

Mgr inż. Małgorzata Otrębska,
Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn
e-mail: malgorzata.otrebska@polsl.pl

Dr hab. inż. Wojciech Skarka, Prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn
e-mail: wojciech.skarka@polsl.pl

Mgr inż. Piotr Zamorski,
Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn
e-mail: piotr.zamorski@hotmail.com

BUDOWA WIRTUALNEGO ŚRODOWISKA DO SYMULACJI UKŁADÓW BEZPIECZEŃSTWA

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodykę budowy wirtualnego środowiska do symulacji układów bezpieczeństwa oraz zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy. Opracowanie wirtualnego środowiska do symulacji systemów bezpieczeństwa w elektrycznym bolidzie MuShellka, startującym na zawodach Shell Eco-marathon, przyspieszyło i ułatwiło zaprojektowanie tych systemów. Układy te bazują na rzeczywistych systemach, które są wykorzystywane obecnie w samochodach. Przy pomocy specjalnego oprogramowania PreScan firmy TASS zaprojektowano i przebadano systemy: BLIS (system informujący kierowcę o pojawieniu się obiektu w martwym polu lusterka wstecznego), ACC (system skanujący przestrzeń przed bolidem), ACS (system działający w przypadku kolizji).

Słowa kluczowe: Systemy bezpieczeństwa, zaawansowany system wspomagania kierowcy, systemy automatyki jazdy, PreScan, Bolid MuShellka, Shell Eco-marathon, BLIS, ACC, ACS.

DEVELOPMENT OF VIRTUAL ENVIRONMENT FOR SAFETY SYSTEMS SIMULATION

Abstract: The paper presents a methodology to build a virtual environment for safety systems simulation and advanced driver assistance systems. Development of virtual environment for safety systems simulation for electric vehicle MuShellka, during its development for 2013 Shell Eco-marathon, is much simpler and quicker. The system is based on real systems, which are currently used in automobiles. With the aid of special software PreScan from TASS, which is a computer simulator for advanced driver assistance systems, there were possibilities to design and test safety systems such as BLIS (Blind Spot Information System), ACC (Adaptive Cruise Control) and ACS (Automatic Crash System).

Keywords: Safety systems, Advanced Driver Assistance Systems, Automation system driving, PreScan, Vehicle MuShellka, Shell Eco-marathon, BLIS, ACC, ACS.

1. WPROWADZENIE

Elektryczny bolid „MuShellka” został zaprojektowany, skonstruowany oraz zbudowany przez Studenckie Koło Modelowania Konstrukcji Maszyn.

Bolid ten startuje na światowych wyścigach Shell Eco-marathon w Rotterdamie, w Holandii, w kategorii prototypów (Prototype), czyli małych pojazdów osiągających najlepsze wyniki (przejechanie najdłuższego dystansu na danej jednostce energii) [12], [13].

Projektując bolid MuShellka napotkano na wiele problemów ekonomiczno-organizacyjno-technicznych. Powstało pytanie jak szybko oraz z niewielkimi kosztami budować i testować systemy bezpieczeństwa. Ponieważ budowa kolejnych prototypów nie była możliwa, założono, że większość działań związanych z projektowaniem i określaniem cech systemów będzie badana w wirtualnym środowisku.

Podczas zawodów bolidy przechodzą rygorystyczne kontrole techniczne oraz są oceniane pod względem bezpieczeństwa. Między innymi, dlatego zespół Smart Power zajął się projektowaniem systemów bezpieczeństwa wspomagających kierowcę bolidu MuShellka.

Systemami tymi są:

- System BLIS (Blind Spot Information System) - system informujący kierowcę o pojawieniu się obiektu w martwym polu
- System ACC (Adaptive Cruise Control) - system, który automatycznie uruchomi klakson podczas wyprzedzania innego bolidu na torze
- System ACS (Automatic Crash System) - system działający w przypadku kolizji.

Zaprojektowanie oraz przeprowadzenie symulacji systemów odbyło się w środowisku PreScan firmy TASS [5], [6].

2. BUDOWA WIRTUALNEGO ŚRODOWISKA DO SYMULACJI UKŁADÓW BEZPIECZEŃSTWA

Układy bezpieczeństwa zostały zaprojektowane oraz przetestowane w specjalistycznym oprogramowaniu PreScan firmy TASS. Program ten pozwala na projektowanie i symulowanie zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy w wirtualnym środowisku, odzwierciedlającym rzeczywiste warunki na drodze [11].

