

Overview of devices using in car driver assistance systems

Jakub Cabel ¹, Piotr Czech ²

¹ *Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Engineering, Krasińskiego Str. 8, 40-019 Katowice, Poland*

² *Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Engineering, Krasińskiego Str. 8, 40-019 Katowice, Poland*

Abstract: The continuous development of technologies used in transport causes a number of changes and improvements in the equipment of motor vehicles. The main goal is for today's vehicles to offer greater comfort, safety, and minimize the number of tasks for which the driver is responsible. The article discusses the sensors currently used in cars and devices that directly use them in the aspect of supporting the car driver. These include, among others, radars, cameras and LIDAR systems. (ang. Light Detection and Ranging). Attention was also paid to the method of testing their correct operation.

Keywords: sensor; camera; radar; LIDAR

Przegląd urządzeń wykorzystywanych w systemach wspomagania kierowcy samochodu

Jakub Cabel ¹, Piotr Czech ²

¹ *Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, Polska*

² *Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, Polska*

Streszczenie: Ciągły rozwój technologii stosowanych w transporcie wywołuje szereg zmian i wprowadzenia ulepszeń w wyposażeniu pojazdów samochodowych. Głównym tego celem jest, aby dzisiejsze pojazdy oferowały coraz to większy komfort, bezpieczeństwo, jak również minimalizację liczby zadań, za które odpowiada kierowca. W pracy omówiono stosowane obecnie w samochodach czujniki i urządzenia je bezpośrednio wykorzystujące w aspekcie wspomagania kierowcy samochodu. Należą do nich m.in. radary, kamery oraz systemy LIDAR (ang. Light Detection and Ranging). Zwrócono również uwagę na sposób przeprowadzania badania poprawności ich działania.

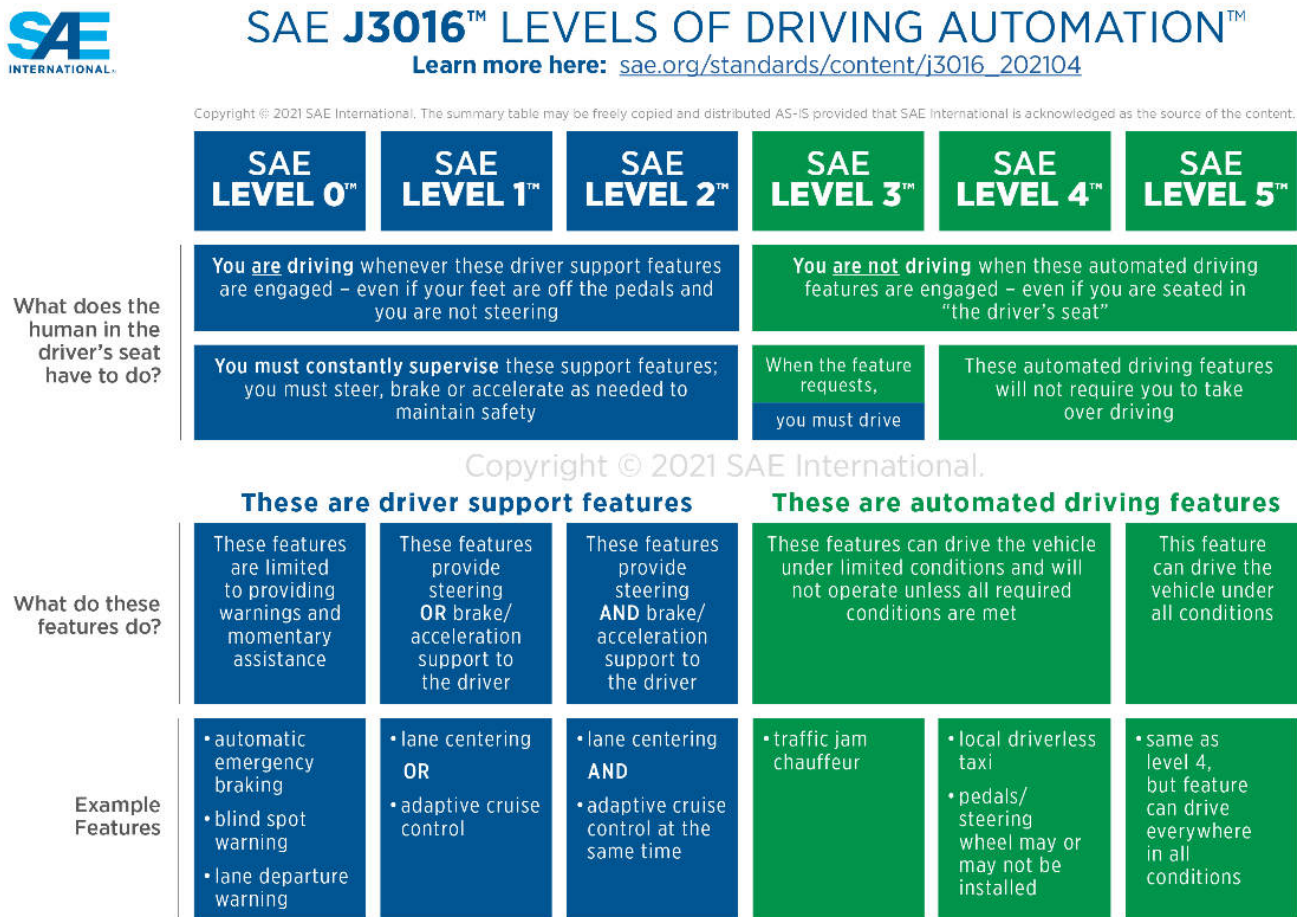
Słowa kluczowe: czujniki; kamera; radar; LIDAR

1. Wstęp

W ciągu ostatnich 20 lat czujniki i urządzenia je bezpośrednio wykorzystujące, stosowane w technice motoryzacyjnej, przeszły rewolucję w zakresie ich efektywności, czy też zastosowania. Wszystko to działo się przede wszystkim w celu zwiększenia bezpieczeństwa na drogach. Należy tutaj wspomnieć, że na świecie co roku około 1,3 miliona osób umiera w wyniku wypadków drogowych, a od 20 do 50 milionów doznaje obrażeń ciała. Znaczna część wypadków jest spowodowana nadmierną prędkością, rozkojarzeniem kierującego pojazdem, ale również nieuwagą innych uczestników ruchu [1]. Początkowo czujniki i systemy bezpieczeństwa w sytuacjach zagrożenia potrafiły jedynie zwrócić uwagę kierowcy na niebezpieczeństwo, na przykład za pomocą komunikatu dźwiękowego. Dziś mogą one podejmować samodzielne decyzje co do wykonania manewru, który pozwoli uniknąć kolizji lub zminimalizować jej konsekwencje. Dzięki ich rozwojowi oraz coraz częstszemu zastosowaniu w pojazdach na świecie stale zmniejsza się liczba wypadków drogowych, oraz zmniejszają się ich negatywne konsekwencje.

