

Andrzej Pawlak, dr inż. Damian Derlukiewicz, dr hab. inż. Andrzej Kaźmierczak

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

Tel.: 602606380, e-mail: pawlak@racing.pwr.wroc.pl

Bolid RT01 z Politechniki Wrocławskiej wystartował na Silverstone oraz Hockenheim, zdobywając uznanie sędziów.

Streszczenie

W roku 2010 25-ciu studentów z Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej zbudowało pierwszy bolid na międzynarodowe zawody Formula Student. W Projekcie wykorzystane zostały zaawansowane systemy wspomagające projektowanie oraz technologie wspierające rozwój produktu i wytwarzania prototypów.



Rys. 1 Bolid RT01, konstrukcji studentów Politechniki Wrocławskiej.

Abstract

In 2010, 25 students from Mechanical Engineering Faculty of Wrocław University of Technology, built a first race car for an International Formula Student competition. During project works were used advanced Computer Aided Design systems and technologies for product development and prototypes manufacturing.

Formula Student to międzynarodowy, najbardziej prestiżowy projekt studencki na świecie. Prowadzony jest przez Institution of Mechanical Engineers (IMechE) oraz Society of Automotive Engineers (SAE) we współpracy z firmami branży motoryzacyjnej. Promuje karierę i dążenie do doskonałości w zakresie inżynierii młodych konstruktorów przy projektowaniu jednoosobowego wyścigowego bolidu. Ponad sto uczelni z całego świata współzawodniczy w zakresie projektowania, budowania, marketingu i zarządzania.

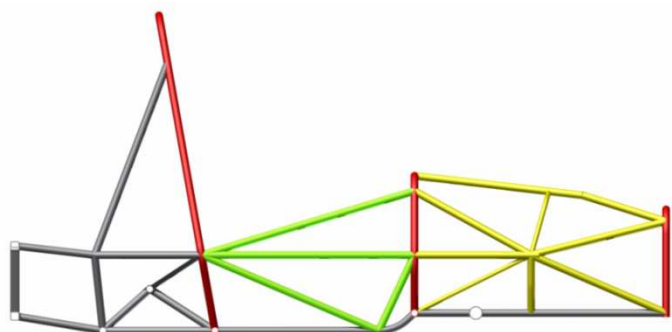
PWR Racing Team jest pierwszym zespołem Formula Student w Polsce. Zespół działa pod patronatem Politechniki Wrocławskiej, jako projekt studencki Wydziału Mechanicznego, współfinansowany przez Prorektorów PWR: Zbigniewa Srokę i Eugeniusza Rusińskiego oraz Dziekana Wydziału Mechanicznego Edwarda Chlebusa. Jako organizacja non-profit gromadzi wokół siebie wyłącznie ludzi silnie

zmotywowanych i zorientowanych na cel – zbudowanie auta wyścigowego i start w prestiżowych międzynarodowych zawodach Formula SAE.

Projekt RT01 (Rys. 1) to pierwszy bolid Formula Student na Politechnice Wrocławskiej. W 85% został zaprojektowany przez studentów. Jedynymi podzespołami zakupowymi są silnik oraz dyferencjał. Układ zasilania silnika oraz układ wydechowy jest już projektem autorskim. Wszystkie podzespoły zostały wykonane przez sponsorów według projektu PWR Racing Team, łącznie z karoserią z laminatu dzieła firmy Astromal.

Charakter zawodów na które budowany jest samochód, ze względu na wymagania stawiane przez szczegółowy regulamin oraz kształt toru: liczne zakręty, szykany oraz krótkie odcinki prostych, wymaga specjalnego podejścia do projektowania.