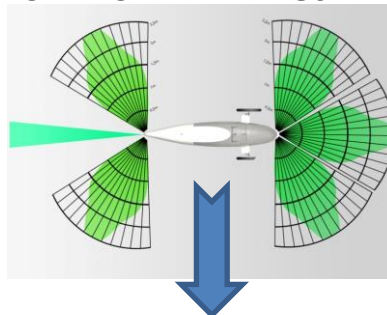
Metodyka budowania symulacji składa się z czterech kroków:

- Budowanie scenariusza działania systemu oraz zdarzenia drogowego,
- Modelowanie czujników,
- Budowanie systemu sterowania,
- Przeprowadzenie symulacji komputerowych.

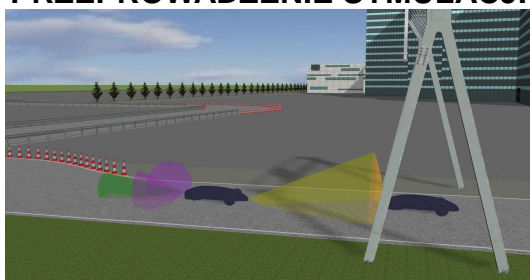
BUDOWANIE SCENARIUSZA



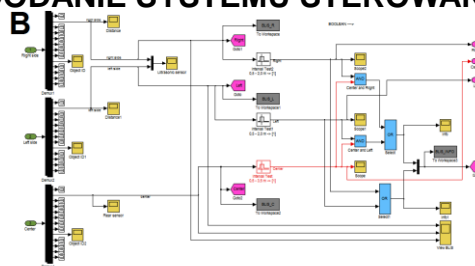
MODELOWANIE CZUJNIKÓW



PRZEPROWADZENIE SYMULACJI



DODANIE SYSTEMU STEROWANIA



Rys. 1. Metodyka przeprowadzania symulacji w środowisku PreScan

2.1. Budowanie scenariusza

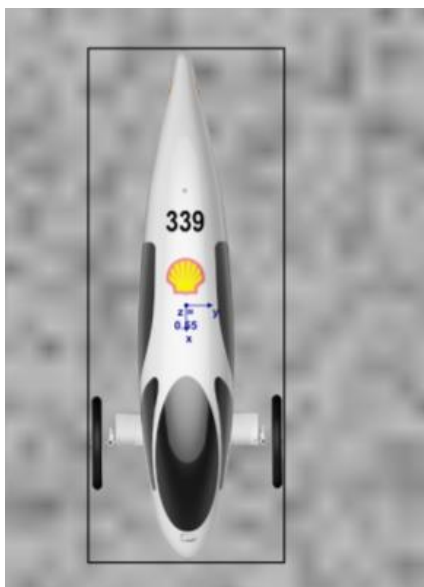
Budowa scenariusza pozwala użytkownikowi tworzyć i modyfikować infrastrukturę wraz z zaplanowaniem sytuacji na drodze. Budowa scenariusza może odbywać się na kilka sposobów. Można wykorzystać zaimplementowaną w programie bazę danych, która zawiera w sobie elementy takie jak: jezdnie, skrzyżowania, znaki, sygnalizatory, pojazdy mechaniczne, rowery, budynki, roślinność oraz modele pieszych. A także można zaimportować modele map (z serwisów typu OpenStreetMap [14] czy Google Earth). W lewym górnym rogu rysunku 1. widać efekt modelowania trasy poprzez wczytanie z serwisu OpenStreetMap trasy bazowej, zaimportowanie budynków z serwisu Google Earth. Modele bazowe trasy i budynków zostały obrobione bezpośrednio w systemie PreScan. Szczególnie pracochłonnym zadaniem było dostosowanie trasy poprzez wykorzystanie bibliotek programu PreScan.

W ten sposób zaprojektowane wirtualne środowisko trasy, na której odbywają się zawody Shell Eco-marathon w Rotterdamie może być dalej wykorzystane do symulacji wyścigów odbywających się w Rotterdamie.

Kolejnym krokiem, było zaimportowanie modelu CAD bolidu MuShellka z systemu CAD, w którym bolid został zaprojektowany. Do tego celu zastosowano format neutralny STEP.

Dzięki temu, dysponujemy modelem bolidu w wirtualnym świecie, który odzwierciedla konstrukcję, geometrię oraz cechy dynamiczne MuShellki.

