

Artur ŁACH
arturlach@vp.pl
Politechnika Śląska

Marek WYLEŻOŁ, dr hab. inż.
marek.wylezol@polsl.pl
Politechnika Śląska

Wojciech SKARKA, dr hab. inż. prof. nzw. w Pol. Śl.
wojciech.skarka@polsl.pl
Politechnika Śląska

WYBRANE ASPEKTY MODELOWANIA NADWOZIA SAMOCHODU WYŚCIGOWEGO BUDOWANEGO NA ZAWODY SHELL ECO-MARATHON

Streszczenie: Artykuł dotyczy procesu modelowania powłoki nadwozia pojazdu w kategorii *Urban* w kontekście konkursu Shell Eco-marathon. Proces modelowania prowadzony był z uwzględnieniem warunków brzegowych wynikających z regulaminu organizatora konkursu oraz z uwzględnieniem postaci geometrycznej podwozia pojazdu. W trakcie modelowania uwzględniano przede wszystkim wiele kryteriów technicznych prowadzących do polepszenia osiągnięć pojazdu wyścigowego. Zwrócono również uwagę na aspekt analizy poprawności krzywych i powierzchni modelu.

Słowa kluczowe: modelowanie powierzchniowe, analiza krzywych i powierzchni, systemy CAx, Shell Eco-marathon.

SELECTED ASPECTS OF MODELING RACE CAR BODY CONSTRUCTED FOR ECO-MARATHON COMPETITION

Summary: Article refers to the process of modeling Urban category race vehicle body shell in the context of competition Shell Eco-marathon. The modeling process was carried out taking into account the boundary conditions arising from the competition organizer's regulations, and taking into account the geometrical shape of the vehicle chassis. During the modeling first of all a lot of technical criteria leading to improved race vehicle performance are taken into account. It also drew attention to the aspect of the curves and surfaces accuracy analysis of the model.

Keywords: surface modeling, analysis of curves and surfaces, CAx systems, Shell Eco-marathon.

1. WPROWADZENIE

Shell Eco-marathon (SEM) to wielkie światowe zawody sportowe skupiające najlepsze zespoły uniwersyteckie z całego świata, budujące pojazdy energooszczędne. Zawody wygrywa pojazd zużywający najmniej energii. Impreza ta odbywa się w Rotterdamie, Kuala Lumpur i Huston. W Rotterdamie wyścig odbywa się na torze ulicznym w centrum miasta. W zawodach bierze udział ponad 200 drużyn z uczelnianych oraz ponad 50 tys. widzów. Studencki zespół *Smart Power* [4] z Politechniki Śląskiej startuje w tych zawodach od 2012 roku w kategorii *Prototype*, a od roku 2014 też w kategorii *Urban*.

2. ZAŁOŻENIA PROJEKTU POSZYCIA POJAZDU

Pojazd wyścigowy *Bytel* budowany był zgodnie z wymaganiami kategorii pojazdów

Urban SEM [6]. W trakcie projektowania poszycia zespół musiał uwzględnić wiele zależności wynikających z konstrukcji innych podukładów i przeznaczenia pojazdu. Zależności te zostały sformułowane jako kryteria konstrukcji poszycia:

- minimalizacja współczynnika oporu aerodynamicznego,
- technologia wykonania poszycia i elementów związanych z poszyciem,
- integracja podukładów pojazdu,
- ergonomia,
- spełnienie wymagań regulaminowych i wymagań bezpieczeństwa.

Najpoważniejszym problemem modelowania poszycia była konieczność takiego zbudowania modelu powierzchniowego, aby w miarę elastycznie można było wprowadzać kolejne zmiany wynikające z ww. kryteriów. Z uwagi na krótki czas realizacji projektu poszycia założono na początku, że będą rozwijane dwie wersje poszycia: docelowa i uproszczona.

Wersja docelowa uwzględnia ostateczną technologię wykonania jako kompozytowego poszycia oraz jej złożoność wynikającą z minimalizacji oporu aerodynamicznego. Wykonanie wersji kompozytowej uwzględniało wykonanie formy na obrabiarce CNC i dalsze wytworzenie w firmie zajmującej się produkcją kompozytowych lekkich konstrukcji lotniczych. Wersja uproszczona modelowana była jako zabezpieczenie, gdyż istniało duże prawdopodobieństwo, że docelowa wersja nie zostanie wykonana w wymaganym krótkim czasie.

W wersji uproszczonej zakładano wykonanie poszycia wyłącznie jako powierzchni rozwijalnych tak, aby można było łatwo i samodzielnie je wykonać w warunkach warsztatowych używając płyt z tworzywa lekkiego.

Opracowany model powierzchniowy [10,11] nie tylko musiał umożliwiać bezproblemowe i szybkie wprowadzenie zmian, ale także wykonanie poprawnej powierzchni poszycia za każdym razem tak, aby nie zakłócić obliczeń związanych z oporem powietrza.

W zakresie kryterium technologii wykonania poszycia i elementów związanych z poszyciem założono, że poszycie będzie wykonane z powierzchni nierozwijalnych, które umożliwiają łatwiejsze ukształtowanie powierzchni w celu minimalizacji oporów aerodynamicznych oraz zapewniają odpowiednią jego sztywność. Konieczne było założenie odpowiednich kierunków odformowania i podziału powierzchni. Szyby pojazdu natomiast ukształtowane zostały jako powierzchnie rozwijalne, gdyż ich kształtowanie jest operacją technologicznie trudniejszą. Konieczność wytworzenia formy na maszynie CNC wymusza odpowiednią jakość powierzchni, ale wcześniejsze obliczenia metodami CFD zapewniają prawidłową jakość powierzchni poszycia.

Integracja podukładów pojazdu polegała na odpowiednim dopasowaniu poszycia do struktury nośnej pojazdu, a w szczególności do płyty podłogowej, która wraz z odpowiednią konstrukcją wzmacniającą tworzyły klatkę bezpieczeństwa kierowcy. Dodatkowym wymaganiem było zintegrowanie z zawieszeniem pojazdu, kołami wraz z układem napędowym, kierowniczym, deską rozdzielczą, otworami drzwiowymi, klapami bagażnika, haka holowniczego itp.

Kształtowanie postaci nadwozia obejmowało również kryteria ergonomiczne, funkcjonalne i bezpieczeństwa – wynikającymi z regulaminu. Zastosowana metodyka postępowania przy projektowaniu ergonomicznym została już wcześniej wykorzystana przy projektowaniu innego pojazdu [1, 2, 7,8].

3. WYMOGI REGULAMINOWE

Oprócz wymagań ogólnotechnicznych w wyścigu istotnymi ograniczeniami konstruowania jest regulamin wyścigu. Wymagania te dotyczą:

- a) wymiarów gabarytowych pojazdu:
 - długość pojazdu: 2200-3500 mm,

- szerokość nadwozia, bez lusterek wstecznych: 1200-1300 mm,
 - wysokość pojazdu: 1000-1300 mm;
- b) wymiarów związanych z przestrzenią kierowcy:
- minimalna wysokość kierowcy : 880 mm
 - minimalna szerokość kabiny: 700 mm,
 - wielkość otworu „drzwiowego” w tzw. „świetle”: 500 x 800 mm,
 - przestrzeń bagażową mieszczącą bagaż o wymiarach 500 x 400 x 200 mm;
- c) widoczność dla kierowcy:
- test polega na sprawdzeniu z wysokości 600 mm widzialności przez kierowcę słupków rozmieszczonych co 30° w półkolu o promieniu 4000 mm z przedniej części pojazdu,
 - ruch głowy kierowcy w granicach wnętrza pojazdu jest dozwolony,
 - pojazd musi być wyposażony w lusterka wsteczne na każdym boku pojazdu, każde o minimalnej powierzchni 25 cm²;

Pozostałe wymiary wpływające na postać nadwozia:

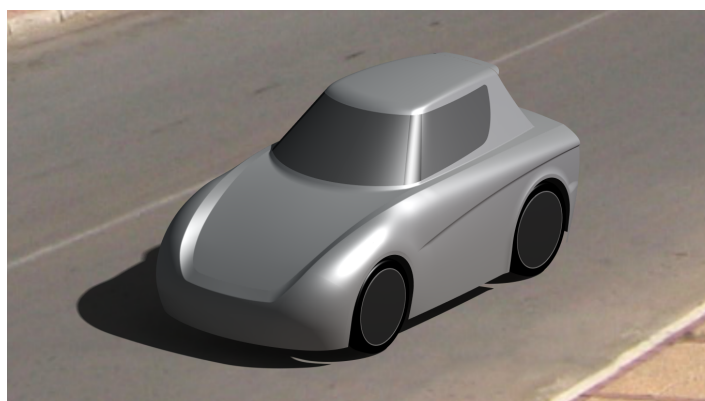
- minimalny rozstaw osi: 1200 mm,
- rozstaw kół minimum 1000 mm dla osi przedniej i 800 mm dla osi tylnej,
- zakres wymiarowy obręczy: 13" - 17".

