

Inż. Jakub HASA, email: kuba.hasa@gmail.com

Politechnika Śląska

Inż. Michał MACUDA, email: michal.macuda@gmail.com

Politechnika Śląska

Dr hab. inż. Wojciech SKARKA, email: wojciech.skarka@polsl.pl

Politechnika Śląska

PROJEKTOWANIE BOLIDU WYŚCIGOWEGO SILESIA GREENPOWER ZORIENTOWANE NA INDYWIDUALNE CECHY KIEROWCÓW.

Streszczenie: Praca opisuje proces projektowo-konstrukcyjny lekkiego pojazdu elektrycznego Silesian Greenpower 2011, który został zbudowany by wziąć udział w wyścigu Greenpower Corporate Challenge na torze Silverstone. Całość działań ukierunkowana jest na dostosowanie go do nietypowych reguł wyścigu oraz postury wyselekcjonowanych, poruszających się nim kierowców. Przybliżona zostaje tematyka tworzenia wirtualnych modeli antropometrycznych z użyciem specjalizowanego modułu Ergonomics Design & Analysis systemu CATIA V5, a także szereg działań optymalizacyjnych z wykorzystaniem wyników analiz ergonomicznych.

THE PROCESS OF DESIGNING SILESIA GREENPOWER RACE VEHICLE ORIENTATED ON INDIVIDUAL DRIVERS' CHARACTERISTICS.

Abstract: Praca opisuje proces projektowo-konstrukcyjny lekkiego pojazdu elektrycznego Silesian Greenpower 2011, który został zbudowany by wziąć udział w wyścigu Greenpower Corporate Challenge na torze Silverstone. Całość działań ukierunkowana jest na dostosowanie go do nietypowych reguł wyścigu oraz postury wyselekcjonowanych, poruszających się nim kierowców. Przybliżona zostaje tematyka tworzenia wirtualnych modeli antropometrycznych z użyciem specjalizowanego modułu Ergonomics Design & Analysis systemu CATIA V5, a także szereg działań optymalizacyjnych z wykorzystaniem wyników analiz ergonomicznych.

1.WSTĘP

Ideą przedsięwzięcia jakim jest Greenpower jest promowanie zainteresowania inżynierią i techniką, a w szczególności techniką motoryzacyjną wśród uczniów i studentów. Celem zaprojektowanie i zbudowanie elektrycznego pojazdu, który pokona rywali i przejedzie najdłuższy dystans w ciągu 4 godzinowego wyścigu. Dla wyrównania szans, każdy zespół dysponuje tym samym silnikiem i 3 zestawami baterii, które mogą być dowolnie wykorzystane w trakcie wyścigu. Kształt pojazdu i rozmieszczenie poszczególnych elementów są dowolne, jednak regulamin szczegółowo określa jakie wymogi należy spełnić, a szczególny nacisk kładziony jest na bezpieczeństwo kierowców. Każdy z nich może spędzić w pojeździe najwyżej 90 minut, tak więc zmiana kierowców musi odbyć się przynajmniej dwa razy w ciągu 4 godzinowego wyścigu. Pitstop jest kluczowym momentem, gdyż sprawna wymiana kierowców i baterii pozwala wypracować przewagę nad konkurentami. W wyścigu łączą się więc nie tylko technologia i umiejętności kierowców, ale także taktyka, odpowiednie planowanie oraz dysponowanie energią pozostałą w bateriach.

Wyścigi odbywają się w ciągu całego roku, na torach w Wielkiej Brytanii. Cztery kategorie różnicują uczestników względem ich wieku i umiejętności. W pierwszej do wyścigu startują już 9 latkowie, a w najbardziej prestiżowej Corporate Challenge zwycięzcy poszczególnych etapów z całego sezonu, oraz przedstawiciele firm jak Jaguar Land Rover, Bentley czy Peugeot. Zespół Silesian Greenpower również startuje w opisanej kategorii. W ubiegłym roku, jako debiutant, zajął 6 miejsce. W tym roku nowy, skonstruowany od podstaw bolid, po zaciętej walce z liderem „Simple Trug” ukończył wyścig na 2 pozycji. Warto nadmienić, że w zarówno w 2010 jak i 2011 roku zespół nagrodzono prestiżową nagrodą „The Best Engineered Car” dla najlepszej konstrukcji przyznawaną przez Institution of Mechanical Engineers [3].



