

ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Analiza naprężeń i przemieszczeń występujących w zderzaku samochodu terenowego

R. Jargieło^a, M. Sroka^b, W. Sitek^b, A. Śliwa^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: robert.jargielo@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: marek.sroka@polsl.pl

Streszczenie: Celem pracy było zaprojektowanie trójwymiarowego modelu zderzaka samochodu terenowego, wykonanego ze stali konstrukcyjnej niestopowej. Nałożono na niego siatkę elementów skończonych za pomocą programu Autodesk Inventor. Wykonano symulację trzech uderzeń z siłą 5000 N przy zastosowaniu MES, w celu analizy i interpretacji naprężeń Von Mises oraz przemieszczeń.

Abstract: The point of this study was to design a three-dimensional model of off-road car's steel bumper, imposition of finite element mesh using Autodesk Inventor, in order to simulate three different types of collisions (each of them with the strength of 5000 N) using FEM for further analysis and interpretation of displacements and Von Mises stresses.

Słowa kluczowe: zderzak samochodowy, CAD, MES, rozkład naprężeń, przemieszczenia

1. WPROWADZENIE

Zderzak jest to najbardziej wysunięty w przód i w tył element nadwozia występujący w każdym pojeździe, który jest dopuszczony do ruchu. W przypadku samochodów osobowych głównym zadaniem zderzaka, który w większości przypadków wykonany jest z tworzywa sztucznego, jest łagodzenie skutków kolizji lub wypadku drogowego przy niskich prędkościach. Zderzaki samochodów osobowych, montowane seryjnie, w przypadku kolizji przy większej prędkości nie mają wpływu na bezpieczeństwo pasażerów, czy sposób deformacji nadwozia [5].

Auta terenowe, wykorzystywane do zaawansowanej jazdy poza drogami, przy ostrych kątach natarcia oraz zejścia narażone są o wiele bardziej na uszkodzenia zderzaków niż auta osobowe. Celem uniknięcia notorycznych napraw zderzaków poprzez spawanie, czy wymianę zaczepów, wiele firm w swojej ofercie sprzedaży posiada stalowe zderzaki montowane do

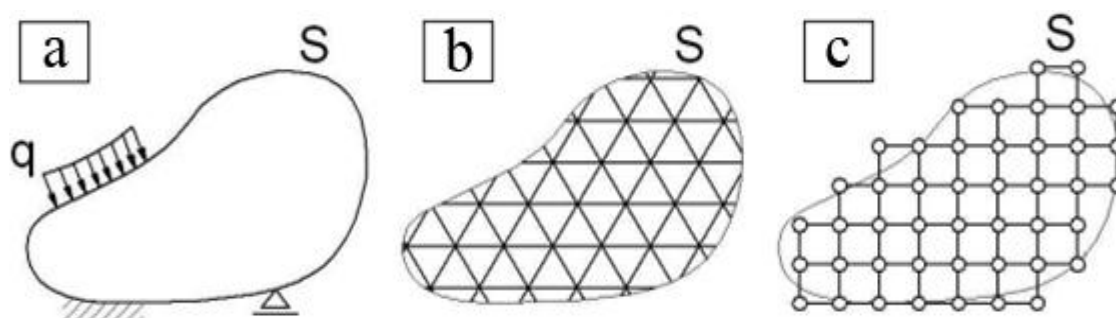
ramy pojazdu. Poza poprawieniem bezpieczeństwa i minimalizowaniem kosztów ekspedycji terenowych zderzaki te posiadają dodatkowe warianty wyposażenia takie jak: płyta do mocowania wyciągarki, uchwyt szekli, reflektory halogenowe drogowe, reflektory przeciwmgielne czy nawet światła do jazdy dziennej [1, 6].

Zderzaki te są z reguły wycinane strumieniem wody z dodatkiem ścierniwa lub laserowo z arkuszy o grubości 4-6 mm. Następnie poddawane są one umocnieniu poprzez śrutowanie, co skutkuje zwiększeniem wytrzymałości zmęczeniowej oraz są cynkowane w celu zwiększenia ochrony przed szkodliwym działaniem powietrza i wody – korozji. Malowane są one z reguły farbą proszkową przy użyciu techniki wysokonapięciowej – natrysku elektrostatycznego [2, 5, 6].

2. MODEL NUMERYCZNY

Celem niniejszej pracy było stworzenie symulacji uderzenia modelu zderzaka przeznaczonego dla samochodu terenowego, którego zadaniem byłoby uniknięcie uszkodzeń lakieru i mocowań zderzaków fabrycznych podczas „kolizji” oraz natarć i zjazdów z symboliczną prędkością. Projekt został wykonany w programie Autodesk Inventor Professional 2016 i przeanalizowany przy użyciu metody elementów skończonych. Analizowane sytuacje to odwzorowanie uderzenia czołowego w przeszkodę, oraz uderzenia bocznego, mających na celu zobrazowanie zachowania modelu o określonych własnościach wytrzymałościowych, z uwzględnieniem zastosowanych metod obróbki oraz stosowanej technologii spajania. Wyniki symulacji uderzeń z większą siłą, niż symboliczna jasno prezentują niedociągnięcia konstrukcyjne, wpływające na bezpieczeństwo karoserii samochodu jak i jego komponentów.

Metoda elementów skończonych (MES) (ang. FEA – finite element analysis) to metoda rozwiązująca równania różniczkowe. Metoda ta powstała w celu rozwiązywania zagadnień dotyczących badań kosmicznych, dopiero później wykorzystano ją do obliczania zagadnień takich jak np. wymiana ciepła. Metoda MES ewoluowała w dużej mierze dzięki rozwojowi maszyn obliczeniowych oraz ciągłej potrzebie projektowania statków kosmicznych. W dzisiejszych czasach metoda MES znajduje swoje zastosowanie w wielu dziedzinach nauki. Ideą metody MES jest podział obszaru (dyskretyzacja), modelu geometrycznego ciągłego na elementy skończone, które łączą się ze sobą w węzłach. Efektem tego działania jest utworzenie modelu geometrycznego dyskretnego. Jako, że węzły są wspólne dla elementów sąsiednich, określony obszar po dyskretyzacji tworzy siatkę elementów [3, 4].



