

Mgr inż. Mirosław TARGOSZ, email: miroslaw.targosz@polsl.pl
Dr hab. inż. Wojciech Skarka prof. nzw. w Pol.Śl. email: wojciech.skarka@polsl.pl
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska

SYNERGIA METOD MODELOWANIA KONSTRUKCJI NA PRZYKŁADZIE PROJEKTU SMART POWER

Streszczenie:

W artykule przedstawiono zestaw nowoczesnych metod modelowania zastosowany podczas konstruowania pojazdu wyścigowego MuSHELLka w ramach projektu Smart Power. Odpowiednie zaplanowanie współbieżnego procesu projektowego i zastosowanie na wczesnych etapach modelu symulacyjnego pozwoliło na uzyskanie efektu synergicznego umożliwiającego zaprojektowanie i zbudowanie pojazdu w ciągu 6 miesięcy. Uzyskane parametry tego pojazdu plasują go w czołówce światowego wyścigu Shell Eco-marathon 2012.

SYNERGY OF MODELING METHODS BASED ON SMART POWER PROJECT

Abstract:

The paper presents a set of advanced modeling methods used during Smart Power project concerning the design of a race car MuSHELLka. Appropriately planned concurrent engineering process and the use of simulation model at the early design stages allowed us to obtain a synergistic effect and enabled to design and build a vehicle within 6 months. The obtained parameters of the vehicle put it at the forefront of the global race Shell Eco-marathon 2012.

1. WPROWADZENIE

Artykuł prezentuje wyniki prac projektu Smart Power (SP) [1] realizowanego na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Innowacyjny, energooszczędny, elektryczny bolid wyścigowy opracowany przez zespół SP został zbudowany do startu w europejskiej edycji Shell Eco-marathon [2]. Wyścig Shell Eco-marathon jest największym i najbardziej prestiżowym na świecie zdarzeniem pozwalającym na rywalizację w dziedzinie energooszczędnych pojazdów samochodowych. Wyścig obejmuje trzy niezależne edycje rozgrywane się w Europie, Ameryce i Azji. W samej tylko edycji europejskiej brało udział 200 zespołów reprezentujących najlepsze uczelnie techniczne z Europy i Afryki. W rywalizacji brało udział ok 3tys. studentów a wyścigi w Rotterdamie na żywo oglądało ok 50 tys. widzów. Zawody zostały rozegrane w maju 2012 na ulicznym torze w Rotterdamie i polegały na przejechaniu trasy ok. 16 km w czasie nie dłuższym niż 39 min. Po wykonanym przejeździe sędziowie dokonują odczytów zużycia energii (zależnie od klasy – paliwa płynne, wodór, energia elektryczna) i dokonują obliczeń w celu przedstawienia wyniku w postaci liczby przejechanych kilometrów na jednostkę energii np. km/l lub km/kWh. W określonej klasie wygrywa pojazd który uzyskał najlepszy rezultat (najoszczędniejszy pojazd). Pojazd projektu Smart Power nazwany MuSHELLka startował w klasie prototypów o energii pobieranej z akumulatora

(bartery electric) i osiągnął wynik 425,3 km/kWh zajmując w swojej klasie 10 miejsce. Biorąc pod uwagę bardzo krótki czas od początku prac do wykonania pojazdu oraz debiut zespołu w tego typu zawodach można uznać wynik za doskonały i rokujący na znaczną poprawę w kolejnych latach.