Stopień zaawansowania czujników przyczynił się również do rozwoju pojazdów zautonomizowanych i autonomicznych. Pierwotnie czujniki jedynie asystowały kierowcy, lecz dziś dzięki nim samochód może nawet

poruszać się całkowicie samodzielnie, niezależnie od warunków drogowych. Według opracowanego podziału w 2019 roku przez SAE International (ang. Society of Automotive Engineers), aktualnie możemy rozróżnić 6 poziomów automatyzacji pojazdów. Zostało to przedstawione na rysunku 1 [2].



Rysunek 1. Poziomy automatyzacji pojazdów według SAE - Standard SAE J3016, 2016 [2]

Poziom 0 obejmuje jedynie technologie pasywnego wspomaganie, takie jak monitorowanie martwego pola (obszar dookoła samochodu, który nie jest widoczny dla kierowcy), ostrzeganie przed kolizją, czy też ostrzeganie przed zmianą pasa ruchu.

Poziom 1 oferuje kierowcy podstawową pomoc w postaci aktywnego tempomatu (pozwala utrzymywać stałą prędkość jazdy samochodu bez ingerencji kierowcy poprzez pedał gazu), lub zamiennie utrzymania na pasie ruchu.

Poziom 2 pozwala na stosowanie aktywnego tempomatu, oraz równocześnie utrzymania na pasie ruchu.

Poziom 3 skutkuje tym, że pojazd może samodzielnie poruszać się przy spełnieniu odpowiednich warunków, ale może też wymagać od człowieka przejęcia sterowania.

Poziom 4 oferuje to samo co poziom 3, lecz nie będzie już od człowieka wymagał przejęcia sterowania w pewnych sytuacjach. Do autonomicznej jazdy wciąż muszą jednak zostać zapewnione odpowiednie warunki. Na tym poziomie montaż elementów w samochodzie, takich jak kierownica i pedały jest opcjonalny.

Poziom 5 to pełna automatyzacja – pozwala na to samo co poziom 4, lecz jest dostępny niezależnie od warunków drogowych.

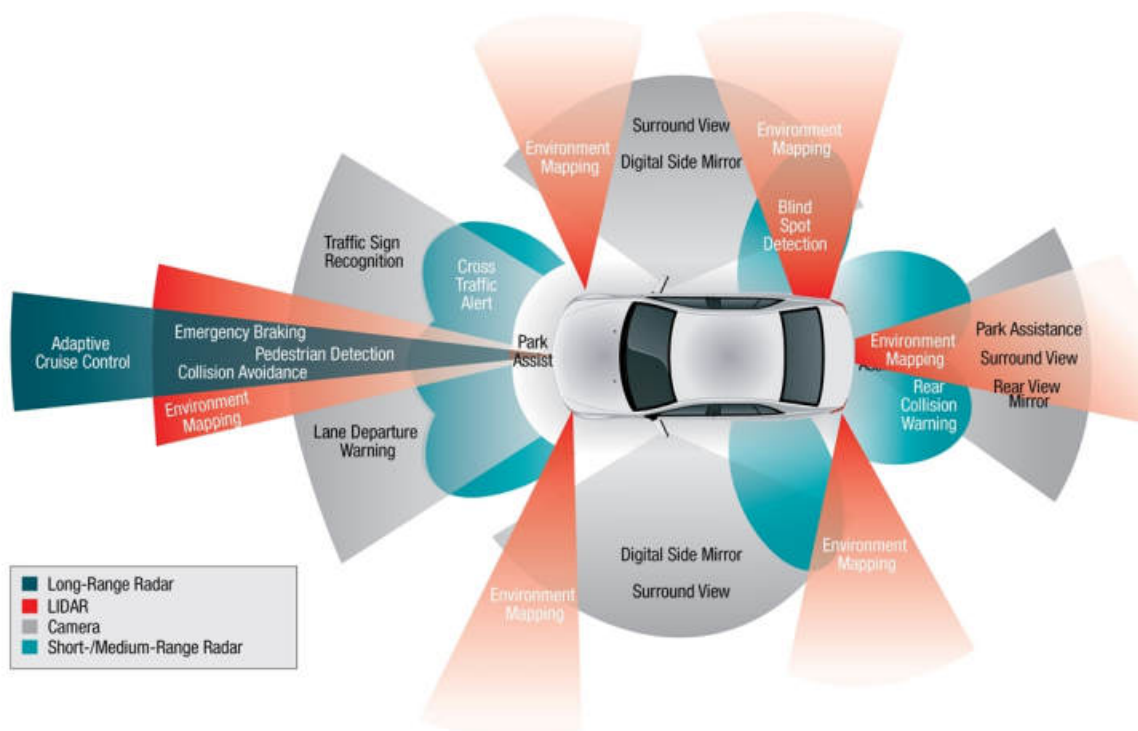
W przypadku, gdy wykorzystywane są poziomy automatyzacji od 0 do 2, za prowadzenie pojazdu cały czas odpowiada kierowca. Musi on cały czas nadzorować pojazd i warunki drogowe, aby w razie potrzeby odpowiednio szybko i właściwie zareagować.

Natomiast wykorzystanie poziomów od 3 do 5 skutkuje tym, że osoba na siedzeniu kierowcy nie odpowiada już za sterowanie pojazdem przy załączonym systemie autonomicznej jazdy.

2. Urządzenia i czujniki wspierające kierowcę samochodu

Dzisiejsze samochody wyposażone są w cały szereg różnego typu urządzeń i układów elektronicznych. Wśród nich znajdują się czujniki oraz urządzenia bezpośrednio je wykorzystujące w celu ułatwienia kierowcy prowadzenia samochodu, oraz nierzadko również odciążenia go od pewnych czynności z tym związanych.

Na rysunku 2 [3] pokazano rozmieszczenie czujników i urządzeń stosowanych w dzisiejszych samochodach. Mają one różne zastosowania i zadania, dlatego stosowana jest kombinacja różnych ich typów w zależności od zapotrzebowania.