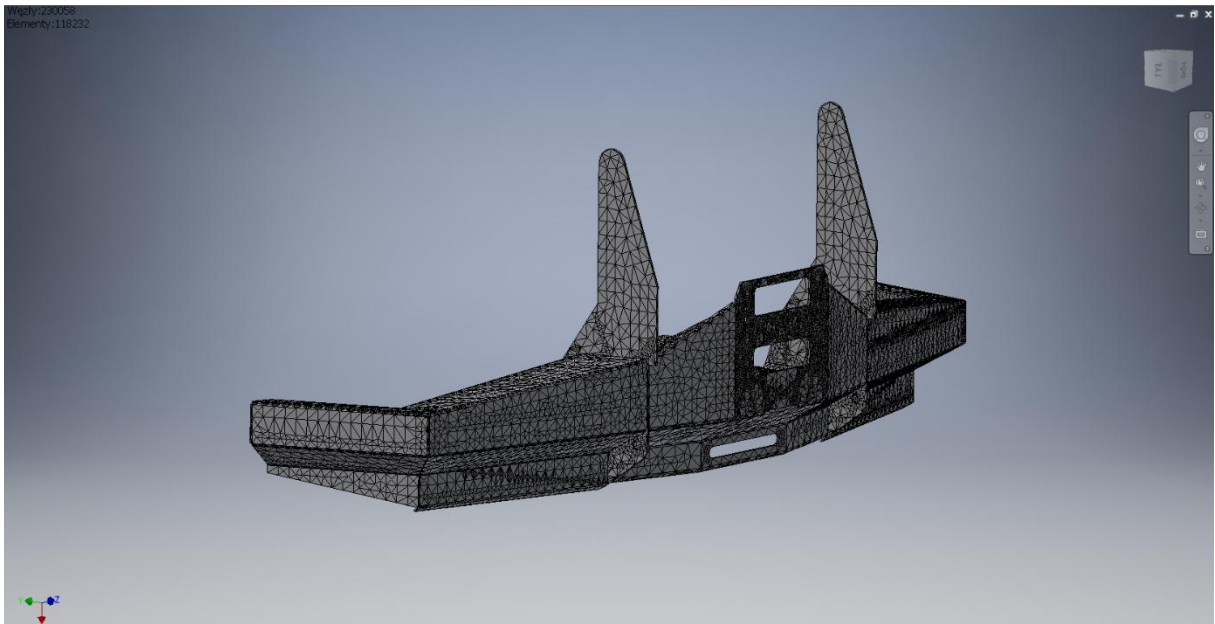
Rysunek 1. Dyskretyzacja modelu ciągłego. a) model geometryczny ciągły, b) model dyskretny idealny c) model dyskretny obliczeniowy [4]

Figure 1. Discretization with the Finite Element Method. a) geometric model, b) discrete model, c) calculation model [4]

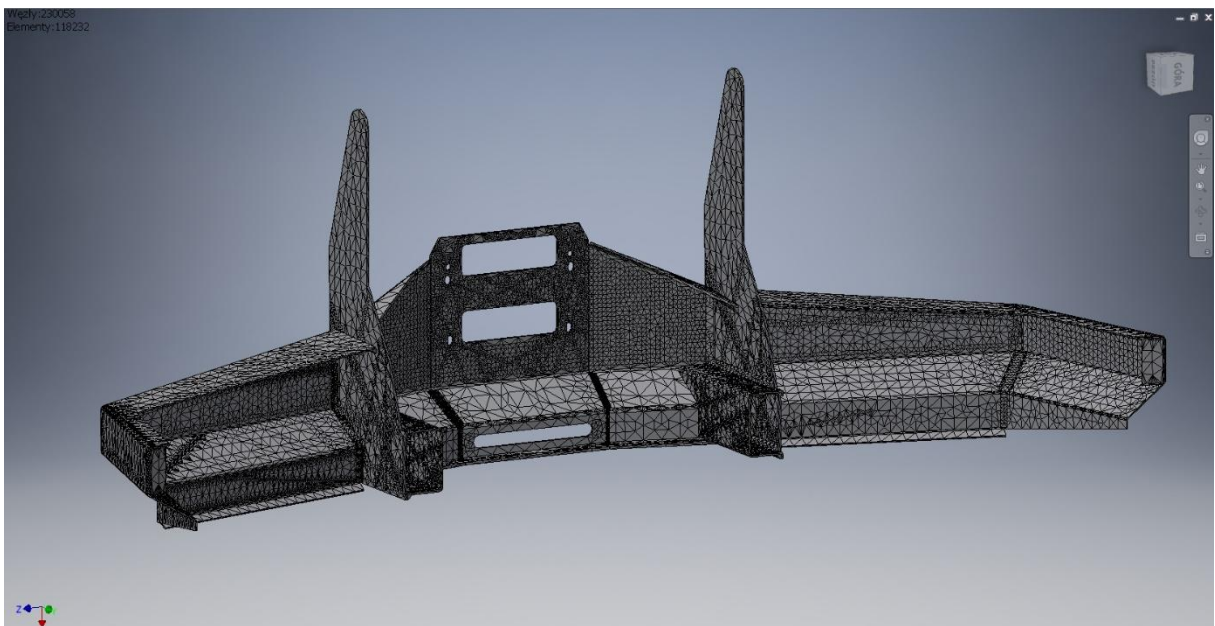
Model, jak i zarazem symulacja zostały zaprojektowane w programie Autodesk Inventor. Symulacja, przy użyciu metody elementów skończonych została dokonana za pomocą standardowego rozszerzenia firmy Autodesk. Materiał wybrany na zderzak to stal konstrukcyjna S275J0 (1.0143), dla której przyjęto następujące własności fizyczne:

Tablica 1. Własności fizyczne wykorzystane do symulacji MES
Table 1. Physical properties used in the FEM simulation

Przewodność cieplna	4,500E+01 W/(m·K)
Ciepło właściwe	0,480 J/(g·°C)
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	12,000 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$
Moduł Younga	220,000 GPa
Współczynnik Poissona	0,28
Moduł Kirchhoffa	140250,000 MPa
Gęstość	7,850 g/cm ³
Granica plastyczności	207,000 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	345,000 MPa



Rysunek 2. Model z nałożoną siatką MES (przód)
Figure 2. The model with a FEM grid overlaid (front)



Rysunek 3. Model z nałożoną siatką MES (tył)
Figure 3. The model with a FEM grid overlaid (back)

3. BADANIE, ANALIZA WYNIKÓW

W wyniku przeprowadzonego badania metodą elementów skończonych przy użyciu oprogramowania Autodesk Inventor Professional 2016 na zamodelowanym zderzaku

samochodowym dokonano analizy naprężeń Von Mises oraz przemieszczenia. Symulacje uderzeń przy użyciu siły 5000 N wykazały newralgiczne punkty konstrukcji, widoczne na rysunkach 4 – 15.