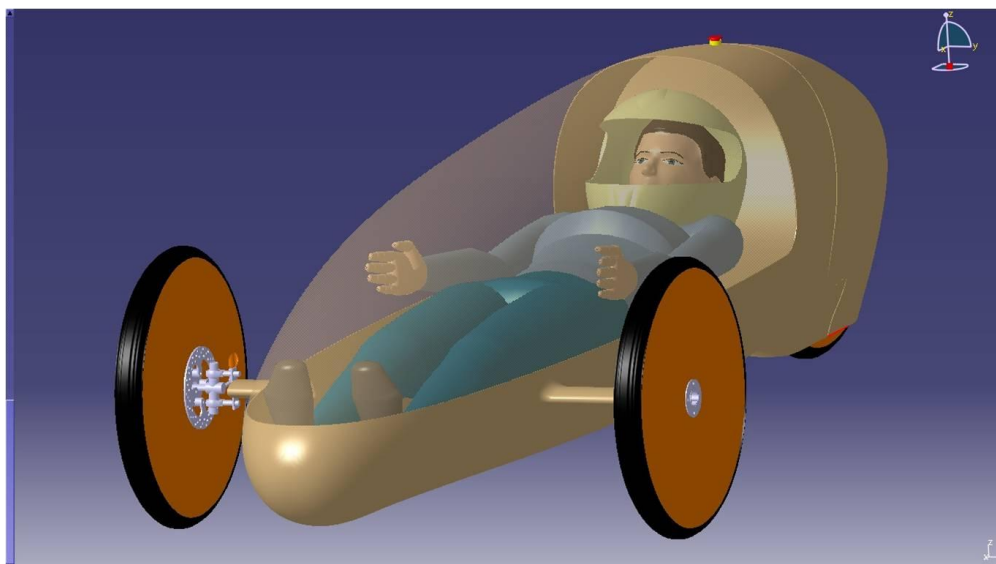
Zespół Smart Power powstał w październiku 2011 i przystąpił do prac projektowych współbieżnie. Współbieżna realizacja prac była możliwa dzięki zastosowaniu metod modelowania zjawisk i obiektów w tym między innymi:

- Modelowanie geometryczne bolidu wyścigowego z zastosowaniem systemów CATIA i Inventor.
- Modelowanie ergonomiczne z zastosowaniem systemu CATIA
- Modelowanie zjawisk aerodynamicznych z zastosowaniem środowiska ANSYS
- Modelowanie zjawisk wyężenia konstrukcji z zastosowaniem systemów NASTRAN i Hyperworks
- Modelowanie zjawisk zachodzących w trakcie ruchu bolidu na torze w Rotterdamie oraz strategii wyścigu i sposobu sterowania pojazdem z zastosowaniem środowiska Matlab-Simulink

Wyniki poszczególnych działań były stosowane jako dane cząstkowe do innych metod modelowania już w trakcie procesu projektowego i weryfikacji konstrukcji oraz planowania wyścigu. Synergiczny efekt sprzężonych i współbieżnie stosowanych metod modelowania oraz opracowanych modeli pozwolił w tak niezwykle krótkim czasie (6 miesięcy) na zaprojektowanie, zweryfikowanie, wytworzenie i przebadanie bolidu zdolnego zająć 10 miejsce w światowych zawodach. Poniżej przedstawiono opisy metod modelowania stosowanych w trakcie projektu.

2. MODELOWANIE ERGONOMICZNE

Projekt i konstrukcja bolidu „MuSHELLka” powstawała w zaawansowanym programie graficznym CAD CATIA V5, od samego początku pracy wykorzystywano model kierowcy celem najlepszego dopasowania przestrzeni kierowcy, sprawdzenia widoczność w lusterkach, dostępu do kierownicy i hamulców, a także biorąc pod uwagę komfort i bezpieczeństwo. W tym celu jeszcze przed rozpoczęciem modelowania pojazdu dokonano pomiarów kierowców zespołu i wygenerowano model geometryczny fantoma odpowiadający cechom antropometrycznym kierowców. W samochodach wyścigowych waga kierowcy jest bardzo istotna dlatego kierowcy zespołu ważą niewiele ponad 50 kg. Na rysunku 1 zaprezentowano końcowy model pojazdu z widocznym modelem kierowcy.