Rys. 1 Bolid Silesian Grenpower edycji 2011 [4]

Silesian Greenpower jest międzywydziałowym projektem trzech wydziałów Politechniki Śląskiej. W edycji 2011 zespół składał się z 18 studentów i 4 opiekunów oraz szeregu osób wspomagających. Koordynatorem był dr inż. Jacek Smółka, który nadzorował całość prac. Zadania studentów zostały podzielone na 3 grupy, zgodnie w profilem poszczególnych wydziałów. Wydział Mechaniczny Technologiczny zajął się konstrukcją ramy, przeniesienia napędu, układów kierowniczego i hamulcowego. Studenci wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki zaprojektowali aerodynamiczne poszycie i układ chłodzenia silnika, a wydział Automatyki Elektroniki i Informatyki odpowiadał za sterowanie silnika, telemetrię, oczujnikowanie i komunikację bolidu z kierowcą (Human Machine Interface-HMI). Każdy wydział przedstawił 2 kandydatów na kierowców, z których ostatecznie wybrano cztery osoby, które pojechały do Anglii [4].

2. WYMAGANIA WOBEC KIEROWCÓW

Można przyjąć, że w kontekście projektu szeroko rozumiana wygoda kierowcy, ze względu na krótki czas spędzany przez niego w bolidzie, nie jest czynnikiem najważniejszym, jednak ergonomia odgrywa kluczową rolę ze względu na minimalizację gabarytów i bezpieczeństwo. Tym nie mniej komfort kierowcy jest zagadnieniem istotnym i był również analizowany w przypadku bolidu SG2011.

Jak zostało już wspomniane, regulamin określa szereg wymogów, które musi spełniać konstruowany pojazd[3]:

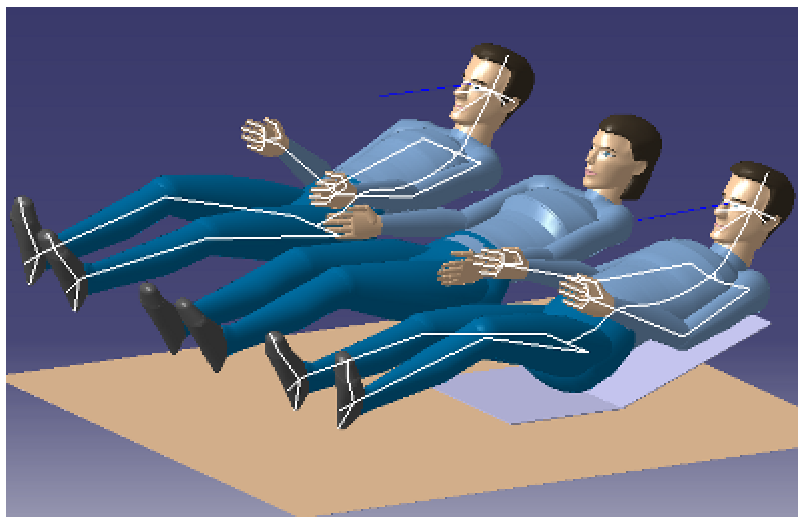
- dwa pałaki bezpieczeństwa muszą zostać zintegrowane z konstrukcją pojazdu
- minimalna odległość między kaskiem, a linią rozpiętą między pałakami powinna wynosić co najmniej 50mm
- nogi kierowcy zajmującego miejsce w bolidzie powinny być skierowane do przodu
- żadne elementy pojazdu nie powinny przesłaniać linii wzroku kierowcy.
- konstrukcja fotela/pasów bezpieczeństwa powinna zapobiegać wysunięciu się kierowcy z zajmowanej pozycji w razie nagłego hamowania/zderzenia.
- pod kierowcą musi znajdować się solidna podłoga
- kierowca musi być w stanie opuścić pojazd w ciągu 6 sekund, w dowolnej sytuacji
- zewnętrzna średnica opon musi zawierać się w przedziale 300-520mm
- rozstaw kół na osi nie może być mniejszy niż 500mm
- pojazd musi posiadać 4 koła symetrycznie rozłożone względem jego osi
- graniczne wymiary bolidu to 2800mm x 1200mm x 1200mm
- prześwit nie powinien być mniejszy niż 30mm

Pozycja kierowcy jest więc silnie ograniczona i jest doskonałym przykładem optymalizacji, którą można zastosować w zakresie analizy ergonomicznej.