Rysunek 2. Rozmieszczenie czujników w pojazdach [3]

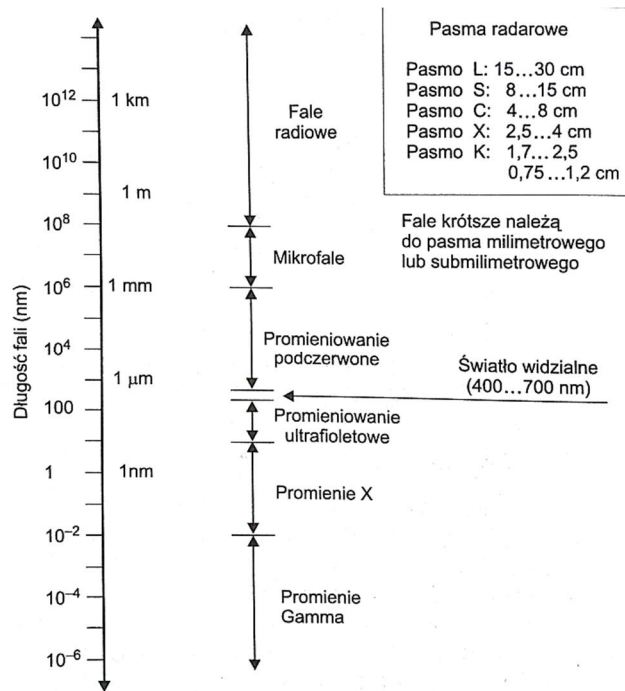
Przedstawiony system czujników i urządzeń zamontowanych w samochodzie składa się z [4]:

- czujników i urządzeń środowiskowych – radarów bliskiego, średniego oraz dalekiego zasięgu, ultradźwiękowych i elektromagnetycznych, które służą do przekazania informacji odnośnie otoczenia pojazdu i wykrywania przykładowo obiektów przed pojazdem lub w martwej strefie lusterek, oraz określania odległości do skanowanych obiektów,
- urządzeń wizyjnych – kamer, które służą do identyfikacji znaków drogowych, obiektów i pasów ruchu,
- skanerów laserowych – system LIDAR, który pozwala na mapowanie pobliskiego otoczenia oraz wykrywanie i określania odległości do obiektów.

2.1. Radar

Radar (z ang. Radio Detection and Ranging) służy do wykrywania obiektów oraz określania odległości. Możliwe jest to dzięki wykorzystaniu promieniowania mikrofalowego. Jest to promieniowanie magnetyczne o długości fali od 1 mm do 30 cm, i częstotliwości od 1 do 300 GHz. W samochodach wykorzystuje się radary elektromagnetyczne, wśród których można wyróżnić czynne i bierne. Pierwsze, wysyłają wiązkę mikrofal i odbierają sygnał odbity od obiektu. Natomiast drugie, odbierają mikrofały wysyłane przez obiekt. Można je również podzielić na pasma – L, S, C, X, K, ze względu na długość fali emitowanych drgań. Podział został pokazany na rysunku 3 [5].

Radary elektromagnetyczne w pojazdach emitują fale w paśmie fal milimetrowych. Są to fale o długości od 1,0 mm do 7,5 mm, oraz częstotliwości od 40 do 300 GHz. Jednak najczęściej są stosowane częstotliwości pomiędzy 76 a 77 GHz. Przy zastosowaniu takich długości fal, anteny mogą mieć niewielkie rozmiary, co jest niezwykle istotne przy zastosowaniu w samochodach. Są one wykorzystywane jako radary średniego i dalekiego zasięgu, używane m.in. w systemach aktywnego tempomatu oraz ostrzegania przed zbliżającym się obiektem.



Rysunek 3. Spektrum promieniowania elektromagnetycznego [5]

Urządzenia radarowych systemów wspomagających kierowcę są zbudowane z radarowych czujników odległości, układów elektronicznych przetwarzających sygnały pochodzące od innych współpracujących czujników, układów obróbki sygnałów, oraz sterowników mikroprocesorowych. Sam radarowy czujnik odległości składa się z generatora Gunna – będącego źródłem mikrofal, obwodów rozdzielających sygnał na trzy wiązki, oraz obwodów rozdzielających sygnały na nadawane i odbierane. Sygnały odebrane, są przetwarzane do postaci cyfrowej i przekazywane do dalszego przetwarzania przez procesor sygnałowy [5].

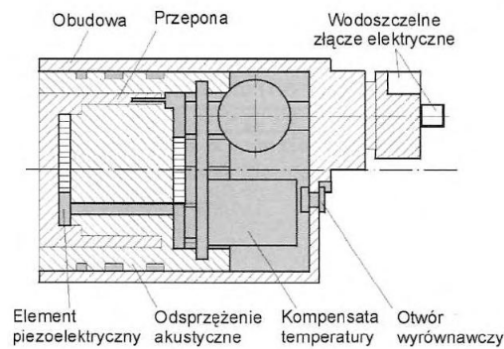
Radar pełni kluczowe role w systemach wspomagania kierowcy takich jak aktywny tempomat, automatyczne awaryjne hamowanie, wykrywanie obiektów w martwym polu, asystent zmiany pasa ruchu.

2.2. Czujnik ultradźwiękowy

Czujniki ultradźwiękowe działają analogicznie do radarów, ale wykorzystują fale ultradźwiękowe. Są najczęściej używane jako czujniki wspomagania parkowania. Montowane są w przednim oraz tylnym zderzaku. Mają za zadanie informować kierowcę o odległości między prowadzonym samochodem a przeszkodami, do których się zbliża. Obecnie są one również stopniowo implementowane do systemów automatycznego parkowania pojazdów, które działają bez ingerencji kierowcy. Czujniki ultradźwiękowe emitują fale o częstotliwości wyższej niż słyszalny zakres fal dźwiękowych dla ludzkich uszu. Po odbiciu fale są odbierane przez odbiornik. Odległość między samochodem a obiektem wyznacza się poprzez obliczenie różnicy czasu między wysłaniem a odebraniem wysłanej fali ultradźwiękowej. Najczęściej używane częstotliwości to 40 kHz, 48 kHz i 58 kHz. Ich zasięg działania wynosi najczęściej od 20 do 60 centymetrów dla przednich czujników, oraz 20 do 150 centymetrów dla tylnych czujników umieszczonych w samochodzie. Są one najczęściej używane w jeździe miejskiej z niską prędkością oraz w trakcie parkowania i cofania. Takie wykorzystanie powoduje, że efekt Dopplera (zmiana częstotliwości fali wysyłanej przez źródło i odbieranej przez obserwatora poruszającego się względem źródła) jest pomijalnie mały [6].

