

Jarosław SEŃKO¹

ANALIZA ZDERZENIA SAMOCHODU OSOBOWEGO Z DRZEWE

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych i symulacyjnych zderzenia samochodu Chrysler Neon ze sztywną przeszkodą reprezentującą drzewo. Badania doświadczalne wykonano na stanowisku w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji, badania symulacyjne zrealizowano przy użyciu komercyjnego programu LS-Dyna. Zamieszczono wybrane wyniki otrzymane z przeprowadzonego eksperymentu oraz wyniki symulacji komputerowych.

ANALYSIS OF THE COLLISION OF A PASSENGER CAR WITH A TREE

The paper presents experimental and simulation results Chrysler Neon car collision with a rigid barrier that represents a tree. Experimental studies were carried out on the Automotive Industry Institute, simulation implemented using commercial code LS-Dyna. The paper contains selected results obtained from the experiment conducted and the results of computer simulations.

1. WSTĘP

Próby zderzeniowe pojazdów samochodowych najczęściej są wykonywane w zamkniętych laboratoriach wielkich koncernów motoryzacyjnych. Niewątpliwie, cieszyć może fakt podjęcia wysiłku przeprowadzenia takich badań przez Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej. Brak odpowiedniej bazy stanowiskowej oraz ludzkiej umożliwiającej samodzielne przeprowadzenie testu zderzeniowego, skłonił władze Instytutu Pojazdów do odnowienia kontaktów z Przemysłowym Instytutem Motoryzacji. Wymiernym efektem współpracy tych dwóch ośrodków było przeprowadzenie cyklu trzech prób zderzeniowych samochodu Chrysler Neon. Opracowaniem przebiegu badań oraz organizacją działań ze strony IP kierował Jarosław Seńko. Koordynatorem działań po stronie PIMot był Tadeusz Diupero. Przedstawiana w artykule próba zderzeniowa przeprowadzona została 2 lipca 2008r. Próba polegała na czołowym uderzeniu samochodu Chrysler Neon w nieruchomy stalowy słup reprezentujący przeszkodę w postaci drzewa.

Przeprowadzona próba zderzeniowa składała się z następujących etapów: wykonanie symulacji komputerowych modelu numerycznego, przygotowanie pojazdu i stanowiska

¹Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, POLSKA;
Warszawa 02-524; Narbutta 84. Telefon: 22 234 8478 E-mail: jsenko@simr.pw.edu.pl

do próby doświadczalnej, realizacja właściwej próby zderzeniowej, opracowanie wyników eksperymentu i ich analiza.



Rys. 1. Samochód Chrysler Neon przygotowany do próby zderzeniowej.

2. SYMULACJA KOMPUTEROWA

2.1. Informacje ogólne

Pierwszym z etapów przygotowania zderzenia pojazdu samochodowego ze słupem było wykonanie szeregu symulacji komputerowych. Na podstawie prowadzonych badań numerycznych oszacowano prędkość, z jaką powinien poruszać się pojazd przed zderzeniem. Dobór prędkości przed zderzeniem oparto o założenie, że odkształcenia plastyczne struktury nośnej pojazdu powinny występować jedynie w części silnikowej. Tak sformułowane kryterium doboru prędkości umożliwia zbadanie działania stref kontrolowanego rozpraszania energii umieszczonych w przedniej części samochodu. Występowanie strefy odkształceń plastycznych jedynie w komorze silnikowej pojazdu odpowiada charakterowi uszkodzeń powstających w większości kolizji drogowych, w których dochodzi zazwyczaj jedynie do ograniczonych zniszczeń w obrębie jednej strefy pojazdu. Do badań symulacyjnych wykorzystano model pojazdu Dodge Neon, opracowany pierwotnie przez National Crash Analysis Center (NCAC) na George Washington University [3]. Użyty model numeryczny jest modyfikacją jednego z dostępnych modeli, które mogą być nieodpłatnie importowane z serwera NCAC, w postaci plików wsadowych do programu LS-DYNA [2]. Istnieją tam również modele wybranych urządzeń drogowych i modele manekinów wykorzystywanych w próbach zderzeniowych. Ze względów prawnych, producenci samochodów odmawiają uniwersytetom i instytutom badawczym udostępnienia pełnej dokumentacji technicznej produkowanych pojazdów i ich modeli komputerowych. Aby rozwiązać ten problem kilka organizacji non-profit, takich jak NCAC rozpoczęło opracowywanie swoich własnych modeli MES. Modele komputerowe są opracowywane z wykorzystaniem specjalistycznych programów komputerowych, tzw. preprocesorów graficznych. Punktem wyjścia do budowy modelu MES są dane dotyczące geometrii pojazdu, połączeń między częściami składowymi, zastosowane materiały. Dane te są uzyskiwane w wyniku procesu zwanego „reverse engineering” [4]. Reverse

engineering polega na demontażu pojazdu z jednoczesną dygitalizacją, czyli wczytywaniem przy pomocy technik cyfrowych współrzędnych punktów tworzących charakterystyczne krzywe i powierzchnie.