W ramach prac projektowych, ustalono, że podstawowym celem jest minimalizacja gabarytów i masy pojazdu, tak więc kierowcy musieli odpowiadać tym kryteriom. Średni wzrost oscylował w granicach 160cm a waga nie przekraczała 50kg. Z pozoru niewielkie różnice między kierowcami, w kontekście kompaktowej konstrukcji okazały się kluczowe, szczególnie w kwestii wypracowanej półleżącej pozycji kierowcy, gdzie różnica kilku centymetrów wzrostu powodowała przesunięcie linii wzroku i w efekcie ograniczenie widoczności.

3. PRZEBIEG TWORZENIA WIRTUALNYCH MODELI KIEROWCÓW

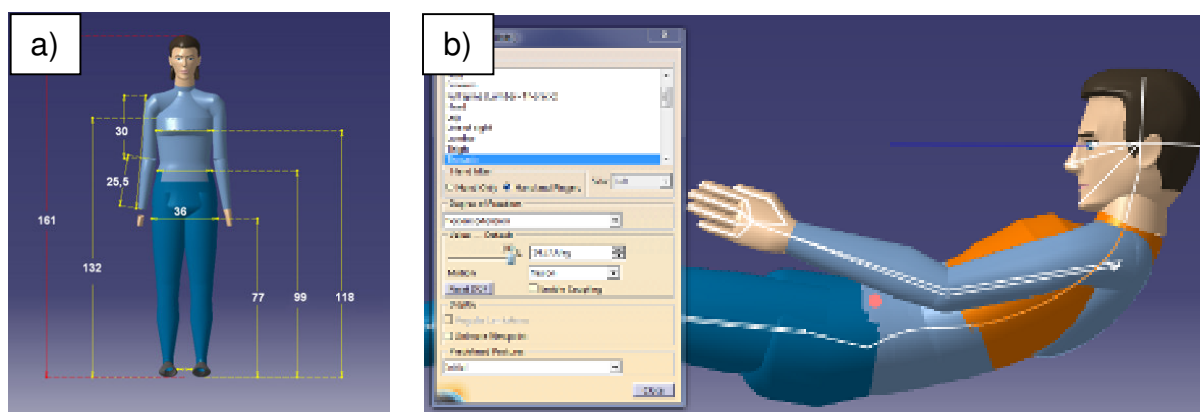
Konstruowanie lekkiego pojazdu elektrycznego, do jakich należy bolid Silesian Greenpower jest zadaniem bardzo złożonym. Pomijając konieczność integracji kolejnych podzespołów w funkcjonalną i działającą zgodnie z przeznaczeniem całość, należy nieustannie kontrolować relację pomiędzy prostotą konstrukcji, względami wytrzymałościowymi, przestrzenią zajmowaną przez kierowcę i jej ergonomią. Istotne było, aby kierowca, będący ważną częścią systemu, był w stanie spełnić powierzoną mu funkcję. Aby dobrze odwzorować jego cechy fizyczne, konieczne jest stworzenie wirtualnego modelu kierowcy jakim jest fantom. Proces zamodelowania fantomów musiał zostać potraktowany poważnie, zwłaszcza dlatego, że jednym z kluczowych kryteriów było ograniczenie powierzchni czołowej, co wiązało się z kolei ze znacznym ograniczaniem przestrzeni wewnątrz układu nośnego. Rama została więc tak skonstruowana, aby kierowca miał wystarczającą ilość miejsca do kierowania bolidem, ale nic ponadto. W takim przypadku koniecznym okazało się możliwie wierne odzwierciedlenie postury każdego z potencjalnych kierowców na podstawie pomiarów przeprowadzonych na żywych modelach. Do tego celu wykorzystano środowisko Ergonomics Design & Analysis systemu CATIA V5, w którym to za pomocą modułu Human Builder zostały utworzone sparametryzowane modele kierowców.



