

# ZAAWANSOWANE SYSTEMY AUTOMATYKI JAZDY WSPOMAGAJĄCE KIEROWCĘ BOLIDU MUSHELLKA

Małgorzata Muzalewska<sup>1a</sup>, Wojciech Skarka<sup>1b</sup>,  
Piotr Zamorski<sup>1c</sup>,

<sup>1</sup>Institut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Politechnika Śląska, Gliwice

<sup>a</sup>malgorzata.muzalewska@polsl.pl, <sup>b</sup>wojciech.skarka@polsl.pl, <sup>c</sup>piotr.zamorski@hotmail.com

## Streszczenie

Bolid elektryczny MuSHELLka, startujący w światowych zawodach Shell Eco-marathon w 2013 roku, wyposażono w aktywne systemy bezpieczeństwa: BLIS (system informujący kierowcę o pojawieniu się obiektu w martwym polu), ACC (system skanujący przestrzeń przed bolidem), ACS (system działający w przypadku kolizji). Bazują one na istniejących systemach, które są wykorzystywane obecnie w samochodach. Dostosowanie tych systemów na potrzeby bolidu elektrycznego MuSHELLka było bardzo skomplikowane, jednak za pomocą specjalnego oprogramowania PreScan firmy TASS zaprojektowano je i przebadano tak, aby zapewniały kierowcy i jego konkurentom większe bezpieczeństwo.

**Słowa kluczowe:** systemy bezpieczeństwa, zaawansowany system wspomagania kierowcy, systemy automatyki jazdy, PreScan, Bolid MuSHELLka, Shell Eco-marathon, system informacji „martwego pola”, system informacji o wyprzedzaniu, system bezpieczeństwa w przypadku kolizji

## ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS OF A RACING CAR

### Summary

Electric vehicle MuSHELLka during development for 2013 Shell Eco-marathon, has been equipped with active safety systems. Blind Spot Information System, Adaptive Cruise Control and Automatic Crash System. All those systems will ensure driver and his opponents more safety. Projects of submitted systems based on real layouts which are nowadays in cars. Adaptation of those systems for our vehicle and race needs were complicated. With 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 in the specified environment. It is an urban racetrack in Rotterdam, Holland. Also there were capabilities to specify sensors and their properties. Entirely with MATLAB/Simulink software have given opportunity to build and verify selected safety systems.

**Keywords:** Advanced Driver Assistance Systems ADAS, PreScan, Shell Eco-marathon, MuSHELLka, safety systems, Blind Spot Information System BLIS, Adaptive Cruise Control ACC, Automatic Crash System ACS

### 1. WSTĘP

Studenckie Koło Modelowania Konstrukcji Maszyn zajmuje się projektowaniem, konstruowaniem oraz budowaniem elektrycznego bolidu „MuSHELLka”, który od trzech lat startuje na światowych wyścigach Shell

Eco-marathon w Rotterdamie w Holandii. Bolid ten występuje w kategorii Prototype, czyli małych pojazdów osiągających najlepsze wyniki. Wyniki są mierzone

w km/kWh, obrazując przejechany dystans w danej jednostce energii [7, 12, 13].

Podczas zawodów pojazdy poruszają się z różną prędkością, kierowcy chcą jak najbardziej ograniczyć hamowanie, na które tracą energię, pogarszając wynik zespołu. Praktyka wyścigów wskazuje, że kolizje pojazdów występują bardzo często w trakcie każdego przejazdu. Aby zwiększyć bezpieczeństwo kierowcy i pojazdu, zespół Smart Power zajął się projektowaniem systemów bezpieczeństwa wspomagających kierowcę bolidu MuSHELLka.

