

Mgr inż. Mateusz Działowy,
Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn
e-mail: mdzialowy@gmail.com

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

WIRTUALNE PROTOTYPOWANIE UKŁADU KIEROWNICZEGO BOLIDU MUSHHELLKA

Streszczenie: Skonstruowanie układu kierowniczego w tak specyficznym pojeździe wyścigowym wymagało opracowania i porównania wielu koncepcji układu. Krótkie terminy na opracowanie i zbudowanie bolidu wymagały szybkiego zweryfikowania działania tych wielu koncepcji układu kierowniczego. Z powodzeniem do tego celu zastosowano metody wirtualnego prototypowania. Warunkiem koniecznym zastosowania tych metod było zastosowanie do celów zapisu konstrukcji i wirtualnego prototypowania tego samego zaawansowanego systemu CAD. Efektem tych działań było wybranie do zastosowania układu kierowniczego spełniającego wyśrubowane wymagania: wytrzymałościowe, ergonomiczne, masowe, ekonomiczne i technologiczne.

Słowa kluczowe: Układ kierowniczy, wirtualne prototypowanie, bolid MuShellka, Shell Eco-marathon.

VIRTUAL PROTOTYPING OF STEERING SYSTEM OF RACE CAR MUSHHELLKA

Abstract: On the one hand constructing a steering system in so specific race car required elaboration and comparison of many concepts of the system, and on the other hand short terms for elaboration and construction of a race car demanded fast verification of operation of those concepts of steering systems. The methods of virtual prototyping have been successfully used for that purpose. The prerequisite for the use of these methods was the use of the same advanced CAD system (CATIA V5) for construction record and virtual prototyping. As the result the steering system which would meet the strict requirements of durability, ergonomics, mass, economic and technological has been chosen.

Keywords: Steering System, Virtual Prototyping, MuShellka, Shell Eco-marathon.

1. WPROWADZENIE

MuShellka [7, 4] jest jednomiejscowym pojazdem elektrycznym, którego zadaniem jest pokonanie 10 okrążeń toru (16,3 km) w czasie mniejszym niż 39 minut używając przy tym możliwie najmniejszą ilość energii, która jest mierzona za pomocą dżulometru. Następnie na podstawie zużycia energii komisja wylicza ile pojazd pokonałby kilometrów na 1 kWh energii.



Rys. 1. Bolid MuShellka

Historia zawodów Shell Eco-marathon [8] sięga 1939 roku, kiedy to dwóch naukowców pracujących w centrum rozwojowym Shella w Wood River (Illinois, USA) założyło się między sobą, który z nich pokona większą odległość na tej samej ilości benzyny. Od tamtej pory wraz z biegiem czasu zaczęto konkurować nie tylko w Ameryce, ale również w Europie i Azji. Ponadto powstało wiele kategorii, w których przebiega konkurencja. Pierwszy podział klasyfikuje pojazdy ze względu na klasę: Prototype, czyli bolidy prototypowe – jednomiejscowe i zdecydowanie mniejsze niż pojazdy Urban Concept, które bardziej przypominają małe samochody miejskie, które już możemy spotkać na ulicach. Drugi podział związany jest z rodzajem napędu zastosowanym w pojeździe: m. in. benzynowym, elektrycznym, wodorowym.

Biorąc pod uwagę światowe tendencje rozwojowe mające na celu przygotowanie cywilizacji do ciągłego zmniejszania zużycia surowców ropopochodnych oraz doświadczenia nabyte w innych projektach mających na celu budowę pojazdów ekologicznych zespół Koła Naukowego Modelowania Konstrukcji Maszyn [7] zdecydował się na start w kategorii Prototype z napędem elektrycznym.

2. WIRTUALNE PROTOTYPOWANIE UKŁADU KIEROWNICZEGO

Układ kierowniczy jest zespołem mechanizmu kierowniczego i zwrotniczego mającym na celu zapewnienie utrzymania kierunku jazdy na wprost oraz zmianę kierunku jazdy zgodną z wolą kierowcy [1, 5, 6].