Specyfikacja wymiarowa zaprojektowanego pojazdu jest następująca:

- wysokość: 1206 mm,
- szerokość: 1222 mm,
- długość: 3181 mm,
- rozstaw osi: 1500 mm,
- rozstaw kół przednich: 1010 mm,
- rozstaw kół tylnych: 850 mm,
- rozmiar obręczy: 16".

4. PROCES POWSTAWANIA MODELU

Proces modelowania nadwozia pojazdu *Byte!* [4] przeprowadzono jako pierwszy z wszystkich procesów projektowo-konstrukcyjnych [12]. Modelowanie nadwozia poprzedzono wykonaniem wielu szkiców odręcznych. Na ich podstawie powstało kilka wersji nadwozia, ale ze względu na ich nienajlepsze własności aerodynamiczne (zbadane za pomocą symulacji numerycznych) - zostały odrzucone (przykład takiego modelu przedstawia rys. 2).

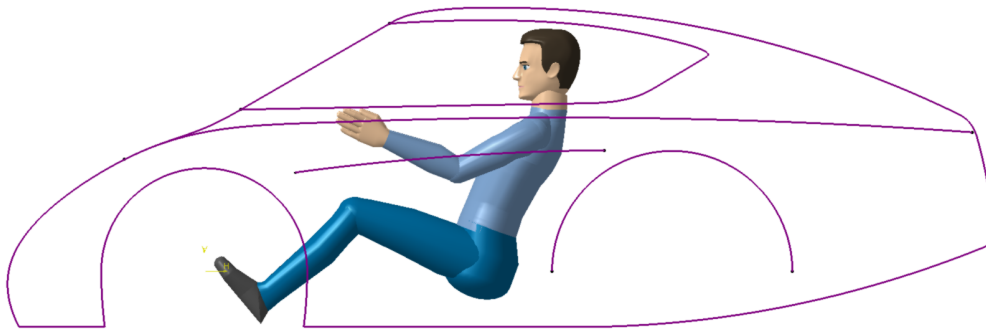


Rys. 1 Jedna z analizowanych wstępnych wersji poszycia pojazdu

Proces tworzenia modelu powierzchniowego podzielono na 3 główne etapy.

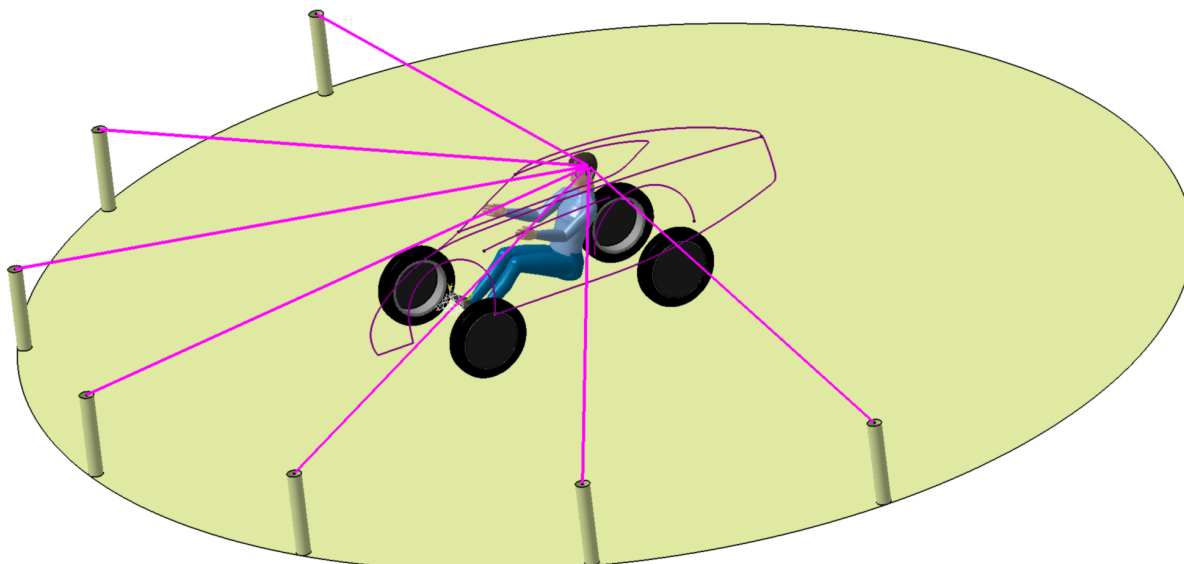
Etap nr 1: szkice bazowe.

Rysowanie szkiców bazowych w postaci rzutów płaskich przedstawiających widok pojazdu z boku, z przodu, z tyłu oraz z góry. Ich liczba jest zależna od potrzeb i doświadczenia projektanta. Zadanie to można zrealizować ręcznie, z użyciem programów graficznych, bądź też bezpośrednio w tzw. „szkicowniku” systemu klasy CAx (np. CATIA v5). Na rysunkach najlepiej zachować wymiary odpowiadające wielkościom rzeczywistym przyszłego pojazdu. Krzywe 3D oraz szkice służące do tworzenia podstawowych powierzchni modelu, często są wielokrotnie edytowane, a ich krzywizny zmieniane [3, 10, 11]. Dlatego też warto je rysować w oparciu o wcześniej wykonane rysunki bazowe, będące jednoznacznie zdefiniowanym zarysem koncepcji. W przypadku przedstawionego nadwozia, jego modelowanie oparto o jeden szkic podkładowy. W początkowym etapie prac wsparto się możliwościami, jakie daje moduł *Ergonomics Design & Analysis* systemu CATIA v5. Wykorzystany w tym celu fantom ma 165 cm wzrostu i jest odwzorowaniem rzeczywistego kierowcy (rys. 2).



Rys. 2 Szkic bazowy wraz z modelem kierowcy

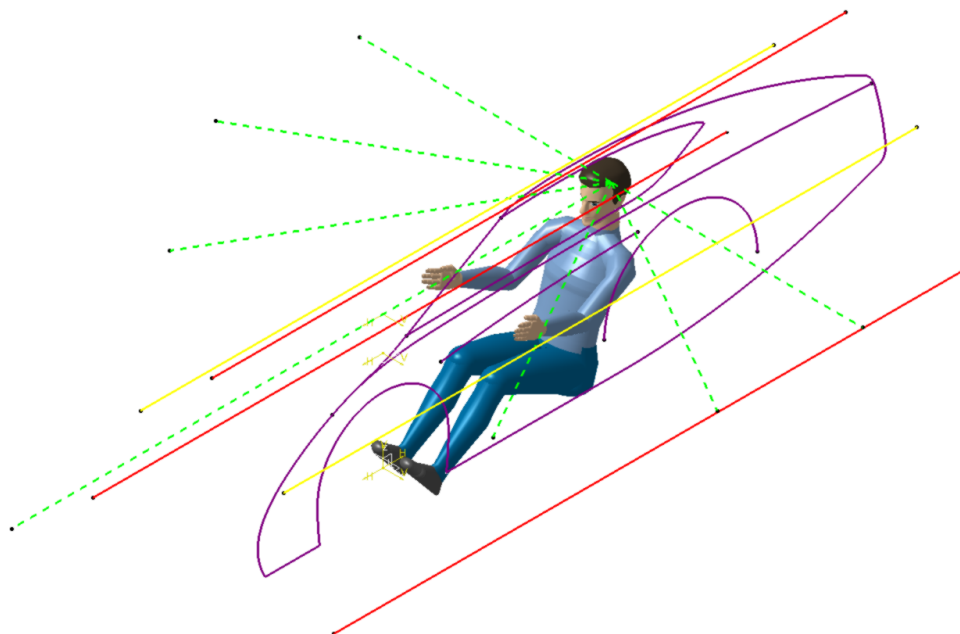
Kolejnym fragmentem tego etapu było przyjęcie szeregu założeń związanych z regulaminem. Wykonano więc model sceny będącej odwzorowaniem testu widoczności, jaki musi przejść każdy pojazd podczas inspekcji technicznej (rys. 3). Zamodelowano również koła pojazdu zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi całego pojazdu.