Systemami tymi są:

- system BLIS (Blind Spot Information System) - informuje kierowcę o pojawieniu się obiektu w martwym polu
- system ACC (Adaptive Cruise Control) - automatycznie uruchamia sygnał dźwiękowy podczas wyprzedzania innego bolidu na torze
- system ACS (Automatic Crash System) - działa w przypadku kolizji

Do projektowania oraz przeprowadzania symulacji pojazdu z systemami bezpieczeństwa wykorzystano środowisko PreScan firmy TASS [5, 6].

## 2. ZAAWANSOWANE SYSTEMY AUTOMATYKI JAZDY

Zaawansowane systemy automatyki jazdy są to systemy bezpieczeństwa reagujące na daną sytuację na drodze [1, 2, 3, 3, 8, 9, 10].

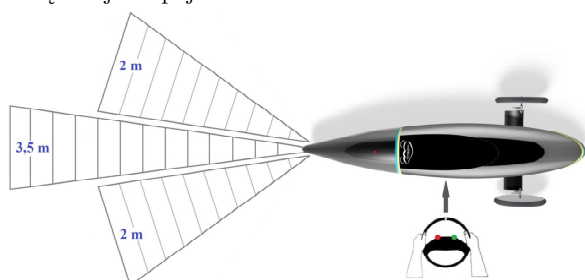
### 2.1 SYSTEM BLIS

System BLIS (Blind Spot Information System) polega na obserwacji martwego pola widzenia w bolidzie MuSHELLka. Umożliwia monitorowanie obszaru znajdującego się za pojazdem, którego kierowca w danym momencie nie jest w stanie zobaczyć w niewielkich lusterkach wstecznych. Jest bardzo ważne, aby kierowca nie zajeżdżał drogi innemu pojazdowi.

Układ ten bazuje na trzech czujnikach:

- dwa czujniki ultradźwiękowe, montowane po bokach bolidu o zakresie działania 2 m,
- jeden czujnik fotoelektryczny, montowany centralnie o zakresie działania 3,5 m.

Każdy z czujników działa niezależnie od innych, dzięki czemu generuje on pełną informację dla kierowcy o tym, co się dzieje za pojazdem.



Rys. 1. System bezpieczeństwa w bolidzie MuSHELLka

W momencie, gdy w skanowanym obszarze pojawi się przeszkoda, system poinformuje o tym kierowcę za pomocą sygnalizatorów umieszczonych na kierownicy z prawej lub lewej strony. Zapalająca się odpowiednia dioda (prawa lub lewa) informuje kierowcę, z której strony zbliża się inny pojazd.

### 2.2 SYSTEM ACC

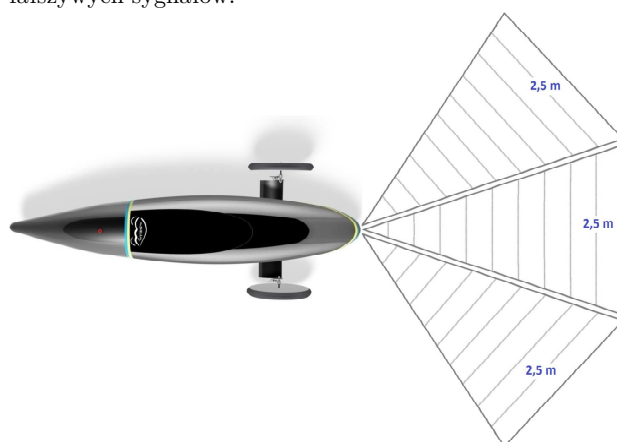
System ACC (Adaptive Cruise Control) monitoruje obszar przed pojazdem. Został on zaprojektowany na wzór aktywnych tempomatów.

Zgodnie z regulaminem zawodów Shell Eco-marathon, kierowca jest zobowiązany do użycia sygnału dźwiękowego przed wyprzedzeniem innego bolidu oraz zdefiniowane są ściśle reguły wyprzedzania pojazdów. Zdefiniowanie zasad służy nie tylko poprawie bezpieczeństwa, ale także polepszeniu wyników jazd wyścigowych poprzez wyeliminowanie niepotrzebnego użycia hamulców, a co za tym idzie, utracie energii.