Projektowanie układu kierowniczego bolidu MuShellka rozpoczęło się od „burzy mózgów”, podczas której zdecydowano się na zastosowanie koncepcji trójkołowej, z konfiguracją dwóch kół skrętnych z przodu oraz tylnego koła napędzanego silnikiem elektrycznym. W kolejnym etapie po zdefiniowaniu wszystkich założeń koncepcyjnych studenci koła wyznaczyli rozstaw osi oraz rozstaw przednich kół. Kluczowym aspektem było bezpieczeństwo kierowcy [2, 3], któremu chcieliśmy zapewnić dużą stabilność pojazdu głównie w czasie pokonywania szybkich zakrętów. Jak się później okazało, w miejscach, gdzie nasi konkurenci tracili kontrolę nad pojazdem i zaliczali często wywrotki nasz bolid zapewniał pewną kontrolę i poczucie bezpieczeństwa kierowcy, który mógł skupić się tylko na jeździe.

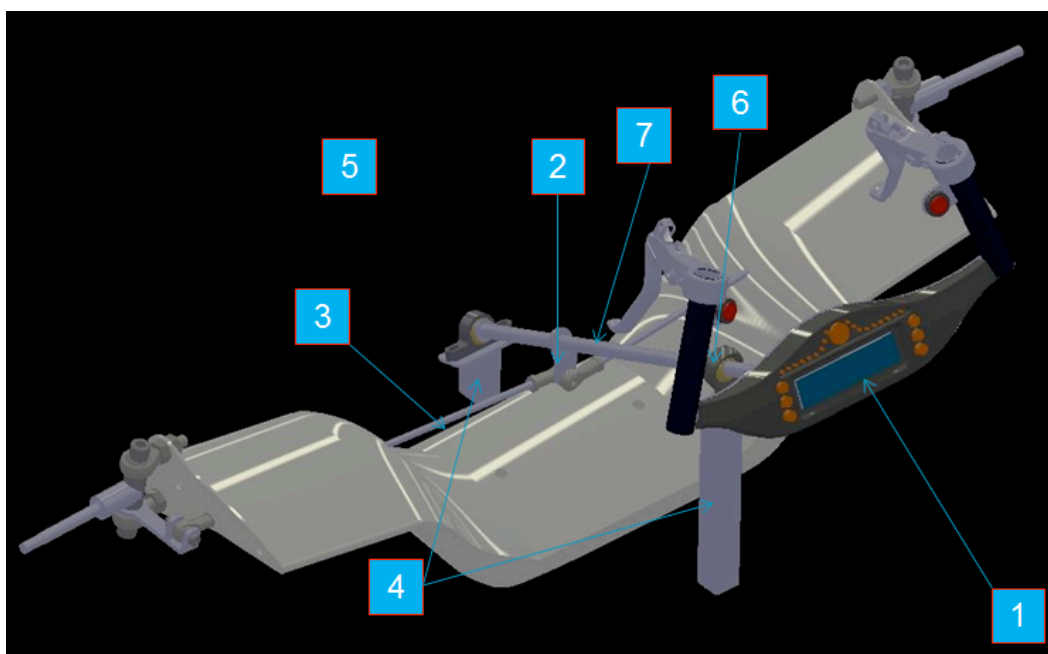
Na wstępnym etapie dokonywano obliczeń parametrów układu kierowniczego za pomocą arkusza kalkulacyjnego (Rys. 2). Później weryfikowano te wyniki metodami wirtualnego prototypowania.

OBLICZANIE KĄTÓW ACKERMANA			
Wprowadź DANE:			
Szerokość pojazdu	w =	0,91	m
Długość pojazdu	l =	1,6	m
Zależność	w / l =	0,569	(* * *)
Teoretyczny promień skrętu	R _i =	7,5	m
WYNIKI:			
Kąt skrętu koła wewnętrznego	δ _i =	12,80	deg
Kąt skrętu koła zewnętrznego	δ _o =	11,37	deg
arc tan δ _i =	4,403	(*)	
arc tan δ _o =	4,972	(* *)	
Warunek Ackermana			
(* *) - (*) =	(* * *)		
0,569	0,569	Warunek spełniony	
Błąd	0,00%	Wprowadzanie danych	Wyniki

Rys. 2. Arkusz kalkulacyjny do obliczeń parametrów układu kierowniczego bolidu MuShellka

