRC. Obydwie te technologie zapewniają małe opóźnienia, co może okazać się kluczowe z punktu bezpieczeństwa. Należy pamiętać, że możliwa jest implementacja takich systemów na pojazdach o zerowym poziomie automatyzacji. Informacje o infrastrukturze i warunkach na drodze przekazywane są do kierowcy przykładowo ostrzeżeniami audio, możliwe jest więc zwiększenie bezpieczeństwa na drogach za pomocą systemów V2X jeszcze przed szeroką automatyzacją pojazdów. Ważnym aspektem komunikacji V2I jest interakcja pojazdów z sygnalizacją świetlną. W przypadku pojazdów o niskim stopniu automatyzacji pozwoli to przykładowo na redukcję wypadków poprzez ostrzeżenie kierowcy o punktach kolizji oraz zapobieganiu błędów wynikających z rozproszenia uwagi. Za sprawą interakcji z pojazdami autonomicznymi natomiast możliwe jest usprawnienie przepustowości skrzyżowań i upłynnienie ruchu pojazdów. Na kwestię bezpieczeństwa wpłynie brak konieczności detekcji optycznej sygnałów świetlnych. Na bazie przeglądu zaproponowano kilka rozwiązań wykorzystujących komunikację V2I mogących zwiększyć bezpieczeństwo na drogach, możliwe jest ostrzeżenie i detekcja pojazdów ruszających się pod prąd na drogach szybkiego ruchu, ostrzeżenie o robotach drogowych w tym utrzymaniowych oraz skomunikowanie pojazdów samochodowych z pojazdami szynowymi w celu zwiększenia bezpieczeństwa na przejazdach drogowo-kolejowych.

## Bibliografia

- [1] „About Ann Arbor Connected Vehicle Test Environment (AACVTE)” <http://www.aacvte.org/get-connected/586-2/> [Dostęp: 01.12.2019].
- [2] „Comparing Edge Detection Methods” <https://medium.com/@nikat-sanka/comparing-edge-detection-methods-638a2919476e> [Dostęp: 23.11.2019].
- [3] „Continental eHorizon to offer real time weather information service” <https://www.itsinternational.com/categories/travel-information-weather/products/continental-ehorizon-to-offer-real-time-weather-information-service/> [Dostęp: 25.11.2019].
- [4] „Driverless Tesla Semi: Did They or Didn't They?” <https://interestingengineering.com/driverless-tesla-semi-did-they-or-didnt-they> [Dostęp: 11.11.2019].
- [5] Dz.U. 2018 poz. 317 USTAWA z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych.
- [6] „eHorizon - aplikacja Continental dla motocyklistów” <https://www.motofaktor.pl/ehorizon-aplikacja-continental-dla-motocyklistow/> [Dostęp: 01.12.2019].
- [7] Gáspár P., Szalay Z., Aradi S., Highly Automated Vehicle Systems, BME MOGI, 2014.
- [8] „HERE On-Street Parking takes the stress out of finding a space” <https://360.here.com/2016/11/14/here-on-street-parking-takes-the-stress-out-of-finding-a-space/> [Dostęp: 28.11.2019].
- [9] „Increased Safety Thanks to Anticipatory Technology: The Continental eHorizon and PreviewESC Systems” <https://www.continental.com/en/press/press-releases/continental-ehorizon-and-previewesc-systems-180356> [Dostęp: 25.11.2019]
- [10] „Jechała pod prąd. Była wyluzowana” <https://www.tvn24.pl/poznan,43/nowe-miasteczko-pod-prad-na-s3-nagranie,988382.html> [Dostęp: 02.12.2019].
- [11] Krasniqi X., Hajrizi E., Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles, IFAC-PapersOn-Line 49-29 (2016) 269–274.
- [12] Litman, T., Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning, 27 October 2019, Victoria Transport Policy Institute.
- [13] „Self-driving buses to hit Swedish public roads next year” <https://www.thelocal.se/20190221/self-driving-buses-to-hit-swedish-public-roads-next-year> [Dostęp 15.11.2019].
- [14] Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w 2018 r., Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa, 2019.

- 
- [15] „Strategiczne partnerstwo Operatora Chmury Krajowej i Google dla cyfryzacji polskiej gospodarki” [https://chmurakrajowa.pl/pdf/informacja\\_prasowa\\_27.09.2019.pdf](https://chmurakrajowa.pl/pdf/informacja_prasowa_27.09.2019.pdf).
- [16] „Swedish test bed introduces first driverless buses on public roads“ <https://www.business-sweden.se/en/Invest/news-and-downloads/investment-news/swedish-test-bed-introduces-first-driverless-buses-on-public-roads/> [Dostęp: 11.11.2019].
- [17] „Tencent Keen Security Lab: Experimental Security Research of Tesla Autopilot“ <https://keenlab.tencent.com/en/2019/03/29/Tencent-Keen-Security-Lab-Experimental-Security-Research-of-Tesla-Autopilot/> [Dostęp: 25.11.2019].
- [18] „Tesla Autopilot Drives Straight Towards Concrete Barrier on Highway” <https://www.youtube.com/watch?v=fKyUqZDYwrU> [Dostęp: 25.11.2019].
- [19] „Toyota Bringing Advanced ITS Technology to Mass-market Models” <https://global.toyota/en/detail/9676551> [Dostęp: 01.12.2019].
- [20] <http://www.toyota-global.com>.
- [21] „TOYOTA TESTUJE AUTA POŁĄCZONE W CHMURZE” <https://motoryzacja.interia.pl/samochody-nowe/prototypy/news-toyota-testuje-auta-polaczone-w-chmurze,nId,2627170> [Dostęp: 01.12.2019].
- [22] Vishwanathan, H., Peters, D., L., Zhang, J., H., TRAFFIC SIGN RECOGNITION IN AUTONOMOUS VEHICLES USING EDGE DETECTION, Proceedings of the ASME 2017 Dynamic Systems and Control Conference, October 11-13, 2017, Tysons, Virginia, USA.
- [23] „Volvo to skip Level 3 autonomous mode” <https://auto2xtech.com/volvo-to-skip-level-3-autonomous-mode/> [Dostęp: 23.11.2019].