System ACC zmodernizowany do bolidu MuSHELLka, informuje kierowcę o konieczności użycia sygnału dźwiękowego, gdy będzie zbliżał się do innego bolidu. Nieużycie sygnału dźwiękowego skutkuje nałożeniem kary na zespół.

System opiera się na działaniu czujników ultradźwiękowych - jest to wersja zmodernizowana do możliwości sprzętowych bolidu MuSHELLka.

Zostały w niej wykorzystane trzy czujniki ultradźwiękowe o zasięgu do 2,5 metra każdy. Rozmieszczenie czujników zobrazowano na schemacie (rys. 2). Zmodyfikowana, uproszczona wersja systemu bezpieczeństwa działa dobrze, jednak nie można wykluczyć sytuacji fałszywych ostrzeżeń. Układ sterowania aktywuje się wtedy, gdy poprzedzający bolid znajdzie się w zasięgu dwóch czujników. System ten wymaga dalszych badań i modernizacji w taki sposób, aby sprostał możliwościom sprzętowym bolidu, a także nie generował fałszywych sygnałów.



Rys. 2. System bezpieczeństwa oparty na ACC z czujnikami

### 2.3 SYSTEM ACS

System ACS (Automatic Crash System) to kompleksowy układ zapewniający bezpieczeństwo już po zdarzeniu drogowym, składający się z detekcji kolizji i systemu informacyjnego.

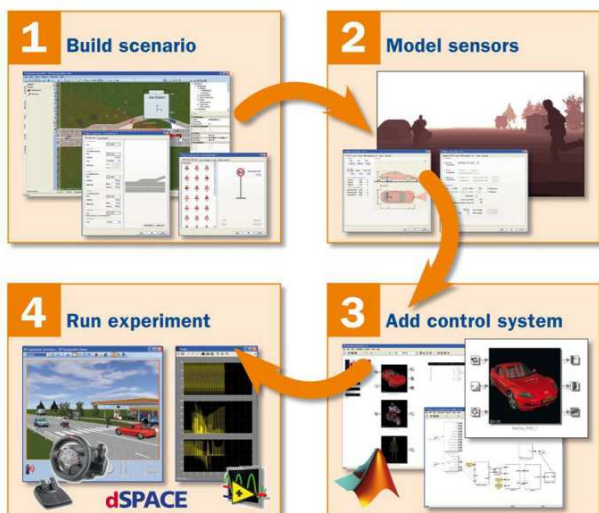
Głównym zadaniem ACS jest wykrywanie zderzenia, przesłanie informacji do zespołu i służb ratunkowych oraz odłączenie zasilania. Dodatkowo włącza zewnętrzne, wewnętrzne i awaryjne światła, wyłącza pompę paliwa oraz otwiera drzwi. Podczas kolizji na zawodach Shell Eco-marathon system ACS zainstalowany w bolidzie MuSHELLka będzie miał za zadanie poinformować zespół, wyłączyć silnik oraz zasilanie tak, aby zapewnić maksymalne bezpieczeństwo kierowcy.

### 3. SYMULACJA SYSTEMU AUTOMATYKI JAZDY

Opisane układy bezpieczeństwa zostały zaprojektowane oraz przetestowane w oprogramowaniu PreScan firmy TASS. Jest to unikalne środowisko pozwalające na integrację różnych podzespołów. Pozwala na trójwymiarowe modelowanie, projektowanie parametrów czujników oraz symulację systemów [11].