Gdy środowisko zostało zaprojektowane, zbudowano scenariusz eksperymentu. Czyli określono ilość pojazdów na trasie oraz każdemu nadano prędkość i tor ruchu, dzięki czemu zaplanowano takie wydarzenia jak wyprzedzanie bolidów, zajeżdżanie drogi czy awaryjne hamowanie. Dodatkowo określono czas trwania eksperymentu i warunki atmosferyczne panujące na trasie.



Rys. 2. Bolid MuShellka zaimportowany w systemie PreScan

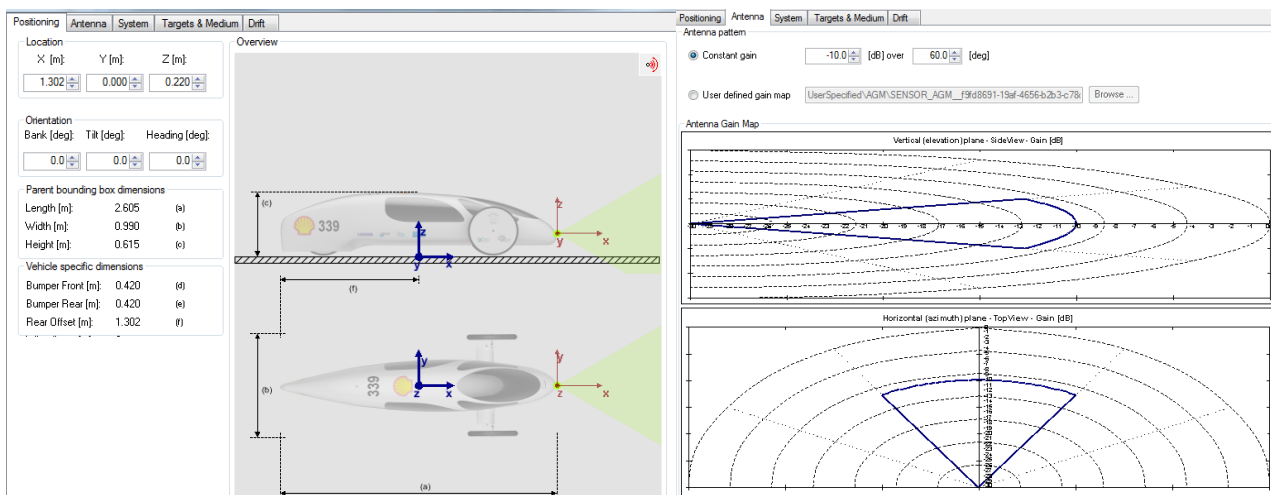
2.2. Modelowanie czujników

Następnym etapem, jest zamodelowanie czujników potrzebnych do realizacji zaawansowanych systemów automatyki jazdy. Czujniki zamontowano w odpowiednich miejscach na bolidzie, a ich specyfikacja jest zgodna z zastosowanymi rzeczywistymi modelami.

Bolid posiada siedem czujników do trzech różnych systemów zapewnienia bezpieczeństwa. W tym:

- Trzy czujniki do układu monitorowania przedniej strefy
- Trzy czujniki do śledzenia martwego pola za pojazdem
- Jeden czujnik do systemu po kolizyjnego.

Program pozwala na ustawienie wszystkich potrzebnych parametrów, m.in. takich jak rodzaj czujnika czy jego zasięg. Definiowanie stref działania czujnika wymagało uprzedniej weryfikacji doświadczalnej działania dla wszystkich zakupionych wcześniej czujników.



Rys. 3. Konfiguracja czujnika ultradźwiękowego do systemu monitorowania obszaru z przodu pojazdu