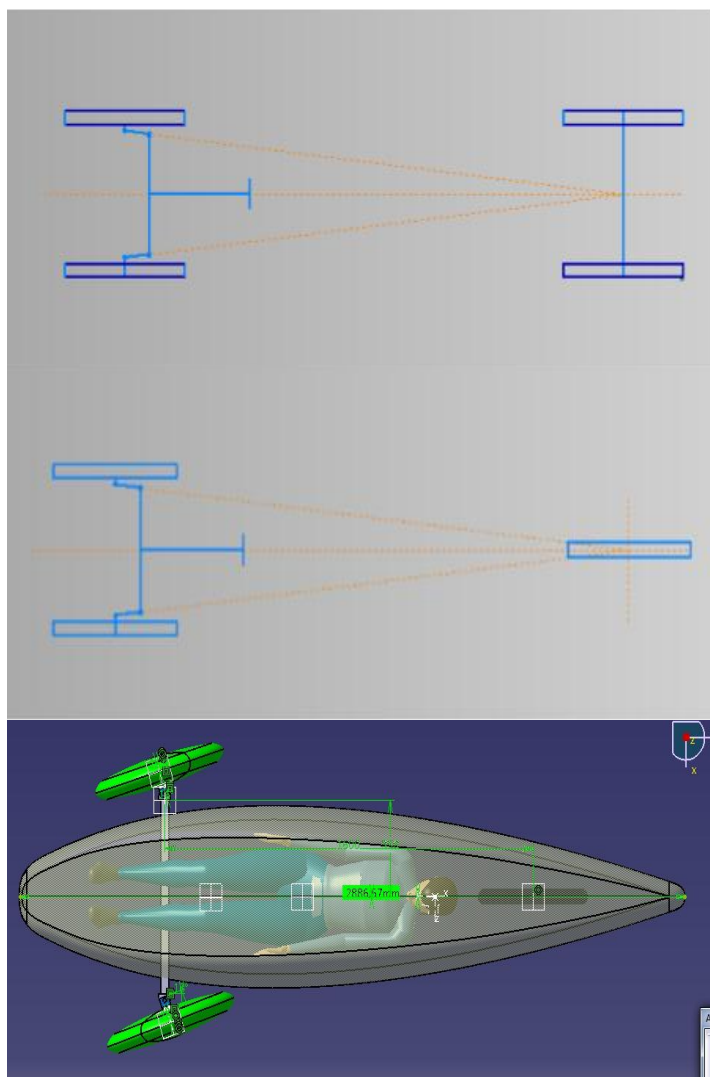
Rys.1 Wirtualny model bolidu MuSHELLka w programie CATIA V5

3. WIRTUALNE PROTOTYPOWANIE

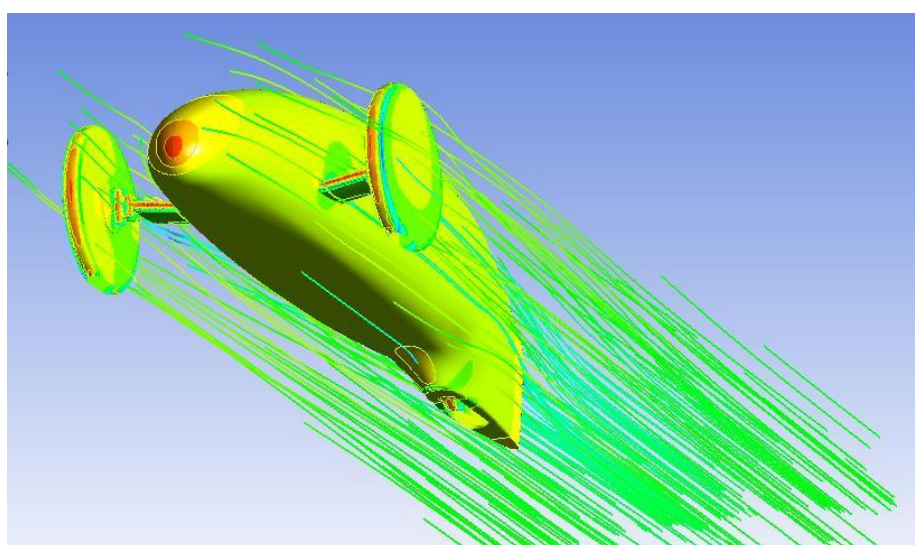
Na etapie projektowania sprawdzano wiele czynników mających wpływ na przyszłe parametry pojazdu, np. liczba kół mająca wpływ na stateczność. Regulamin zawodów dopuszcza aby samochody w klasie prototyp posiadały trzy lub cztery koła. Na rysunku 2 przedstawiono analizowane warianty pojazdu. Poza liczbą, analizowano rozstaw kół, rozstaw osi, stateczność oraz promień skrzętu którego kąt określa regulamin wyścigów. Metody wirtualnego prototypowania były także zastosowane do weryfikacji układu kierowniczego.

4. MODELOWANIE ZJAWISK AERODYNAMICZNYCH

Podczas kształtowania poszycia, każdą zmianę analizowano pod względem jej wpływu na opory aerodynamiczne [3]. Kolejne wersje poszycia uwzględniające zmiany kształtu wynikające z dopasowania do kierowcy, planowanej liczby kół, uwzględniające zmiany rozmieszczenia podzespołów były analizowane na bieżąco pod kątem cech aerodynamicznych. Obliczenia komputerowej mechaniki płynów wykonywano w środowisku Ansys, analizowano kształt całej bryły, kształt przedniej belki nośnej, opory wywołane liczbą szprych i kształtem owiewek, ostatecznie zdecydowano się że bolid będzie posiadał przednie koła bez owiewek i będzie posiadał dyski osłaniające szprychy klasycznego koła. Na rysunku 3 przedstawiono rzut ekranu ze środowiska Ansys.