Podczas symulacji uderzenia czołowego, w miejscu przyłożenia siły, naprężenia Von Mises wyniosły jedynie 13 MPa w dolnej jego części, 60 MPa w górnej oraz między 106 i 126 MPa po bokach. Przemieszczenia odnotowane obok miejsca montażu zderzaka wyniosły 0,014 mm oraz 0,046 mm.

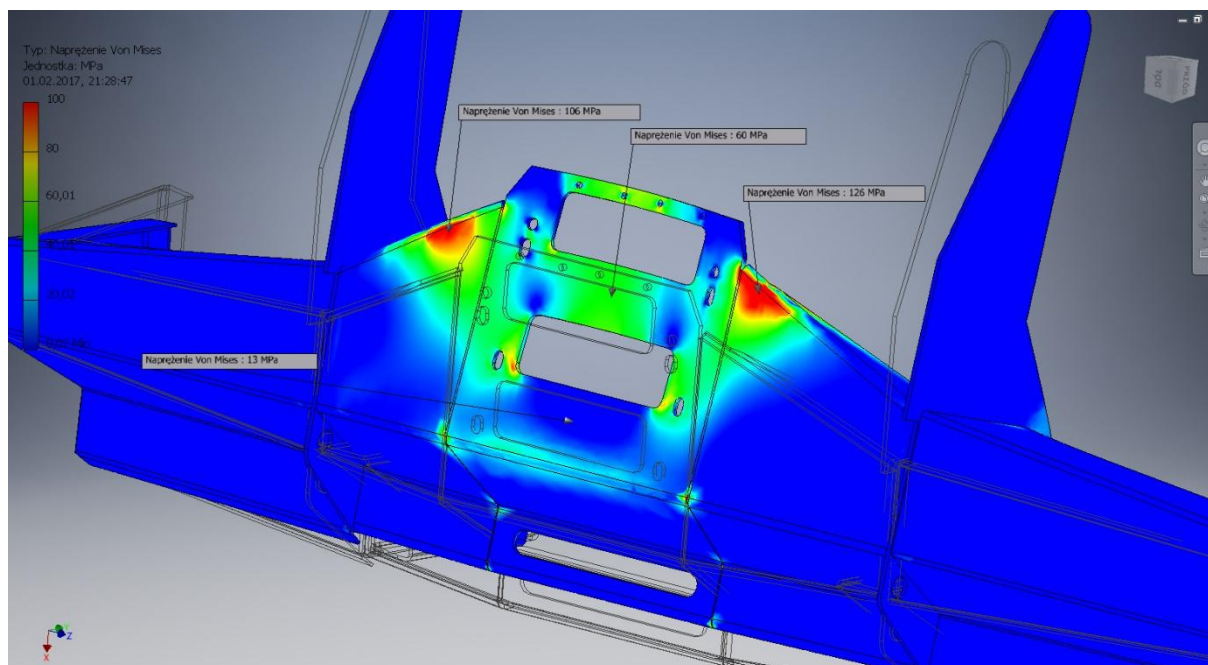
Symulacja uderzenia w prawy bok wykazała naprężenia rzędu 57 oraz 81 MPa, w miejscu przyłożenia siły oraz 36, 97 i 117 MPa na ramieniu zderzaka. Przemieszczenia wyniosły 12 i 8,3 mm w miejscu przyłożenia siły oraz 7,1 na ramieniu.

Symulacja uderzenia w prawe ramię zderzaka przedstawiła wyniki naprężeń Von Mises w miejscu przyłożenia siły rzędu 42 i 99 MPa, oraz przemieszczenia na poziomie 9,06 (dla poprzecznej płyty) 6,24 oraz 5,2 mm.

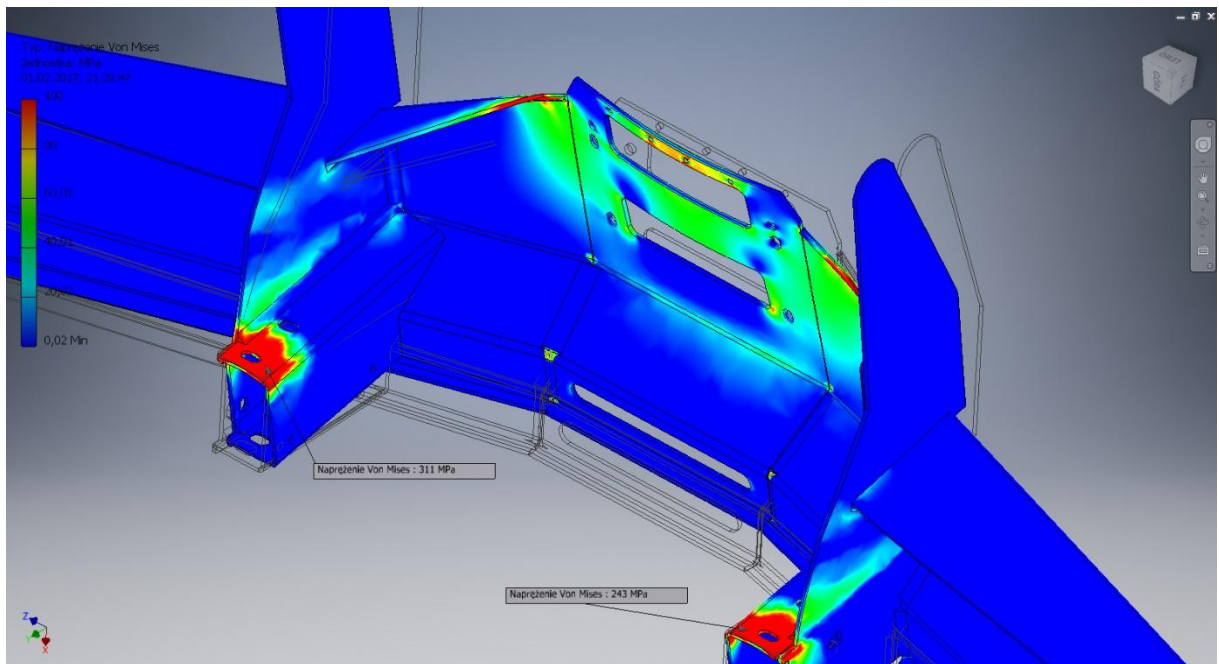
Największe naprężenia Von Mises, 240, 268 i 310 MPa, odnotowane podczas symulacji wystąpiły w miejscu mocowania zderzaka do ramy samochodu, tuż obok podłużnych otworów na śruby, natomiast dwa największe przemieszczenia wyniosły – 9,27 na jednej z poprzecznych płyt, do których przyspawane zostały zaczepy oraz 11,97 mm na skrajnej, bocznej części zderzaka. Obydwa zaobserwowane podczas symulacji uderzenia w bok zderzaka (rysunki 8 – 11).

