

**ANALYSIS OF GEOMETRIC PARAMETERS
INFLUENCE ON ANCHOR ISOFIX CAPABILITY**

**ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW
GEOMETRYCZNYCH ZACZEPU ISOFIX NA
ZDATNOŚĆ TEGO TYPU MOCOWAŃ**

Edyta Rola, Michał Kowalik

Politechnika Warszawska
e-mail: erola@meil.pw.edu.pl, mkowalik@meil.pw.edu.pl

Abstract: A phenomenon that causes damage to the anchor is exceeding the ultimate strength limit, that may occur as a result of the collision. The subject of this paper is shape of an ensuring an adequate level of reliability. In order to determine loads acting on restraint system, the simulation in MADYMO environment has been made. There has been given characteristics of acceleration impulse in time representing process of real head-on collision. To the preparation of geometry, strength calculation and results visualization, there was used an environment of HyperWorks and ANSYS. The anchor dimensions were optimized using response surface method. The calculation performed with finite elements method (FEM) allowed for shape improvement of initial model. Optimization resulted in increasing of safety factor for 60%.

Keywords: isofix, Child restraint systems, FEM, biomechanics, safety, optimization

Streszczenie: Tematem pracy jest ukształtowanie zaczepu ISOFIX zapewniające odpowiedni poziom niezawodności. W celu wyznaczenia obciążeń występujących w mocowaniu urządzenia przytrzymującego przeprowadzono symulację metodą dynamiki układów wieloczłonowych w środowisku MADYMO. Zadano charakterystykę czasową impulsu przyspieszenia odwzorowującą przebieg rzeczywistego zderzenia czołowego. Do przygotowania geometrii, obliczeń wytrzymałościowych oraz wizualizacji wyników wykorzystano środowiska ANSYS oraz HyperWorks. Wymiary zaczepu zostały zoptymalizowane metodą powierzchni odpowiedzi. Przeprowadzone obliczenia metodą elementów skończonych (MES) umożliwiły poprawę kształtu wstępnego modelu. W wyniku optymalizacji zwiększono współczynnik bezpieczeństwa o ok. 60%.

Słowa kluczowe: isofix, urządzenie przytrzymujące dziecko, MES, biomechanika, bezpieczeństwo, optymalizacja

1. Wstęp

Każdego roku na świecie ginie około milion osób (np. w roku 2009 zginęło ok. 1,24 mln), zaś od 20 mln do 50 mln doznaje poważnych obrażeń w wyniku wypadków drogowych [1]. Wyłączną, bądź częściową przyczyną wypadków jest czynnik ludzki, którego nie da się wyeliminować. Szacuje się, że stanowi on przyczynę ok. 95% kolizji [10]. Dzięki zastosowaniu specjalnych rozwiązań w pojazdach można zmniejszyć ryzyko wystąpienia wypadku (bezpieczeństwo czynne) bądź zmniejszyć skutki zaistniałej kolizji drogowej (bezpieczeństwo bierne). Urządzenia przytrzymujące są obecnie jedynym stosowanym rozwiązaniem zmniejszającym ryzyko poniesienia poważnych obrażeń przez dzieci w wyniku kolizji, dlatego każda ich część powinna być zaprojektowana, wykonana i przebadana ze szczególną precyzją. Prawidłowe stosowanie odpowiednich zabezpieczeń, dobranych do masy, wzrostu i stopnia rozwoju poszczególnych układów zmniejsza prawdopodobieństwo śmierci małych dzieci od 54 do 88% [1]. Bardzo istotnym aspektem jest ich poprawne zamontowanie. Szacuje się, że około 50% fotelików dziecięcych jest mocowanych niezgodnie z instrukcją. Najczęściej pozostawia się zbyt dużo luzu pomiędzy pasem a ciałem dziecka, ramieniowe części pasa umieszcza się zbyt blisko szyi bądź za luźno mocuje cały fotelik. Skutkuje to narażeniem dziecka na dodatkowe urazy. Fotelik musi być dopasowany do wzrostu, wagi i wieku dziecka oraz umożliwiać szybkie wypięcie z pasów.

