

Jarosław SEŃKO¹
Paweł SKONIECKI²

SYMULACYJNE BADANIA ODKSZTAŁCEŃ NADWOZIA SAMOCHODU OSOBOWEGO W ZDERZENIU ZE SZTYWNĄ PRZESZKODĄ³

W pracy przedstawiono analizę wyników symulacyjnych badań zderzeniowych. Symulacje komputerowe zderzenia pojazdu z przeszkodą wykonano przy użyciu programu LS-DYNA. Obiektem badań był model MES samochodu osobowego geo metro przygotowany przez „National Crash Analysis Center”. Istniejący model pojazdu przystosowano do testów symulacyjnych polegających na czołowym uderzeniu samochodu w płaską nieodkształcalną ścianę.

Opisana w pracy metoda symulacji zderzenia samochodu ze sztywną przeszkodą oraz wybrane wyniki obliczeń ukazują na możliwość zastosowanie programów MES do badań pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych. Wyznaczenie obszaru odkształcenia nadwozia oraz siły w trakcie zderzenia daje możliwość określenia funkcji sztywności nadwozia. Współczynnik sztywności nadwozia jest jednym z parametrów używanych przez rzeczoznawców samochodowych podczas wykonywania ekspertyz sądowych. Dzięki takiemu podejściu, wyniki uzyskane na drodze symulacji numerycznych mogą stanowić podstawę do weryfikacji tego i innych współczynników używanych przez biegłych sądowych z dziedziny motoryzacji.

SIMULATION INVESTIGATION OF CAR BODY DEFORMATION IN IMPACT WITH A RIGID WALL

The paper presents an analysis of the results of impact simulations. Computer car crash simulation was performed using LS-DYNA. The test object was a FEM model of Geo Metro car prepared by the National Crash Analysis Center. The existing model of the vehicle was adapted for the simulation tests of frontal crash in rigid wall.

Described methods of simulation a car impact in a rigid wall and received results of calculations, show potential application of FEM programs for the car accidents reconstruction.

Calculation of the car body deformation and the impact force during the collision makes it possible to determine the function of body stiffness. The body stiffness coefficient is one of the indicator used by the automotive experts. Using the results obtained by numerical simulations can be verify other coefficients used in car accidents reconstruction.

¹ Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów, 02-524 Warszawa ul. Narbutta 84
Tel: (0 -22) 234 85 78, E-mail: jsenko@simr.pw.edu.pl.

² Przemysłowy Instytut Motoryzacji, 03-301 Warszawa ul. Jagiellońska 55, e-mail: p.skoniecki@pimot.ogr.pl.

³ Praca wykonana w ramach grantu MNiSZW nr N N509 083437.

1. WSTĘP

Nieustanny rozwój techniki komputerowej umożliwia budowanie coraz to bardziej złożonych modeli symulacyjnych. Próby nadążania za postępem w dziedzinie informatyki przekładają się automatycznie na zwiększenie stopnia szczegółowości analiz inżynierskich. Działania takie mają na celu zwiększenie dokładności odwzorowania rozpatrywanego obiektu technicznego a tym samym zwiększenia ilości otrzymywanych wyników symulacji oraz poprawę ich jakości. Niestety wprowadzenie do modelu symulacyjnego kolejnych szczegółów rozważanej konstrukcji, nie zawsze wpływa na poprawę otrzymywanych wyników. Uszczegóławianie modelu obiektu technicznego jest celowym gdy rozpatrujemy zjawiska występujące wewnątrz jego struktury. W innym przypadku, podczas obserwacji efektów oddziaływania między obiektami np. zderzenie pojazdu z przeszkodą lub zderzenie dwóch pojazdów nadmierna szczegółowość używanych modeli może stanowić istotną przeszkodę w realizacji wiarygodnych badań symulacyjnych. Paradoksalnie zastosowanie nieskomplikowanych modeli symulacyjnych umożliwia poprawną realizację badań symulacyjnych, dodatkowo łatwych w weryfikacji. Wykonanie symulacji komputerowych w oparciu o nieskomplikowane modele symulacyjne umożliwia określenie kolejnych kierunków etapów badań symulacyjnych na podstawie otrzymanych wyników. Planowanie kilkietapowych symulacji komputerowych tylko z pozoru wydłuża proces realizacji zadania. W rzeczywistości czas przeznaczony na przygotowanie i walidację modelu uproszczonego, jest kosztem pozwalającym wydatnie ograniczyć proces walidacji złożonego modelu symulacyjnego.