Najniebezpieczniejszym uderzeniem dla karoserii samochodu oraz jego komponentów było uderzenie w bok zderzaka (rysunki 8 – 11).

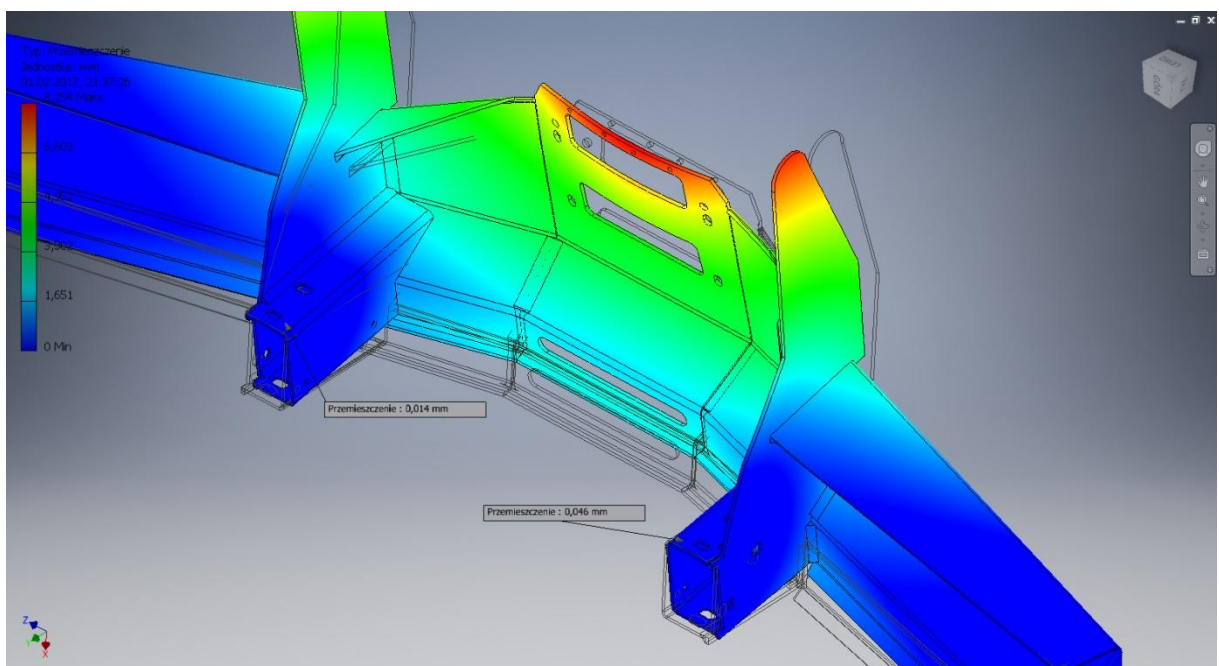
- Uderzenie czołowe, 5000 N



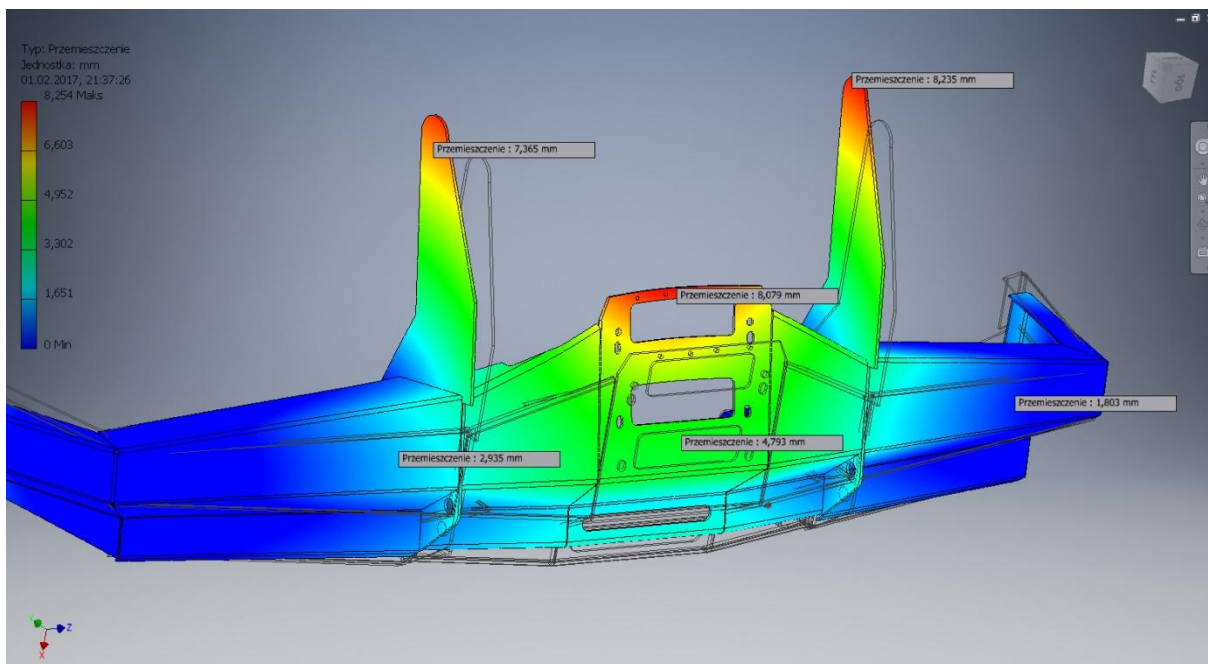
Rysunek 4. Wyniki badania MES – naprężenia Von Mises – uderzenie czołowe – przód
Figure 4. The FEM research results – Von Mises stress – frontal impact – front