Równoległe do działań projektowo-konstrukcyjnych prowadzono szczegółową weryfikację kolejnych koncepcji oraz parametrów tych koncepcji w celu sprawdzenia poprawności działania układu jak i spełnienia rygorystycznych wymagań regulaminowych. Weryfikacji dokonywano metodami wirtualnego prototypowania gdyż zapisu konstrukcji dokonywano bezpośrednio w systemie CATIA V5. Zbudowane do celów zapisu konstrukcji modele z powodzeniem zastosowano w metodach wirtualnego prototypowania

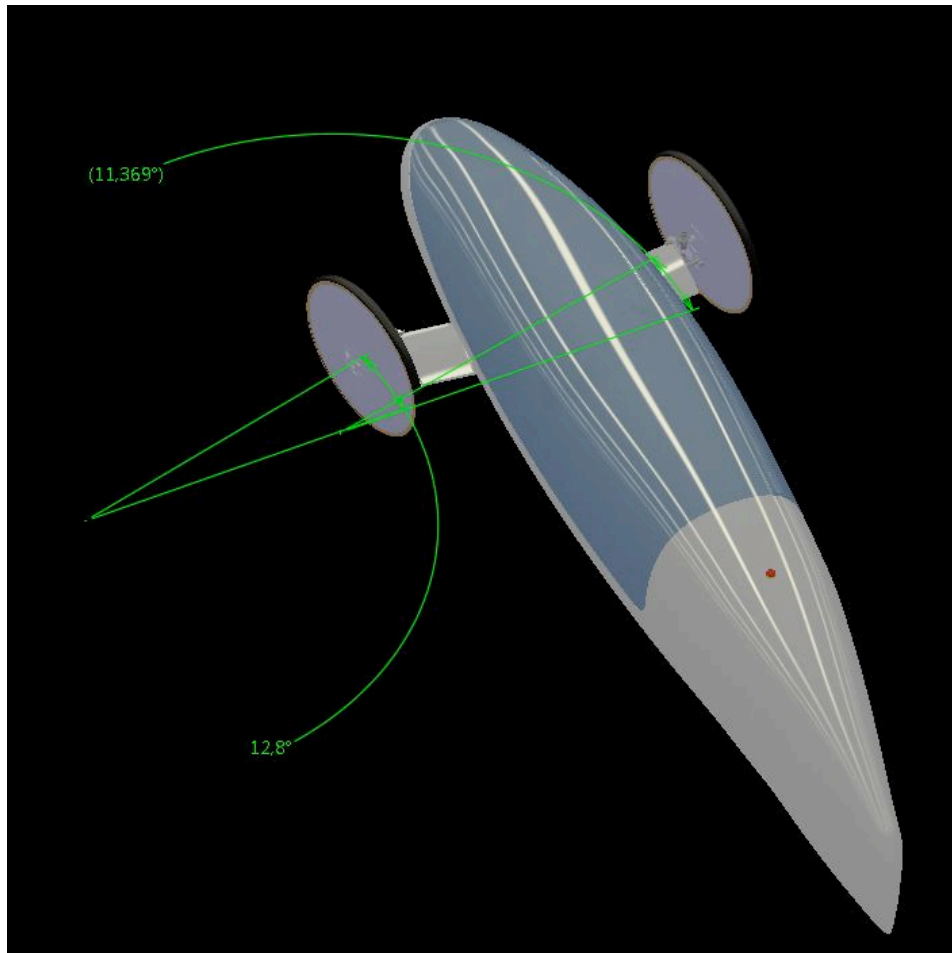
Przygotowano i zbadano kilka koncepcji realizacji skrętu kół. Brano pod uwagę m. in. zespoły drążków położone po obu stronach na wysokości bioder kierowcy oraz klasyczny układ kierowniczy. Ostatecznie zdecydowano się na zastosowanie klasycznego układu skrętnego opartego o kolumnę kierownicy usytuowaną w osi symetrii kadłuba oraz zespół popychaczy i zwrotnic, które realizują skręt kół [1, 6].