Rys. 2 Przygotowane modele kierowców

W dążeniu do stworzenia fantomu, zmuszeni jesteśmy przebrnąć przez kilka następujących po sobie etapów. Jest tak za sprawą grupy parametrów, które należy uściślić, aby w możliwie dokładny i wierny sposób odtworzyć cechy danej osoby. Cały ciąg operacji zaczyna się od ustalenia płci oraz centyli, które reprezentuje dany model człowieka. Wybór w tym obszarze ma niebagatelny wpływ na rozkład proporcji modelu antropometrycznego, w szczególności różnice są widoczne w obręczy barkowej i miednicy. Te dwie strefy, z punktu widzenia ukształtowania szkieletu układu nośnego, miały podwyższony priorytet przy nieustannym dążeniu do poprawy zwartości konstrukcji. Kolejne kluczowe parametry znajdują się w zakładce Optional. W niej wybrano typ modelu, w którym decydujemy pomiędzy modelem całego człowieka bądź prawym lub lewym przedramieniem, których można użyć do analiz nie wymagających skupiania się na pozostałych częściach ciała. Możliwe jest również wytypowanie populacji, z której wywodzi się przyszły fantom, co nie pozostaje bez znaczenia dla jego ukształtowania postury. Mniej ważne z punktu widzenia samego fantomu jest umiejscowienie układu współrzędnych, które też dobieramy na tym etapie. Tym sposobem kończy się współpraca z Human Builderem, który pozwolił na wygenerowanie statystycznie poprawnego modelu człowieka.

W toku przygotowania modeli do analiz, jak już wspomniano, zostały nadane indywidualne wymiary długości i obwodów mierzonych na ciele kierowców. Wszystkie związane z tym operacje przeprowadzone były w module Human Measurements Editor. Istnieje tam możliwość nadania własnych proporcji ciała, które są jednak ograniczone i nie zawsze dopuszczalne. Zakres edycji w tym obszarze ograniczony jest przez sprzężony z centylami wymiar długości. W przypadku konieczności nadania wymiaru wykraczającego poza dopuszczalny dla danej części populacji, jedynym ratunkiem jest modyfikacja liczby centyli, w taki sposób aby umieścić nasz model w części populacji o żądanej wartości cechy.



Rys. 3 Parametryzacja modelu kierowcy w module Human Measurements Editor(a), modyfikacja pozycji kierowcy za pomocą modułu Human Posture Analysis(b).

Gdy fantom jest już zwymiarowany można przystępować do kształtowania jego pozycji, co ma miejsce w module Human Posture Analysis. Moduł ten zakłada możliwość ustawienia, w granicach ustalonych przez skrajne położenia w danych punktach zgięcia ciała, kątów wygięcia i skręcenia we wszystkich stawach, w których zachodzi dany typ ruchu. Taki zakres dowolności kształtowania pozycji jest niezwykle wygodny, a wyniki osiągane w ten sposób bardzo bliskie, jeśli nie zgodne z rzeczywistością.

W następstwie takiego ciągu operacji, gdy już powstał w pełni opisany zgodnie z rzeczywistymi wymiarami model antropometryczny, można przystąpić do wykonania analiz ergonomicznych, z dużym przybliżeniem dających obraz zajmowanej przestrzeni, jej wypełnienia, czy kolizji z elementami w otoczeniu. Wartość takich analiz jest nieoceniona, jeśli uwzględnić częstość ich wykonywania dla różnych modeli i prostotę wizualizacji interesującego nas zagadnienia.