Rysunek 5. Wyniki badania MES – naprężenia Von Mises – uderzenie czołowe – tył
Figure 5. The FEM research results – Von Mises stress – frontal impact – back

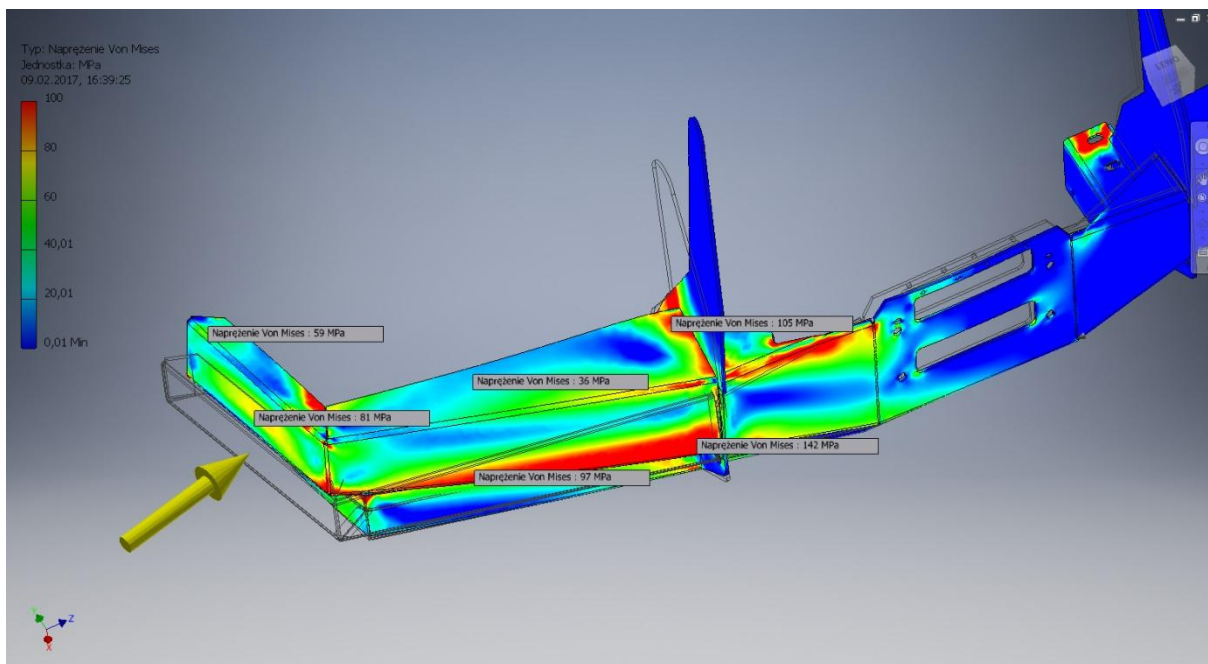


Rysunek 6. Wyniki badania MES – przemieszczenie – uderzenie czołowe – tył
Figure 6. The FEM research results – displacement – frontal impact – back

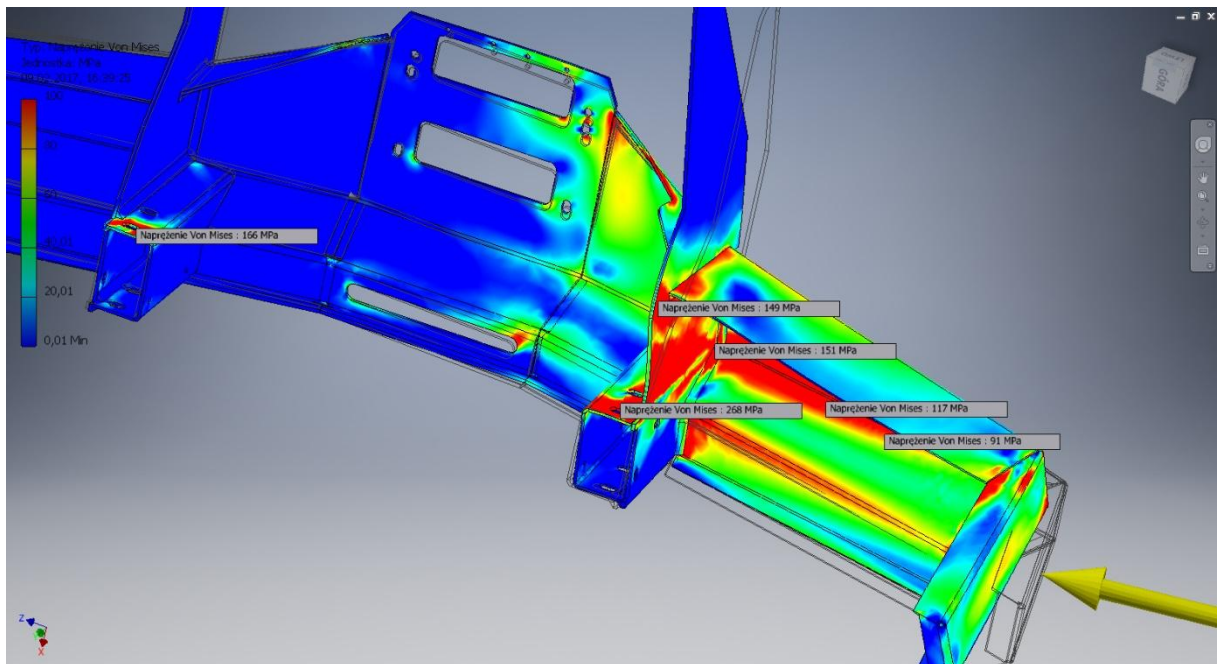


Rysunek 7. Wyniki badania MES – przemieszczenie– uderzenie czołowe – przód
 Figure 7. The FEM research results – displacement – frontal impact – front