W wyniku analizy wypadków śmiertelnych w latach 1998-2002, NHTSA zaobserwowało w USA ponad dwukrotnie większe prawdopodobieństwo poniesienia śmierci w przypadku braku bądź nieprawidłowego zabezpieczenia dziecka. Problem nieprawidłowego zamocowania niweluje wykorzystanie ISOFIX. Jest to „system mocowania do pojazdów urządzeń przytrzymujących dla dzieci, obejmujący dwa sztywne uchwyty w pojeździe i dwa odpowiadające im sztywne zaczepy na urządzeniu przytrzymującym dla dzieci, który ma na celu ograniczenie rotacji wzdłużnej urządzenia przytrzymującego dla dzieci” [9].

Rozważanym w niniejszej pracy elementem jest zaczep ISOFIX będący częścią systemu mocowania dziecięcych fotelików samochodowych. Jest to obiekt techniczny, któremu nie przywraca się stanu zdatności. Zjawiskiem powodującym uszkodzenie zaczepu jest przekroczenie doraźnej granicy wytrzymałości, do którego może dojść w wyniku zderzenia. Kontrolowaną cechą zdatności jest zatem zapas wytrzymałości. Ze względów ekonomicznych najbardziej korzystne jest kształtowanie wymaganego poziomu niezawodności na etapie projektowania. Podczas obliczeń wytrzymałości na niezawodność obiektu można wpływać m.in. poprzez dobór odpowiedniego współczynnika bezpieczeństwa. Tematem pracy jest ukształtowanie zaczepu minimalizujące ryzyko jego uszkodzenia w wyniku zderzenia.

2. Urządzenia przytrzymujące dla dzieci – wymagania, montaż, badania

W Polsce, zgodnie z „Kodeksem drogowym”, stosowanie fotelików samochodowych jest obowiązkowe: „dziecko w wieku do 12 lat, nie przekraczające 150 cm wzrostu, przewozi się w foteliku ochronnym lub innym urządzeniu do przewożenia dzieci, odpowiadającym wadze i wzrostowi dziecka oraz właściwym warunkom technicznym” [2]. Foteliki samochodowe, by uzyskać homologację, muszą spełniać wymagania zawarte w obowiązującym na terenie UE Regulaminie ECE R44. Zgodnie z tym regulaminem standardowo wyróżniamy 4 grupy fotelików w zależności od masy dziecka. Przeprowadzone badania dotyczą grupy I, czyli dzieci o masie od 9kg do 18kg. Dziecko z tej grupy podróżuje w pozycji siedzącej, jednak musi być podtrzymywane przez niezależne od sposobu mocowania pasy.

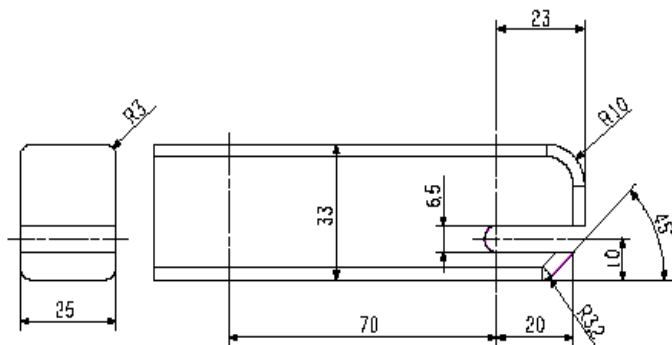
Szybkie i stabilne zamocowanie bez użycia pasów bezpieczeństwa umożliwia system ISOFIX przedstawiony na Rys.1. Niweluje on problem nieprawidłowego zamocowania. Między siedziskiem a oparciem samochodowego znajdują się dwa uchwyty metalowe (3), zaś do podstawy fotelika zamocowane są dwa sztywne zaczepy (1). Montaż polega na zatrzaśnięciu zaczepów na uchwyty, co ułatwiają wkładki prowadzące z tworzywa sztucznego (2). System ISOFIX pozwala na obrót fotelika wokół osi mocowania, któremu przeciwdziałają kontakt z oparciem i siedziskiem fotela.



Rys. 1. System ISOFIX - rysunek poglądowy;
(1) - zaczep ISOFIX, (2) - wkładka pilotująca, (3) - uchwyt ISOFIX [11].

Koncepcja ISOFIX stała się standardem międzynarodowym w 1999 r. W wielu rozwiązaniach występuje również górny pasek (ang. *top tether*), który stanowi trzeci punkt mocowania. Wprowadzenie systemu mocowania ISOFIX radykalnie obniżyło liczbę nieprawidłowo mocowanych fotelików, co było dużym problemem w przypadku konwencjonalnego mocowania fotelika pasami bezpieczeństwa. Przepisy dotyczące ISOFIX zawarte są w regulaminach ECE R14 oraz ECE R16.