Na rysunku 4 pokazano przekrój czujnika ultradźwiękowego.

Element piezoelektryczny jest wprawiany w drgania krótką sekwencją impulsów o częstotliwości rezonansowej. Odpowiada on za przetwarzanie energii elektrycznej w mechaniczną i odwrotnie. Następnie drgania są przetwarzane za pomocą przepony w nadawcze sygnały ultradźwiękowe. Po wygaśnięciu drgań czujnik ultradźwiękowy odbiera fale dźwiękowe odbite od przeszkody. Fale te poprzez przeponę pobudzają płytkę piezoelektryczną do drgań, co powoduje powstanie impulsu elektrycznego. Urządzenie sterujące analizuje impulsy i na ich podstawie oblicza czas przebiegu sygnału, a co za tym idzie odległość od przeszkody.



Rysunek 4. Schemat budowy czujnika ultradźwiękowego [5]

2.3. System LIDAR

System LIDAR (ang. Light Detection and Ranging) działa na zasadzie skanowania swojego pola widzenia za pomocą jednej lub wielu wiązek lasera. Wiązka laserowa jest generowana za pomocą diody laserowej, która emituje fale w paśmie podczerwieni. Następnie wiązka lasera odbita od otoczenia i obiektów wraca z powrotem, a sygnał zwrotny odbierany jest przez fotodetektor. Elektronika zawarta w systemie analizuje sygnał i mierzy różnicę czasu między sygnałami nadanymi a odebranymi. Są one proporcjonalne do przebytej odległości przez wiązkę laserową. Wynikiem działania systemu LIDAR jest chmura punktów [5].

System ten najczęściej montowany jest w górnej części samochodu – na dachu, lub w okolicy lusterka wewnętrznego pojazdu. Rysunek 5 przedstawia przykładowe miejsce montażu systemu LIDAR w pojeździe Volvo EX90 [7].



Rysunek 5. System LIDAR zamontowany w przedniej części dachu samochodu Volvo XE90 [7]

W urządzeniu LIDAR można wyróżnić dalmierz laserowy oraz system skanujący. Dalmierz laserowy składa się z nadajnika laserowego (diody), optyki skupiającej odbitą wiązkę lasera na fotodetektorze (odbiorniku), oraz elektroniki przetwarzającej sygnał, której zadaniem jest szacowanie odległości na podstawie czasu między wysłaniem sygnału a jego powrotem. System skanujący, zależnie od danego typu systemu LiDAR, steruje wysyłaniem wiązki laserowej, aby efektywnie skanować całe pole widzenia [8].

Laser impulsowy, z którego korzysta dalmierz laserowy, służy do pomiaru czasu lotu. Jest to tzw. laser bezpośredniego wykrywania. Sygnał lasera może być również falą ciągłą o modulowanej częstotliwości, która pośrednio mierzy odległość oraz prędkość na podstawie efektu Dopplera [8].

Dalmierz laserowy oblicza dystans do obiektu wykorzystując zależność czasu między nadawaną oraz odbieraną wiązką lasera, który jest obliczany przy pomocy wzoru:

$$r = \frac{1}{2n} c \Delta t \quad (1)$$

gdzie:

r – odległość,

n – współczynnik załamania ośrodka, wynoszący 1.0003 dla powietrza,

c – prędkość światła, wynosząca 299792458 m/s,

Δt – czas między nadaniem i odbiorem sygnału.

Ważnym aspektem pracy i efektywności działania systemu LIDAR jest jego moc. Wpływ na nią ma medium transmisyjne (powietrze) oraz sposób rozpraszania po odbiciu od powierzchni skanowanego obiektu. Maleje ona w kwadracie wraz z zwiększającą się odległością, co oznacza, że obiekt bardziej oddalony będzie mniej widoczny i trudniejszy do wykrycia i zidentyfikowania niż obiekt znajdujący się bliżej. Dodatkowo, podczas działania w złych warunkach atmosferycznych, takich jak mgła, deszcz, czy też śnieg, wiązka lasera jest rozpraszana a fotony absorbowane, co powoduje zmniejszenie zasięgu i efektywności działania całego systemu.

Systemy LIDAR najczęściej wykorzystują fale świetlne o długościach 850-905 nm lub 1550 nm. LIDARy o długości emitowanej fali 1550 nm mogą zaoferować wykorzystanie większej mocy, zachowując przy tym bezpieczeństwo dla ludzkich oczu, co oznacza, że mogą mieć większy zasięg działania. Równocześnie jednak pogoda ma na nie większy wpływ. Dodatkowo są one droższe w porównaniu do LIDARów o długości emitowanej fali w zakresie 850-905 nm, w związku z zastosowaniem lepszej klasy fotodetektorów z uwagi na większy dystans, który przebywa wiązka lasera [9].

2.4. Kamera

Systemy wspierania kierowcy bazujące na kamerach są w stanie dostarczyć informacji na temat obiektów znajdujących się na drodze i na poboczu, potrafią również identyfikować pionowe i poziome znaki drogowe, oraz odczytywać sygnalizację świetlną. Największą zaletą kamer w pojazdach samochodowych jest to, że są one w stanie zobaczyć sytuacje na drodze w ten sam sposób, w jaki widzi ją człowiek. Jednocześnie system ten jest niedrogi w porównaniu do radarów i systemów LIDAR. Coraz częściej w pojazdach można również zauważyć zastosowanie kamer nocnych – pasywnych oraz aktywnych. System pasywny polega na wychwyceniu przez kamerę promieniowania ciepłego emitowanego przez widoczne obiekty. System aktywny wykorzystuje pulsacyjne źródło światła podczerwonego, które jest niewidoczne dla ludzkiego oka oraz zsynchronizowaną kamerę. Widok z takiej kamery zamontowanej w samochodzie przedstawiono na rysunku 6 [10].



Rysunek 6. Porównanie widoczności z kabiny pojazdu bez kamery termowizyjnej (po lewej) i z kamerą termowizyjną (po prawej) [10]

Zaawansowane systemy używające kamer potrafią wykrywać i identyfikować obiekty na podstawie ich cech. Dzięki temu systemy takie pełnią funkcję zarówno ostrzegania przed zagrożeniem zbliżających się do samochodu obiektów, ale również asystenta pasa ruchu, wykrywania krawędzi drogi, czy też położenia innych pojazdów [11].