4. KONSTRUKCJA UKŁADU KIEROWNICZEGO

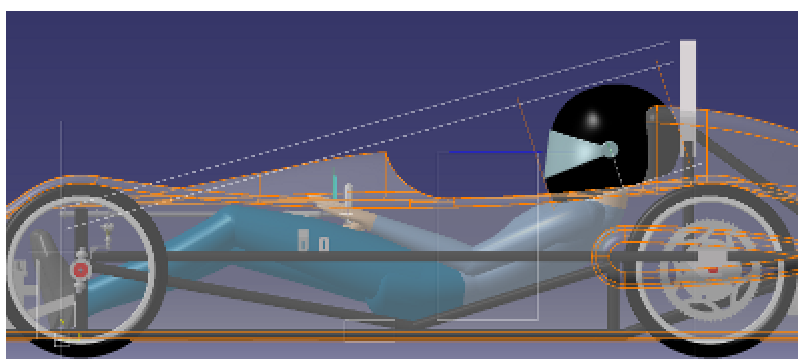
Układ kierowniczy jest złożonym i odpowiedzialnym elementem. W odniesieniu do lekkiego pojazdu elektrycznego, sposób jego implementacji i integracji z konstrukcją powinien uniemożliwiać przypadkowe uszkodzenie bądź zablokowanie. Jest to szczególnie istotne, ponieważ minimalizacja gabarytów konstrukcji wymusza nakładanie się stref pracy podzespołów z przestrzenią dostępną dla kierowcy. Przyjęto, że zostanie zastosowany klasyczny układ kierowniczy z elementem sterującym (kierownica) wykonującym ruch obrotowy. Zastosowanie dźwigni wahliwej umieszczonej między nogami kierowcy umożliwiłoby poprowadzenie cięgien oraz osi w podłodze bolidu i jednocześnie zaoszczędzenie miejsca. Jednak jest to rozwiązanie, w subiektywnej ocenie kierowców, niekomfortowe, gdyż odbiega od standardowego stosowanego w technice motoryzacyjnej i mogłoby przyczynić się do pogorszenia wyników na torze.

Układ został umieszczony w górnej jego części przestrzeni nóg kierowcy, bezpośrednio pod poszyciem, a więc wszystkie elementy układu znajdowały się w bezpośrednim sąsiedztwie kierowcy. Układ jest klasycznym trapezowym mechanizmem zwrotniczym z drążkami zamocowanymi w przegubach kulistych, których konstrukcja uniemożliwia ich przypadkowe rozpięcie np. poprzez umieszczenie stopy w strefie ich pracy. Istotne było, aby w neutralnej pozycji stopy kierowcy znajdowały się w bezpiecznej odległości od mechanizmu, ze szczególnym uwzględnieniem różnicy wzrostu kierowców przekładającej się bezpośrednio na

położenie stóp. Niektórzy z kierowców nie sięgali ściany grodziowej, podczas gdy dla części z nich stanowiła ona oparcie. W analizie strefy pracy układu kierowniczego pomocne było środowisko Ergonomics Design & Analysis programu CATIA V5, które pozwala na kompleksowe definiowanie kwestii związanych z ergonomią. W tym przypadku szczególnie wykorzystywane były zależności katowe pomiędzy częściami ciała.

5. OPTIMALIZACJA POZYCJI KIEROWNICY I ROZMIESZCZENIA OSPRZĘTU KIEROWCY

Kierownica jako element również odgrywa istotną rolę z punktu widzenia ergonomii. Musi ona znajdować się w zasięgu kierowcy, umożliwiać swobodne zaciśnięcie dłoni, wygodny dostęp do znajdujących się na niej funkcjonalności i przede wszystkim, swobodę ruchów. W konfiguracji bolidu, bezpośrednio nad kierownicą znajdowała się osłaniająca ją przednia owiewka, kluczowy element z punktu widzenia aerodynamiki i pola widzenia.



Rys. 5 Kierowca wewnątrz bolidu

Podstawowym kryterium była pozycja kierowcy w osi pojazdu, określona przez długość ramion kierowcy. W bolidzie umieszczono fantom, w założonej pozycji, zapewniającej optymalną wysokość pojazdu. Aby zapewnić odpowiedni komfort, ręce nie mogą być zupełnie wyprostowane, dlatego też zachowano kąt 160° , co w efekcie zdeterminowało położenie kierownicy.