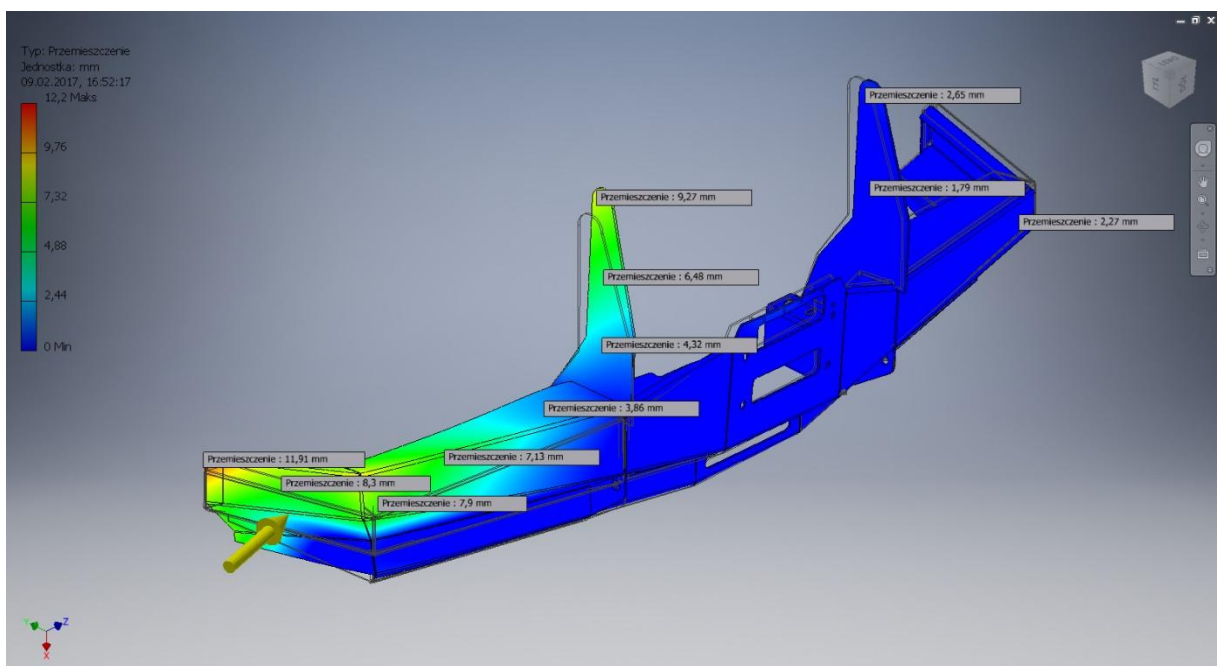
- Uderzenie w prawy bok, 5000 N



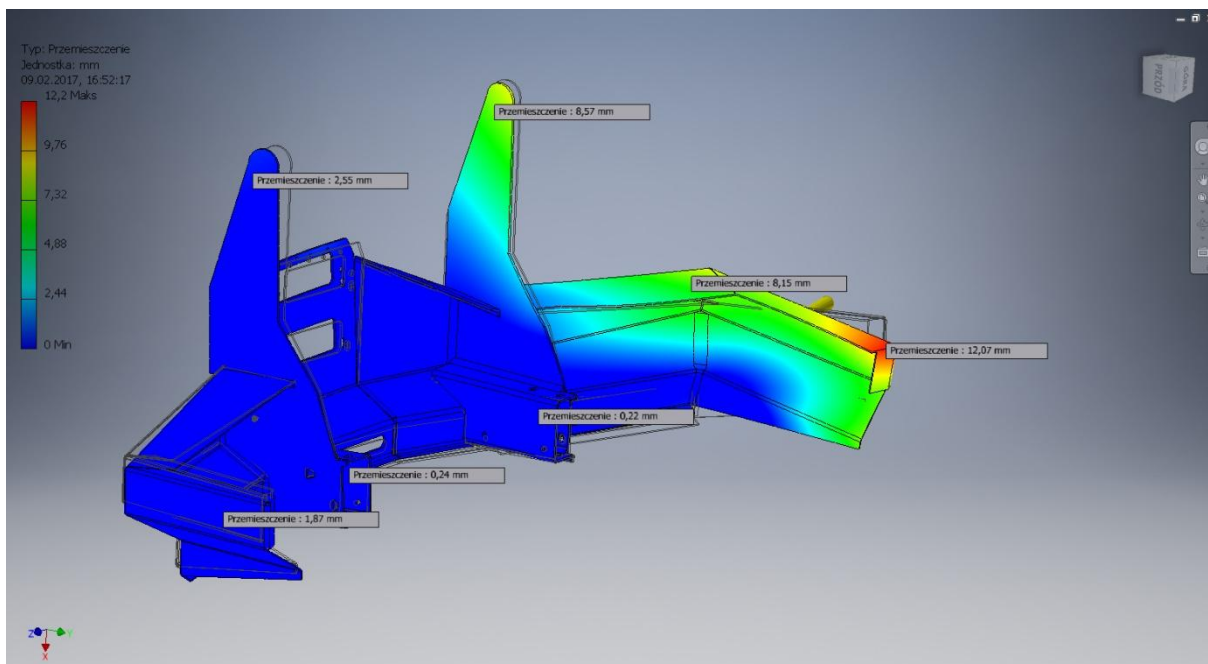
Rysunek 8. Wyniki badania MES – naprężenia Von Mises – uderzenie w prawy bok – przód
 Figure 8. The FEM research results – Von Mises stress – blow to the right side – front



Rysunek 9. Wyniki badania MES – naprężenia Von Mises – uderzenie w prawy bok – tył
 Figure 9. The FEM research results – Von Mises stress – blow to the right side – back