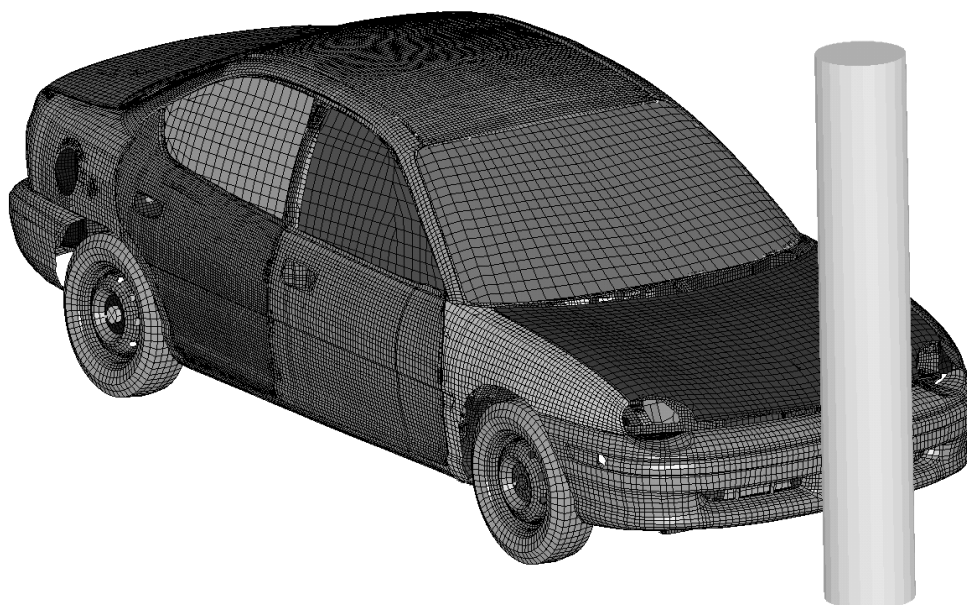
2.2. Model MES

Model MES samochodu Chrysler Neon przedstawiono na rysunku 2. W tabeli 1 zestawiono podstawowe dane techniczne dotyczące rzeczywistego pojazdu i jego modelu komputerowego. Tabela 2 przedstawia dane dotyczące modelu MES takie jak liczba węzłów, liczba i rodzaje zastosowanych elementów, liczba tzw. parts, które oznaczają grupy elementów tego samego typu, dla których przyporządkowano wspólne dane materiałowe. Na rysunku 2 pokazano postać modelu pojazdu z uwidocznionymi siatkami elementów skończonych. Większość konstrukcji pojazdu stanowią blachy o skomplikowanych trójwymiarowych kształtach, modelowane elementami powłokowymi. Poszczególne fragmenty konstrukcji (parts) reprezentowane przez odrębne siatki są połączone ze sobą przy pomocy tzw. MPC (Multi Point Constraints) i spotwelds, które narzucają warunki na stopnie swobody łączonych węzłów. Spotwelds, imitujące spawy punktowe, stanowią połączenie dwóch węzłów z uwzględnieniem zniszczenia. Większość części metalowych modelu jest opisana modelem materiału sprężysto–plastycznego o nazwie MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY, w którym krzywa wzmocnienia jest aproksymowana łamaną [1]. Uwzględniono wrażliwość materiału na prędkości odkształceń zgodnie z modelem eksperymentalnym Coopera–Symonds [1]. Większość zastosowanych modeli materiałowych uwzględnia możliwość zniszczenia, które następuje w momencie osiągnięcia założonego kryterium, np. po przekroczeniu przyjętej maksymalnej wielkości efektywnego odkształcenia plastycznego. Zniszczenie dla elementu lub połączenia typu spotweld polega na „wymazaniu” elementu (połączenia), czyli usunięciu z dalszych obliczeń. Dzięki temu w trakcie symulacji komputerowej można śledzić proces rozdzielania fragmentów konstrukcji. Niektóre połączenia z rodziny MPC są wykorzystywane do tworzenia mechanizmów, w których poszczególne części mogą się przemieszać (obracać) względem siebie w określony sposób. W ten sposób w modelu MES pojazdu zrealizowano obrót kół pojazdu. Ruch obrotowy kół w chwili $t=0s$ jest definiowany jako warunek początkowy przez zadanie prędkości kątowej, odpowiedniej do założonej prędkości pojazdu. Dzięki zastosowaniu dostępnej w programie LS-DYNA specjalnej opcji „AIRBAG”, koła pojazdu są przedstawione w modelu jako trójwymiarowe obiekty hydrauliczne z zadaniem ciśnieniem wewnątrz opon.