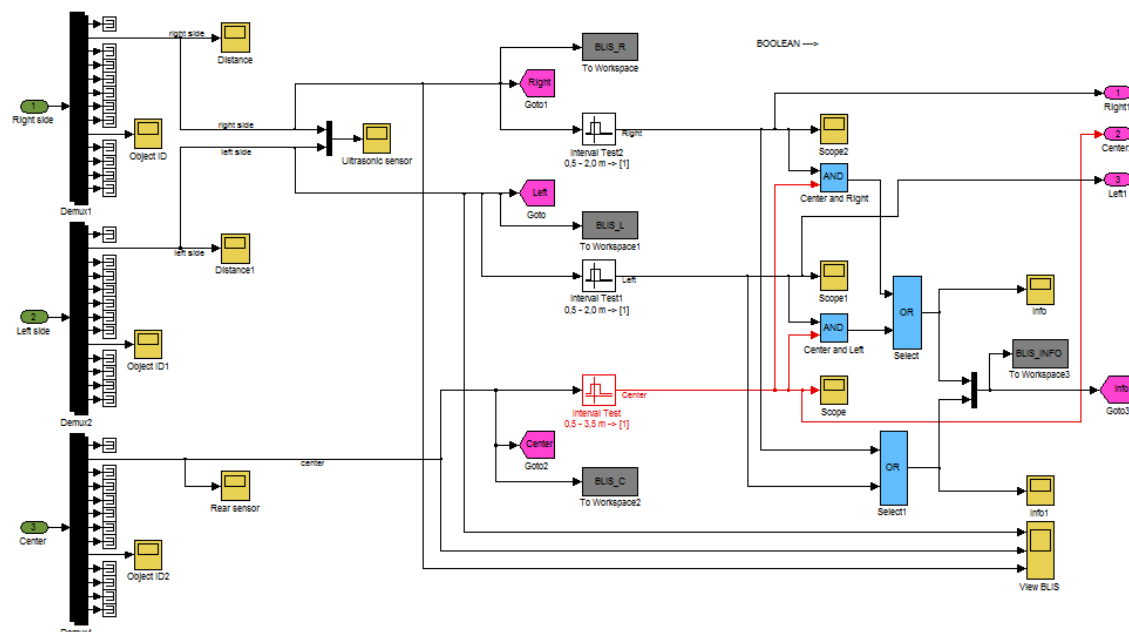
2.3. Budowanie systemu sterowania

Jednym z ważniejszych etapów modelowania systemów automatyki jazdy jest zaprojektowanie systemów sterowania. Odbyna się to za pomocą implementacji układów logicznych w środowisku Matlab/Simulink (Rys. 4).

W oprogramowaniu Simulink tworzony jest model funkcjonalny układu sterowania. Układ ten odpowiedzialny jest za wprowadzanie wartości parametrów, przetwarzanie wyników oraz sterowanie. Podczas modelowania układu, między innymi zostały dobrane odpowiednie progi aktywacji alarmu, a także zaprojektowana została reakcja systemu na sytuację np. włączania i wyłączania diod LED na kierownicy lub uruchomienie sygnału dźwiękowego (w zależności od systemu). Dodatkowo układ pozwala na wyświetlenie wykresów odzwierciedlających wartości sygnałów i parametrów. Możliwe jest więc obserwowanie jak zmienia się odległość od przeszkody czy przebieg działania sensorów na wykresie. Niezaprzeczną zaletą takiego rozwiązania jest integracja oprogramowania Matlab/Simulink z oprogramowaniem PreScan. Model układu sterującego systemem wspomaganym kierowcy współpracuje bezpośrednio z modelami bolidu i czujników. Umożliwia to pełną symulację jazdy na torze oraz potencjalnych zdarzeń, włączywszy w to zdarzenia niebezpieczne, które mogą być symulowane wielokrotnie, a działanie projektowanego systemu zoptymalizowane w celu spełnienia ustalonych kryteriów. W praktyce do badań takich niebezpiecznych sytuacji często nie dochodzi w ogóle gdyż generuje to bardzo duże koszty oraz stwarza zagrożenie zdrowia a nawet życia.

Symulacja czujników w programie PreScan jest odzwierciedleniem istniejących układów. Z tym, że najpierw zaprojektowano i dobrano wszystkie parametry w świecie wirtualnym, w Programie PreScan, dobierając optymalne wartości. Następnie przeniesiono to na rzeczywisty model bolidu MuShellka oraz wykonano fizyczny układ systemu sterowania. Zaimplementowane w rzeczywistych układach programy odzwierciedlają działanie modelu zbudowanego w programie Matlab/Simulink oraz stosują zbadane

wirtualnie wartości parametrów. Oprogramowanie rzeczywistego układu sterowania było tworzone odrębnie na podstawie zbadanego wirtualnie modelu i jest specyficzne dla zastosowanego na bolidzie układu.