Metodyka budowania symulacji z zastosowaniem systemu PreScan przewiduje cztery podstawowe kroki (rys. 3):

- budowanie scenariusza działania systemu oraz zdarzenia drogowego,
- modelowanie czujników,
- budowanie systemu sterowania,
- przeprowadzenie eksperymentów symulacji komputerowych

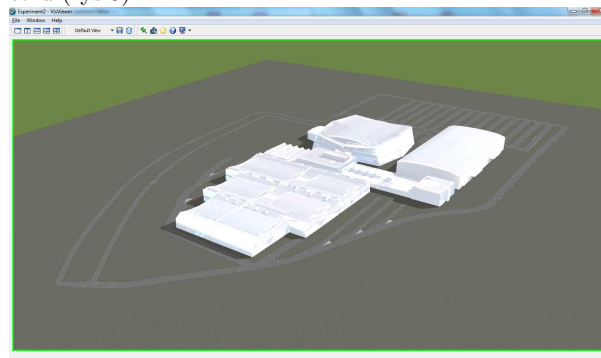


Rys. 3. Schemat kolejnych kroków symulacji w środowisku PreScan [11]

### 3.1 BUDOWANIE SCENARIUSZA

Budowa scenariusza pozwala użytkownikowi tworzyć i modyfikować infrastrukturę wraz z sytuacjami na drodze. Odbywa się to za pomocą zaimplementowanej w programie bazy danych. Baza jest zbiorem wstępnie przygotowanych fragmentów tras takich jak: jezdnie, skrzyżowania, znaki, sygnalizatory, pojazdy mechaniczne, rowery, budynki, roślinność oraz modele pieszych.

Dodatkowo istnieje możliwość zaimportowania map z serwisów typu OpenStreetMap czy Google Earth. W ramach pracy wczytano trasę z serwisu OpenStreetMap oraz budynki zaimportowane z Google Earth (rys. 4.), co posłużyło do zbudowania w pełni funkcjonalnego toru (rys.5).



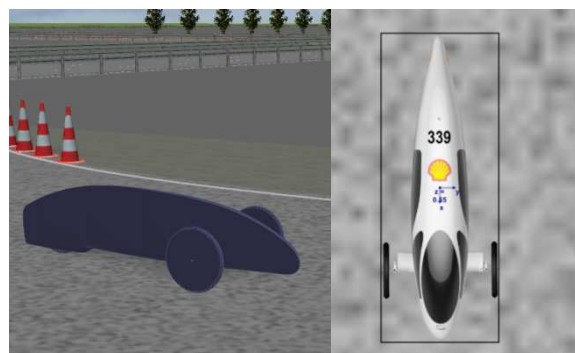
Rys. 4. Widok trasy zaimportowanej za pomocą serwisów OpenStreetMap i Google Earth [14, 15]



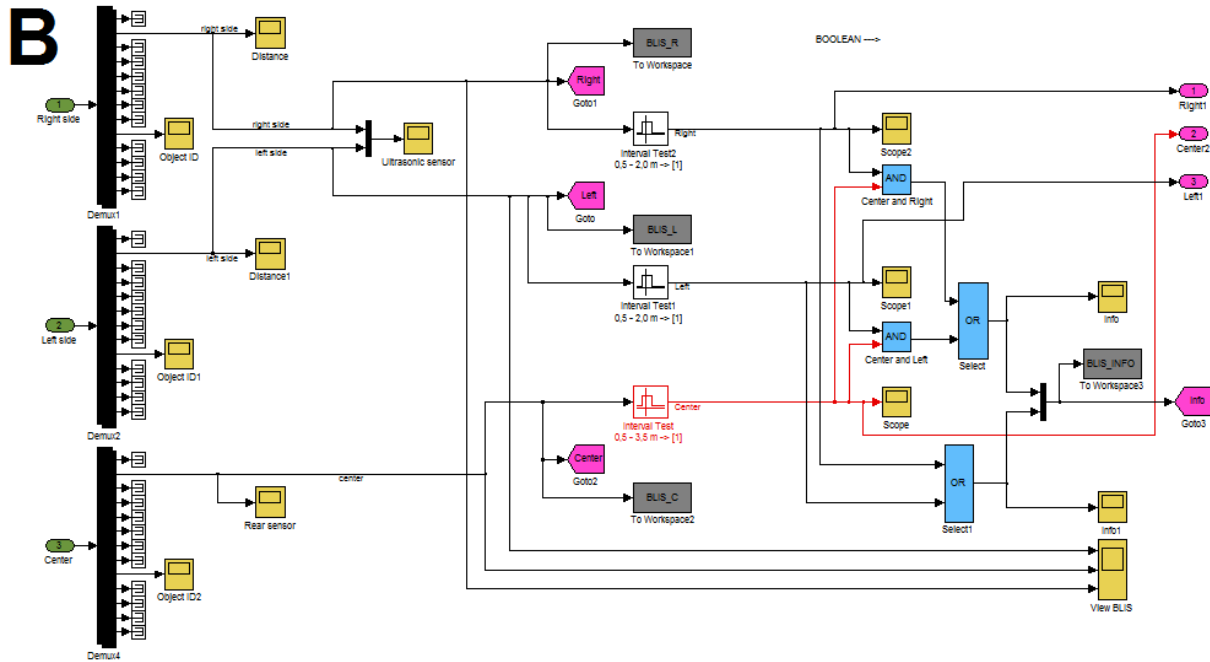
Rys. 5. Widok poprawionego toru w PreScan Viewer