Na Rys. 2. przedstawiono maksymalne dopuszczalne wymiary będące jednym z wymagań. Wytrzymałość systemu ISOFIX zgodnie z regulaminem ECE R14 jest badana przy użyciu urządzenia do przyłożenia siły statycznej (SFAD).



Rys. 2. Maksymalne dopuszczalne wymiary (w mm) uchwyty ISOFIX [9].

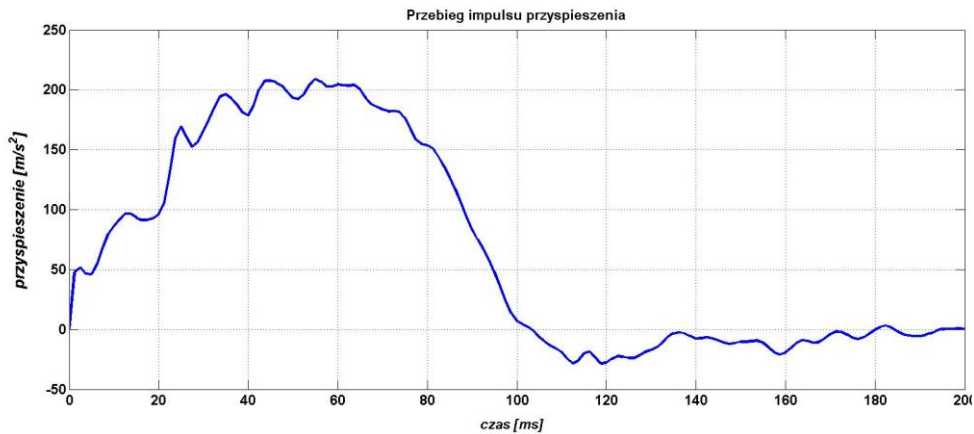
Producenci mają obowiązek wyposażania każdego nowo wyprodukowanego modelu samochodu w system ISOFIX. Poprawność zapięcia zamków w niektórych modelach samochodów kontrolowana jest poprzez elektroniczne czujniki i sygnalizowana kierowcy. Po zamontowaniu fotelika na przednim siedzeniu pasażera następuje automatyczna dezaktywacja poduszki powietrznej pasażera. System uzyskał bardzo dobre wyniki w zderzeniach bocznych oraz podczas dachowania. Na rynku występuje jednak duża liczba producentów i niektóre z rozwiązań tego typu nie zapewniają odpowiedniej ochrony dziecka. Zdarzały się przypadki wyrwania fotelika z bazy, czy też wypadnięcia dziecka wraz z uprzężą.

3. Wyznaczenie obciążeń

W celu uzyskania obciążeń występujących w mocowaniu urządzenia przytrzymującego przeprowadzono symulację metodą dynamiki układów wieloczołowych w środowisku MADYMO. Zastosowano model manekina 3-letniego dziecka z serii Q. Zadano wymuszenie działające w kierunku osi x (leżącej w płaszczyźnie strzałkowej), odwzorowującego przebieg zderzenia czołowego (Rys. 3).

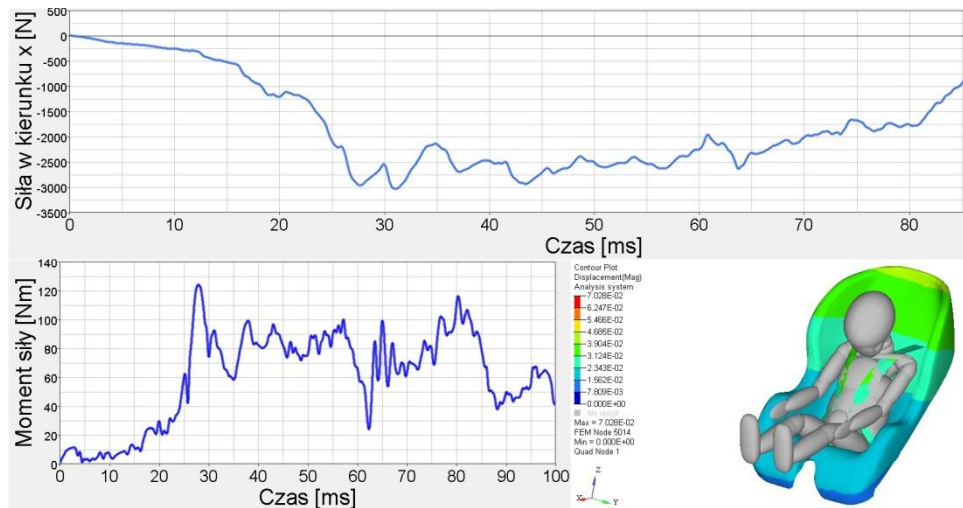
Wykorzystana charakterystyka czasowa impulsu przyspieszenia została opracowana na podstawie wyników badań eksperymentalnych (zderzenie ze sztywną barierą, 50km/h). Mieści się ona w zakresie dopuszczalnego korytarza, zgodnego z obowiązującym na terenie UE Regulaminem ECE R44. Otrzymano odpowiedź układu spełniającą wymagania zawarte w tym regulaminie:

- przyspieszenie klatki piersiowej było mniejsze niż 55g (3ms);
- składowa pionowa przyspieszenia klatki piersiowej była niższa niż 30g
- głowa manekina nie wyszła poza obszar kontrolny;
- nie zaobserwowano wgniecenia klamry pasów w brzuch.



Rys. 3. Charakterystyka czasowa impulsu przyspieszenia.

Dodatkowo kontrolowano przebieg przyspieszeń środka ciężkości głowy oraz siły i momenty występujące w szyi modelu manekina. Dzięki narzędziom dostępnym w programie HyperView możliwa była jednoczesna ocena przebiegów czasowych i wizualizacji ruchu, co ułatwiło interpretację wyników. W wyniku przeprowadzonej analizy dynamicznej otrzymano przebieg wartości poszczególnych reakcji w miejscu mocowania fotelika. Przebiegi te zobrazowano na Rys. 4.

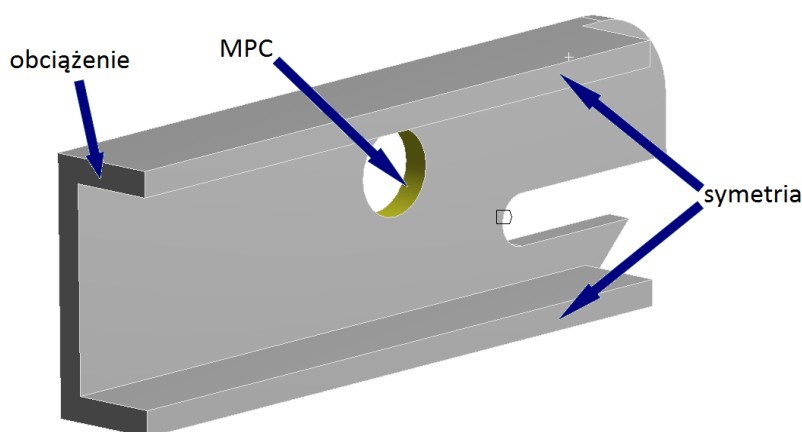


Rys. 4. Przebieg czasowy reakcji w mocowaniu fotelika oraz wygląd modelu.

Zaniedbano reakcje w kierunku osi y i z ze względu na małe ich wartości. W miejscu mocowania otrzymano maksymalną siłę reakcji wynoszącą 3,5 kN oraz maksymalny moment o wartości 120 Nm. Obciążenia zostały następnie przyłożone do uproszczonego modelu zaczeputu.

4. Obliczenia Metodą Elementów Skończonych (MES)

Przed przeprowadzeniem obliczeń dokonano idealizacji kształtu modelu zaczeu ISOFIX. Pominięto fragmenty konstrukcji, które nie mają istotnego wpływu na wyniki prowadzonych obliczeń, a znacznie wydłużają ich czas. Zastosowany materiał to stal o następujących własnościach materiałowych: $R_e=250$ MPa, $R_m=460$ MPa.