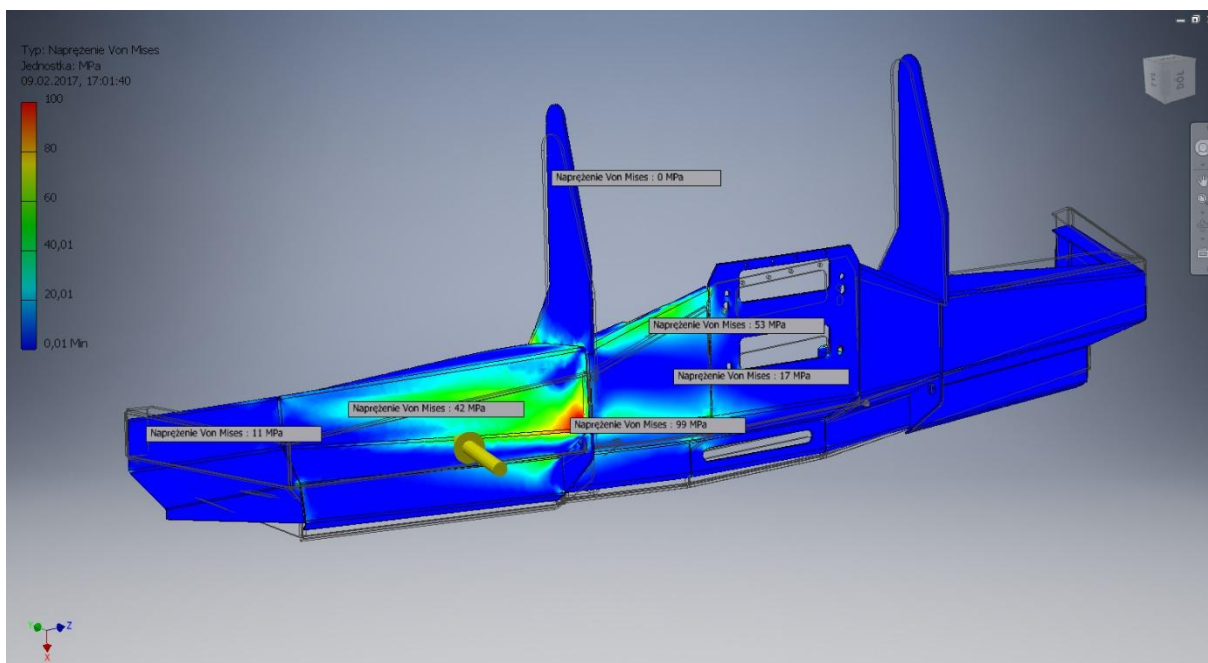


Rysunek 10. Wyniki badania MES – przemieszczenie – uderzenie w prawy bok – przód
 Figure 10. The FEM research results – displacement – blow to the right side – front

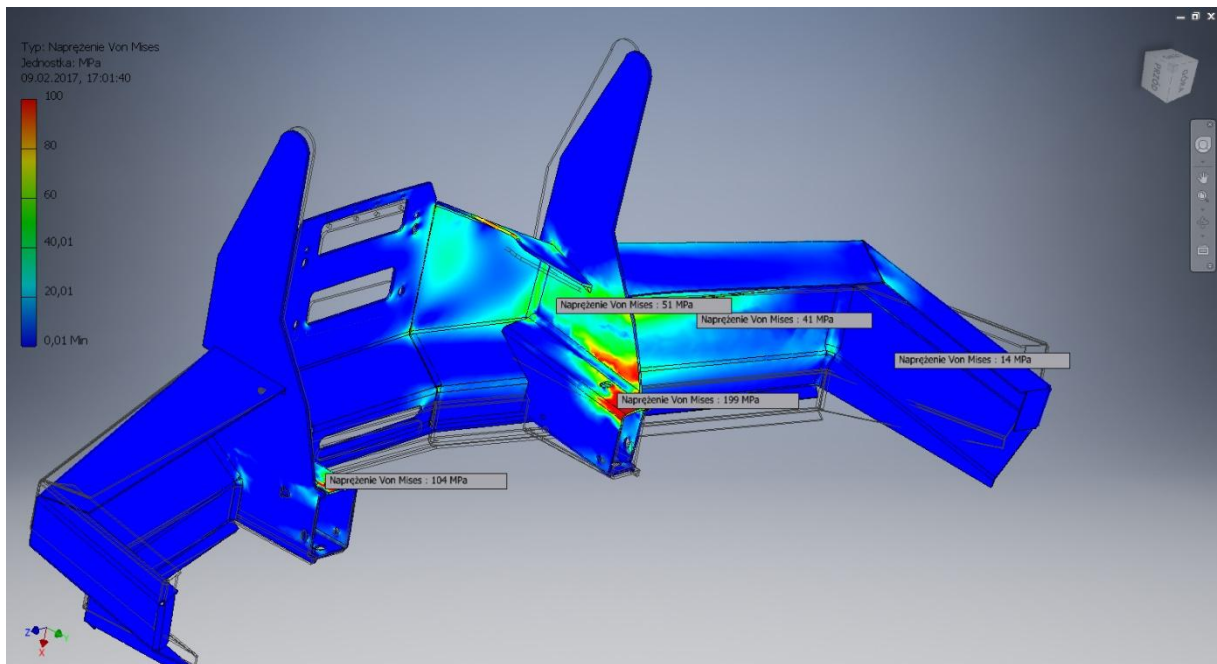


Rysunek 11. Wyniki badania MES – przemieszczenie – uderzenie w prawy bok – tył
Figure 11. The FEM research results – displacement – blow to the right side – back