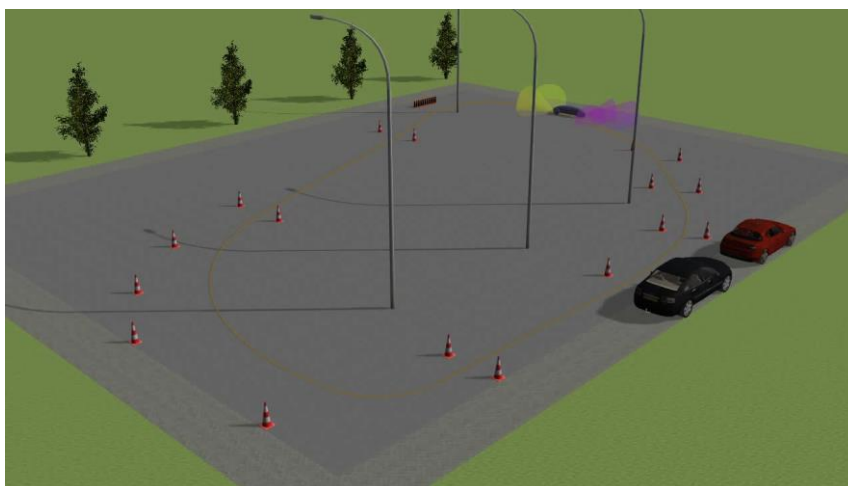


Rys. 4. Widok układu logicznego w Simulinku dla budowanego systemu na bazie systemu BLIS

2.4. Przeprowadzenie eksperymentu symulacyjnego

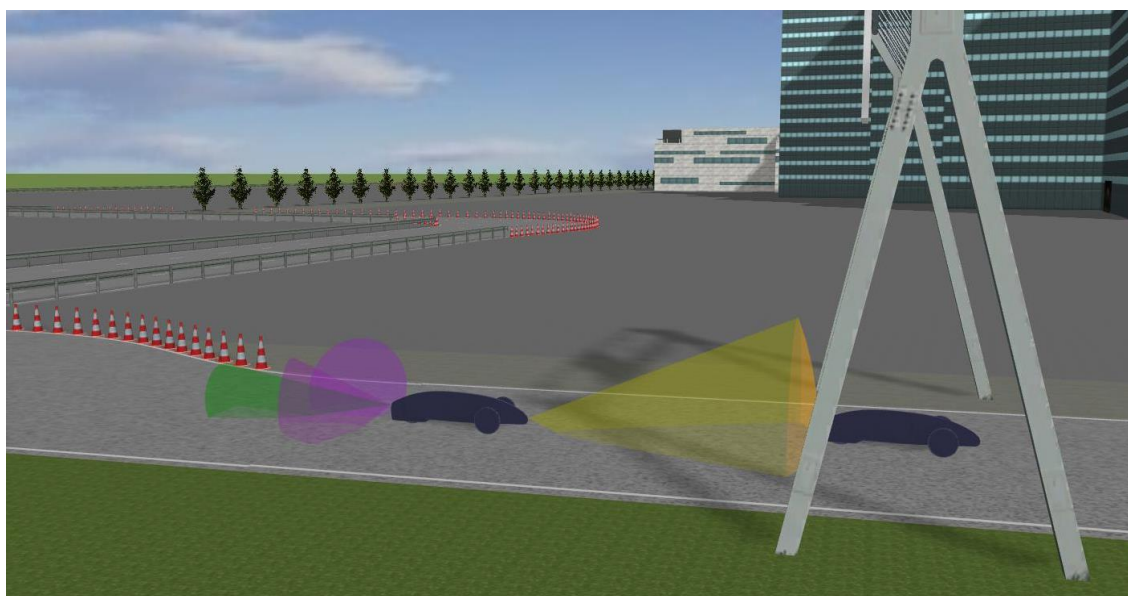
Po zaprojektowaniu scenariusza, czujników i systemu sterowania można przeprowadzić eksperyment symulacyjny.

W ramach badań przeprowadzono eksperymenty symulacyjne odzwierciedlające dwa scenariusze jazdy. Pierwszy scenariusz realizowany był na trasie wyścigu oraz obejmował jazdy wyścigowe pojazdu MuShellka w Rotterdamie. Na tor wprowadzono większą liczbę bolidów, zaplanowano wzajemne wyprzedzanie oraz omijanie przeszkód. Drugi scenariusz był realizowany na trasie testowej przy Politechnice Śląskiej w Gliwicach, na której zostały przeprowadzone testy systemów bezpieczeństwa. Oprócz eksperymentu symulacyjnego na trasie testowej zostały wykonane badania rzeczywistych układów bezpieczeństwa zainstalowanych na pojeździe MuShellka.