Rys. 3 Model sceny przedstawiający test widoczności

Wykreślone zostały linie pomocnicze ograniczające wymiary minimalne narzucone przez regulamin. Należą do nich (rys. 4):

- linie szerokości nadwozia,
- linia wysokości całkowitej pojazdu,
- linie szerokości kabiny na wysokości ramion kierowcy.



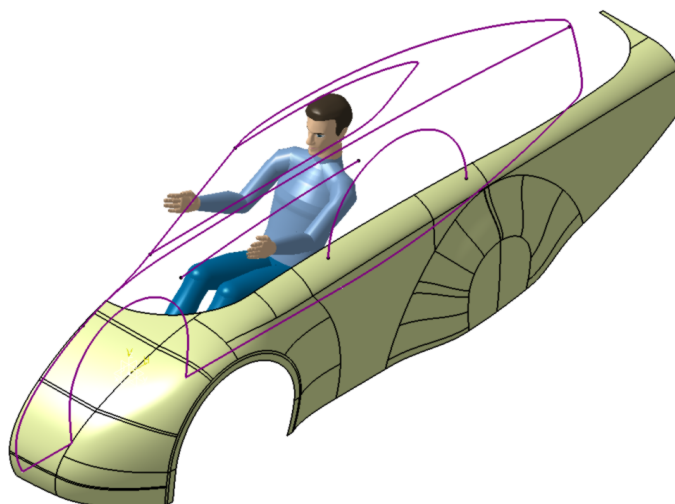
Rys. 4 Linie ograniczające wymiary narzucone przez regulamin

Etap nr 2: powierzchnie bazowe

Celem tego etapu było utworzenie powierzchni bazowej nadwozia. Karoserie pojazdów należą do brył posiadających zwykle płaszczyznę symetrii, dlatego też większość etapu tworzenia prowadzono na jednej połowie bryły nadwozia. Tylko w wyjątkowych przypadkach niektóre powierzchnie, znajdujące się w obszarze płaszczyzny symetrii wykonywano całościowo, usuwając następnie niepotrzebną część w celu dalszego

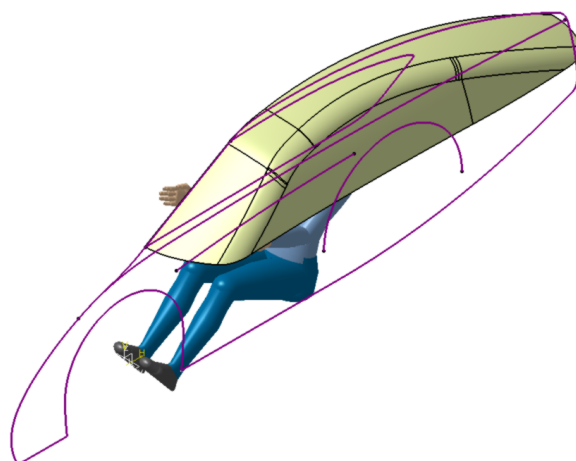
modelowania. Celem tych operacji było zachowanie odpowiednich ciągłości kolejno tworzonych płatów powierzchni [3, 10, 11].

Proces modelowania rozpoczęto od utworzenia przedniego nadkola oraz maski przedniej samochodu. Kolejnym krokiem było zamodelowanie ściany bocznej i wypukłości tylnego nadkola. Ze względów aerodynamicznych zdecydowano się na zakrycie kół tylnych (rys. 5).



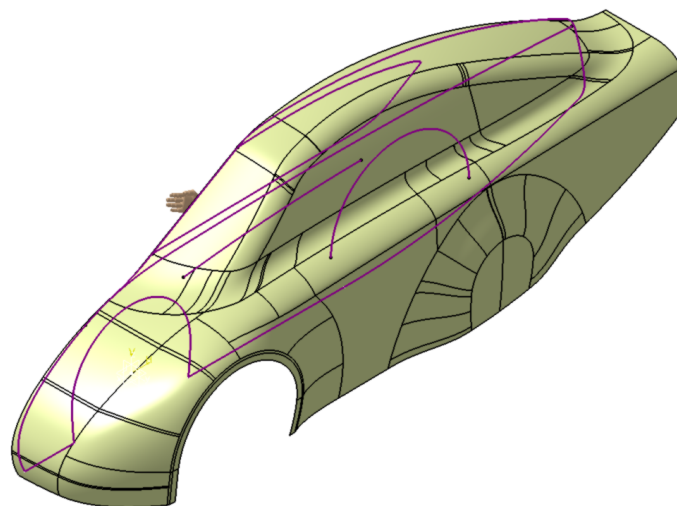
Rys. 5 Początkowy etap modelowania

Mając gotowy zarys dolnej części nadwozia przystąpiono do wykonania powierzchni górnej części. Biorąc pod uwagę możliwe trudności technologiczne związane z wykonaniem przezroczystych oszkleń z tworzyw sztucznych, powierzchnie będące odwzorowaniem szyb pojazdu zamodelowano jako rozwijalne. Po utworzeniu dachu, wymienione wcześniej elementy odpowiednio przycięto i połączono w całość zapewniając płynne przejście między nimi (rys. 6).



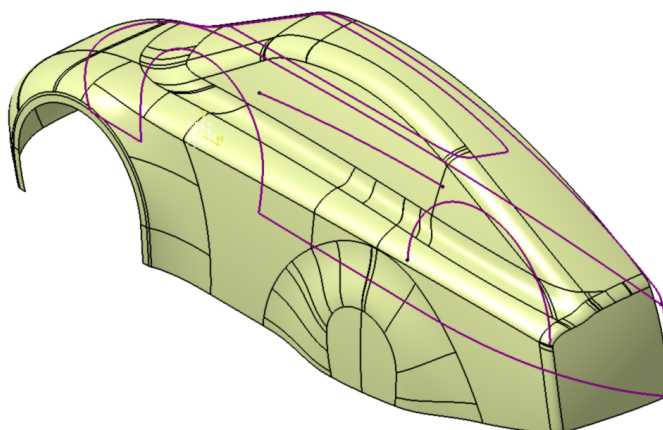
Rys. 6 Powierzchnie rozwijalne szyb oraz dach połączone w całość

Kolejną czynnością było scalenie „dołu” z „górami” powierzchni modelu. Odpowiednio docięte wcześniej fragmenty powierzchni połączono, zapewniając wymaganą ciągłość powierzchni całego modelu. Wszelkie zaokrąglenia wykonano tak, aby zapewnić możliwie najlepsze potencjalnie własności aerodynamiczne i nie dopuścić do niepotrzebnych oderwań strugi powietrza (przepływ turbulentny), rys. 7.



Rys. 7 Dół i góra karoserii połączone w całość

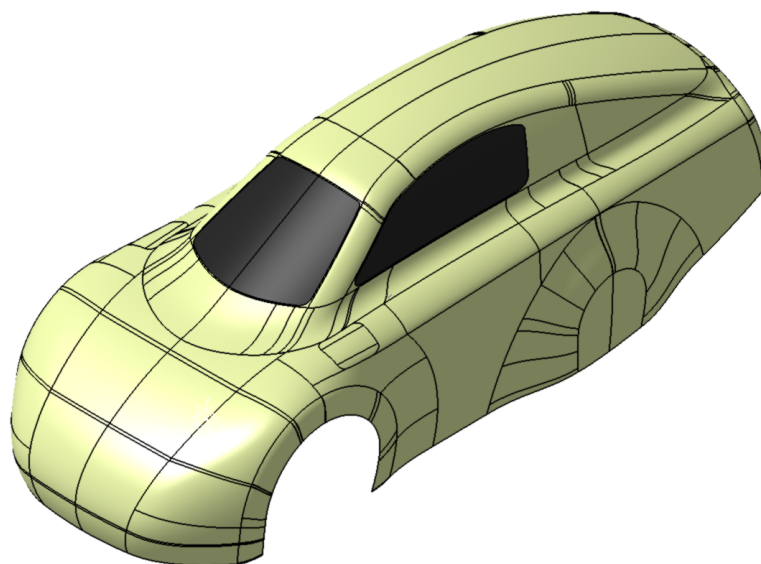
Ostatnią czynnością tego etapu modelowania powierzchni bazowej nadwozia było wykonanie jej tylnego fragmentu. Na rys. 8 można dostrzec, że pochylenie tylnej ściany na modelu odbiega od tego na szkicu bazowym. Powodem tej korekty były względy aerodynamiczne, jak i estetyczne. Model o tej postaci poddano pierwszym symulacjom aerodynamicznym.