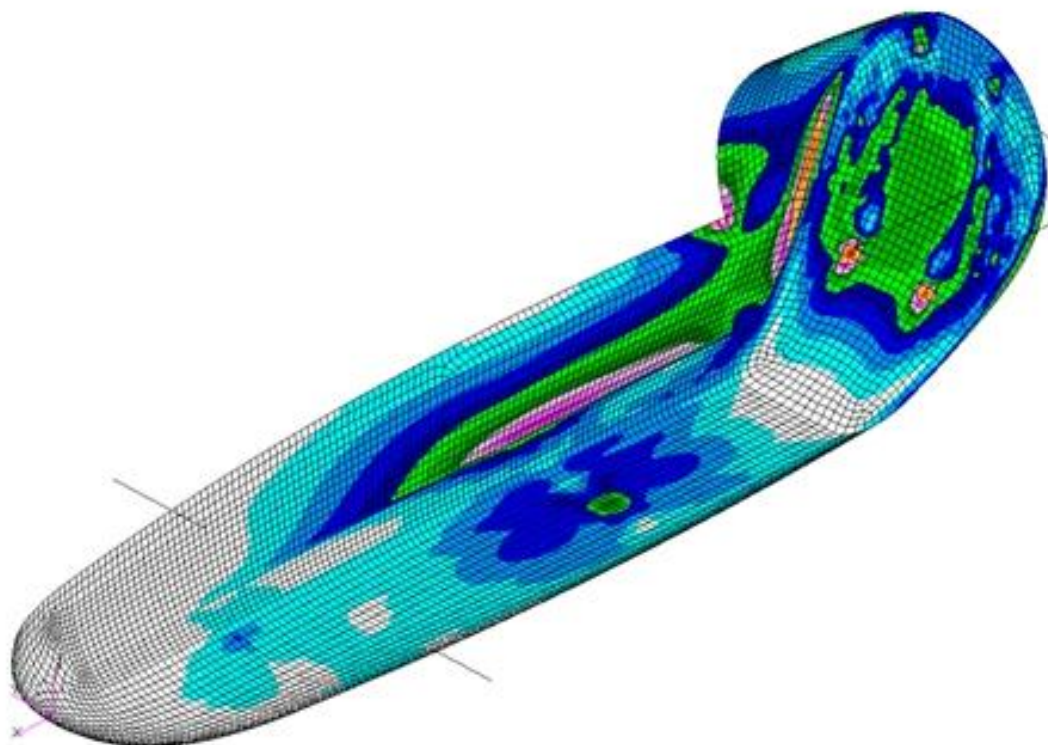
Rys. 2 Analiza rozmieszczenia kół



Rys. 3 Symulacja przepływu w programie Ansys [3]