Zastosowana trasa dokładnie odpowiada torowi, po którym bolid ściga się w realnych warunkach w Rotterdamie.

Następnie dzięki możliwości wczytywania modeli CAD zaimportowano model STEP bolidu MuSHELLka.



Rys. 6. Bolid MuSHELLka w środowisku symulacyjnym



Rys. 8. Widok układu logicznego w programie MATLAB/Simulink dla systemu na bazie BLIS

Zachowane są jego zewnętrzne gabaryty, masa oraz kształt. Taki efekt zawdzięcza się dokładnemu modelowi CAD pojazdu.

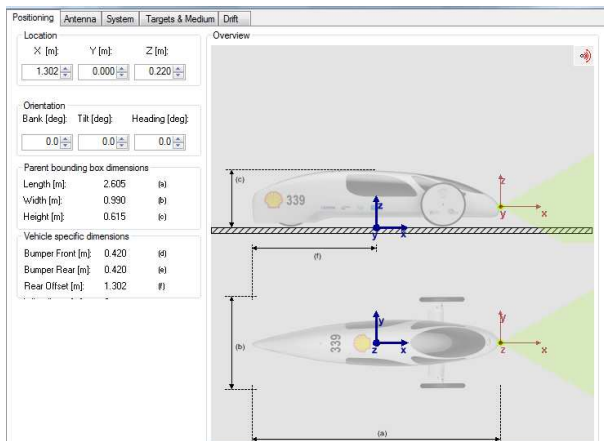
### 3.2 MODELOWANIE CZUJNIKÓW

Na zaimportowanym modelu bolidu rozmieszczono czujniki potrzebne do realizacji zaawansowanych systemów automatyki jazdy.

W bolidzie zainstalowano siedem czujników do trzech różnych systemów zapewnienia bezpieczeństwa:

- trzy czujniki do układu monitorowania przedniej strefy,
- trzy czujniki do śledzenia martwego pola za pojazdem,
- jeden czujnik do systemu pokolizyjnego.

W każdym z czujników zdefiniowano odpowiednie parametry pracy, m.in. zakresy działania, kierunki, kąty, zasięg działania.