Rys. 8 Docelowa postać bazowa modelu nadwozia pojazdu

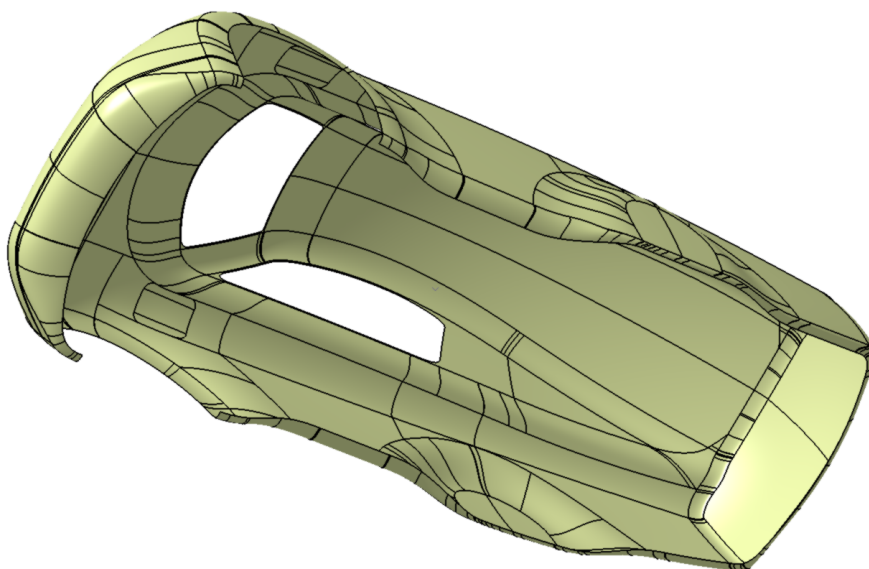
Etap nr 3: modelowanie elementów dodatkowych

Modelowanie dodatkowych elementów nadwozia, tj. szyb, drzwi, klapy bagażnika, progów, lusterek, świateł itd. wykonano bazując na utworzonej powierzchni karoserii. W pierwszej kolejności, na podstawie wyników symulacyjnych badań aerodynamicznych, dokonano zmian w obrębie przedniego nadkola. Modelowanie wspomnianych detali rozpoczęto od wycięcia miejsca na szyby, których powierzchnie docelowo mają być rozwijalne na płaszczyźnie (rys. 9).



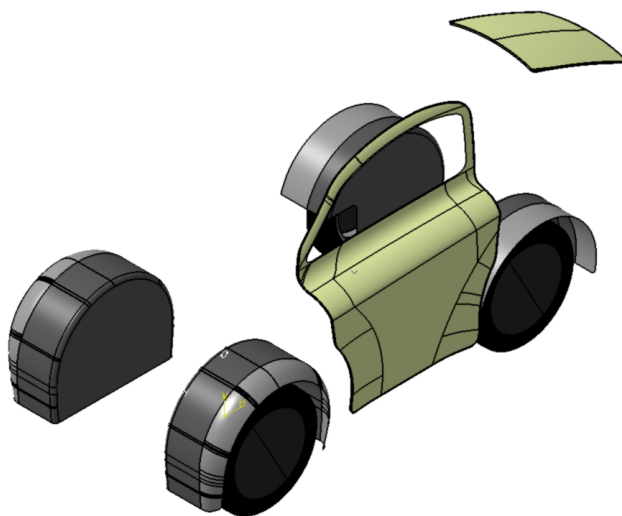
Rys. 9 Optymalizacja przedniego nadkola oraz wycięcie szyb

Analizy numeryczne pozwoliły na zweryfikowanie i poprawki zamodelowanych zaokrągleń dolnej części nadwozia. Najważniejszymi z nich, służącymi zminimalizowaniu oporów powietrza, były zaokrąglenia przedniego i tylnego zderzaka (rys. 10).



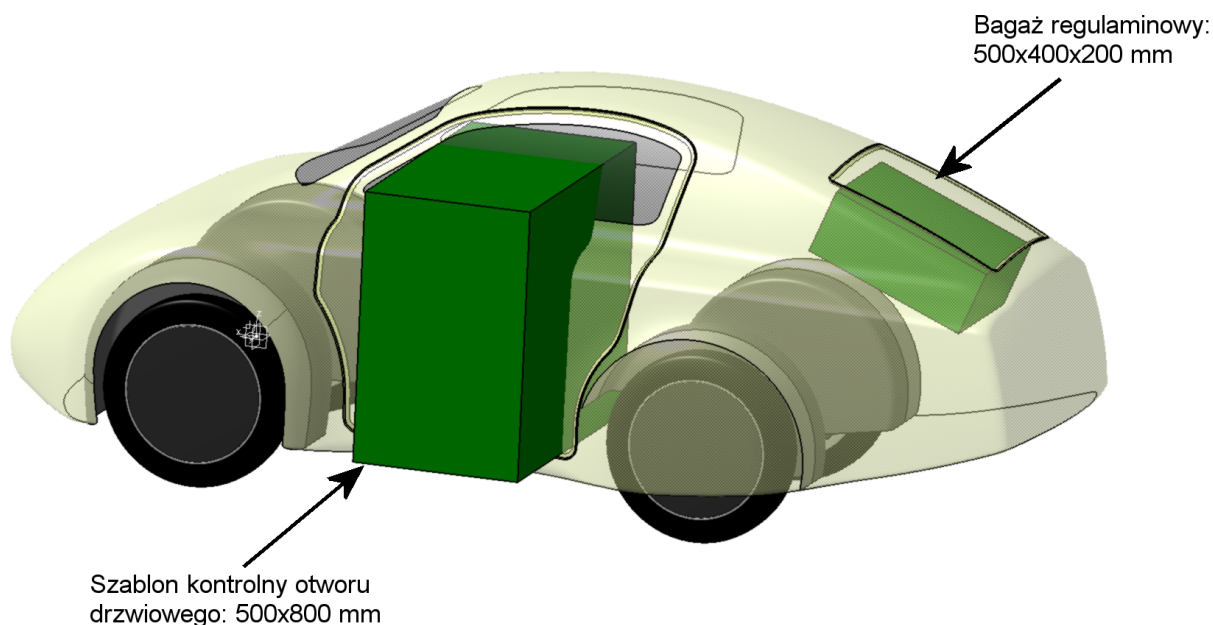
Rys. 10 Wykonanie i optymalizacja dolnych zaokrągleń

W kolejnym kroku wykonano wewnętrzne powierzchnie nadkoli pojazdu, które następnie dopasowano do kształtu podłogi modelu pojazdu. Elementy te zostały odpowiednio podzielone, co pokazano na rys. 12. Części o jasnym szarym kolorze zostaną trwale połączone ze skorupą nadwozia. Rozwiązanie takie zostało podyktowane względami konstrukcyjnymi oraz ma pozwalać na bezproblemowe zdejmowanie nadwozia. Następnie zamodelowano drzwi oraz klapę bagażnika (rys. 11).



Rys. 11 Wykonanie nadkoli oraz drzwi i kłapy bagażnika

Do ich wykonania niezbędne było utworzenie zgodnych z regulaminem szablonów kontrolnych, pokazujących jednoznacznie, spełnienie wymogów regulaminowych (rys. 12).