Rys. 3. Układ kierowniczy bolidu MuShellka

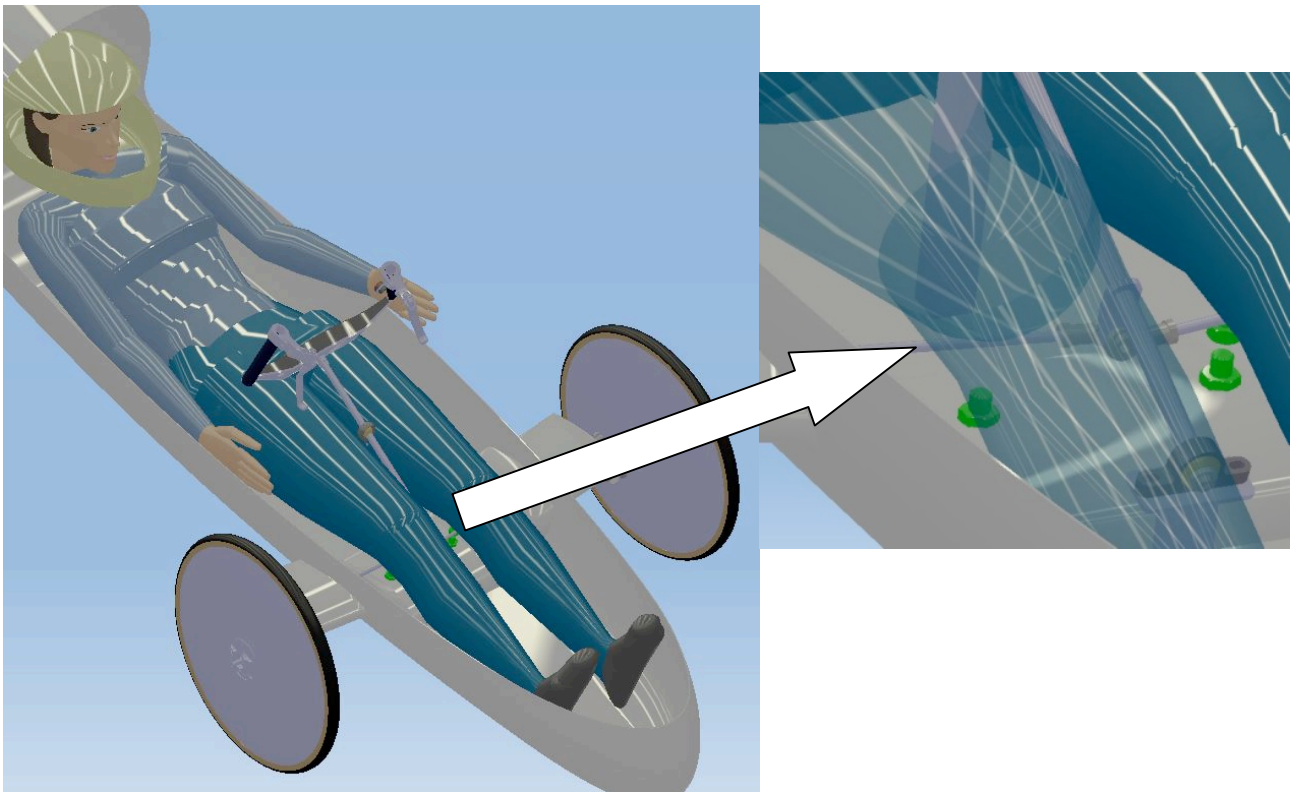
Przedstawiony na rys. 3. układ kierowniczy składa się z wielofunkcyjnej kierownicy (1), kolumny kierowniczej (7) podpartej na dwóch polimerowych łożyskach (stojakowym (5) oraz przegubowym (6)) usytuowanych na wspornikach układu kierowniczego (4). Ramię Pitmana (2) pozwoliło na regulację przełożenia układu kierowniczego. Mechanizm kierowniczy połączony jest z mechanizmem zwrotniczym popychaczami, które wymuszają obrót zwrotnic wokół osi sworznia zwrotnicy (oznaczony numerem 2 na rysunku 6)

Dzięki możliwościom systemu CATIA V5 można było sprawdzić, czy uzyskana zależność kinematyczna między kątami skrętu kół jest zgodna z zależnościami teoretycznymi. Dla rozstawu osi 1,6 m oraz rozstawu kół 0,91 m (przy założeniu teoretycznego promienia skrętu wynoszącego 7,5 m) kąt skrętu koła wewnętrznego powinien wynieść $12,8^\circ$, natomiast kąt skrętu koła zewnętrznego powinien być równy $11,37^\circ$.