Rys. 7. Konfiguracja czujnika ultradźwiękowego do systemu monitorowania obszaru z przodu pojazdu

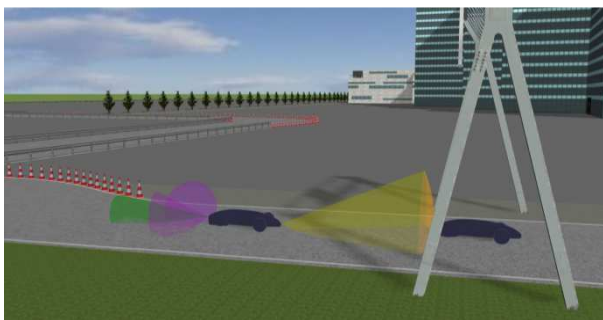
### 3.3 BUDOWANIE SYSTEMU STEROWANIA

Jednym z ważniejszych etapów modelowania systemów automatyki jazdy jest zaprogramowanie systemów sterowania. Odbywa się to za pomocą zastosowania układów logicznych w środowisku MATLAB/Simulink (rys. 8). Dla każdego czujnika wygenerowany jest osobny blok, z którego odczytywane są wyniki w postaci wykresów. Dodatkowo zapisane są funkcje logiczne pozwalające na poprawne działanie systemu.

### 3.4 PRZEPROWADZENIE EKSPERYMENTU

Po wczytaniu trasy i modelu bolidu oraz ustawieniu wszystkich potrzebnych parametrów przeprowadzono symulację eksperymentu. Zaplanowano scenariusz, wprowadzono dodatkowe pojazdy na trasę oraz inne przeszkody, a następnie sprawdzono działanie systemu BLIS i ACC.

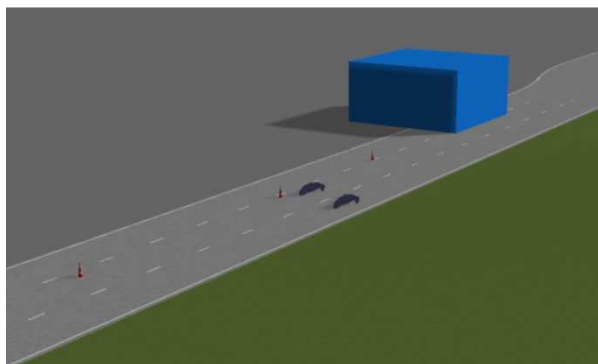
Środowisko symulacyjne umożliwia obserwację zasięgu działania czujników. Ułatwia to interpretację zapisanych symulacji dynamicznych oraz wizualną weryfikację systemów (rys. 9).



Rys. 9. Zasięg czujników na bolidzie podczas przeprowadzania symulacji

Wynikiem symulacji są zbiory danych, które można, w celu łatwiejszej interpretacji, zwizualizować na wykresie.

W ramach weryfikacji przeprowadzono eksperyment polegający na wzajemnym wyprzedzaniu się pojazdów na trasie oraz mijaniu przez pojazdy przeszkód w formie trzech pachołków oraz większego prostopadłościanu. Na rys. 10. przedstawiono fragment symulacji. Na rys. 11. wyraźnie widoczne są sygnały z czujników (11a - lewego, 11b - środkowego oraz 11c - prawego). Na górnym wykresie (rys. 11a) można zauważyć, że lewy czujnik z systemu BLIS wykrył 3 pachołki, następnie niebieski prostopadłościan usytuowany na rys. 10. Na dolnym wykresie (rys. 11c) widać, że prawy czujnik usytuowany na bolidzie wykrywa drugi bolid poruszający się ze stałą prędkością, taką samą jak MuSHELLka. Po 15. sekundzie można zaobserwować na trzech wykresach moment, gdy jeden bolid zajeżdża drogę drugiemu, moment, w którym następuje mijanie oraz kiedy bolidy znajdują się jeden za drugim.