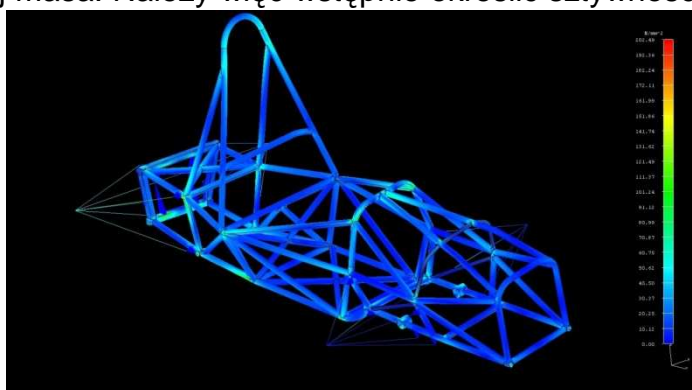
Konstrukcja Bolidu RT01 opiera się na stalowej ramie przestrzennej. Rama ta jest podzespołem łączącym w sobie trzy podstawowe funkcje: zapewnienie



Rys. 2 Konstrukcja ramowa wg regulaminu zawodów Formula Student, czerwonym kolorem zaznaczono obręczę główną, żółtym obszar ochronny nóg kierowcy, oraz zielonym strefę bocznego zgniotu

bezpieczeństwa kierowcy, optymalne rozmieszczenie podzespołów pojazdu oraz zapewnienie odpowiedniej sztywności. Ustrój ten jest projektowany z naciskiem na minimalizację masy. Sztywność skrętna zależy przede wszystkim od użytego materiału, przekroju dobranych profili oraz geometrii samej konstrukcji. Wraz ze sztywnością ramy, rośnie również jej masa. Należy więc wstępnie określić sztywność docelową (waha się ona między 1500 - 2000 Nm/stopień) i próbować osiągnąć ją stosując jak najmniej elementów, jak również odpowiednie lekkie i wytrzymałe materiały. Geometryczny kształt ramy zależy w dużej mierze od regulaminu Formuły Student, a w mniejszym od konstruktora. Regulamin określa kształt i rozmieszczenie podstawowych elementów, jak: główne obręcz, zabezpieczające kierowcę podczas wywrócenia auta, boczną strefę zgniotu oraz obszar ochraniający nogi kierowcy (Rys. 2).

bezpieczeństwa kierowcy, optymalne rozmieszczenie podzespołów pojazdu oraz zapewnienie odpowiedniej sztywności. Ustrój ten jest projektowany z naciskiem na minimalizację masy. Sztywność skrętna zależy przede wszystkim od użytego materiału, przekroju dobranych profili oraz geometrii samej konstrukcji. Wraz ze



Rys. 3 Wyniki analizy MES skręcania osiowego ramy, przy utwierdzeniu tylnej ściany konstrukcji

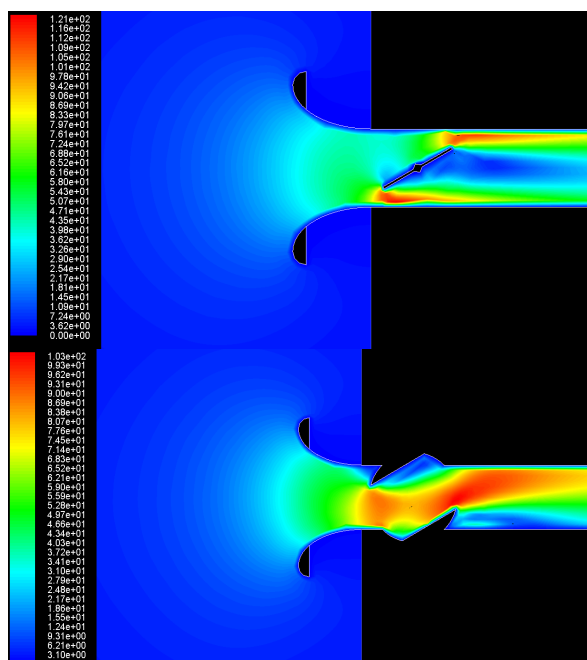
Sztywność skrętna oraz wytrzymałość ramy jest analizowana w systemach CAD(Rys. 3) w oparciu o Metodę Elementów Skończonych (FEM). Rama badana jest dla przypadku hamowania oraz przyspieszania, zachowania w zakręcie oraz obciążeń statycznych wynikające z zamocowanych podzespołów.