3. Porównanie urządzeń mających za zadanie wspierać kierowcę samochodu

Opisane wcześniej kamery, radary i systemy LIDAR charakteryzują się specyficznymi cechami, wpływającymi na ich skuteczność w różnych warunkach i zastosowaniach.

Kamera, jako narzędzie do wykrywania obiektów, wyróżnia się szczególnie wysoką precyzją i zdolnością dostarczania szczegółowych informacji o zidentyfikowanych obiektach. Jej zaletą jest również lepsza rozdzielczość obrazu, co umożliwia bardziej precyzyjne monitorowanie otoczenia. Warto jednak zaznaczyć, że w warunkach słabej widoczności nocą czy w trudnych warunkach atmosferycznych, skuteczność kamery może być ograniczona, o ile pojazd nie wykorzystuje kamer termowizyjnych.

Z drugiej strony, radar i LIDAR świetnie sprawdzają się w trudnych warunkach pogodowych. Radar, korzystający z fal radiowych, charakteryzuje się niezależnością od warunków oświetleniowych, co czyni go efektywnym zarówno w dzień, jak i w nocy. Ponadto oba te systemy mają znacznie lepszą zdolność pomiaru odległości do obiektów oraz szacowania prędkości ruchu. Jest to kluczowe dla skuteczności systemów bezpieczeństwa zamontowanych w dzisiejszych samochodach.

Warto również podkreślić, że zarówno radar, jak i LiDAR, posiadają większy zasięg działania w porównaniu do kamery. Ich funkcjonowanie nie jest uzależnione od naturalnego oświetlenia słonecznego, co oznacza, że są bardziej niezawodne w różnych warunkach atmosferycznych. Należy jednak pamiętać, że LiDAR może napotkać trudności w wykrywaniu obiektów przezroczystych, takich jak szyby, co stanowi pewne ograniczenie w jego zastosowaniu. Specyficzny rodzaj kamery (kamera stereo) może mierzyć odległość, ale wciąż nie dorównując radarom i systemom LIDAR w zakresie zasięgu oraz dokładności. Widzi ona jednak otaczające środowisko w taki sam sposób jak człowiek, co jest ważną zaletą w kontekście możliwości automatycznego rozpoznawania.

Podsumowując, każde z tych urządzeń ma swoje unikalne cechy, które sprawiają, że są odpowiednie do konkretnych zastosowań. Ostateczny wybór pomiędzy kamerą, radarem a systemem LIDAR zależy od wielu czynników, takich jak koszty implementacji, specyfika warunków w jakich będzie używany pojazd oraz preferencje potencjalnych klientów. Bezpośrednie porównanie omówionych systemów, w odniesieniu do cech ludzkiego wzroku, zostało przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie porównawcze stosowanych urządzeń wspomagających kierowcę samochodu

Cecha	Poziom			
	Człowiek	Radar	LIDAR	Kamera
Wykrywanie obiektu	dobry	dobry	dobry	dobry
Identyfikacja obiektu	dobry	niski	średni	dobry
Określenie odległości	średni	dobry	dobry	dobry*
Wykrywanie krawędzi obiektu	dobry	niski	dobry	dobry
Śledzenie pasów jezdni	dobry	niski	niski	dobry
Zasięg widzenia	dobry	dobry	średni	średni
Praca w złych warunkach pogodowych	średni	dobry	średni	niski
Praca w nocy	niski	dobry	dobry	dobry**

* - dla kamery stereo

** - dla kamery nocnej

4. Przepisy, regulacje i normy dotyczące czujników stosowanych w systemach wspomagających kierowcę

Wszystkie urządzenia mające za zadanie wspomaganie kierowcy samochodu muszą spełniać określone, wysokie, wymagania dotyczące ich wykonania. Dotyczy to również ich elementów składowych. Producenci muszą przy tym spełnić szereg wytycznych zapisanych w różnych przepisach, regulacjach, czy też normach.

4.1. Norma ISO 16750 [12]

Norma serii ISO 16750 definiuje zestaw uznanych warunków środowiskowych, wymagań testowych i operacyjnych w oparciu o rzeczywiste środowisko, w którym dany sprzęt będzie eksploatowany i narażony na różne niebezpieczeństwa podczas jego cyklu życia.

Norma ISO 16750-1 dotyczy układów elektrycznych i elektronicznych oraz komponentów pojazdów. Norma ta opisuje potencjalne obciążenia środowiskowe i wymagania dotyczące określonej pozycji montażu na lub wewnątrz pojazdu oraz określa metody badań.

Norma ISO 16750-2 opisuje możliwe obciążenia środowiskowe i wymagania dotyczące konkretnego miejsca montażu na zewnątrz lub wewnątrz pojazdu drogowego oraz przedstawia metody badań. Norma ta opisuje ładunki elektryczne.

Obciążenia elektryczne są niezależne od pozycji montażu, ale mogą się różnić w zależności od oporności elektrycznej w wiązce przewodów pojazdu i systemie mocowania.

W normie ISO 16750-3 zdefiniowane są obciążenia mechaniczne, norma ISO 16750-4 definiuje obciążenia klimatyczne, natomiast w normie ISO 16750-5 są określone obciążenia chemiczne.

4.2. Norma ISO 26262 [13]

Przedmiotem normy ISO 26262 jest bezpieczeństwo funkcjonalne. Jego osiągnięciu służy zminimalizowanie wszystkich nieakceptowanych ryzyk i zagrożeń spowodowanych niepoprawnym działaniem systemów wspierających kierowcę, poprzez zastosowanie w całym cyklu życia produktu podejścia opartego na ryzyku, zaczynając od etapu prac koncepcyjnych, przez projektowanie i rozwój, po produkcję i eksploatację.

Główna koncepcja polega na tym, by awaria któregokolwiek z komponentów nie powodowała zagrożenia dla kierowcy, pasażerów oraz innych uczestników ruchu drogowego. Kierowca samochodu musi mieć możliwość utrzymania kontroli nad zaistniałą sytuacją na drodze, nawet w przypadku awarii systemów wspomagania. Punktem wyjścia jest identyfikacja ryzyka, natomiast środki, jakie zostaną następnie zastosowane i działania, jakie będą podjęte zależą od klasyfikacji poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa ASIL (ang. Automotive Safety Integrity Level) danego komponentu.