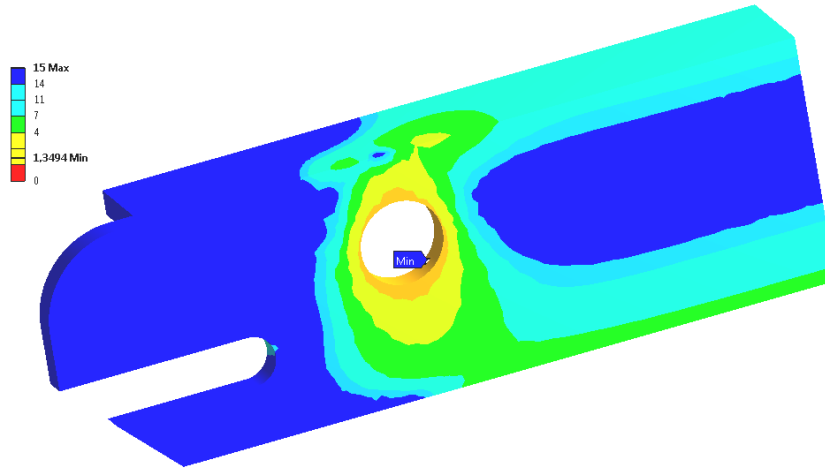


Rys. 5. Warunki brzegowe.

Wykorzystano symetrię geometrii oraz obciążeń, dzięki czemu analizę przeprowadzono dla 1/2 modelu. Zadany warunek symetrii zobrazowano na Rys. 5. Zmniejszono w ten sposób koszt numeryczny obliczeń, a także odebrano 3 stopnie swobody. Obciążenie przyłożono do powierzchni pokazanej na rysunku. W modelu zastosowano warunek brzegowy typu MPC (*Multi Point Constraints*), modelujący współpracę zaczeu z mechanizmem blokującym. Został on zadany na powierzchni walcowej i zaczeu w punkcie oznaczonym etykietą.

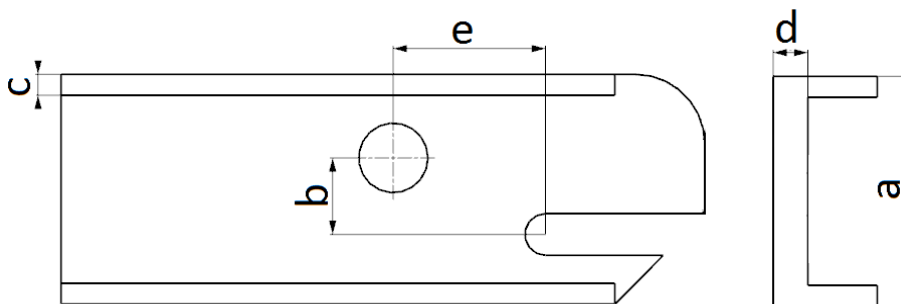
5. Uzyskane wyniki

Wykonano analizy numeryczne w zakresie liniowo-sprężystym. Wyniki zobrazowano w postaci map rozkładu wartości współczynnika bezpieczeństwa. Wartości uzyskane w pierwszej iteracji zobrazowano na Rys. 6. Minimalna wartość współczynnika bezpieczeństwa wystąpiła w okolicy otworu i wynosiła 1,35. Uznano, że ze względu na istotę pracy elementu konieczne jest zwiększenie współczynnika bezpieczeństwa do wartości co najmniej 2. Postanowiono zmodyfikować wymiary zaczeu. Znalezienie zadowalającego rozwiązania jest czasochłonne. Wymaga przeprowadzenia wielu analiz uwzględniających liczne kombinacje parametrów. W celu uzyskania satysfakcjonującego rezultatu przeprowadzono optymalizację parametryczną.



Rys. 6. Rozkład wartości współczynnika bezpieczeństwa przed optymalizacją.

Wybrane zmienne decyzyjne (parametry wejściowe) zilustrowano na Rys. 7. Określono granice w jakich mogą się zawierać [Tabela 1]. Początkowe wartości parametrów a, b, c, d, e wynoszą odpowiednio 30, 6, 3, 3, 20.