Przednią owiewkę ukształtowano tak, by znajdowała się jak najwyżej, zasłaniając kierowcę a jednocześnie nie kolidując z wyznaczonym polem widzenia. Otrzymana w ten sposób przestrzeń rozpięta pomiędzy owiewką a udami kierowcy musiała pomieścić kierownicę.

Analizy wykazały, że jej okrągły kształt nie jest optymalny. Wymaga dużej ilości miejsca, co w przypadku ograniczonej jego ilości, skutkuje ograniczeniem gabarytów na tyle, że uniemożliwia to wygodne korzystanie z kierownicy. Dłonie fantomu nie mogły się swobodnie na niej zacisnąć, a niewielka odległość od środka prawdopodobnie przełożyłaby się na relatywnie dużą siłę wymaganą do wykonania ruchu sterującego, a przez to potencjalne obniżenie komfortu i precyzji prowadzenia. Inną koncepcją był kształt litery „M”. Umożliwia on spłaszczenie kierownicy i jednocześnie odsunięcie od siebie dłoni, co pozwala uzyskać większą ilość miejsca na dłonie i większy moment sterujący. Dodatkowo ułatwiło to umieszczenie wsporników pod przyciski sterujące. Dodatkowym aspektem była kolizja kierownicy z

nogami kierowcy w trakcie wychodzenia z bolidu, co zostało opisane dokładniej w akapicie 6.

Kierownica wyposażona była w 4 przyciski z czego początkowo posiadała tylko 2. Jeden połączony był z dźwiękiem klaksonu, a drugi stosowany był jak pedał gazu. Zmiana podyktowana była ergonomią. Ze względów bezpieczeństwa, jako gaz, zastosowany został przycisk monostabilny, tak więc musiał być on wciśnięty przez cały wyścig, co w trakcie testów długodystansowych okazało się niewygodne. Dlatego zdecydowano się na dodanie drugiego przycisku który kierowca mógł trzymać zamiennie z pierwszym. Z punktu widzenia projektowania CAD istotne było, czy kierowcy, mimo różnej długości palców będą w stanie sięgnąć i trzymać wciśnięty przycisk gazu.

Bezpośrednio za kierownicą, pod owiewką, znajdował się wyświetlacz i zestaw przycisków oraz potencjometrów służące jako narzędzia komunikacji na linii kierowca-pojazd (HMI). Wyświetlacz działał w dwóch trybach. W pierwszym pokazywał aktualną prędkość, czas okrążenia i przejechany dystans. W drugim informacje o stanie baterii, napięciu, prądzie płynącym z akumulatora, prądzie podawanym na silnik, jego obrotach oraz temperaturze baterii. W trybie automatycznym oprzyrządowanie i wyświetlacz nie wymagały obsługi, ponieważ sterowane były przy pomocy telemetrii, a zespół posiadał bieżący podgląd parametrów i mógł nimi sterować. Jednak w razie awarii systemu łączności, kierowca musiał posiadać fizyczną możliwość zmiany trybu pracy wyświetlacza, poprzez naciśnięcie przycisku, czy też regulacji prądu podawanego z akumulatora, bez rozpinania pasów bezpieczeństwa. Przedmiotem szczegółowej analizy było, czy w skrajnych położeniach stawów wszystkie elementy pozostają w zasięgu. Istotność problemu analizy ergonomicznej unaocznili się, gdy po zakończeniu etapu projektowego do grupy kierowców dołączyła osoba o znacznie niższym wzroście, nie była więc ona uwzględniona. Od początku miała ona problemy z widocznością i prowadzeniem pojazdu. W trakcie testów torowych, okazało się, że nie jest w stanie obsługiwać wyświetlacza, a problemy z prowadzeniem są na tyle duże, że uniemożliwiły jej start w wyścigu.