Rys. 5. Tor testowy przy Politechnice Śląskiej zamodelowany w systemie PreScan

Dzięki przeprowadzeniu wirtualnych testów, można było ograniczyć liczbę kosztownych i czasochłonnych badań systemów rzeczywistych, a także lepiej zwizualizować eksperyment, poprzez zajęcie pozycji kierowcy, a także poprzez zobrazowanie zasięgu czujników systemów bezpieczeństwa BLIS i ACC (rys 6.).



Rys. 6. Przeprowadzenie eksperymentu w wirtualnym środowisku

3. ZAAWANSOWANE SYSTEMY AUTOMATYKI JAZDY

Zaawansowane systemy automatyki jazdy są to systemy bezpieczeństwa, reagujące na daną sytuację na drodze [1], [2], [3], [4], [10]. Do budowy systemów automatyki jazdy elektrycznego bolidu MuShellka zostały wykorzystane koncepcje trzech znanych z zastosowania w nowoczesnych pojazdach osobowych systemów automatyki jazdy. Działanie systemów w bolidzie zostało opisane poniżej.

3.1. SYSTEM BLIS

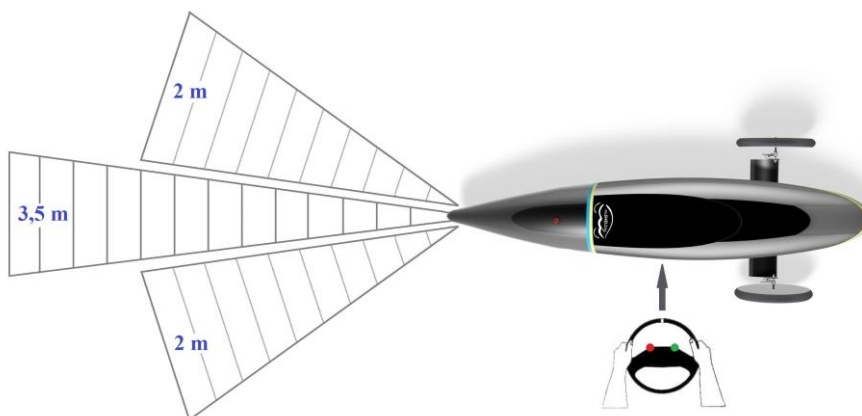
System BLIS (Blind Spot Information System) - System obserwacji martwego pola widzenia w lusterku wstecznym w bolidzie MuShellka.

Regulamin zawodów wymusza na kierowcy przepuszczanie pojazdów, które są za nim i chcą go wyprzedzić. Czasami kierowca nie jest w stanie zauważyć innego pojazdu znajdującego się z tyłu, ponieważ w bolidzie są niewielkie lusterka wsteczne. Jest to bardzo ważne, aby nie zmuszać kierowców do niepotrzebnego hamowania oraz przyspieszania, ponieważ w ten sposób jest niepotrzebnie tracona energia. System BLIS umożliwia monitorowanie obszaru znajdującego się za pojazdem i informuje kierowcę, z której strony bolidu znajduje się konkurent. Informacja ta jest podawana za pomocą diod umieszczonych z lewej i prawej strony kierownicy.

Układ ten bazuje na trzech czujnikach:

- Dwóch czujnikach ultradźwiękowych, montowanych po bokach bolidu o zasięgu działania 2m.
- Jednego czujnika fotoelektrycznego, montowanego centralnie o zasięgu działania 3,5m.

Każdy z czujników działa niezależnie, dzięki czemu generują one pełną informację dla kierowcy, o tym, co się dzieje za pojazdem.