Prezentowane wyniki obliczeń symulacyjnych dotyczą prób zderzeniowych, w których samochód zadaną prędkością uderza czołowo w sztywny słup o średnicy 320mm. Stalowy słup i podłoże są reprezentowane jako sztywne obiekty tzw. Rigid walls, czyli warunki brzegowe ograniczające ruch węzłów modelu i powodujące powstanie sił kontaktowych w momencie uderzenia. Dla podłoża uwzględniono współczynnik tarcia równy 0,9. Kontakt pomiędzy stykającymi się w wyniku deformacji częściami pojazdu jest wykrywany przez program LS-DYNA automatycznie jako rezultat jednej globalnej definicji kontaktu dla wszystkich elementów modelu. Takie rozwiązanie jest zalecane w ostatnich wersjach programu jako najbardziej efektywne.

W chwili rozpoczęcia symulacji samochód znajduje się w odległości 65 mm od słupa. Przyjęte warunki początkowe definiują ruch pojazdu z założoną prędkością i jednoczesnym ruchem obrotowym kół. Zamiana energii kinetycznej na energię odkształcenia w chwili

uderzenia następuje w przedziale czasu równym około 0,08s. Maksymalny czas symulacji, czyli przedział czasu rzeczywistego, w którym analizuje się rozpatrywane zagadnienie wyniósł dla mniejszych prędkości 0,2s. Deformacje otrzymane z obliczeń na końcu symulacji można przyjąć jako trwale odkształcenia pojazdu. Krok całkowania po czasie, związany z najkrótszym czasem przejścia fali sprężystej przez element skończony [2], wynosił $1,0E-06$. Obliczenia dla czasu $t=0,2s$ z wykorzystaniem jednoprocessorowego komputera klasy PC (Pentium 4, 3GHz) zajęły 47 godzin i 19 min. Większość obliczeń wykonano na maszynach wieloprocessorowych w krótszym czasie.



Rys. 2. Model MES samochodu Dodge Neon opracowany przez NCAC.

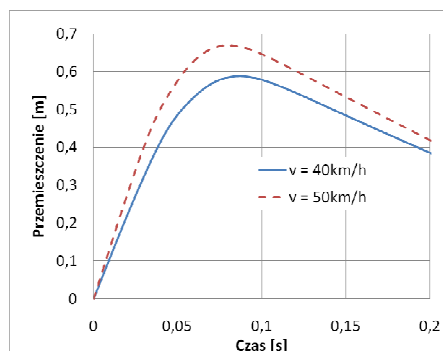
Tab. 1. Podstawowe dane opisujące model MES

Liczba węzłów	283859
Liczba elementów bryłowych	2852
Liczba elementów belkowych	122
Liczba elementów powłokowych	267786
Liczba wszystkich elementów skończonych	270768
Liczba „parts”	336
Liczba modeli materiałowych	10

2.3. Wyniki symulacji

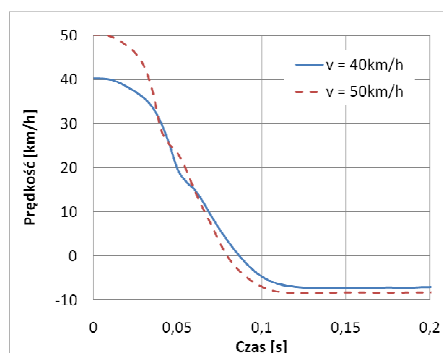
Symulacje komputerowe zderzenia samochodu ze sztywną nieodkształcalną przeszkodą w postaci słupa o przekroju okrągłym prowadzone były dla różnych prędkości zderzenia,

różnych średnic walca reprezentującego drzewo oraz wybranych konfiguracji punktów kontaktu drzewa ze zderzakiem samochodu. Prezentowane w pracy wyniki symulacji przedstawiają przebiegi przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia środka masy pojazdu dla przypadku uderzenia centralnego w przeszkodę o średnicy 320 mm z prędkościami 40 i 50 km/h.