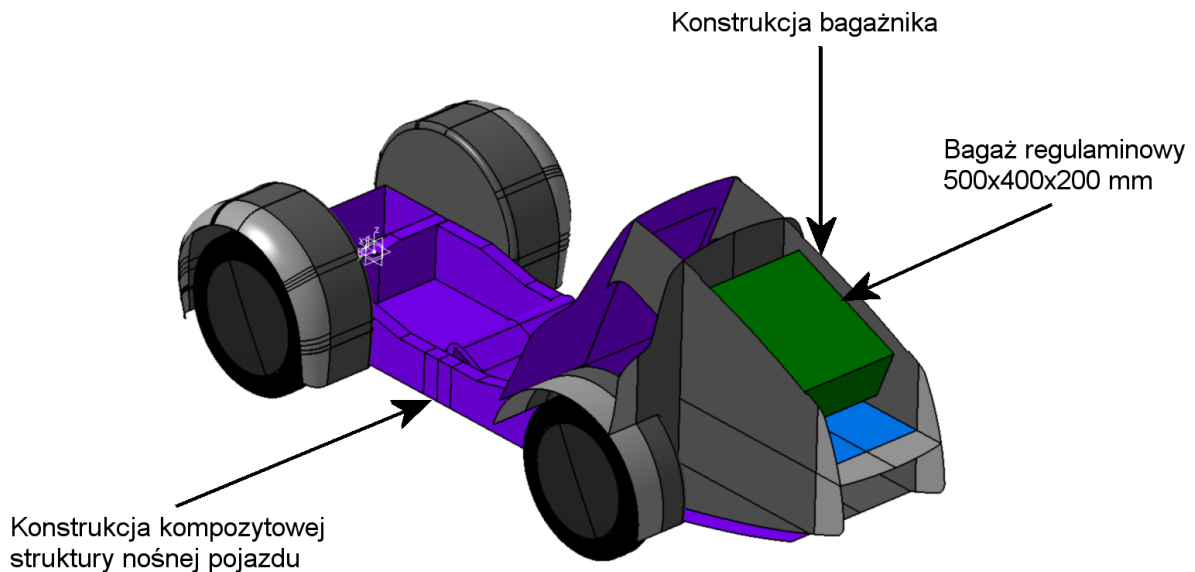


Rys. 12 Szablony kontrolne otworu drzwi i otworu bagażnika

Modelując dalej, wykonano elementy wewnętrzne bagażnika. W tym celu zamodelowano ściany i wręgi, które trwale połączone z podłogą nośną pojazdu, mają

wspólnie utworzyć zwartą i sztywną konstrukcję. Kształtowanie tyłu pojazdu odbiegało zasadniczo od wersji proponowanej pierwotnie i było wynikiem doświadczeń w eksploatacji poszycia tymczasowego w trakcie wyścigu w Rotterdamie.

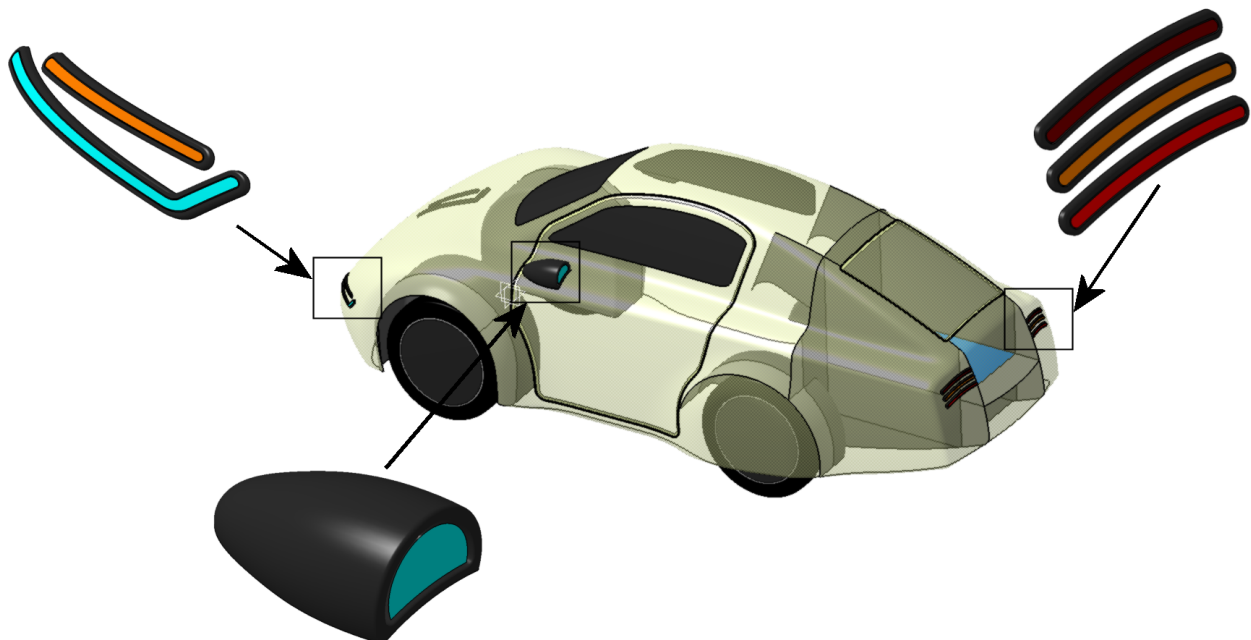
Podobnie jak w przypadku wewnętrznych powierzchni nadkoli, elementy o jasnym szarym kolorze, to części trwale połączone z nadwoziem pojazdu (rys. 13).



Rys. 13 Konstrukcja bagażnika.
(Projekt kompozytowej podłogi nośnej: inż. Marcin Gleń)

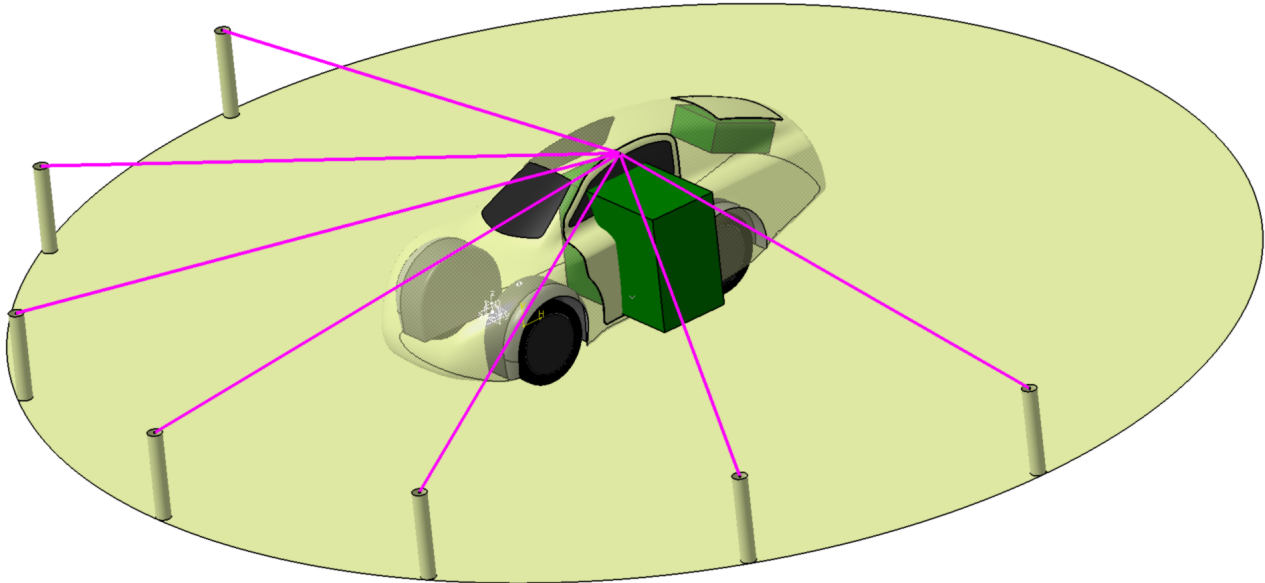
Ostatnim fragmentem modelowania w tym etapie było wykonanie elementów świateł i lusterek wstecznych pojazdu. Pierwotnie założono wykorzystanie taśm z diodami LED, które miały pełnić funkcję świateł. Dlatego też utworzono specjalne oprawki pozwalające na odpowiednie ukształtowanie taśm oraz ich zamocowanie na powierzchni nadwozia.

Zaprojektowano także postać lusterek wstecznych. Zarówno lusterka jak i oprawki świateł zostaną wykonane przy użyciu technologii generatywnych (rys. 14).



Rys. 14 Oprawki świateł i lusterka wsteczne

Podczas całego procesu modelowania korzystano z wykonanych na początku wirtualnych pomocy i szablonów. Poniższa ilustracja (rys. 15) przedstawia scenę testu widoczności wraz z gotowym modelem nadwozia (wraz z regulaminowym bagażnikiem oraz otworem drzwiowym).



Rys. 15 Scena wraz z gotowym modelem

Ostateczna wersja poszycia jest w trakcie procesu produkcyjnego i będzie przygotowana na sezon 2015. Zgodnie z wcześniejszymi przewidywaniami nie udało się wykonać docelowej wersji nadwozia a zamiast niej zostało wykonane poszycie zastępcze (Rys. 16).