W programach komputerowych wykorzystujących metodę elementów skończonych modelu pojazdu definiowany jest jako struktura deformowalna lub częściowo deformowalna. Sprężysto-plastyczna struktura modelu pojazdu umożliwia uzyskiwanie informacji o wielkości i postaci odkształceń m.in. nadwozia oraz ilości dyssypowanej w trakcie zderzenia energii. Wartości rozproszonej energii zależą od warunków początkowych np. prędkości zderzenia i parametrów modelu czyli wielkości odzwierciedlających konfigurację pojazdu. W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych zderzenia małego samochodu osobowego ze sztywną ścianą. Zmieniając prędkość przedzderzeniową pojazdu wykonano badania przedstawiające liniowy związek prędkości pojazdu z wielkością maksymalnych odkształceń nadwozia. Takie wyniki uzyskiwane na podstawie doświadczalnych prób zderzeniowych prezentowane są przez wielu autorów m.in. [5].

2. OPIS MODELU MES SAMOCHODU OSOBOWEGO

Przedstawione w pracy wyniki obliczeń wykonane zostały w programie zawarte w LS – Dyna. Jest to program oparty na metodzie elementów skończonych typu *explicit* z jawnym schematem całkowania równań ruchu z zastosowaniem metody różnic centralnych. Solver programu umożliwia wykonywanie obliczeń w zakresie sprężystym oraz plastycznym z możliwością zniszczenia, przy wykorzystaniu nieliniowych modeli materiałów.

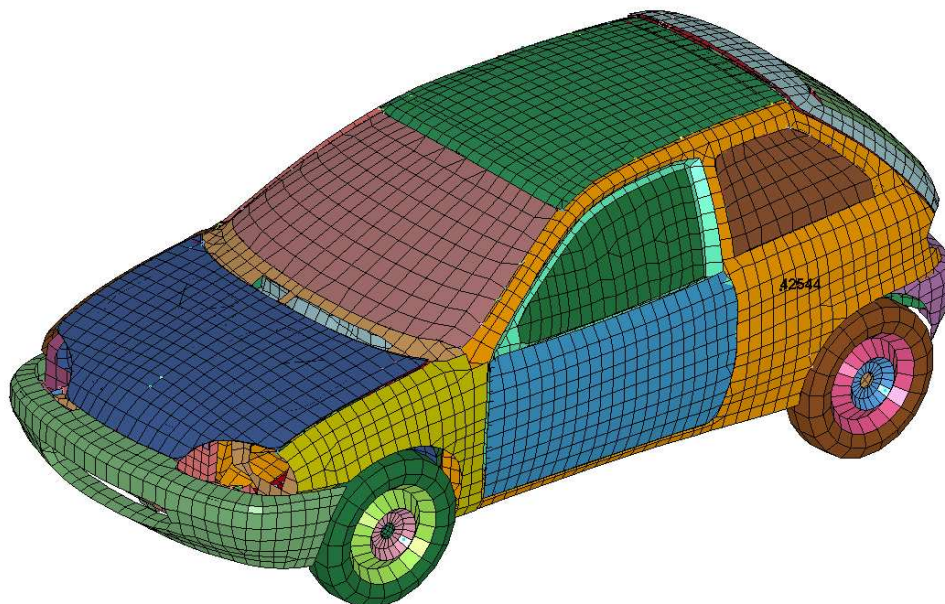
Badaniom symulacyjnym poddano kompletny model MES pojazdu Geo Metro, opracowany przez National Crash Analysis Center (NCAC) na George Washington University [3]. Obecnie istnieje cała gama modeli MES pojazdów, które można pobrać