Rys. 3. Wykres przemieszczenia środka masy modelu pojazdu podczas zderzenia.

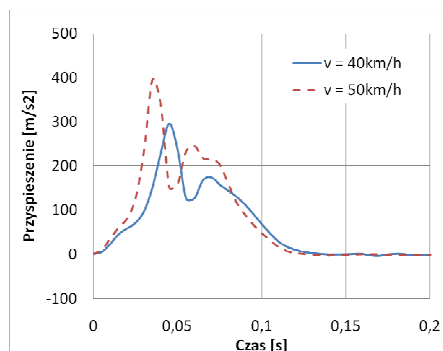
Rysunki 3÷5 przedstawiają podstawowe informacje o zachowaniu się środka masy pojazdu w trakcie rozważanej próby. Wykresu przemieszczenia środka masy pojazdu (Rys. 3.) umożliwia oszacowanie penetracji przeszkody w głąb nadwozia pojazdu. Zmianie energii kinetycznej pojazdu związanej ze zmianą prędkości początkowej (Rys. 4.) z 40 na 50 km/h towarzyszy znacznie mniejszy przyrost całkowitego przemieszczenia środka masy. Przywołana zmienność przemieszczenia względem energii początkowej układu wskazuje na nieliniowy charakter sztywności nadwozia w funkcji odkształcenia pojazdu.



Rys. 4. Wykres prędkości środka masy modelu pojazdu podczas zderzenia.

Przebieg przyspieszenia środka masy nadwozia dodatkowo uwypukla nieliniowość sztywności nadwozia. Obserwowane zwiększenie się przyspieszenia (Rys. 5) a tym samym zwiększenie siły maksymalnej związane jest z szybciej przebiegającym procesem

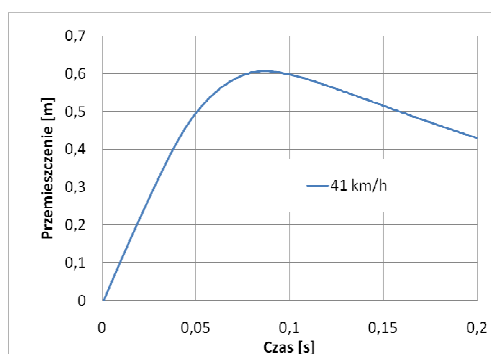
deformacji pojazdu oraz z wcześniejszym oparciem się sztywnej struktury silnika o przegrodę komory silnikowej samochodu.



Rys. 5. Wykres przyspieszenia środka masy modelu pojazdu podczas zderzenia.

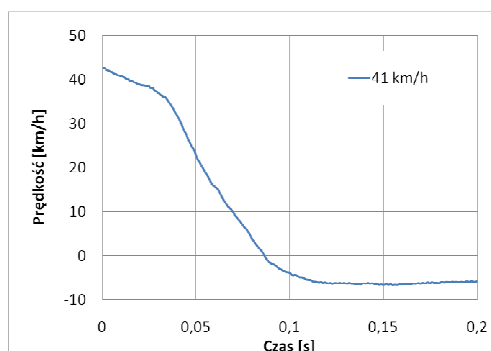
3. BADANIA OBIEKTU RZECZYWISTEGO

Badania eksperymentalne przeprowadzone w PIMot odbyły się na stanowisku zwanym katapultą. Do przeprowadzenia eksperymentu zakupiono samochód Chrysler Neon model roku 1996 w wersji angielskiej, czyli z kierownicą z prawej strony. W pojeździe na przednich fotelach usadzono i przypięto pasami dwa manekiny Hybrid II. Na tylnej kanapie w fotelikach umiejscowiono dwa manekiny, dziecka 1,5 rocznego i 3 letniego. W celu obserwacji ruchu manekinów podczas zderzenia zdemontowano drzwi z lewej strony pojazdu wstawiając w ich miejsce odpowiednie wzmocnienia. Samochód ustawiono na stanowisku badawczym w pozycji umożliwiającej centralne uderzenie w przeszkodę. Przy pomocy grubościennej rury stalowej o średnicy 320 mm odwzorowano przeszkodę w postaci drzewa. Prędkość przed zderzeniem wynosiła 41 km/h, została ona nadana poprzez wózek napędowy połączony z układem rozciąganych lin gumowych stanowiący napęd wózka.