Rys. 7. System bezpieczeństwa BLIS w bolidzie MuShellka

3.2. SYSTEM ACC

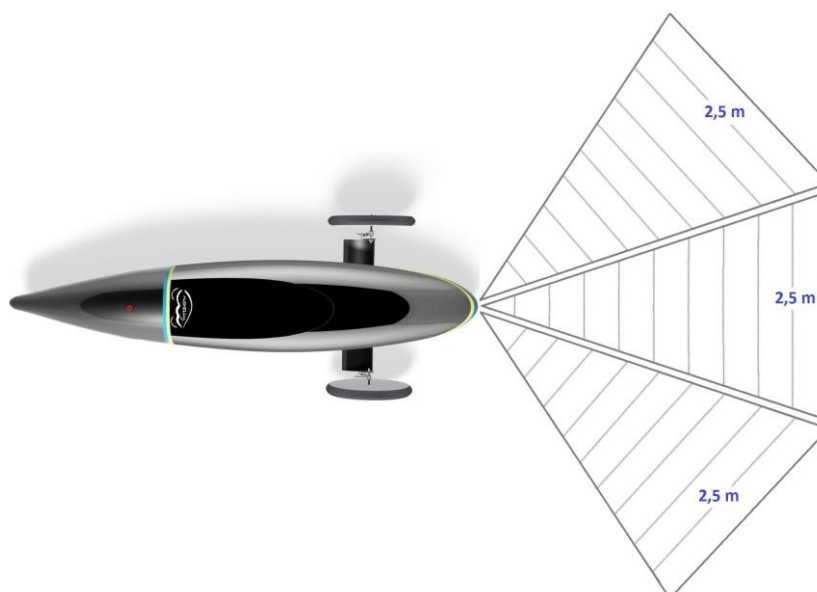
System ACC (Adaptive Cruise Control) - Układ monitorujący obszar przed pojazdem został zaprojektowany na wzór aktywnych tempomatów.

Kierowca przed wyprzedzeniem innego pojazdu musi użyć sygnału dźwiękowego, aby ostrzec przeciwnika o swoim zamiarze, tak aby tamten nie zajął mu drogi. Za lekceważenie obowiązku stosowania sygnału dźwiękowego zespół może być ukarany przez sędziów pilnujących bezpieczeństwa w trakcie wyścigu.

System ACC w bolidzie MuShellka informuje kierowcę o konieczności użycia sygnału dźwiękowego, gdy ten zbliża się do innego bolidu.

System ten został zmodernizowany do możliwości sprzętowych bolidu MuShellka, przez co działa na trzech czujnikach ultradźwiękowych o zasięgu 2,5 metra każdy.

Ułożenie sensorów zobrazowano na rysunku (Rys. 8.). W trakcie badań symulacyjnych oraz badań pojazdu na torze testowym działanie systemu nie spełniło wszystkich oczekiwań projektantów. Konieczne jest wprowadzenie zmian ustawienia samych czujników oraz korektę ustawień poziomów działania w celu zwiększenia pewności działania systemu. W obecnym stanie pojawiają się sytuacje fałszywych ostrzeżeń. Korekta ustawień ma na celu wyeliminowanie fałszywych ostrzeżeń ze strony systemu.



Rys. 8. System bezpieczeństwa oparty o ACC z czujnikami

3.3. SYSTEM ACS

System ACS (Automatic Crash System) – System zapewniający bezpieczeństwo kierowcy po kolizji. Działanie systemu oparte jest na systemach stosowanych, na co dzień w samochodach osobowych. W których działanie układu polega na włączeniu zewnętrznych, wewnętrznych i awaryjnych świateł, wyłączeniu pompy paliwa oraz otwarciu drzwi. System ACS zmodyfikowano do specyfiki wyścigu i konstrukcji bolidu MuShellka tak, aby maksymalnie zwiększyć bezpieczeństwo kierowcy poprzez przesłanie informacji do zespołu i służb ratunkowych, wyłączenie silnika oraz odłączenie zasilania.

4. WNIOSKI

Opracowanie zaawansowanych systemów automatyki jazdy w bolidzie MuShellka ma na celu zwiększenie bezpieczeństwa kierowcy i jego przeciwników na torze podczas zawodów Shell Eco-marathon

Przeprowadzanie wirtualnych symulacji na wirtualnym torze z Rotterdamu oraz na modelach zaimportowanych bezpośrednio z systemu CAD bolidu MuShellka zapewnia bardzo dużą precyzję realizacji eksperymentów. Pozwala to na przetestowanie wielu sytuacji, w różnych warunkach, w stosunkowo niewielkim czasie ze znaczną redukcją kosztów oraz zmniejszeniem eksploatacji pojazdu.

Czujniki oraz system sterowania są zaprojektowane zgodnie z tymi, które zamocowano w bolidzie MuShellka.