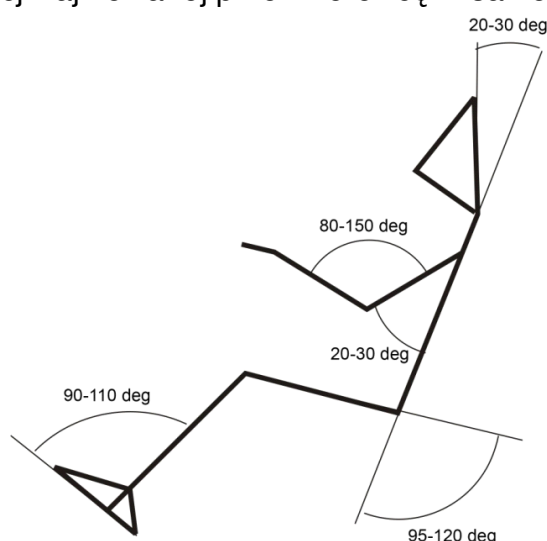
6. ZAGADNIENIA ERGONOMICZNE ZWIĄZANE Z WSIADANIEM I WYSIADANIEM Z POJAZDU

Regulamin wymaga, by przestrzeń nad kierowcą była odkryta. Jest to wysoce niekorzystne ze względu na cechy aerodynamiczne pojazdu, gdyż zarówno otwór umożliwiający wsiadanie jak i kask generują zawirowania przepływu, skutkujące znaczną siłą oporu. Aby ograniczyć te zjawiska, należy odpowiednio kształtować zakończenia poszycia w tym obrębie i dążyć do zmniejszenia powierzchni tej nieciągłości. Zgodnie z regulaminem, musi ona jednak umożliwiać kierowcy opuszczenie bolidu w regulaminowym czasie 6 sekund, tak więc nie może wymuszać wykonywania zbyt skomplikowanych ruchów w trakcie wsiadania bądź wysiadania. We wstępnym etapie oszacowano wymagany rozmiar otworu przy użyciu fizycznego modelu wykonanego z tektury, przez który kierowcy próbowali przejść wstając z pozycji półleżącej. Następnie naniesiono te wymiary na trójwymiarowy model poszycia i dalsze działania optymalizacyjne prowadzone były w module ergonomicznym programu CATIA V5. Pod uwagę wzięta została pozycja kierownicy ponieważ kierowca musiał mieć możliwość wysunięcia się na tyle, by jego biodra znalazły się poza górną owiewką, a jednocześnie pozycja nóg nie kolidowała z kierownicą, która, jeżeli byłaby umieszczona zbyt blisko kierowcy, mogła całkowicie

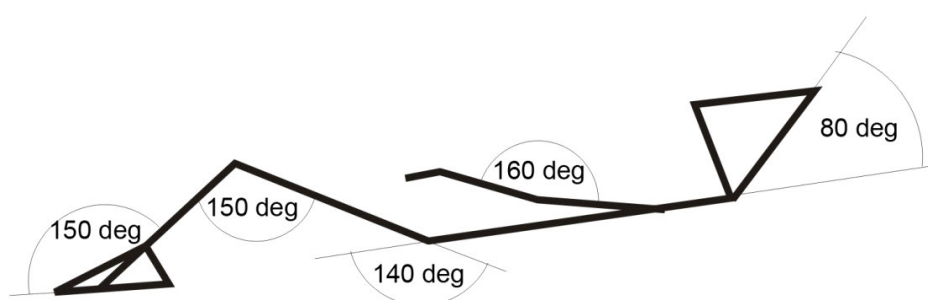
uniemożliwić wsiadanie i wysiadanie. Zmieniając pozycję fantomu można było precyzyjnie określać jego położenie w przestrzeni bolidu i analizować interakcję z poszczególnymi elementami. Ustalenie wszystkich tolerancji z niewielkim marginesem zapewniającym wykonanie danej czynności i dostęp do wszystkich elementów, gwarantuje pewność odwzorowania tych zależności w rzeczywistości, gdyż ruchy fantomu zakładają znaczny margines bezpieczeństwa i z reguły człowiek jest w stanie przekroczyć te granice.

7. KĄTY WYGODY

Kąty wygody opracowane zostały na podstawie badań psychofizycznych człowieka i określają zależności kątowe pomiędzy poszczególnymi segmentami ciała, których spełnienie zapewnia odpowiedni komfort i minimalne zmęczenie w trakcie podróżowania pojazdem. Szczegółowo opisuje je norma niemiecka DIN 33408, odnosząca się do pozycji zajmowanej przez kierowcę w samochodzie.