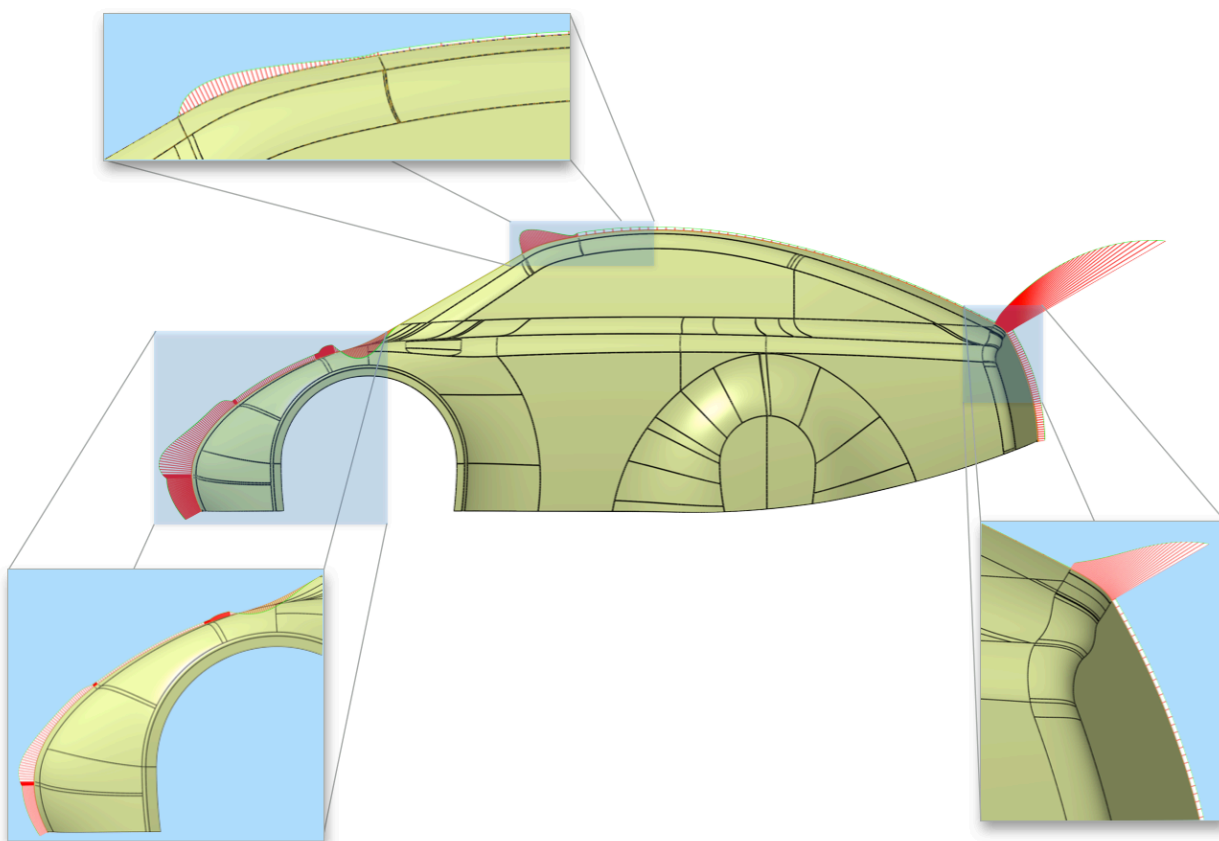
Rys. 16 Poszycie zastępcze wykorzystane w sezonie 2014 SEM w Rotterdamie
[https://www.flickr.com/photos/shell_eco-marathon]

5. ANALIZA KRZYWYCH I POWIERZCHNI

Proces modelowania powierzchni, a zwłaszcza powierzchni opartych na krzywych [3, 10, 11] wiąże się nie tylko z ich kształtowaniem, ale również z analizą ich poprawności. Dlatego też podczas procesu modelowania należy często korzystać z dostępnych analiz jakości krzywych i powierzchni zaimplementowanych jako narzędzia programowe dostępne w modułach, np. *FreeStyle Shaper & Optimizer* systemu CATIA v5 [10].

Podczas procesu modelowania powierzchni omawianego nadwozia często posługiwano się narzędziem *Porcupine Analysis* modułu *FreeStyle Shaper & Optimizer* systemu CATIA v5 [10]. Za jego pomocą można łatwo i jednoznacznie ocenić przebieg zmienności krzywizn analizowanych krzywych.

Przykład zastosowania tego narzędzia widoczny jest na rys. 17. Analizując kształt wykresów „pióropuszkowych” można ocenić miejsca i charakter zmian wartości promieni krzywizn analizowanej krzywej.

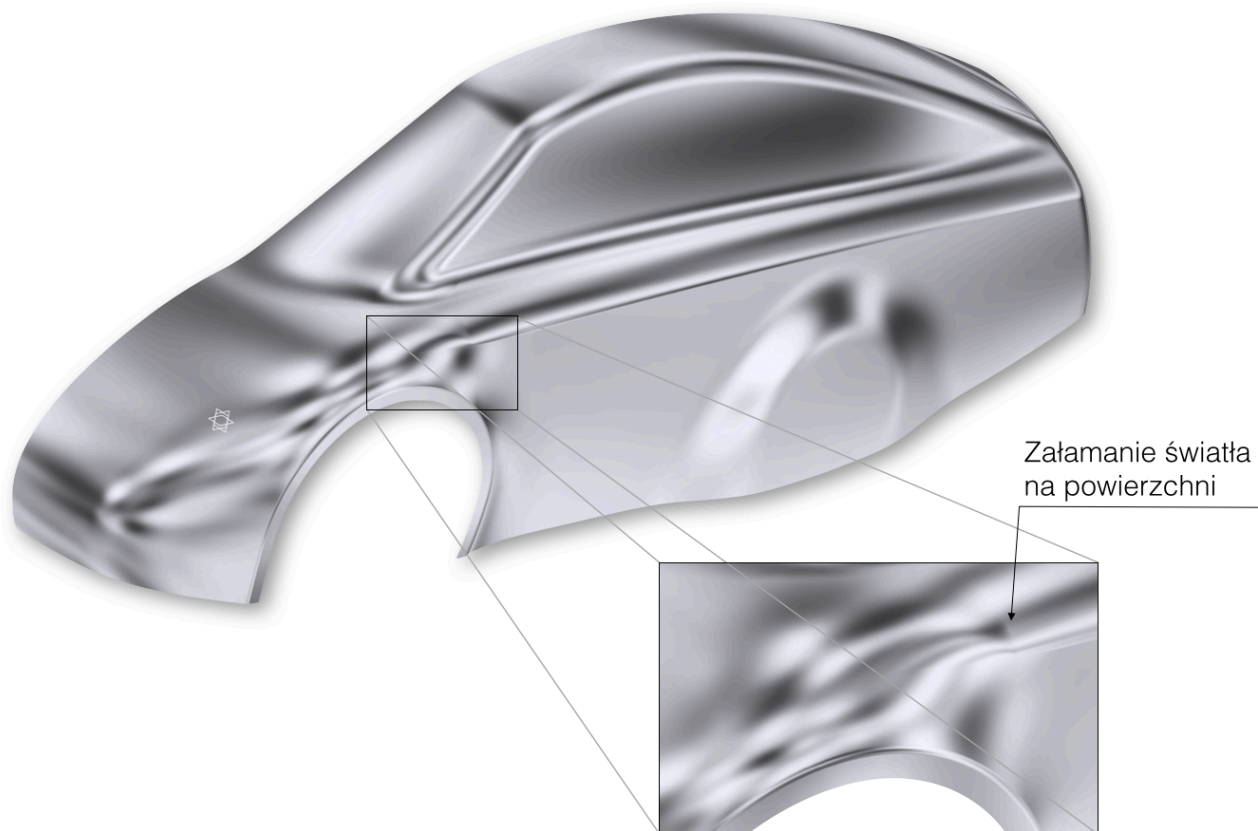


Rys. 17 Efekt wykonania analizy zmienności krzywizn krzywej przekrojowej nadwozia

Niestety, ale sama analiza zmienności krzywizn krzywych nie wystarcza. Nasz model składa się z powierzchni, i to ich jakość decyduje o jego poprawności geometrycznej.