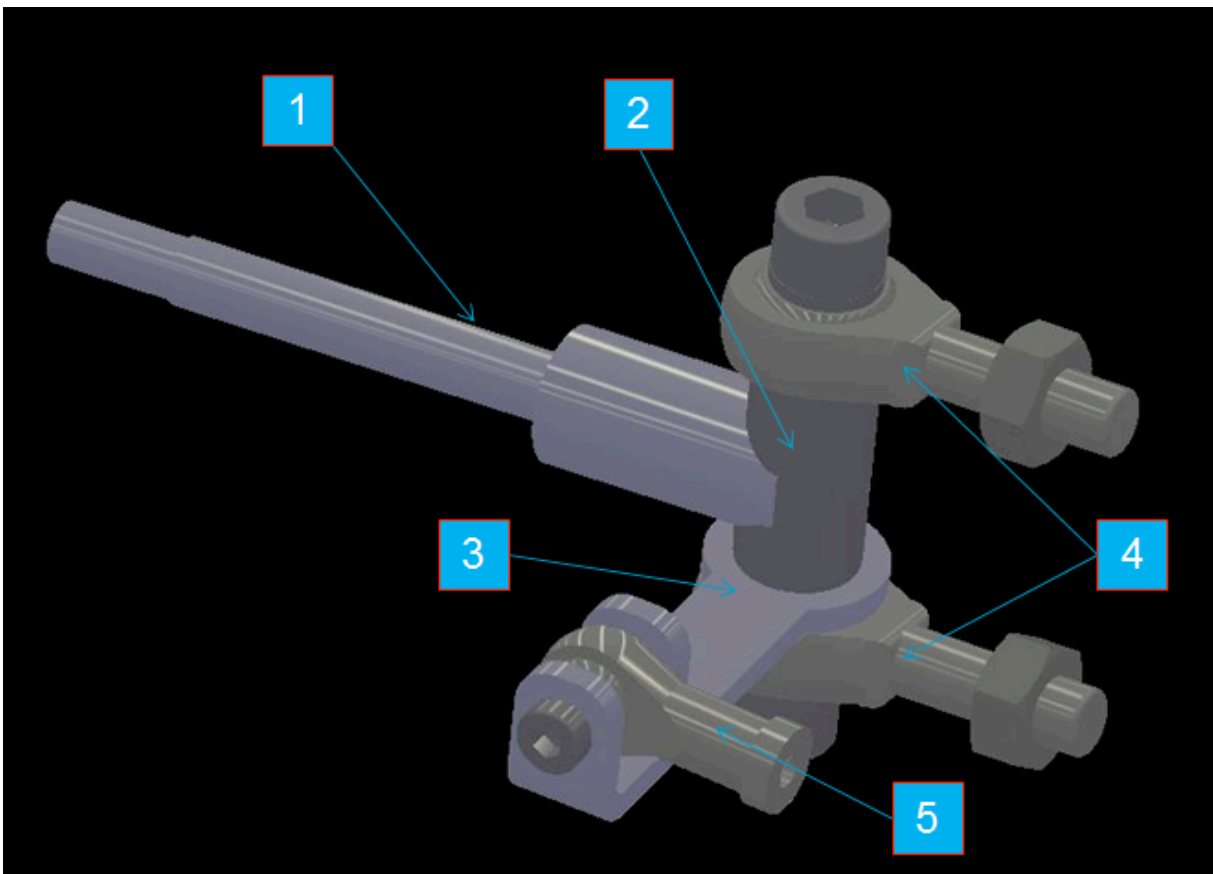


Rys. 4. Uzyskane wartości skrętu kół bolidu MuShellka

Dodatkowo, bardzo pomocne było umieszczenie manekina (który gabarytami odpowiadał naszym kierowcom) oraz dostosowanie położenia popychaczy w taki sposób, aby nie powodowały dyskomfortu kierowcy związanego z nienaturalnym położeniem nóg w trakcie jazdy. Manekina odzwierciedlającego wymiary kierowcy zbudowano w oparciu o pomiary kierowców, którzy mieli startować w wyścigu.