za darmo z serwera NCAC. Ponadto z serwera można pobrać inne elementy przydatne w procesie przygotowywania symulacji zdarzenia drogowego t.j. bariery ochronne i słupy. Wybrany model jest zapisany w kodzie program LS-Dyna. Wysoki koszt stworzenia modelu MES pojazdu samochodowego oraz zawarte w takim modelu Know-how sprawia, że producenci samochodów nie udostępniają w żadnej postaci modeli swoich wyrobów. Dlatego też wiele organizacji non-profit zajmuje się tak zwanym procesem inżynierii odwrotnej „reverse engineering” dla celów opracowania funkcjonalnych modeli symulacyjnych. Proces ten polega na zdigitalizowaniu istniejącego produktu; rozebraniu go na części i stworzeniu modelu geometrycznego, a następnie ustalenie i przypisanie właściwości materiałowych oraz połączeń pomiędzy elementami. Tak przygotowany model należy poddać walidacji, czyli porównać zgodność z oryginałem. Modele przygotowane przez NCAC wykazują wysoką zgodność rezultatów symulacji z zachowaniem pojazdów rzeczywistych.

Model MES samochodu Suzuki Swift opracowany przez NCAC został zaprezentowany na rysunku 1. Nałożona na powierzchnie poszycia siatka elementów skończonych została dobrana tak by otrzymać niewielką liczbę węzłów. W tabeli 1 zawarto zestawienie parametrów technicznych modelu pojazdu oraz danych dotyczących struktury MES t.j. liczby węzłów, liczby i rodzaje elementów, liczby części widocznych na rysunku jako odrębne kolory. Prawie cały pojazd został stworzony przy zastosowaniu trójwymiarowych elementów powłokowych. Jest to najlepszy sposób na odtworzenie blachy pojazdu, ze względu na proporcje wysokości i szerokości elementu, do jego grubości. Aby samochód stanowił całość kolejne części zostały połączone ze sobą za pomocą multi point constraints (MPC), narzucając warunki na stopnie swobody łączonych węzłów, bądź za pomocą spotwelds, czyli połączenia imitujące zgrzewy. Jako właściwości materiałowe najwięcej użyto modelu materiału o nazwie Mat_Piecewise_Linear_Plasticity. Jest to model sprężysto-plastyczny w którym krzywa wzmocnienia zbudowana jest z odcinków liniowych. Model uwzględnia możliwość zniszczenia, czyli usunięcia elementu skończonego lub połączenia z dalszych obliczeń gdy nastąpi przekroczenie wartości ustalonego maksymalnego efektywnego odkształcenia plastycznego.

Zastosowanie połączeń typu MPC pozwala na tworzenie mechanizmów, które działają w określony sposób, np. ruch obrotowy kół. Prędkość kątowa kół podobnie jak prędkość liniowa wszystkich elementów pojazdu stanowi w modelu warunek początkowy. Do zamodelowania opon została użyta cecha Airbag, która pozwala zamodelować koła jako obiekty pneumatyczne z zadaniem wewnątrz opony ciśnieniem.

W chwili początku symulacji pojazd znajduje się 28mm od nieodkształcalnej ściany. Wykonane symulacje zakończyły się po upływie 150ms. Czas ten wystarcza na obserwację procesu zderzenia w fazie kompresji i ekstensji nadwozia. Odkształcenia pozostałe po odbiciu się pojazdu od ściany stanowią efekt plastycznego rozpraszania energii. Początkowy krok całkowania, związany z najkrótszym czasem przejścia fali sprężystej przez element skończony wynosi 2E-6s. Obliczenia wykonano wykorzystując nowoczesny komputer z procesorem dwurdzeniowym Intel i5. Czas obliczeń nie przekraczał 20min.