Jedną z podstawowych analiz poprawności powierzchni jest zastosowanie narzędzia *Environment Mapping* modułu *FreeStyle Shaper & Optimizer* systemu CATIA v5 [10]. Dzięki niemu możemy optycznie (jakościowo) ocenić jakość powierzchni, obserwując wszelkie zmiany kształtu w postaci zaburzeń, załamania lub utraty ciągłości. Ułatwia to nam efekt widocznego lustrzanego odbicia symulowanego środowiska zewnętrznego.

Dzięki tej analizie udało się zdiagnozować drobne zafałdowanie powierzchni modelu w okolicy pomiędzy słupkiem A i przednim nadkołem (rys. 18).



Rys. 18 Wykrycie miejscowej nierówności powierzchni jako efekt zastosowania analizy *Environment Mapping* [4]

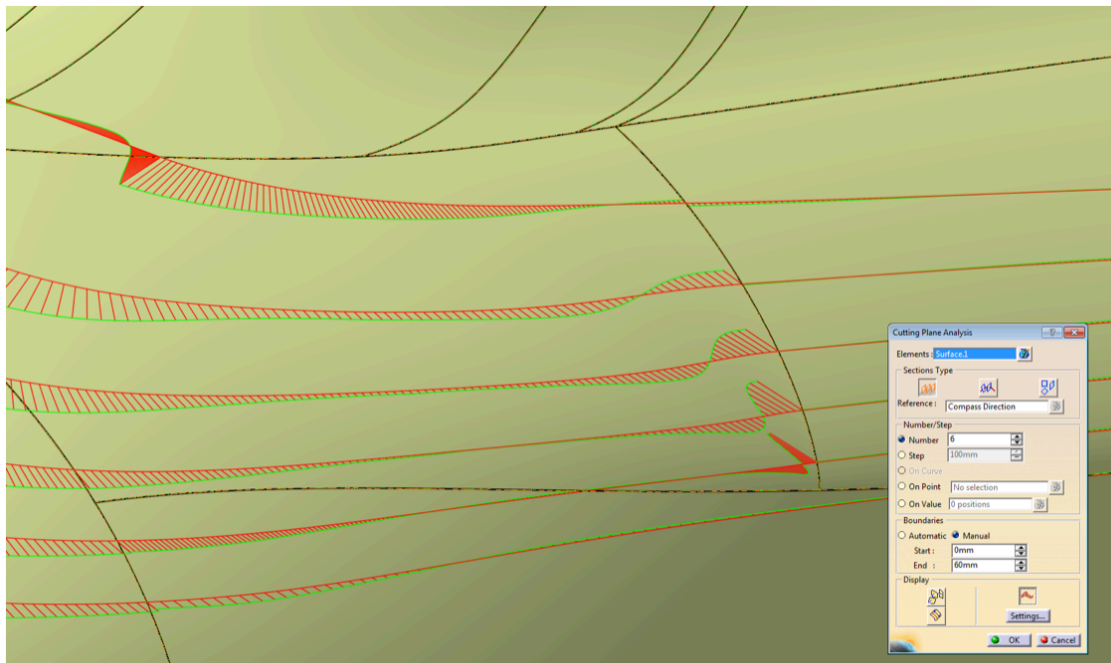
Potwierdzeniem postawionej diagnozy było zastosowanie analizy zmienności krzywizn do newralgicznego obszaru powierzchni (rys. 19).

Obserwacja obrysu wykresów „pióropuszkowych” wyraźnie wskazuje na gwałtowne zmiany nie tylko przebiegu samych krzywych przekrojowych, ale również niezamierzone zmiany przegięcia tych krzywych. Jak można zauważyć, punkty przegięć układają się wzdłuż krzywej, dając efekt wyraźnego i ostrego zafałdowania powierzchni.

Stosując wybrane narzędzia programowe modułu *Generative Shape Design* systemu CATIA v5 [10,11] dokonano usunięcia problematycznego płata powierzchni, a następnie wypełniono powstałą lukę trzema nowymi płatami powierzchni, dbając o zachowanie klasy połączenia płatów powierzchni w standardzie G_1 [10].

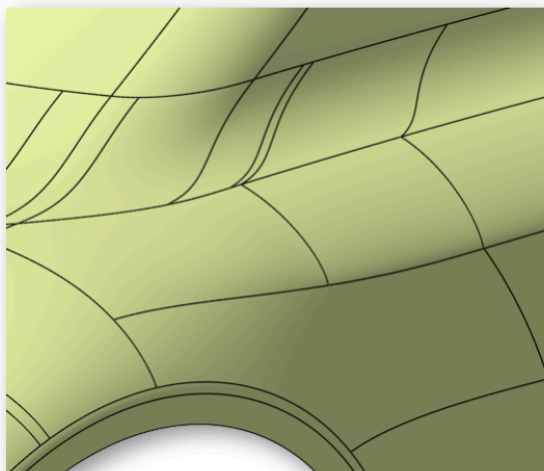
Efekt „przed” i „po naprawie” fragmentu powierzchni modelu karoserii widoczny jest na rys. 20. Widoczne są wyraźnie krawędzie nowych płatów powierzchni.

Dodatkowo, po dokonaniu wspomnianej naprawy powierzchni, wykonano powtórnie analizy zmienności krzywizn krzywych przekrojowych oraz analizy lustrzanych odbić. Wyniki tych analiz widoczne są na rys. 21 i rys. 22.

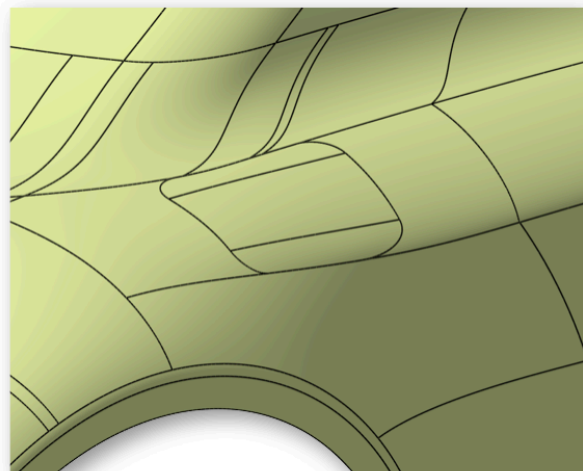


Rys. 19 Efekt wykonania analizy zmienności krzywizn poziomych krzywych przekrojowych w miejscu zdiagnozowania nierówności powierzchni

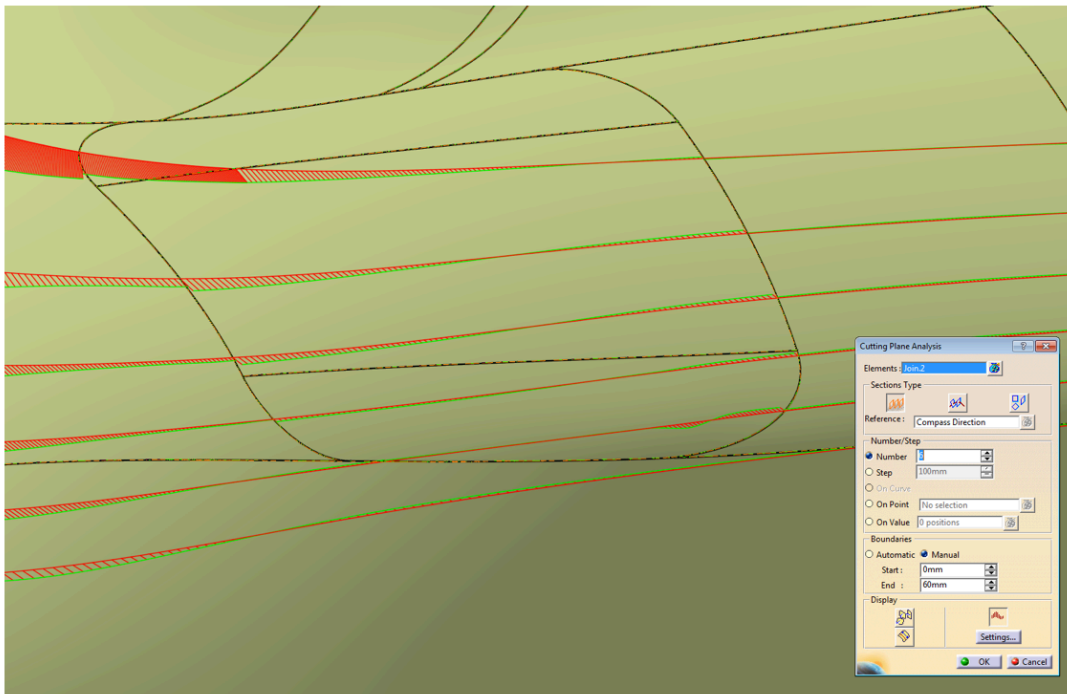
a)