Rys. 3 Optymalne kąty wygody na podstawie [1]



Rys. 4 Kąty wygody w pojeździe SG2011

Rysunek 3 przedstawia zakresy optymalnych kątów wygody, rysunek 4 natomiast kąty, jakie cechowały pozycję kierowcy w bolidzie SG2011. Jak widać, żaden z nich nie mieści się w przedziale uznawanym za wygodny. W przeważającej części kąty były wynikiem ustalonej pozycji kierowcy znajdującej się na granicy fizjologicznych możliwości. Wyjątkiem była pozycja kolan, którą podniesiono maksymalnie do góry, starając się zbliżyć do zakresu uznawanego za wygodny, mając równocześnie na uwadze bliskość poszycia i elementów mocujących układ kierowniczy. Prawie trzykrotnie przekroczony został kąt cechujący odchylenie głowy od linii tułowia.

Decydując się na tak skrajne położenie, należało zapewnić podparcie głowy, gdyż utrzymywanie jej w takiej pozycji jedynie siłą mięśni prawdopodobnie nie byłoby możliwe. Część tylnej owiewki została ukształtowana jako sferyczne przetłoczenie, o odpowiednim kształcie i rozmiarze, w które można było zagłębić kask. Stanowiło to dobre oparcie, poprawiając wygodę i niwelując przeciążenia. Tak więc nawet jeśli wymagania konstrukcyjne (jak w tym przypadku minimalizacja wysokości) uniemożliwiają manipulowanie położeniami kątowymi poszczególnych części ciała w rozsądnych granicach, kąty wygody są wskazówką, na które punkty należy zwrócić szczególną uwagę i gdzie szukać dróg optymalizacji.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W dążeniach do maksymalnej optymalizacji konstrukcji w przypadku wszystkich układów z osobna i późniejszej ich integracji, nieunikniona była potrzeba regularnej weryfikacji względem wypracowanej pozycji kierowcy. Zabieg ten powtarzano wielokrotnie na każdym z etapów konstruowania, wykrywając i na bieżąco korygując kolizje kierowcy z elementami bolidu. Przykładem może być błąd w ukształtowaniu wspornika kolumny kierowniczej, który w swoim pierwotnym kształcie wyraźnie wnikał w strefę działania kierowcy, uniemożliwiając zajęcie pozycji. Wspornik został zastąpiony innym o prostszym kształcie.

Długość i umiejscowienie kolumny kierowniczej również jest wynikiem podobnych działań. Na podstawie opracowanego ułożenia rąk, gwarantującego względny komfort i precyzję prowadzenia, dobrano wysokość, na której zamocowano kolumnę kierowniczą oraz jej długość. Dzięki działaniom opisanym w niniejszym artykule, rozpatrywani na etapie analiz ergonomicznych kierowcy, nie doświadczyło żadnych niedogodności związanych z prowadzeniem pojazdu a ich zdolność do prowadzenia pojazdu była optymalna.

Wnioskując na przykładzie opisanego szeregu zależności pomiędzy ukształtowaniem pozycji kierowcy, a ostatecznym kształtem współpracujących z nim podukładów bolidu, trzeba zaznaczyć, że analiza ergonomiczna odgrywa istotną rolę w procesie projektowania i nie może zostać pominięta, a stosowane w projekcie środowisko Ergonomics Design & Analysis CATIA V5, jest potężnym narzędziem w ręku inżyniera. To dzięki niemu da się znaleźć odpowiedź na potrzebę człowieka, w sposób zdecydowanie prostszy i szybszy niż bazując jedynie na badaniach prototypu.

Literatura

1. Jan Gieriej, Budowa nadwozi – poradnik, Wykłady dla studentów SiMR Politechniki Warszawskiej, 2004
2. Tilley, Alvin R., The measure of man and woman : human factors in design, Wiley, New York 2002
3. <http://www.greenpower.co.uk>
4. <http://www.sg.polsl.pl>