Poszczególne komponenty mogą uzyskać certyfikat bezpieczeństwa funkcjonalnego ISO 26262. Norma określa działania weryfikacyjne, jakie należy podjąć w celu ustalenia, czy wyrób spełnia cele i wymagania bezpieczeństwa.

4.3. Norma IEC 60825 [14]

Norma ta zawiera wymagania i odpowiednie wytyczne dotyczące wytwarzania i bezpiecznego stosowania urządzeń laserowych i systemów stosowanych do optycznej transmisji danych w przestrzeni swobodnej, z punktu do punktu lub z punktu do wielu punktów w zakresie długości fal od 180 nm do 1 mm. Celem IEC 60825 jest: przekazanie informacji dotyczących ochrony ludzi przed potencjalnymi zagrożeniami promieniowaniem optycznym wytwarzanym przez systemy komunikacji optycznej w przestrzeni swobodnej, za pomocą określonych wymagań, nadzoru technicznego, nadzoru administracyjnego i zasad pracy stosownych do stopnia zagrożenia; ustalenie wymagań dla podmiotów wytwarzających, instalujących, serwisujących i eksploatujących w celu ustanawiania procedur i dostarczania informacji na piśmie, w celu zastosowania odpowiednich środków ostrożności. W związku z właściwościami optycznych bezprzewodowych lub powietrznych systemów przesyłania informacji, należy zachować ostrożność przy ich wytwarzaniu, jak również przy ich instalowaniu, eksploatacji, obsłudze i serwisie w celu zapewnienia bezpiecznego rozmieszczenia i stosowania tych systemów. Niniejsza norma nakłada na wytwórców systemów i/lub nadajników odpowiedzialność za spełnienie określonych wymagań bezpieczeństwa dotyczących urządzeń, jak również wymagań dotyczących dostarczenia odpowiednich informacji o tym jak bezpiecznie stosować tego typu systemy. Ponadto nakłada ona odpowiedzialność na podmioty instalujące i/lub eksploatujące za bezpieczne rozmieszczenie i stosowanie tych systemów. Nakłada ona również odpowiedzialność na podmioty instalujące i serwisujące za przestrzeganie instrukcji bezpieczeństwa podczas czynności instalacji oraz serwisu, a także odpowiedzialność na podmioty eksploatujące za czynności podczas eksploatacji i obsługi.

5. Metody oceny poprawności działania urządzeń wspomagających kierowcę samochodu

Wszystkie urządzenia odpowiedzialne za bezpieczeństwo jazdy samochodu, w tym systemy wspomagające kierowcę, muszą być bezwzględnie sprawne. Sprawa staje się jeszcze bardziej istotna, gdy zaczniemy rozważać potrzebę diagnozowania poszczególnych czujników oraz urządzeń, które je wykorzystują w odniesieniu do pojazdów autonomicznych. W przypadku ich testowania, należy zadbać o jak najwyższą dokładność pomiarów oraz pamiętać o zachowaniu warunków występujących w czasie rzeczywistej jazdy samochodu, w tym zmiennych i czasami ciężkich warunkach atmosferycznych. Należy więc zadbać o odpowiednie przygotowanie metod pomiarowych oraz miejsc i warunków, w których testy zostaną przeprowadzone. Ostatnim etapem testów, ale równie ważnym, jest analiza danych, dzięki której można wykazać, że jakaś cecha danego czujnika lub urządzenia, np. czas wykrywania lub zasięg działania jest znacząco gorsza w porównaniu do danych katalogowych. Należy również pamiętać o kosztach oraz czasie spędzonym na przeprowadzeniu badań. Aby jak najbardziej je zniwelować, powinno się w miarę możliwości unikać demontażu badanych czujników, czy też urządzeń, oraz stosowania urządzeń badawczych, które trzeba zamontować na pojeździe bądź bardzo dokładnie ustawić.

5.1. Badania symulacyjne

Badania symulacyjne najczęściej przeprowadzane są na etapie tworzenia nowych czujników, czy też urządzeń. Sprawdzają one głównie oprogramowanie i algorytmy systemu, z którym będzie współpracował czujnik lub urządzenie, aniżeli samą jego pracę. Wyniki z badań symulacyjnych są pierwszym krokiem do sprawdzenia poprawności działania funkcji autonomicznej jazdy, są również niezwykle przydatne przy analizie wyników z innych testów, przykładowo przeprowadzonych w zamkniętym i otwartym środowisku. Obecnie badań symulacyjnych jest znacznie więcej niż badań eksperymentalnych głównie dlatego, że są one tanie oraz szybkie do wykonania. W tego typu metodzie sygnały dla układów percepcyjnych podczas badań eksperymentalnych uzupełniane są sygnałami generowanymi z symulacji komputerowych. Pozwala to na realizację bardziej złożonych scenariuszy oraz zapewnia wysoką powtarzalność badań ze względu na możliwość odtworzenia tych samych scenariuszy dla różnych modeli czujników i urządzeń [15].

5.2. Testy w zamkniętym, symulowanym środowisku

Jednym z najlepszych rozwiązań przeprowadzania testów laboratoryjnych dla czujników i urządzeń wykrywających otoczenie jest stworzenie stanowiska badawczego. Takie stanowisko, będąc odpowiednio przystosowane jest w stanie zbadać wszystkie czujniki i urządzenia percepcji otoczenia – radary bliskiego i dalekiego zasięgu, systemy LIDAR i kamery każde z osobna, tak aby ewentualna wada jednego z nich nie została zrekompensowana możliwościami detekcyjnymi innego systemu, szczególnie przy idealnych lub prawie idealnych warunkach środowiskowych, jakie będą panować na stanowisku w trakcie przeprowadzania badania. Możliwe jest również przystosowanie istniejących już stanowisk, przykładowo na stacjach kontroli pojazdów do wykonywania testów czujników i urządzeń postrzegania otoczenia. Pozwoli to na zmniejszenie kosztów oraz zajmowanie minimalnej ilości przestrzeni. Dodatkowo takie stanowisko może zapewnić niezmiennie warunki pomiaru niezależnie od miejsca i czasu wykonywania badania.