Rys. 5. Dostosowanie prowadzenia popychaczy minimalizujące kolizje z nogami kierowcy



Rys. 6. Mechanizm zwrotnicy bolidu MuShellka

Mocowanie zwrotnic do belki kompozytowej za pomocą łożysk przegubowych pozwala na ustawienie założonych kątów charakterystycznych dla mechanizmu zwrotniczego, tj. kąta wyprzedzenia osi sworznia zwrotnicy ($\tau=4,65^\circ$) oraz kąta pochylenia sworznia zwrotnicy ($\sigma=4^\circ$). Kąt pochylenia koła ($\varepsilon=0^\circ$) został uzyskany po zniwelowaniu kąta pochylenia sworznia zwrotnicy, tj. zmianie kąta między osią zwrotnicy (1), a sworzniem zwrotnicy (2). Wspomniane wcześniej przełożenie układu zwrotniczego wynika wprost ze stosunku odległości od osi obrotu kolumny kierownicy do osi mocowania popychaczy w ramieniu Pitmana oraz odległości osi obrotu sworznia zwrotnicy do miejsca mocowania popychaczy w ramieniu zwrotnicy (5).

3. WNIOSKI ORAZ KIERUNKI DALSZEGO ROZWOJU

Wirtualne prototypowanie układu kierowniczego umożliwiło przeanalizowanie i porównanie kilku koncepcji nie tylko z teoretycznych wyliczeń ale w wirtualnym działaniu tych układów. Łatwość wyznaczenia wynikowych cech geometrycznych (pomiarów) we wszystkich stanach pracy układu umożliwiła porównanie odstępstw od teoretycznych, wyznaczonych w trakcie obliczeń wartości parametrów układu. Zbudowanie modelu kierowcy umożliwiło zbadanie wygody pozycji pracy kierowcy i dostosowanie położenia kierownicy i popychaczy układu kierowniczego. Badanie metodami wirtualnego prototypowania okazało się dużo mniej pracochłonne niż późniejsze badanie układu kierowniczego w praktyce.

Uzyskanie idealnych wymiarów było uwarunkowane dokładnym wytworzeniem elementów układu kierowniczego oraz kadłuba pojazdu. Brak baz montażowych w nadwoziu utrudnił zainstalowanie układu kierowniczego. Wiotki układ kierowniczy oraz kadłub pojazdu oraz specyficzne zawieszenie pojazdu powodował odkształcenia sprężyste układu w trakcie jazdy. Wady te wynikają ze specyficznych cech bolidu i są trudne do wyeliminowania bez pogorszenia osiągnięć pojazdu.

W kolejnych latach członkowie SKN MKM będą rozwijali układ kierowniczy, aby różnice między realnymi własnościami nie odbiegały znacząco od teoretycznych. Przebudowie będzie podlegał układ hamulcowy a obecne koła zostaną zamienione kołami zupełnie innego typu. Nadrzędnym celem jest minimalizacja masy układu przy zwiększeniu jego sztywności. Rozważane jest zastąpienie mechanicznego popychaczowego układu kierowniczego układem kierowniczym opartym na serwonapędach. Prototyp takiego układu został już zbudowany.

4. LITERATURA

- [1] Gabryelewicz M.: Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych. Część 2. Układ hamulcowy i kierowniczy, zawieszenie. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2011.
- [2] Skarka W., Otrębska M., Zamorski P.: Simulation of dangerous operation incidents in designing advanced driver assistance systems, XII International Technical Systems Degradation Conference: Liptowský Mikuláš, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warsaw 2013.
- [3] 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.
- [4] 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).
- [5] Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2011.
 - [6] Reński A.: Budowa samochodów. Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2004
 - [7] Strona Studenckiego Koła Naukowego Modelowania Konstrukcji Maszyn (listopad 2013) - www.mkm.polsl.pl.
 - [8] Shell Eco-marathon (listopad 2013) - <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon.html>.