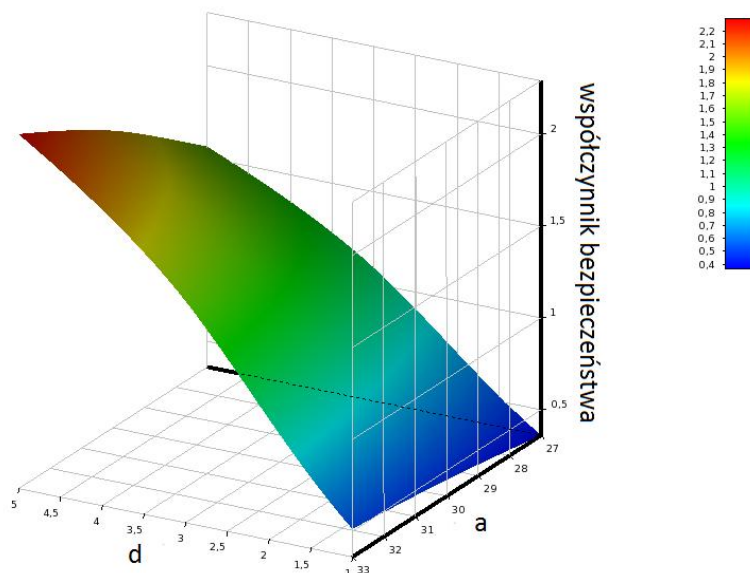


Rys. 7. Zmienne decyzyjne.

Celem optymalizacji była maksymalizacja minimalnego współczynnika bezpieczeństwa. Dla zdefiniowanych kombinacji parametrów wejściowych w wyniku obliczeń wyznaczono odpowiedni zestaw parametrów wyjściowych.

Otrzymano minimalne wartości współczynnika bezpieczeństwa w zakresie od 0,45 do 2. Następnie oszacowano zależności pomiędzy parametrami wejściowymi a wyjściowymi dla całej przestrzeni projektowej oraz zwizualizowano wyniki w postaci powierzchni odpowiedzi (*Response Surface*) [Rys. 8].

Prezentacja wyników w postaci powierzchni odpowiedzi pozwala zrozumieć zachowanie konstrukcji i określić zmiany jakie należy wprowadzić, aby układ spełniał zadane kryteria. Dane wyjściowe uzyskane tym sposobem mają charakter przybliżony.



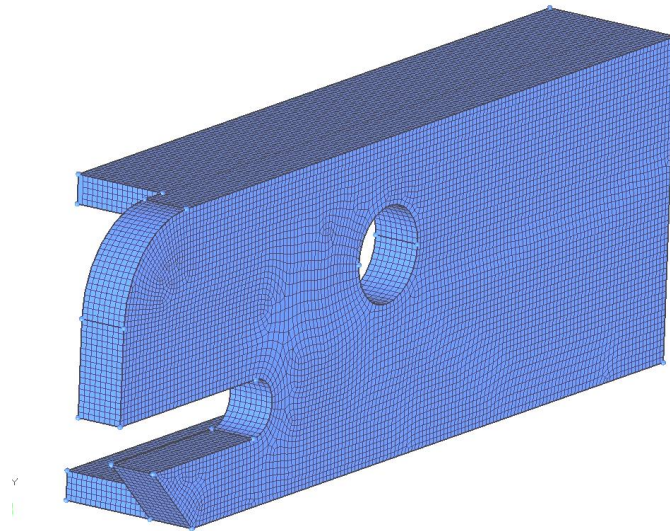
Rys. 8. Powierzchnia odpowiedzi.

Kolejnym etapem było wyselekcjonowanie ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych tzw. najlepszych kandydatów [Tabela 1]. Dokonano również weryfikacji wyników w zaproponowanych punktach projektowych. Uzyskano niewielkie różnice pomiędzy wartościami dokładnymi i uzyskanymi na podstawie powierzchni odpowiedzi.

Tabela 1. Graniczne wartości parametrów wejściowych oraz najlepsi kandydaci

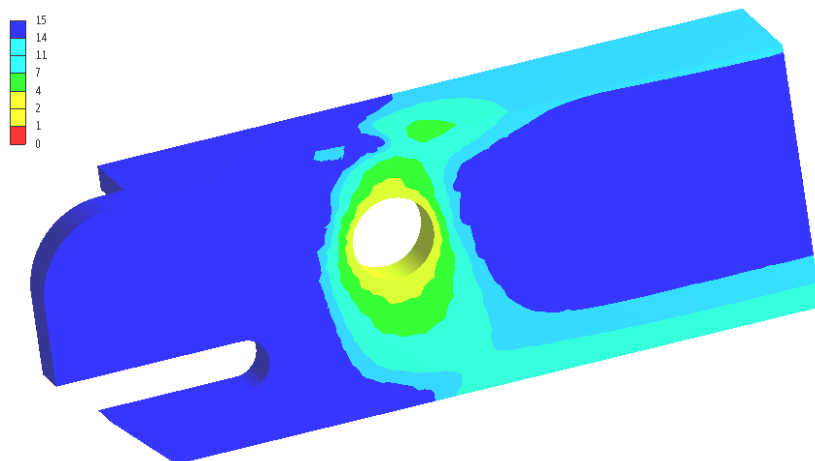
Zmienna decyzyjna	a	b	c	d	e	WB
Minimalna wartość	27	4	1	1	8	
Maksymalna wartość	33	10	5	5	30	
Kandydat A	32,69	8,07	2,91	4,92	21,81	2,21
Zweryfikowany kandydat A						2,20
Kandydat B	32,81	7,46	2,32	4,79	20,02	2,19
Zweryfikowany kandydat B						2,17
Kandydat C	27,14	4,56	2,18	4,84	18,78	2,14
Zweryfikowany kandydat C						1,94