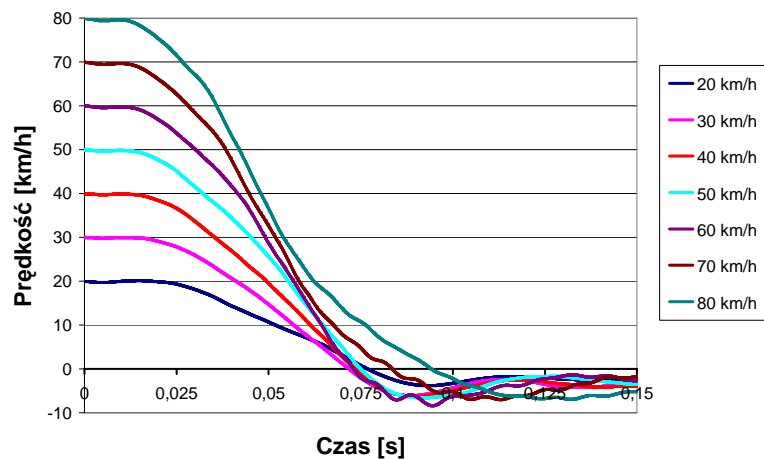
Rys.1. Model MES samochodu Suzuki Swift opracowany przez NCAC[3]

Tab.1. Parametry modelu MES pojazdu Geo Metro

	Testowany pojazd NCAC [3]
Masa pojazdu [kg]	801
Rozstaw osi [mm]	2371
Odległość środka masy od osi przedniej [mm]	1128
Liczba węzłów	19271
Liczba elementów bryłowych	820
Liczba elementów belkowych	4
Liczba elementów powłokowych	15330
Liczba wszystkich elementów skończonych	16154
Liczba komponentów „parts”	242
Liczba modeli materiałowych	6

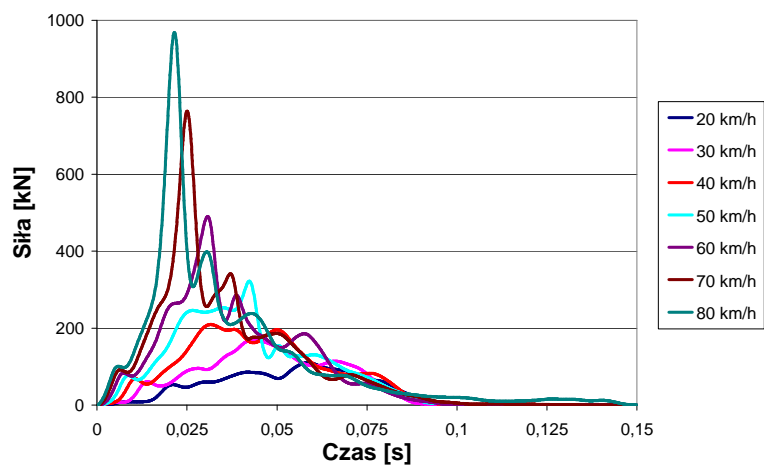
3. WYBRANE WYNIKI SAMULACJI ZDERZENIA

Analizę wyników wykonano na podstawie symulacji zderzenia ze sztywną przeszkodą wykonanych przy siedmiu różnych prędkościach początkowych. Zaprezentowane wyniki dotyczą zderzeń z prędkością wynoszącą 20, 30, 40, 50, 60, 70 oraz 80km/h.