Bolid RT01 napędzany jest rzędowym czterocylindrowym, czterosuwowym silnikiem o pojemności 599ccm pochodzącym z motocykla Honda CBR600RR. Wybór silnika podyktowany został podejściem czysto praktycznym, czyli masą, kompaktowością, jak największymi wartościami parametrów wyjściowych oryginalnego silnika – mocy oraz momentu obrotowego.

O ile sam silnik jako podstawa nie został jeszcze zmodyfikowany, to układy: dolotowy, wydechowy, paliwowy oraz zarządzania silnikiem są dziełem studentów. Naszym celem był głównie duży moment obrotowy położony w średnim zakresie obrotów służący do dynamicznej jazdy na krętym torze, jak również “szpilka” mocy na bardzo wysokich obrotach rzędu 10500obr/min dająca przewagę w konkurencji przyspieszenia.

Otrzymanie takiej charakterystyki możliwe jest dzięki odpowiedniej budowie układu zasilającego silnika jak również odpowiednie strojenie za które odpowiedzialna jest Wrocławska Stajnia Rajdowa Jetronik. Za prace silnika odpowiedzialny jest australijski mózg – czyli Elektroniczna jednostka sterująca Motec M800. Jest to moduł sterujący wszystkimi układami pracy silnika, kontrolą startu oraz trakcji. Mapa wielopunktowego ośmio - wtryskiwaczowego zasilania w paliwo zbudowana jest na podstawie odczytów czujnika absolutnego ciśnienia MAP w układzie dolotowym. Sterownik sporządza historię odczytów czujników, co pozwala na późniejsze analizowanie przebiegu warunków pracy układu napędowego.

Celem ograniczenia mocy studenckich pojazdów, każdy z nich musi być wyposażony w zwężkę, mającą na celu zdławienie silnika. Zwężka ta ogranicza możliwe światło przepływu przez układ dolotowy do 20 mm dla silnika napędzanego benzyną. Wprowadzenie restryktora wyraźnie redukuje osiągi, oraz ogranicza maksymalny zakres obrotów. Ponieważ układ dolotowy silnika jest elementem warunkującym jego prawidłowe „oddychanie”, poprawne zaprojektowanie takiego układu jest niezwykle istotne. Aby zapobiec odrywaniu warstw przyściennych strugi powietrza od ścianek restryktora – co jest zjawiskiem niepożądanym, kąt rozwarcia zwężki



Rys. 4 Porównanie przepływu strugi przez przepustnicę o tradycyjnej konstrukcji motylkowej oraz baryłkowej.

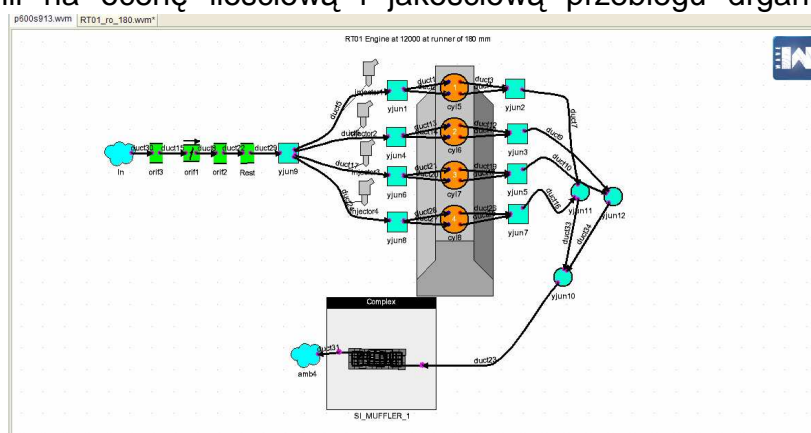
powinien być mniejszy niż 7 stopni, przy czym optimum znajduje się w przedziale 3-5 stopni. W naszym przypadku wartość tego kąta to 3,5°. Wlot do zwężki został ukształtowany z dwóch elips, technologicznie trudny do wykonania. Z pomocą przyszły nam technologie generatywne i ich możliwości.