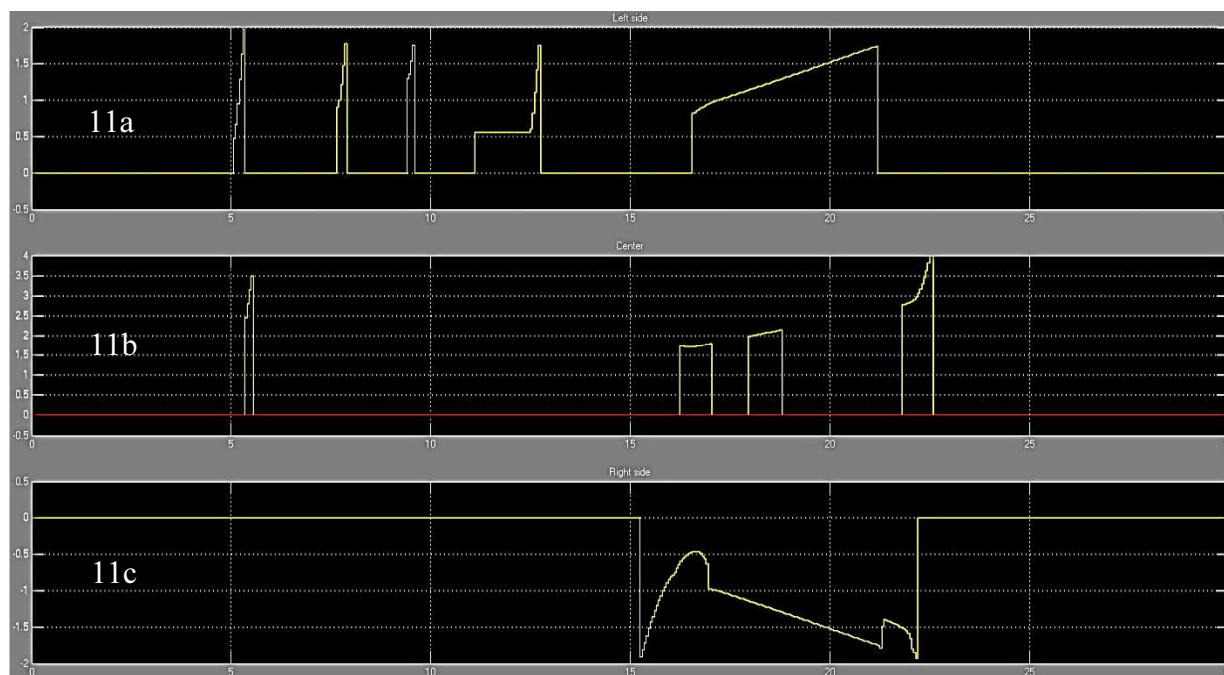
Rys. 10. Symulacja systemu BLIS

Przebieg symulacji można dowolnie zmieniać oraz powtarzać tak, aby zbadać możliwe wystąpienia podczas zawodów Shell Eco-marathon. Aby zbadać możliwość występowania sytuacji podczas zawodów, w trakcie symulacji weryfikowane są systemy bezpieczeństwa, mogą być badane oprogramowania, zastosowanie różnych czujników oraz ich rozmieszczenie. Dzięki testom w wirtualnym świecie można znacznie ograniczyć czas oraz materiały eksploatacyjne w porównaniu do testów rzeczywistych.

#### 4. WNIOSKI

Opracowane zaawansowane systemy automatyki jazdy mają na celu wspomaganie kierowcy bolidu MuSHELLka. Podczas zawodów Shell Eco-marathon główną konkurencją jest wyścig, w którym należy przejechać jak najdłuższy odcinek przy jak najmniejszym zużyciu energii. Dodatkowo bardzo ważne jest zachowanie bezpieczeństwa podczas zawodów. Zaawansowane systemy automatyki jazdy, oprócz wspomagania pracy kierowcy, mają za zadanie znaczne zwiększenie bezpieczeństwa uczestników wyścigu.

Przeprowadzanie wirtualnych symulacji na modelach CAD bolidu MuSHELLka, na których zachowane są parametry fizyczne zgodne z rzeczywistością, zapewniają bardzo duży stopień realizmu eksperymentu oraz dokładność w badaniach.



Rys. 11. Wynik symulacji systemów BLIS. Sygnał z czujnika a – lewego, b – środkowego, c – tylnego.