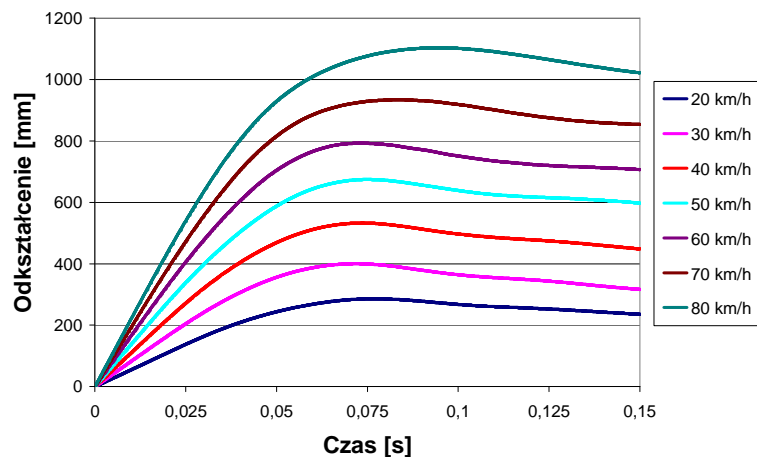
Rys.2. Prędkość punktu modelu nadwozia w węźle 42544

Rysunek 2 przedstawia wykres prędkości punktu znajdującego się w zagłębieniu bagażnika przeznaczonymu na koło zapasowe (węzeł numer 42544). Węzeł ten znajduje się w obszarze w którym nie występują żadne trwałe odkształcenia.



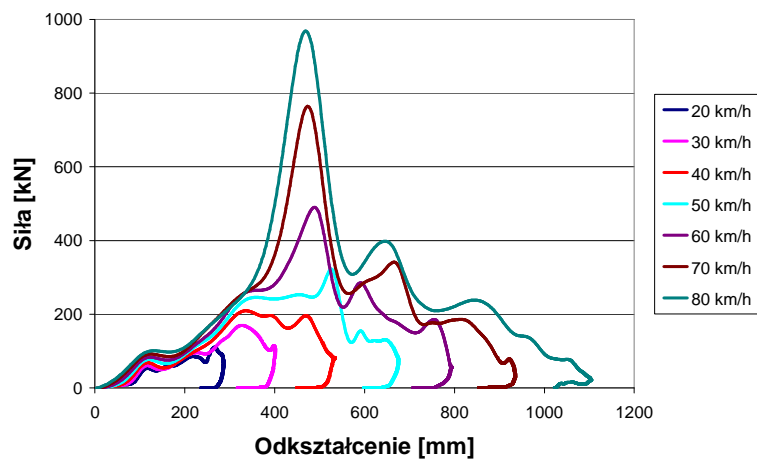
Rys.3. Siła wywierana przez model samochodu na płaską ścianę

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg siły działającej na nieodkształcalną przeszkodę w czasie zderzenia.



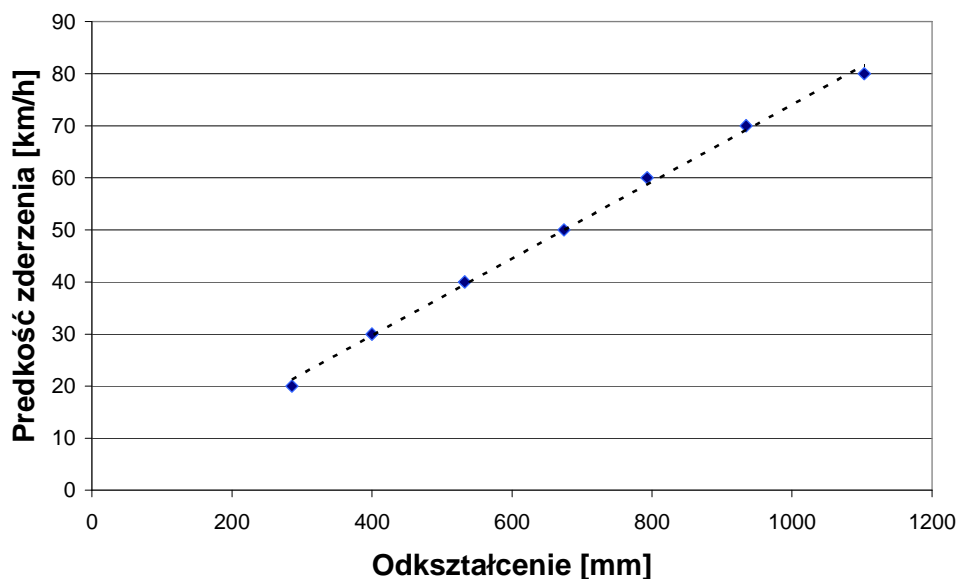
Rys.4. Skrócenie modelu samochodu w czasie trwania zderzenia