Z racji występowania w układzie przewężenia, istotne jest aby możliwie najbardziej wygładzić przepływ eliminując straty związane z kształtem kanałów i podzespołów. Bardzo ważnym elementem w tym zespole jest przepustnica. Nie mogąc pozbyć się przewężenia, konieczne było takie zaprojektowanie podzespołu aby nie potęgował on zaburzeń strugi. Wyniki analizy CFD kilku rozwiązań przepustnicy, uzasadniły rozważenie rozwiązania baryłkowego. Taka konstrukcja umożliwia całkowite wyeliminowanie strat związanych z kształtem zaworu przy pełnym otwarciu, zupełnie inaczej niż w przypadku tradycyjnej przepustnicy motylkowej (Rys. 4).

Jednym z głównych celów podczas prac nad bolidem RT01 było dobre przyspieszenie pojazdu, bardziej niż na wysokiej mocy, założone zostało 7000 rpm oraz obniżenie zakresu mocy do max 10500 rpm. Cel ten szczególnie był brany pod uwagę podczas prac nad elementami bezpośrednio wpływającymi na tą cechę – kanałami dolotowymi oraz kolektorem, decydującymi o przebiegu charakterystyk silnika. Powietrze znajdujące się w kanale zachowuje się jak drgająca fala, niosąc ze sobą nadciśnienie – szczyty, oraz podciśnienie – doliny fali. Umiejętne wykorzystanie tych zjawisk może zwiększyć efektywność napełnienia cylindrów, poprzez odpowiedni dobór geometrii kanałów wlotowych. W tym celu nadciśnienie wytwarzane przez drgania docierało do końca przewodów wlotowych – zaworu wlotowego dokładnie w momencie jego otwarcia, zwiększając współczynnik napełnienia. W sytuacji odwrotnej, przy fali podciśnienia, mieszanka może zostać wyszana z komory silnika, zmniejszając wartość tego współczynnika.

W kilku krokach dobrana została optymalna geometria kanałów dolotowych. Po wstępnych, teoretycznych obliczeniach długości kanałów dla żądanych obrotów, zbudowano model silnika posługując się oprogramowaniem Wave Ricardo (Rys. 5). Opracowany model pozwolił na ocenę ilościową i jakościową przebiegu drgań

powietrza dla różnych konfiguracji. Bazując na uzyskanych wynikach analizy, szczególnie kładąc nacisk na wspomniany współczynnik napełnienia, dokonano optymalizacji długości kanałów z użyciem metody Cir (Intake ramming factor). Metoda ta polega na obliczeniu teoretycznego



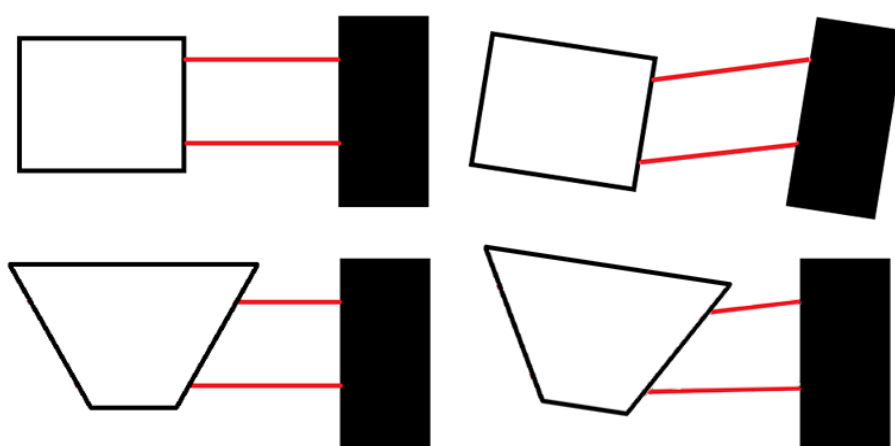
Rys. 5 Model silnika opracowany w systemie Wave Ricardo

współczynnika, łączącego współczynnik napełnienia i prędkość obrotową silnika, dla różnych kombinacji długości kanałów i obrotów silnika. Na podstawie uzyskanych danych wygenerowano wykresy zależności współczynnika napełnienia od współczynnika Cir. W wykresach tych odczytano najwyższą wartość współczynnika, która odpowiadała 180mm długości.