Czujniki, jako najważniejsze składowe systemów bezpieczeństwa, musiały zostać bardzo precyzyjnie dobrane. Czujniki wykorzystane w rzeczywistym pojeździe elektrycznym zostały odwzorowane w programie PreScan. Rozmieszczenie czujników na bolidzie również zostało przemyślane oraz dobrane w sposób najbardziej odpowiedni.

System sterowania pracą czujników jest niezależny. Został wykonany w środowisku MATLAB/Simulink. Automatyczna generacja bloków oraz obszerna biblioteka programu pozwalają na nieskomplikowaną budowę oraz modyfikacje układu przetwarzania danych.

Wizualizacja jest częścią eksperymentu, która pozwala na zaobserwowanie pracy systemów z różnych perspektyw. Widok modelu bolidu na wirtualnym torze

oraz obrazowanie zakresu działania czujników pozwalają na bardzo wnikliwą analizę systemu. Możliwość porównania płaskiego wykresu względem przestrzennej symulacji pozwala na pełne zrozumienie pracy układu.

Biblioteka użytkownika jest ogromnie przydatnym narzędziem programu PreScan, ponieważ dzięki jej wykorzystaniu istnieje opcja personalizacji oraz dostosowania narzędzia, jakim jest użyty program, do własnych potrzeb.

Najważniejszym wnioskiem jest to, że układy po komputerowej weryfikacji mogą z powodzeniem być zainstalowane w bolidzie i służyć podczas zawodów Shell Eco-marathon jako aktywny układ wspomaganie kierowcy, zapewniając maksymalne bezpieczeństwo kierującemu pojazdem oraz jego konkurencji.

## Literatura

1. Gietelink O.J., Ploeg J., De Schutter B.: 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, 2009, Vol. 19, Iss. 7, p. 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" 2013, 39, p. 846–862
3. Florez S.A.R., Frémont V., Bonnifait P., Cherfaoui V.: Multi-modal object detection and localization for high integrity driving assistance. "Machine Vision and Applications" 2011, December, p. 1 - 16.
4. Belbachir A., Smal J.-C., Blosseville J.-M., Gruyer D.: Simulation-driven validation of advanced driving-assistance systems. "Transport Research Arena– Europe" 2012, Vol. 48, p. 1205 - 1214.
5. Skarka W., Otrębska M., Zamorski P.: Simulation of dangerous operation incidents in designing advanced driver assistance systems. In: XII International Technical Systems Degradation Conference Liptowski Mikulaš. Zesz. . Nauk. Inst. Pojaz. Pol. Warsz. 2013 z. 5/96, s. 131 - 139.

6. Skarka W., Otrębska M., Zamorski P., Cichoński K.: Designing safety systems for electric race car. In: 13th International Conference on Transport Systems Telematics. TST 2013. Katowice-Ustroń: 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. In: 2th International Conference on Transport Systems Telematics. TST 2012. Katowice-Ustroń, 2012. Selected papers. Berlin: Springer, 2012, p. 26 - 33. Communications in Computer and Information Science Vol. 329.
8. Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu: zawieszania oraz układy hamulcowe i kierownicze. Warszawa: Ofic. Wyd. Pol. Warsz., 2011, s. 15 - 29, 300 - 319.
9. Pihowicz W.: Inżynieria bezpieczeństwa technicznego: problematyka podstawowa. Warszawa: WNT, 2008.
10. Herner A., Riehl H.J.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. Warszawa: WKŁ, 2010, s. 66 - 79.
11. Prescan, Tass web page, 2013.  
[www.tass-safe.com/en/products/prescan](http://www.tass-safe.com/en/products/prescan)
12. Web page 2013 - [www.mkm.polsl.pl](http://www.mkm.polsl.pl)
13. Web page 2013- [www.shell.com](http://www.shell.com)
14. Endomondo 2013 - [www.endomondo.com](http://www.endomondo.com)
15. OpenStreetMap 2013 - [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)