Pierwszym i niezwykle ważnym etapem badania jest właściwe umiejscowienie pojazdu na stanowisku badawczym. Drugim krokiem w sprawdzaniu poprawności działania czujników jest kontrola działania, która ma dwa główne cele. Pierwszym z nich jest ogólna detekcja obiektów w obszarze ich działania, a co za tym idzie odpowiedź na pytanie, czy dany czujnik w ogóle działa. Drugim celem jest sprawdzenie poprawności kalibracji mechanicznej i elektronicznej każdego z czujników i urządzeń [16].

W celu poprawnego prowadzenia badania, należy znać informacje na temat badanego pojazdu, takie jak wymiary gabarytowe, wyposażenie w postaci kamer, radarów, systemów LIDAR i innych podobnych czujników i urządzeń oraz zakres ich nominalnego pola widzenia i miejsca montażu na samochodzie.

W celu sprawdzenia poprawności działania kamer stosuje się cel składający się z tablicy o określonych wymiarach, na podstawie której można oszacować odległość pomiędzy celem a kamerą. Odpowiednio skalibrowany system kamer powinien móc określić lokalizację celu w stosunku do kamery pojazdu, a co za tym idzie w odniesieniu do całego pojazdu. Użycie sztucznego celu składającego się z prostych kształtów, takich jak koła i prostokąty naniesionych na tablicę zmniejsza złożoność wykrywania i pozwala na łatwiejsze oszacowanie pozycji i dystansu, dodatkowo stosuje się ostre kontrasty, aby umożliwić łatwiejszą detekcję.

Testowanie systemów LIDAR przeprowadzane jest analogicznie do badania kamer. Sam cel nie musi zawierać specyficznych kształtów, ponieważ głównym zadaniem tych systemów jest detekcja obiektów oraz mierzenie odległości do nich.

W odróżnieniu od badania kamer oraz systemów LIDAR, do testów czujników radarowych wykorzystywana może być również kula. Przewagą kuli nad tablicami jest obojętność używanej częstotliwości, o ile kula ma pewien minimalny promień odpowiedni dla używanych długości fal. Niestety, biorąc pod uwagę bardzo małą skuteczną powierzchnię odbicia kuli, należy stosować kule o dużym promieniu. Użycie takiego obiektu będzie wiązało się z zajęciem przez niego dużej ilości miejsca, które w warunkach laboratoryjnych z zasady jest mocno ograniczone.

5.3. Testy w warunkach rzeczywistych w zamkniętym środowisku

Kolejnym rozwiązaniem sprawdzenia poprawności działania czujników i urządzeń wspomagających kierowcę jest przeprowadzenie badań na specjalnie wyznaczonych obszarach, takich jak tory, zamknięte odcinki dróg, niefunkcjonujące lotniska, itp. Pozwala to na zachowanie względnego bezpieczeństwa, z uwagi na nienarażanie innych uczestników ruchu drogowego w czasie trwania badania. Jednocześnie w dużej mierze uwzględnia się rzeczywiste warunki środowiskowe panujące w trakcie rzeczywistego poruszania się pojazdu po drogach publicznych. Wykorzystanie tego rozwiązania daje możliwość dopasowania terminów przeprowadzenia testów do pogody, na przykład kiedy za cel zostało postawione sprawdzenie działania konkretnych czujników lub urządzeń w ekstremalnych warunkach pogodowych. Minusem tego rodzaju badania jest brak możliwości sprawdzenia każdego

z nich z osobna. Sprawdzane są najczęściej poszczególne funkcje autonomicznej jazdy, takie jak asystent pasa ruchu, ostrzeżenie przed zbliżającym się obiektem, aktywny tempomat, wykrywanie nagle pojawiających się przeszkód, monitorowanie martwego pola, automatyczne hamowanie awaryjne, omijanie obiektów lub wszystkie na raz.

Podczas wykonywania tego badania nie jest wykorzystywane konkretne, narzucone stanowisko. Jest ono dostosowywane zależnie od celu badania oraz sprawdzanych funkcji poprzez wybranie obiektów, przeszkód, miejsca, czasu a co za tym idzie warunków atmosferycznych. W trakcie takiego badania wykorzystywane są przeróżne objekty i przeszkody, czasami stworzone specjalnie w celu przeprowadzanie badania, takie jak kartony imitujące przeszkody, inne pojazdy, manekiny, makiety pojazdów oraz mechanizmy sterujące obiektami jeśli wykorzystywane są przeszkody ruchome. Wszystko to pozwala na stworzenie odmiennych scenariuszy testowych, które można następnie dokładnie odtworzyć przy testowaniu innych pojazdów, co umożliwi bezpośrednie i czytelne porównanie uzyskanych wyników. Scenariusze te mogą być w przeróżny sposób modyfikowane, na przykład poprzez zmianę prędkości poruszających się obiektów i badanego pojazdu, dostosowanie warunków atmosferycznych w tym pory dnia i nocy, zmiany rozmiarów obiektów oraz ich stopnia pokrycia z obiektami rzeczywistymi. Zmiany te pozwalają na bardzo dokładne sprawdzenie wszystkich funkcji, którymi dysponuje dany pojazd, jednocześnie zachowując realistyczne warunki panujące na drogach, ale nienarządzające rzeczywistych uczestników ruchu.

5.4. Testy na drogach publicznych

Sprawdzanie dodatkowo montowanych w samochodach systemów bezpieczeństwa w warunkach rzeczywistych na drodze publicznej jest ostatnią fazą wdrażania ich do codziennego, bezpiecznego i efektywnego zastosowania. Samo badanie najczęściej opiera się na podobnych założeniach, jak w przypadku testów w warunkach rzeczywistych, ale w środowisku zamkniętym. Sprawdzana jest efektywność, niezawodność oraz bezawaryjność czujników i urządzeń, lecz w tym przypadku w rzeczywistym ruchu drogowym. W badaniu tego rodzaju można dostosować warunki środowiskowe poprzez określenie dnia i godziny pomiarów, czy też miejsca przeprowadzenia badania gwarantującego założone natężenie ruchu drogowego. Zagrożenie dla badanego pojazdu oraz innych uczestników ruchu jest jednak znacznie większe przy przeprowadzaniu takich testów. Mogą wystąpić nagłe i nieprzewidywalne sytuacje. Przykładowo reakcje innych użytkowników ruchu drogowego mogą zależeć od takich czynników jak emocje, nawyki, aktualny stan fizyczny i psychiczny oraz występujące konkretne okoliczności. Dlatego właśnie w tym teście powinny uczestniczyć pojazdy, które wcześniejsze badania (symulacje, testy w warunkach symulowanych i rzeczywistych) przeszły dostatecznie dobrze, tak aby nie stwarzać dodatkowego zagrożenia na drodze [17].