Najlepszym okazał się kandydat A, jednak ze względów konstrukcyjnych konieczne było zaokrąglenie wartości proponowanych parametrów. Kolejnym krokiem było wykonanie dokładniejszej siatki w programie HyperMesh. Rozpatrywane kontinuum na skończoną liczbę części.



Rys. 9. Siatka wykonana w programie HyperMesh.

Użyto elementów 20-węzłowych. Model podzielony został na ok. 104 000 elementów. Wykorzystując dostępne w programie HyperMesh narzędzia zweryfikowano jakość poszczególnych elementów oraz całej siatki [Rys. 9]. Wyniki wykonanych analiz numerycznych zobrazowano w postaci mapy przedstawiającej rozkład wartości współczynnika bezpieczeństwa [Rys. 10].



Rys. 10. Rozkład wartości współczynnika bezpieczeństwa po optymalizacji.

Obliczenia wykonano dla następującej kombinacji parametrów wejściowych: $a=33$ mm, $b=8$ mm, $c=3$ mm, $d=5$ mm, $e=22$ mm. Przeprowadzone badania pozwoliły na zwiększenie minimalnego współczynnika bezpieczeństwa z 1,3 do 2,2.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone obliczenia umożliwiły poprawę kształtu wstępnego modelu zaczepu. W wyniku optymalizacji zwiększono współczynnik bezpieczeństwa o ok. 60%. Zminimalizowano w ten sposób ryzyko utraty stanu zdadności podczas zderzenia. Model numeryczny może podlegać dalszej optymalizacji. Ostateczna weryfikacja parametrów zaczepu ISOFIX wraz z jego właściwościami funkcjonalnymi i wytrzymałościowymi powinna zostać przeprowadzona na podstawie prób doświadczalnych.

Pracę wykonano na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa przy wykorzystaniu wersji edukacyjnej oprogramowania HyperWorks.

7. Literatura

- [1] Global Status Report on Road Safety. WHO 2013.
- [2] Prawo o ruchu drogowym. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r.
- [3] Rola E.: Analiza możliwości zastosowania poduszki powietrznej dla poprawy bezpieczeństwa dziecka podróżującego w foteliku na tylnym siedzeniu samochodu podczas zderzenia czołowego. PW, praca dyplomowa magisterska, Warszawa 2013.
- [4] Safety Rating Program for Child Restraint Systems. NHTSA-2001-10053.
- [5] Szopa T.: Niezawodność i bezpieczeństwo. Warszawa 2009.
- [6] Świetlik M., Rzymkowski C., Kędzior K.: Efficiency of moveable type of Child restraint Systems In the event of Head-on Collision. Mexico 2011.
- [7] United Nations Economic Commission for Europe. Regulation No. 14.
- [8] United Nations Economic Commission for Europe. Regulation No. 16.
- [9] United Nations Economic Commission for Europe. Regulation No. 44.
- [10] Wicher J.: Bezpieczeństwo samochodu i ruchu drogowego. WKŁ, Warszawa 2004.
- [11] www.sjova.is



***Edyta Rola** is a PhD student at the Faculty of Power and Aeronautical Engineering. In her research she deals with problems connected with biomechanics (especially with biomechanics of impact injury), finite elements method, multi-body systems, analysis and modelling of vehicles and biomechanical systems and practical usage of engineering software.*



***Michał Kowalik** is a teaching and research assistant at the Institute of Aeronautics and Applied Mechanics, The Faculty of Power and Aeronautical Engineering. His main field of research is analysis (computational and experimental) of various structures and biological tissues.*