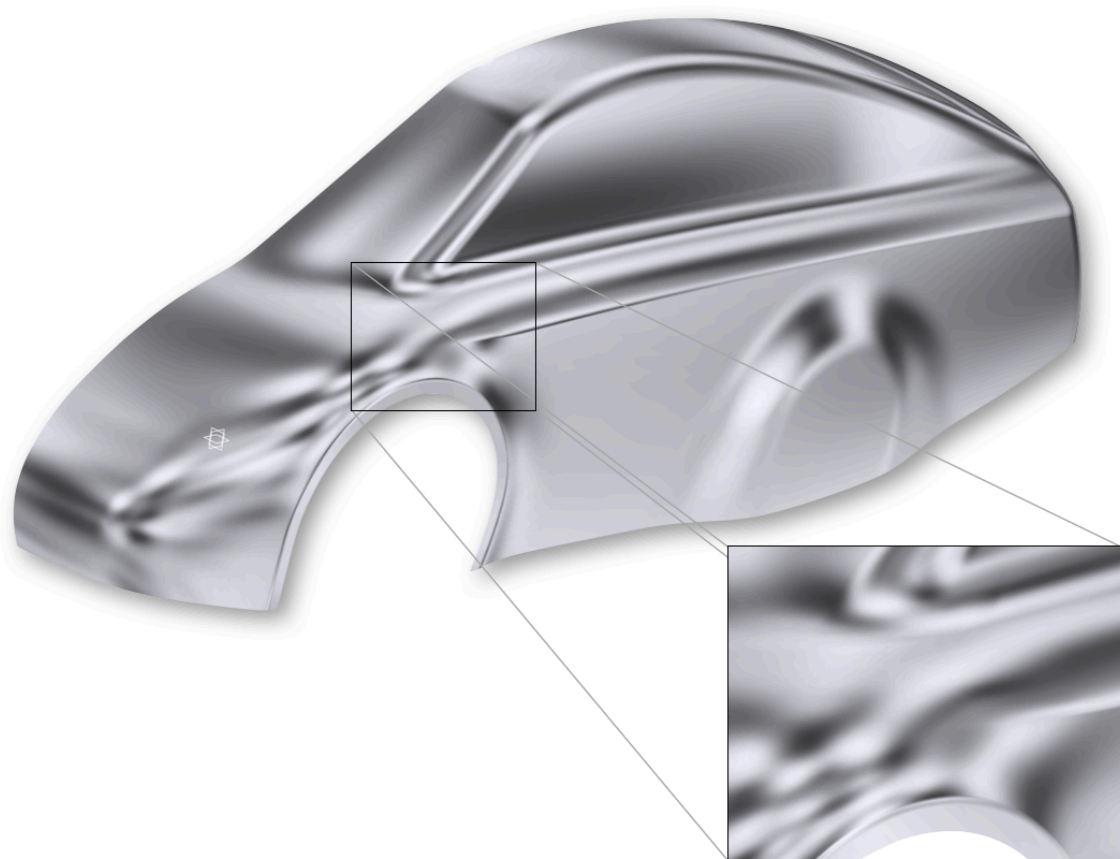
b)



Rys. 20 Widok fragmentu powierzchni nadwozia przed usunięciem zafaldowania (a) oraz po dokonaniu wygładzenia tego miejsca (b) – widoczne nowe płyty powierzchni



Rys. 21 Efekt wykonania analizy zmienności krzywizn poziomych krzywych przekrojowych w miejscu dokonania naprawy powierzchni



Rys. 22 Potwierdzenie prawidłowego dokonania naprawy miejscowej nierówności powierzchni dzięki zastosowaniu analizy *Environment Mapping* [10]

6. WNIOSKI I UWAGI

- Kształtowanie poszycia pojazdu *Bytel* ze względu na relacje konstrukcyjne z wieloma innymi podzespołami pojazdu było niezwykle pracochłonne i długotrwałe.
- Podstawowym kryterium kształtowania poszycia pojazdu wyścigowego SEM jest minimalizacja oporów aerodynamicznych, konieczne jest więc pracochłonne i wielokrotne modyfikowanie powierzchni poszycia i prowadzenie obliczeń CFD kolejnych wersji.
- Wykorzystanie w trakcie wyścigu SEM 2014 wcześniej zaplanowanej wersji poszycia tymczasowego pozwoliło na uzyskanie dodatkowych doświadczeń eksploatacyjnych i wprowadzenie znacznych zmian w konstrukcji płyty podłogowej, poszycia i klatki bezpieczeństwa.
- Proces modelowania powierzchni opartych na krzywych jest bardzo pracochłonny, ale za to daje pełną kontrolę nad uzyskanym rezultatem, czyli powierzchnią.
- Przed przystąpieniem do procesu modelowania powierzchni opartych na krzywych należy dokonać myślowego podziału procesu modelowania na poszczególne etapy, w ramach których zamodelowane zostaną poszczególne płyty powierzchni.
- Skomplikowane postaciowo powierzchnie należy podzielić na osobne fragmenty, dbając jednak o utrzymanie wymaganych klas ciągłości pomiędzy nimi (zwykle G_0 , G_1 , G_2).
- Modele powierzchniowe są wystarczające do wykonywania fotorealistycznych wizualizacji (rys. 23).
- Podczas realizacji procesu modelowania bezwzględnie należy stosować różne dostępne w modelerach powierzchniowych narzędzia diagnostyczne, aby możliwie wcześniej wykryć określone nieprawidłowości.



Rys. 23 Wizualizacja modelu pojazdu *Bytel*

LITERATURA

- [1] Hasa J., Macuda M., Skarka W.: Projektowanie bolidu wyścigowego Silesian Greenpower zorientowane na indywidualne cechy kierowców. *Mechanik* 2012 r. 85 nr 2, dysk optyczny (CD-ROM) s. 1-9, bibliogr. 4 poz.
- [2] Hasa J., Słowik Ł., Skarka W.: Ewolucja elektrycznych bolidów wyścigowych budowanych na Politechnice Śląskiej. [W:] VIII Seminarium Studenckiego Koła

Naukowego Odlewników SFEROID '2012, Ustroń-Jaszowiec, 31 maja - 2 czerwca 2012. Red. Jan Szajnar, Andrzej Studnicki, Jacek Suchoń. Gliwice: Komisja Odlewnictwa PAN. Oddział Katowice, 2012, s. 59-64, bibliogr. 2 poz. (Zeszyty Studenckich Prac Naukowych „Sferoid” ; z. 12).

- [3] Kiciak P.: Podstawy modelowania krzywych i powierzchni, WNT, Warszawa 2000.
- [4] Koło Naukowe Modelowania Konstrukcji Maszyn, Internet (lipiec 2014): <http://www.mkm.polsl.pl>.
- [5] Piechna J.: Podstawy aerodynamiki pojazdów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
- [6] Regulamin konkursu Shell Eco-marathon, Internet (maj 2014): <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon/events/europe.html>.
- [7] Targosz M., Skarka W.: Synergia metod modelowania konstrukcji na przykładzie projektu Smart Power. [W:] XI Forum Inżynierskie ProCAx, Sosnowiec, 2-4.10.2012. [Dokument elektroniczny]. Cz. 1. Warszawa : Agenda Wydaw. SIMP, 2013, s. 1-9, bibliogr. 9 poz. CD-ROM stanowi dodatek do czasopisma Mechanik 2013 r. 86, nr 2.
- [8] Targosz M., Skarka W., Przystałka P.: Simulation And Optimization Methodology Of Prototype Electric Vehicle, Proceedings of the 13th International Design Conference DESIGN 2014 ed: Marjanović D., Štorga M., Pavković N., Bojčetić N. Dubrovnik, Croatia 2014 pp. 1349 – 1360.
- [9] Wąsik M.: Methodology Of Aerodynamic Analysis Of The Cars Participating In The Race Shell Eco-Marathon Based On The Hyperworks Software. 13th International Technical Systems Degradation Conference. Liptovský Mikuláš 23-26 April 2014.
- [10] Węlyczko A.: CATIA V5. Sztuka modelowania powierzchniowego, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2003.
- [11] Wyleżoł M.: CATIA. Podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2003.
- [12] Zieliński A.: Konstrukcja nadwozi samochodów osobowych i pochodnych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003.