5. MODELOWANIE ZJAWISK WYŁĘŻENIA KONSTRUKCJI

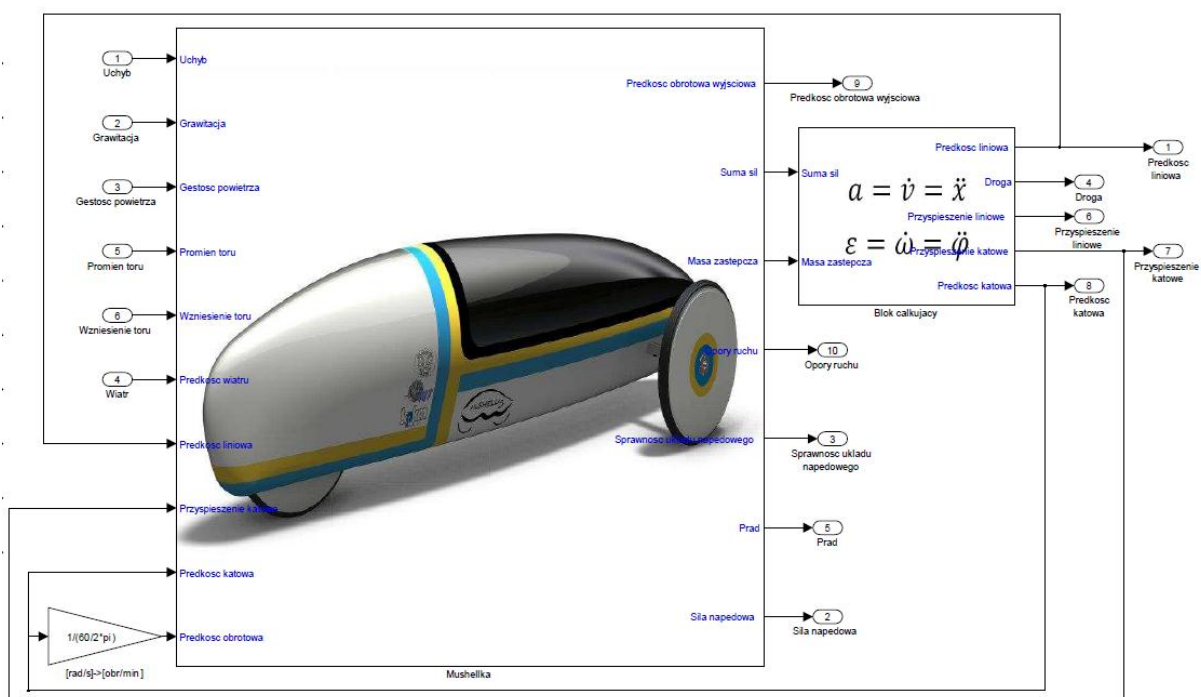
Minimalizacja masy była podobnie jak minimalizacja oporów aerodynamicznych jednym z głównych zadań projektantów. Dla zmniejszenia masy zastosowano iteracyjne obliczenia kolejnych wersji konstrukcji. Obliczenia te pozwoliły też dobrać prawidłową strukturę konstrukcji kompozytowego kadłuba [4, 5, 6]. Obliczenia prowadzono z zastosowaniem metody elementów skończonych. W obliczeniach weryfikowano cechy wytrzymałościowe kadłuba dla różnych struktur materiału kompozytowego. Analizowano różną liczbę warstw różnych materiałów wzmocnień oraz rozmieszczenie i kształt żeber i elementów sandwichowych. Ze względu na lekkość konstrukcji i niską sztywność zwrócono także uwagę na odkształcenia konstrukcji w trakcie normalnych stanów eksploatacyjnych. Dzięki zaawansowanym analizom udało się osiągnąć imponującą wagę całego bolidu na poziomie 23 kg. Okazało się że pojazd MuSHELLka był najlżejszym pojazdem na Shell Eco-marathonie w 2012 roku. Na rysunku 4 przedstawiono symulację i wyniki wyłężenia konstrukcji podczas wchodzenia do bolidu kierowcy. Okazało się, że ten stan jest jednym z krytycznych stanów pracy. Punktowe obciążenie całym ciężarem kierowcy powoduje znaczne odkształcenia konstrukcji.



Rys. 4 Rozkład naprężeń podczas wchodzenia kierowcy do pojazdu [4]