Po dokonaniu porównania wyników uzyskanych podczas eksperymentu wykonanego na torze przy Politechnice Śląskiej oraz z symulacji komputerowej można wyciągnąć następujące wnioski:

- System BLIS - system śledzenia martwego pola w lusterku wstecznym pojazdu w obydwóch testach potwierdził prawidłowe działanie. Wykrył oraz zasygnalizował prawidłowo wszystkie przeszkody w trakcie eksperymentów
- System ACC – system monitorowania przedniej strefy nie spełnił pierwotnych oczekiwań. Zarówno w testach rzeczywistych jak wirtualnych system wysyłał fałszywe ostrzeżenia. Czujniki zamontowane na bolidzie, zostały umieszczone zbyt nisko, przez co system nie interpretuje właściwie sygnałów z jezdni. Konieczne jest dalsze rozwijanie systemu poprzez zmianę ustawienia kąta czujników lub zmianę typu czujników.

Zarówno w przypadku pozytywnej i negatywnej oceny systemów automatyki jazdy wyniki eksperymentu symulacyjnego oraz eksperymentu na rzeczywistym torze testowym wykazały bardzo wysoką zbieżność, co potwierdza prawidłowość budowy środowiska symulacyjnego oraz korzyści płynące z prowadzenia eksperymentów symulacyjnych.

Zbudowanie wirtualnego środowiska nie tylko znacznie usprawnia przeprowadzenie symulacji układów bezpieczeństwa, ale także pozwala na wizualizację, dzięki której można zaobserwować pracę systemów z różnych perspektyw. Widok modelu bolidu na wirtualnym torze oraz obrazowanie zakresu działania czujników pozwalają na bardzo wnikliwą analizę systemów. Możliwość porównania płaskiego wykresu względem przestrzennej symulacji daje możliwość pełnego zrozumienia pracy układu oraz dobrania odpowiednich parametrów działania systemów.

5. LITERATURA

- [1] Gietelink O.J., Ploeg J., De Schutter B., (2009) "Development of a driver information and warning system with vehicle hardware-in-the-loop simulations". *Mechatronics, The Science of Intelligent Machines, An International Journal, A journal of IFAC, the International Federation of Automatic Control*, Volume 19, Issue 7, pp s. 1091-1104.
- [2] Wua B.-F., Huang H.-Y., Chen C.-J., Chen Y.-H., Chang C.-W., Chen Y.-L.. "A vision-based blind spot warning system for daytime and nighttime driver assistance". *Computers and Electrical Engineering* 39 (2013) 846–862
- [3] Flórez S. A. R., Frémont V., Bonnifait P., Cherfaoui V. „Multi-modal object detection and localization for high integrity driving assistance“. *Machine Vision and Applications*, December 2011. Springer-Verlag 2011.
- [4] Belbachir A., Smal J.-C., Blosseville J.-M., Gruyer D. "Simulation-Driven Validation of Advanced Driving-Assistance Systems". *Transport Research Arena– Europe 2012*, Volume 48, 2012, Pages 1205–1214.
- [5] Skarka W., Otrębska M., Zamorski P., (2013) "Simulation of dangerous operation incidents in designing advanced driver assistance systems", XII International Technical Systems Degradation Conference: Liptowský Mikulaš, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warsaw
- [6] Skarka W., Otrębska M., Zamorski P., Cichoński K. "Designing safety systems for electric race car". 13th International Conference on Transport Systems Telematics. TST 2013, Katowice-Ustroń, Poland, October 23-26, 2013. Springer, 2013. (In print).
- [7] Sternal K., Cholewa A., Skarka W., Targosz. M. „Electric vehicle for the students Shell Eco-marathon competition. Design of the car and telemetry system.“ *Telematics in the transport environment. 12th International Conference on Transport Systems Telematics. TST 2012, Katowice-Ustroń, Poland, October 10-13, 2012. Selected papers. Ed. Jerzy Mikulski. Berlin: Springer, 2012, s. 26-33, bibliogr. 9 poz. (Communications in Computer and Information Science; vol. 329)*
- [8] Reński A. (2011) „Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa pp. 15-29, 300-319.
- [9] Pihowicz W. (2008) "Inżynieria bezpieczeństwa technicznego problematyka podstawowa", Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa
- [10]Herner A., Riehl H.J (2010), "Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa pp. 66-79
- [11]Prescan, Tass, Strona internetowa (2013) (listopad 2013)
<https://www.tassinternational.com/prescan>
- [12]Strona internetowa (2013) - www.mkm.polsl.pl (wrzesień 2013)
- [13]Strona internetowa (2013) - www.shell.com (wrzesień 2013)
- [14]OpenStreetMap (2013) - www.openstreetmap.org (marzec 2013)