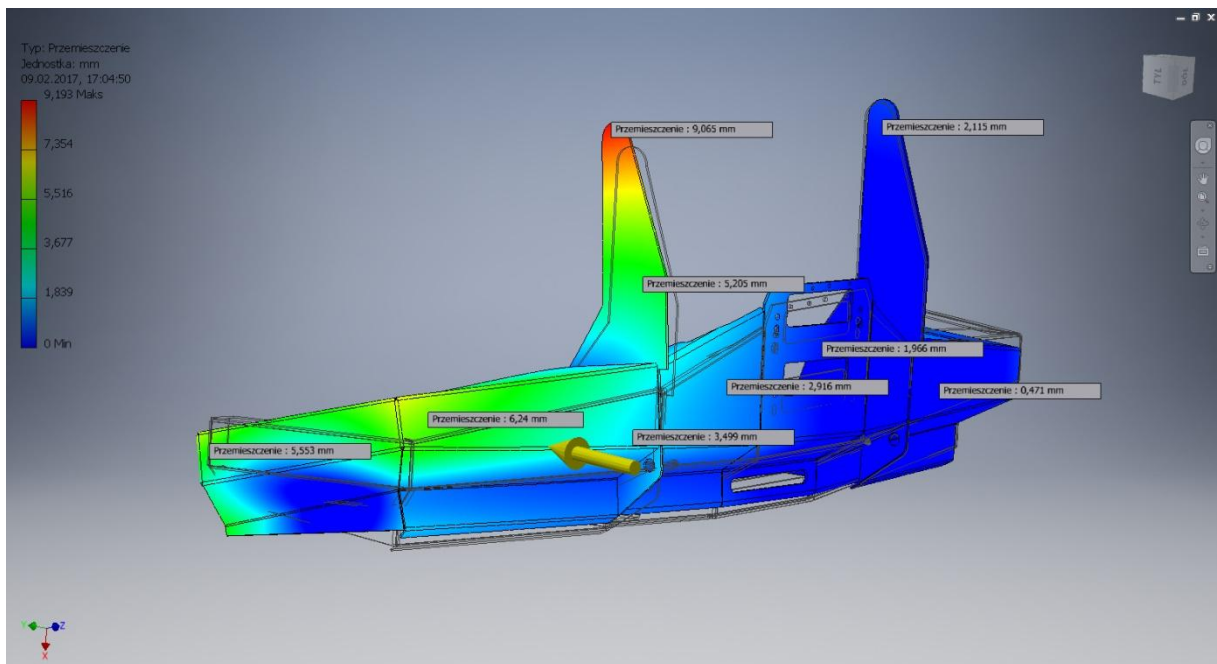
- Uderzenie w prawe ramię, 5000 N



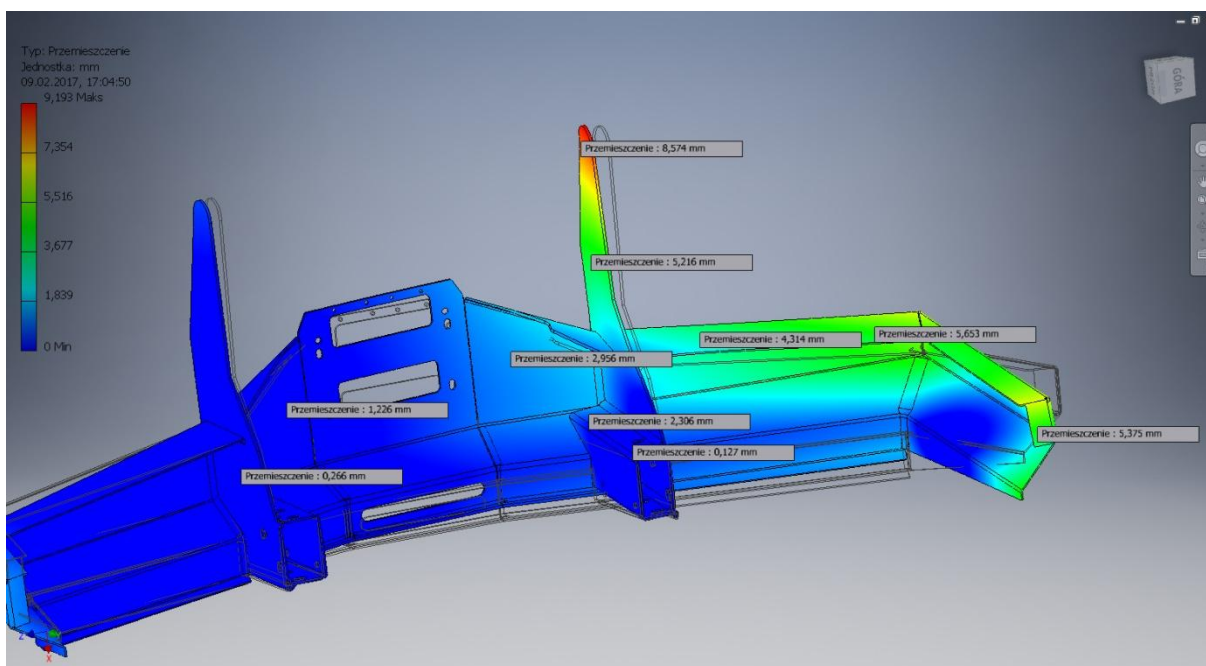
Rysunek 12. Wyniki badania MES – naprężenia Von Mises – uderzenie w prawe ramię -przód
Figure 12. The FEM research results – Von Mises stress – blow to the right arm – front



Rysunek 13. Wyniki badania MES – napężenia Von Mises – uderzenie w prawe ramię – tył
Figure 13. The FEM research results – Von Mises stress – blow to the right arm – back.



Rysunek 14. Wyniki badania MES – przemieszczenie – uderzenie w prawe ramię – przód
Figure 14. The FEM research results – displacement – blow to the right arm – front



Rysunek 15. Wyniki badania MES – przemieszczenie – uderzenie w prawe ramię – tył
Figure 15. The FEM research results – displacement – blow to the right arm – back

4. PODSUMOWANIE

Symulacja komputerowa, wykonana przy użyciu metody elementów skończonych, za pomocą programu Autodesk Inventor, miała na celu odwzorować zachowanie zderzaka wykonanego ze stali konstrukcyjnej podczas kontaktu z przeszkodą. Z analizy można wywnioskować, że punktem niewralgicznym projektu jest sposób montażu zderzaka (zaczepy z podłużnymi otworami na śruby) ponieważ podczas symulacji uderzenia zderzak odgina się do góry w stopniu znacznym tj. aż o 9,27 mm (względem osi Y), co przy większej prędkości skutkowałoby zniszczeniem maski samochodu i narażeniem komponentów znajdujących się pod maską na uszkodzenie. Aby polepszyć wyniki symulacji i zredukować naprężenia na zaczepach, które w przypadku symulacji uderzenia czołowego z siłą 5000 N sięgały aż 310 MPa, należałoby zaprojektować dodatkowe zaczepy, lub odbojniki usytuowane nad istniejącymi już zaczepami, co prawdopodobnie wiązałoby się z całkowitym demontażem fabrycznego zderzaka.

Zakładając, że samochód terenowy byłby użytkowany zgodnie z jego przeznaczeniem i zasadami zdrowego rozsądku można założyć, że zaprojektowany model spełnia swoją rolę i będzie dobrze się sprawować podczas wykonywania podjazdów przy ostrych kątach natarcia, zejścia oraz przejazdów w terenie nierozjeżdżonym, gdzie nierzadko można napotkać mniejszy krzew czy drobne drzewko.

LITERATURA

1. Makaruk Sławomir, Auto w terenie. Podstawy jazdy 4x4, Wydawnictwo Grupa Wydawnicza Foksal, 2013.
2. Dobrzański Leszek, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo: materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, 2002.
3. Zienkiewicz O. C., Metoda Elementów Skończonych, wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1972.
4. Rakowski G., Kacprzyk Z., MES w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
5. <http://www.iparts.pl/czesci-samochodowe/zderzak-i-czesci-zderzaka,100187.html>
6. <http://opony-4x4.pl/osprzet-off-road/zderzaki-off-road/>