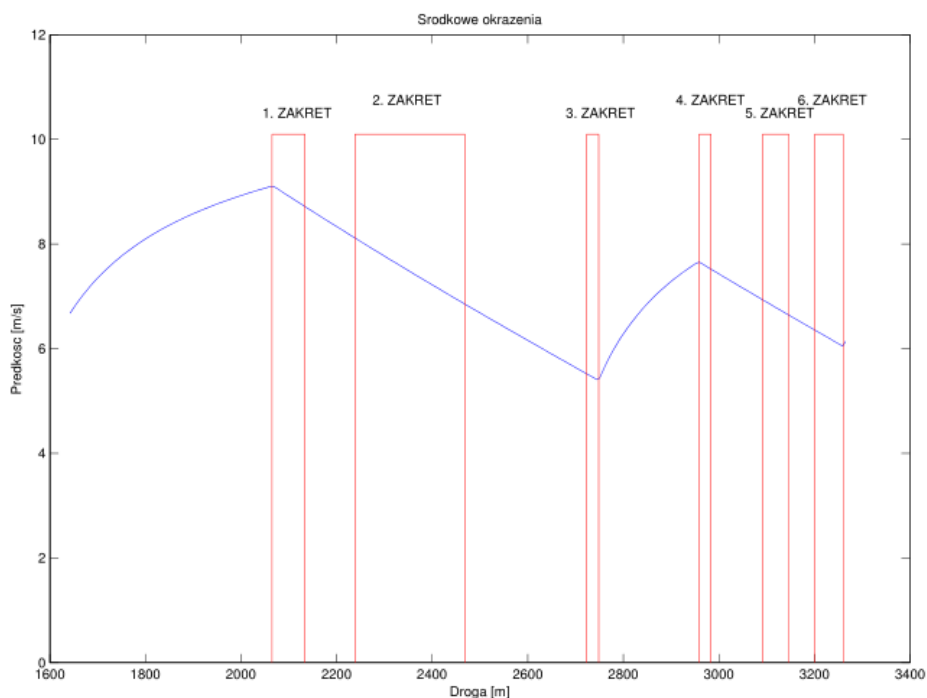
6. MODELOWANIE DYNAMIKI RUCHU POJAZDU NA TORZE WYŚCIGOWYM

Cechy wyznaczone w wirtualnych środowiskach posłużyły do budowy modelu symulacyjnego [7, 8] w środowisku Matlab-Simulink. Model ten był budowany i rozwijany od samego początku prac projektowych. Pozwalał ona na każdym etapie symulować wyścig i określić wpływ analizowanych aktualnie cech na ostateczny wynik wyścigu. Modele poszczególnych zjawisk jak i parametry modelu w cały czas rozwijanym modelu symulacyjnym są adekwatne do aktualnego stanu rozwoju badań konstrukcji. Dodatkowo model symulacyjny umożliwia dla aktualnych parametrów pojazdu w trakcie wyścigu.



Rys. 5 Model symulacyjny w programie Matlab-Simulink

Obliczenia optymalizacyjne wykonane z zastosowaniem różnych algorytmów sztucznej inteligencji min algorytmów genetycznych zintegrowane do modelu umożliwiły opracowanie strategii poprawiającej wynik pojazdu o tych samych parametrach o kilkadziesiąt procent. w stosunku do intuicyjnej strategii zaproponowanej na początku. Aktualnie po wyścigu model symulacyjny jest narzędziem pozwalającym świadomie wybrać kierunki rozwoju konstrukcji. Docelowo model ten będzie zastosowany do automatycznego sterowania parametrami jazdy pojazdu . W perspektywie dwóch lat planowane jest opracowanie układu pełnej autonomii jazdy bolidu na bazie tego modelu. W takim rozwiązaniu bolid będzie poruszał się w pełni autonomicznie a kierowca wyścigowy będzie pełnił rolę asystenta i zabezpieczenia w niespodziewanych przypadkach.



Rys. 6 Wyznaczona strategia jazdy

7. UKŁAD NAPĘDOWY I UKŁAD TELEMETRII

Układ napędowy stanowił wysokosprawny silnik BLDC o mocy 530 W oraz przekładnia pasowa przekazująca moment na tylne koło pojazdu. Zasilanie bolidu stanowi zestaw akumulatorów litowych. Dla silnika został zaprojektowany prototypowy sterownik którego wszystkie podzespoły wykonane zostały celem podwyższenia sprawności i optymalnego sterowania. Bolid został wyposażony w układ akwizycji danych pomiarowych i diagnostycznych który umożliwia prace w trybie off line i wszystkie dane zbierane są na kartę micro SD lub w trybie on line i wtedy z pomocą układu telemetryi opartej na technologii GSM dane przekazywane są do serwera centralnego [9]. Układ akwizycji i telemetryi pozwala śledzić takie dane jak: prędkości silnika i bolidu, natężenie prądu, napięcie na akumulatorach, moc chwilową, temperaturę. Układ zaprojektowany jest w sposób umożliwiający modułową rozbudowę o dodatkowe czujniki np. pomiar prędkości wiatru itp. Moduł pomiarowy przekazuje kierowcy potrzebne informacje. Na wyświetlaczu umieszczonym na kierownicy, wyświetlany jest czas ostatniego okrążenia, czas przejazdu, prędkość chwilowa oraz odmierzanym jest czas do zakończenia wyścigów. Możliwe jest także przekazywanie danych z serwera centralnego i stanowiska strategów do bolidu i kierowcy. Dotychczas jednak ta możliwość nie była wykorzystywana. Moduł analizy danych z telemetryi pozwala na oglądanie danych on-line, wyliczanie czasu kolejnych okrążeń, przewidywanie zużycia energii itp. Zespół opracował specjalną aplikację dostępną na smartphonach i tabletach BlackBerry. Aplikacja ta pozwala na wizualizację w czasie rzeczywistym aktualnych parametrów i pozycji jazdy bolidu.