Przewagą badań w rzeczywistym ruchu drogowym nad testami w symulowanym środowisku jest to, że w przypadku symulacji kontrolowana jest większość zmiennych, co podważa wiarygodność niektórych wyników uzyskanych w środowiskach imitującym sytuację na rzeczywistej drodze [17].

6. Podsumowanie

Obecnie projektowane samochody zawierają w swojej budowie cały szereg czujników i urządzeń mających za zadanie zwiększyć bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów, jak również wpłynąć na zwiększenie odczuwalnego komfortu jazdy. Producenci niemal prześcigają się w opracowywaniu coraz nowocześniejszych systemów wykorzystujących nowe technologie, materiały, itd. Kierunek działań został już dawno określony, a jest nim budowa w pełni autonomicznego samochodu, który odciąży człowieka od konieczności kierowania pojazdem i zapewnienia bezpieczeństwa sobie, jak i innym uczestnikom ruchu drogowego.

Autonomiczne pojazdy stanowią fascynującą dziedzinę rozwoju technologicznego, która obecnie przechodzi dynamiczny proces ewolucji. Wprowadzane są kolejne innowacyjne rozwiązania, takie jak wykorzystanie sztucznej inteligencji w pojazdach, czy też poprawa komunikacji między pojazdami i infrastrukturą, co ma na celu zwiększenie bezpieczeństwa i skuteczności autonomicznych pojazdów. Mimo znacznych postępów, autonomiczne pojazdy stoją przed wyzwaniami, takimi jak etyczne i prawne kwestie ich użytkowania w życiu codziennym. Samo poruszanie się pojazdów autonomicznych wiąże się również z akceptacją społeczną [19].

W rezultacie, rozwój technologii autonomicznych pojazdów pociąga za sobą potrzebę równie dynamicznego rozwoju systemów monitorowania i znormalizowanych procedur testowych, które wraz z czasem mogą zostać narzucone producentom pojazdów oraz ich użytkownikom. Skuteczne sprawdzanie poprawności działania, odpowiedzialnych za bezpieczne poruszenie się pojazdów, czujników i urządzeń ich wykorzystujących stanie się kluczowym elementem zapewnienia bezpiecznej, efektywnej i niezawodnej autonomicznej jazdy.

Ustalenie konkretnej metodyki badań i narzucenie jej producentom i/lub użytkownikom pojazdów jest niezbędne do dalszego rozwoju pojazdów autonomicznych. Należy jednak pamiętać, że musi ona być wystarczająco uniwersalna,

aby objęła różne klasy pojazdów oraz różne poziomy ich automatyzacji. Jednocześnie nie może powodować, że będzie ona faworyzować daną klasę pojazdów lub dane czujniki.

Bibliografia

1. World Health Organization. Road traffic injuries. Dostęp na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
2. SAE International. SAE Levels of Driving Automation. Dostęp na: <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>.
3. Hargas Libor, Koniar Dusan, Loncova Zuzana, Hrianka Miroslav, Hurtukova Zuzana, Simonova Anna. Regular shapes detection for analysis of biomedical image sequences. IEEE. 2015 International Conference on Applied Electronics (AE). 08-09 September 2015. Pilsen, Czech Republic.
4. Taraba Michal, Adamec Juraj, Danko Matus, Drgona Peter. Utilization of modern sensors in autonomous vehicles. IEEE. 2018 ELEKTRO. 21-23 May 2018. Mikulov, Czech Republic. DOI: 10.1109/ELEKTRO.2018.8398279.
5. Gajek Andrzej, Juda Zdzisław. Czujniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa. 2018.
6. Zhaohua Liu, Bochao Gao. Radar sensors in automatic driving cars. IEEE. 2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT). 15-17 May 2020. Nanchang, China. DOI: 10.1109/ICECTT50890.2020.00061.
7. Volvo EX90 Lidar. Dostęp na: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/photos/305762/volvo-ex90-lidarm>.
8. Li You, Ibanez-Guzman Javier. Lidar for autonomous driving: the principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems. IEEE Signal Processing Magazine. Volume: 37. Issue: 4. July 2020.
9. Herner Anton, Riehl Hans-Jürgen. Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa. 2018.
10. Car Tech 101: Inside night vision tech (On Cars). CNET Cars. Dostęp na https://www.youtube.com/watch?v=pxGk7h0G_Es&ab_channel=CNETCars.
11. Hirz Mario, Walzel Bernhard. Sensor and object recognition technologies for self-driving cars. Computer-Aided Design & Applications. 2018. Vol. 15. No 4. P. 501-508. DOI: <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1419638>.
12. Norma ISO 16750. Road Vehicles - Environmental Conditions and Tests for Electrical and Electronic Equipment.
13. Norma ISO 26262. Road vehicles – Functional safety.
14. Norma ISO 60825. Safety of laser products.
15. Jeong Sooyong, Lee Woo Jin. An automated testing method for AUTOSAR software components based on SiL simulation. IEEE. 2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN). 04-07 July 2017. Milan, Italy. DOI: 10.1109/ICUFN.2017.7993793.
16. Müller Felix, Nenninger Philipp, Sax Eric. Building a test bed for the periodical technical inspection of sensors perceiving the environment in autonomous vehicles. Computer Safety, Reliability, and Security. SAFECOMP 2022 Workshops (SAFECOMP 2022). Springer. Lecture Notes in Computer Science LNCS. Vol. 13415. 2022. P. 59-70. DOI: 10.1007/978-3-031-14862-0_3.
17. Zhao Xingyu, Robu Valentin, Flynn David, Salako Kizito, Strigini Lorenzo. Assessing the safety and reliability of autonomous vehicles from road testing. 2019 IEEE 30th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE). 28-31 October 2019. Berlin, Germany. DOI: 10.1109/ISSRE.2019.00012.
18. Amirul Ibrahim Abu Bakar, Mohd Azman Abas, Mohd Farid Muhamad Said, Tengku Azrul Tengku Azhar. Synthesis of autonomous vehicle guideline for public road-testing sustainability. Sustainability. 2022. Vol. 14(3). P. 1456. DOI: 10.3390/su14031456.
19. Neumann Tomasz. Perspektywy wykorzystania pojazdów autonomicznych w transporcie drogowym w Polsce. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe. 2018. R. 19. Nr 12. S. 787-794. DOI: 10.24136/atest.2018.499.