Model silnika został uzupełniony o kolektor dolotowy oraz restryktor wraz z przepustnicą, aby poddać go dalszej analizie. Działanie to miało na celu zweryfikowanie prawidłowej objętości kolektora. Następnie przeanalizowano wcześniejsze charakterystyki silnika i dobór geometrii układu wydechowego w celu „wygładzenia” krzywej mocy i momentu. Wyliczone teoretycznie i analitycznie geometrie zostały użyte do zbudowania układu dolotowego pozwalającego na zmianę długości kanałów i objętości kolektora w celu weryfikacji obliczeń na modelu rzeczywistym.

Projekt całego samochodu rozpoczął się od konstruowania zawieszenia. Geometria została stworzona i przetestowana w programie Lotus Suspension Analysis. Dzięki możliwości analizy i symulacji pracy zawieszenia, zostało ono zoptymalizowane pod kątem bardzo krętych, szybkich torów na których odbywają się zawody Formuły Student.

RT01 posiada zawieszenie niezależne wszystkich kół. W samochodzie wykorzystano system podwójnych wahaczy poprzecznych o różnej długości – tzw. SLA system (z ang. Short Long Arm). Taka konfiguracja pozwala na utrzymanie największej możliwej powierzchni styku opony z jezdnią, a co za tym idzie najlepszej przyczepności, w każdym momencie. Wynika to z faktu, że samochód który jest wystawiony na działanie siły odśrodkowej podczas pokonywania zakrętu przechyla się – co wpływa na pochylenie koła względem ziemi (Rys. 6).



Rys. 6 Zasada działania zastosowanego systemu zawieszenia SLA

Z przodu zarówno jak i z tyłu zastosowano układ tłumienia drgań typu push-rod (pchany drążek – przyp.), który za pomocą mechanizmu składającego się z drążka i elementu wahliwego (rocker'a) działa na sprężynę i amortyzator (Rys. 7). Dany

system, szeroko stosowany w motosporcie, w tym w F1, pozwala na zmniejszenie masy nieresorowanej a także ułatwia przepływ powietrza wokół koła – zmniejszając opór aerodynamiczny. Regulowane stabilizatory – które połączone są również z rocker'em umożliwiają dokładną regulację sztywności.

Amortyzatory zostały wykonane na zamówienie przez firmę Tetracing. W samochodach typu Formula Student najczęściej stosuje się amortyzatory wymiarami przypominające rozwiązania stosowane w rowerach, z racji małego wymaganego skoku i pogoni za redukcją masy.



Rys. 7 Model zawieszenia koła przedniego z systemem push-rod

Zwrotnice i piasty RT01 zostały wyfrezowane z bloków aluminium (7075-T5). Duży nacisk położono na obniżenie masy tych elementów a także łatwość ich wykonania i montażu.

Model bolidu RT01, powstał głównie przy użyciu oprogramowania Autodesk. Projekt karoserii został wykonany przez studenta Wrocławskiej ASP w 3ds Max oraz Showcase. Cały projekt pojazdu powstał w środowisku Autodesk Inventor z wykorzystaniem pakietu do zarządzania projektem Autodesk Vault.

Przeprowadzone symulacje komputerowe, jak opisane to zostało na powyższych przykładach pozwoliły na zaoszczędzenie czasu i funduszy. Stosowany był szeroki wachlarz różnego typu i przeznaczenia oprogramowań.

Dzięki wykorzystaniu systemów wspomagających rozwój produktu oraz wsparciu naszych sponsorów, udało się ostatecznie zbudować od podstaw jeżdżący pojazd w ciągu zaledwie 9 miesięcy.

Zespół PWr Racing Team wraz z RT01 wystartował w zawodach Formula Student na brytyjskim torze Silverstone (Rys. 8) oraz niemieckim Hockenheim, zajmując wysokie 32. miejsce po 8 konkurencjach i uzyskując wysokie opinie sędziów a nawet miano najlepszego auta pierwszorocznego na zawodach, od trzech lat. W nadchodzącym sezonie ambicje są jeszcze wyższe. Prace nad nowym samochodem, który wystartuje w 2011 roku, znajdują się na zaawansowanym etapie.



Rys. 8 Zespół PWr Racing Team na brytyjskim Silverstone