Rysunek 4 przedstawia przebieg skrócenia się nadwozia, który jest opisany jako różnica przemieszczeń punktu znajdującego się w przetłoczeniu na koło zapasowe oraz punktu najbardziej wysuniętego z przodu pojazdu. Wykresy z rysunków 3 i 4 pozwoliły wyznaczyć charakterystykę odkształcenia nadwozia, czyli zależność siły od skrócenia. Przebieg tych wykresów pokazano na rysunku 5.



Rys.5. Charakterystyka odkształcenia modelu nadwozia samochodu

Określając maksymalne wartości skrócenia modelu pojazdu dla każdej prędkości można było wyznaczyć zależność pomiędzy skróceniem samochodu, a prędkością zderzenia. Przebieg tej charakterystyki pokazano na rysunku 6.



Rys.6. Zależność między maksymalnym skróceniem pojazdu, a prędkością zderzenia

Z przebiegu zamieszczonego na rysunku 6 wynika, że wartość odkształcenia się pojazdu (skrócenia) jest proporcjonalna do prędkości zderzenia.

$$\Delta x_{\max} = \alpha \cdot v \quad (1)$$

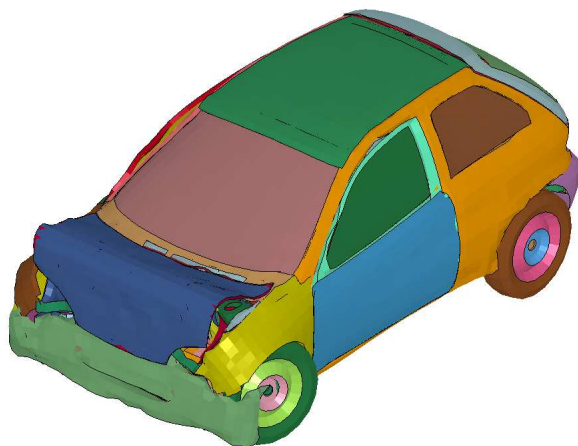
gdzie: α – współczynnik wynoszący dla Geo Metro $\alpha = 0,048$ [s]

Wartość współczynnika α jest niezbędna do wyznaczenia wskaźnika k , nazywanego sztywnością zastępczą nadwozia pojazdu. Wartość tego wskaźnika wyznaczana jest na podstawie równanie bilansu energii pojazdu:

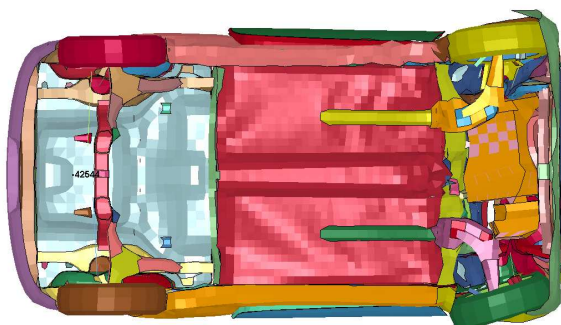
$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x_{\max}^2 \quad (2)$$

po przekształceniu otrzymujemy:

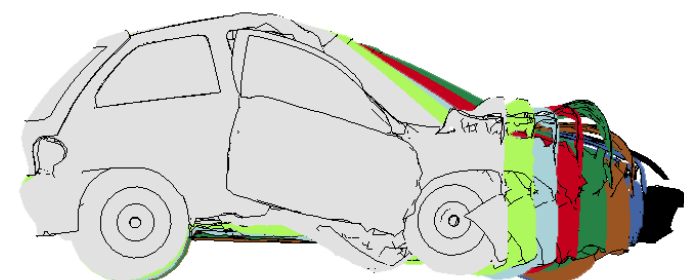
$$k = \frac{m}{\alpha^2} \quad (3)$$



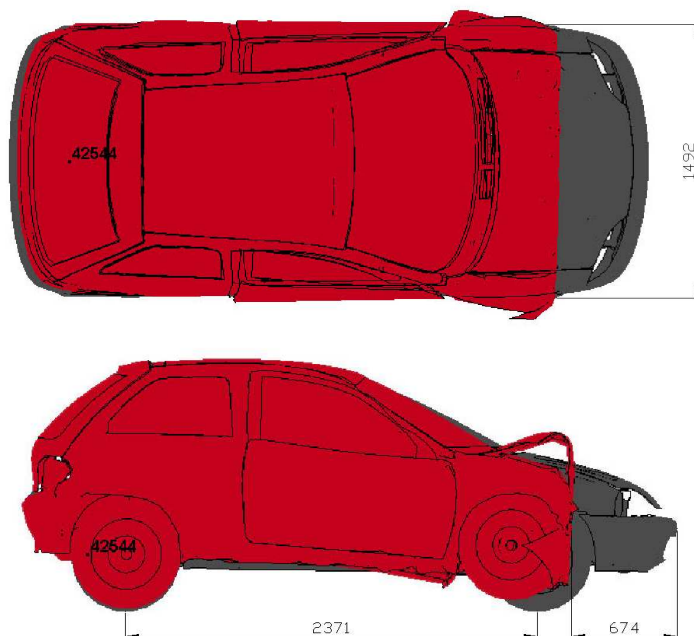
Rys.7. Stan modelu pojazdu uzyskany w wyniku symulacji czołowego zderzenia



Rys.8. Stan podwozia modelu pojazdu uzyskany w wyniku symulacji czołowego zderzenia



*Rys.9. odkształcenia nadwozia uzyskane przy różnych prędkościach
(od najdalszego: 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 km/h)*



Rys.10. Widok odkształcenia nadwozia pojazdu przy zderzeniu z prędkością 50km/h

4. ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w pracy wyniki symulacji zderzenia samochodu ze sztywną przeszkodą oraz ich analiza ukazują zasadność stosowania programów MES do badań pojazdów samochodowych w kontekście rekonstrukcji wypadków drogowych. Wyznaczenia obszaru odkształcenia nadwozia (rysunek 10) oraz siły w trakcie zderzenia stwarza możliwość wyznaczenia funkcji sztywności nadwozia. Współczynnik sztywności nadwozia jest jednym z parametrów używanych przez rzeczoznawców samochodowych podczas wykonywania ekspertyz sądowych. Przedstawiony w pracy sposób wykorzystania modeli symulacyjnych może stanowić podstawę do weryfikacji tego i innych współczynników używanych podczas rekonstrukcji wypadków drogowych.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] LS-DYNA Keyword user's Manual (Nonlinear Analysis of Structures), Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California, March, 2006.
- [2] LS-DYNA Theoretical Manual, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California, May, 2006.
- [3] National Crash Analysis Center, Reduced model Geo Metro [dostęp 2. 11.2010], Dostępny w Internecie <http://www.ncac.gwu.edu/>

-
- [4] Grzesikiewicz W., Kwasniewski L., Seńko J.: Symulacja zderzenia samochodu ze sztywną przeszkodą. *Autostrady 7/2007*.
- [5] Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. WKiŁ. Warszawa 2008.