Rys. 7 MuSHELLka podczas Shell Eco marathon w Rotterdamie

8. PODSUMOWANIE

Zazwyczaj stosuje się wybiórczo różne zaawansowane metody modelowania w trakcie rozwoju konstrukcji. Opracowanie innowacyjnej konstrukcji w bardzo krótkim czasie wymusza zastosowanie metod projektowania współbieżnego. Właściwe zaplanowanie i powiązanie efektów tych nowoczesnych metod modelowania w projektowaniu współbieżnym ma znaczny wpływ na ostateczny wynik projektowania. W przypadku pojazdu MuSHELLka i projektu Smart Power zaplanowano od początku rozwoju konstrukcji, że model symulacyjny pojazdu będzie pełnił rolę integrującą i sterującą całym procesem projektowania. Dotychczas konstruktorzy poszczególnych układów nie mogli świadomie określić na wczesnych etapach projektowania jaki jest wpływ danego rozwiązania na ostateczny wynik wyścigu. Dzięki modelowi symulacyjnemu na każdym etapie możliwe jest ocenienie alternatywnych rozwiązań i określenie, które z nich da lepszy wynik na wyścigu. W trakcie kolejnych analiz model uzupełniano o kolejne parametry a do opisu zjawisk stosowano różne metody. Bieżące powiązanie metod modelowania dało niezwykle efektywny efekt synergiczny bez którego nie było by możliwe zaprojektowanie i wykonanie innowacyjnego pojazdu w tak krótkim czasie (6 miesięcy). Należy dodać, że uzyskany wynik (425,3km/kWh) został potwierdzony w modelu symulacyjnym (460 km/kWh) a odstępstwo można tłumaczyć koniecznością dostosowania jazdy do aktualnego stanu na torze (uwzględnieniu innych uczestników wyścigu) zakłócających przebieg wyścigu.

Dotychczasowe korzyści z zastosowania modelu symulacyjnego pozwalają na rozwinięcie jego zastosowania w kierunku sterowania autonomią jazdy.

LITERATURA

1. Strona internetowa: Strona Koła Naukowego Modelowania Konstrukcji Maszyn www.mkm.polsl.pl (2012.11)
2. Strona internetowa: Shell Eco-marathon Europe (2012.11)
3. Krawczyk D. Kuś W.: Analiza aerodynamiczna pojazdu. Studencka Konferencja Naukowa „Metody Komputerowe – 2012”, Gliwice, s. 41-44.
4. Holewik F., Beluch W., Katunin A., Dobór struktury kompozytu oraz analiza wytrzymałościowa poszycia bolidu wyścigowego, Studencka Konferencja Naukowa „Metody Komputerowe – 2012”, Gliwice, s. 21-24.
5. Zadorożny T., Żymelka S., Holewik F., Katunin A., Optymalny dobór materiałów przy budowie ultralekkiego pojazdu wyścigowego, Modelowanie Inżynierskie 12(43), 2012, 265-272.
6. Zadorożny T., Kokot G.: Analiza numeryczna felgi wykonanej z kompozytu polimerowego Studencka Konferencja Naukowa „Metody Komputerowe – 2012”, Gliwice, s. 85-88.
7. Skarka W.: Metodyka określania wpływu cech aerodynamicznych kadłuba kompozytowego na wyniki sportowe IX konferencja ogólnopolska Problemy Naukowo-techniczne w wyczynowym sporcie żeglarskim Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych IPBM s.107-108
8. Targosz M. Skarka W. Innovative design of battery powered race car 16. Internationales Dresdner Leichtbausymposium. Erfolgsfaktor Systemleichtbau im globalen Wettbewerb - Internationalisierung der Vernetzung von Leichtbau-Kompetenzclustern, Dresden, 14. - 15. Juni 2012. Technische Universität Dresden. Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik. , 2012, poster
9. Sternal K. Cholewa A. Skarka W. Targosz M. Electric vehicle for the students' Shell Eco-marathon competition. Design of the car and telemetry system., Communications in Computer and Information Science, Telematic in the Transport Environment, Springer, Berlin, 2012, vol. 329 s. 26-33