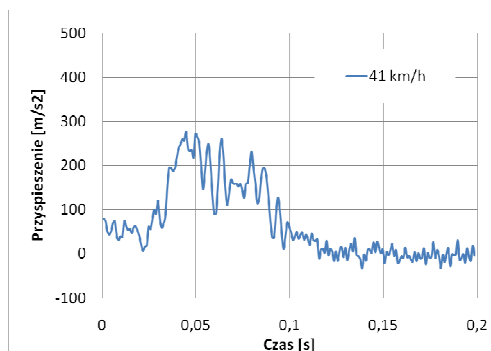


Rys. 6. Przemieszczenie znacznika pojazdu umieszczonego na lewym tylnym błotniku.

Wyniki badań doświadczalnych odpowiadające przebiegom uzyskanym z symulacji komputerowej przedstawiono na rysunkach 3÷5. W przypadku badań eksperymentalnych przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie samochodu opracowane zostały na podstawie filmu wykonanego podczas eksperymentu. Przebiegi przedstawione na rysunkach 6÷8 sporządzono w oparciu o znacznik umieszczony w nieodkształcalnym punkcie nadwozia 150mm za tylną osią pojazdu.



Rys. 7. Prędkość znacznika pojazdu umieszczonego na lewym tylnym błotniku.

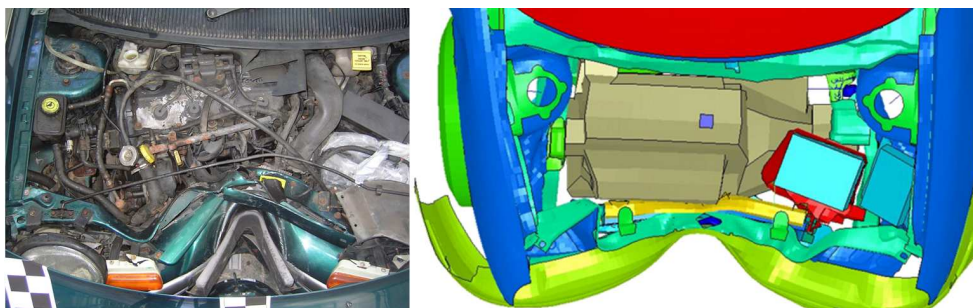


Rys. 8. Przyspieszenie znacznika pojazdu umieszczonego na lewym tylnym błotniku.

4. WNIOSKI

Przedstawione na rysunkach 6÷8 przebiegi pozwalają na ocenę wyników uzyskanych z wcześniej przygotowanych symulacji komputerowych. Różnice w przebiegach prędkości uwypuklają odmienną naturę modelu symulacyjnego od rzeczywistości. Występujące różnice wynikają ze zróżnicowanego stanu technicznego pojazdu i modelu, sposobu rozmieszczenia i zamocowania ładunku czy pasażerów, oraz niedoskonałości samego modelu. Przebiegi przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń nadwozia z symulacji i eksperymentu mają charakter zbliżony do siebie, niestety postać deformacji nadwozia porównana dla modelu i rzeczywistego obiektu uwypukla różnice i niedoskonałości.

Porównując odkształcenia nadwozia modelu oraz nadwozia pojazdu badanego można dostrzec gołym okiem różnice w ułożeniu silnika samochodu. Przedstawione na rysunku 9. rozbieżności pomiędzy eksperymentem i modelem unaoczniają możliwe niedoskonałości ogólnodostępnych modeli MES.



Rys. 9. Porównanie odkształcenia nadwozia modelu symulacyjnego i pojazdu rzeczywistego

Przytoczone wyniki eksperymentu i symulacji obligują do powściągliwego korzystania z modeli MES zamieszczanych w publicznych bazach danych. Bezkrytyczne wykorzystywanie modeli numerycznych może prowadzić do uzyskiwania niepoprawnych rozwiązań szczegółowych (Rys. 9.) mimo akceptowalnych parametrów kontrolnych (Rys. 3÷8). Wyniki przeprowadzonego eksperymentu umożliwiają walidację modelu numerycznego na podstawie rzeczywistego testu.

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] FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, "Finite Element Model of Dodge Neon", Model Year 1996, Version 7, <http://www.ncac.gwu.edu/>.
- [4] Kwasniewski L., Wekezer J.W., "Reverse engineering of a transit bus for F.E. crashworthiness assessment," 7th International Symposium on Heavy Vehicle Weights & Dimensions, Conference proceedings, pp. 505-512, Delft, Netherlands, June 16-20, 2002.
- [5] Grzesikiewicz W., Kwaśniewski L., Seńko J. (2007) *Analiza wyników symulacji zderzenia samochodu ze sztywną przeszkodą*, Prace Naukowe. Politechnika Warszawska. Transport, vol. z. 61, pp. 21-28.