

# NUMERYCZNA ANALIZA ZDERZENIA CZOŁOWEGO

AWREJCEWICZ J., ŁUCZAK B.

Katedra Automatyki i Biomechaniki, Politechnika Łódzka

Bardzo istotnym problemem dzisiejszej „zmotoryzowanej” cywilizacji są wypadki komunikacyjne. Poniższy artykuł przedstawia numeryczną analizę zderzenia czołowego pojazdu z barierą o masie 2 ton. Szczególną uwagę poświęcono przyspieszeniom działającym na kierowcę nie zapiętego w pasy bezpieczeństwa w czasie uderzenia. Otrzymane rezultaty pozwalają stwierdzić, że symulacja komputerowa kolizji drogowych jest doskonałym narzędziem do badań nad systemami zwiększającymi bezpieczeństwo w pojazdach.

## 1. WPROWADZENIE

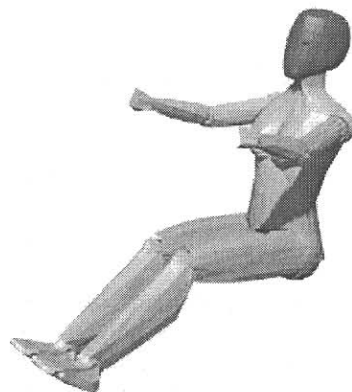
Jak dotąd żadnej z firm motoryzacyjnych nie udało się zbudować w pełni „bezpiecznego” samochodu, to znaczy takiego, w którym pasażer czuje się bezpiecznym bez względu na siłę i rodzaj kolizji. Należy podkreślić, że w porównaniu do samochodów sprzed 10-15 lat nastąpiły istotne zmiany ilościowe i jakościowe stosowanych układów służących poprawie bezpieczeństwa. Należą do nich, pirotechniczne napinacze pasów, poduszki powietrzne, kurtyny boczne i wiele innych. Niebagatelną rolę we wczesnym stadium konstruowania takich urządzeń spełnia symulacja komputerowa [7, 8, 9]. Moc obliczeniowa dzisiejszych komputerów pozwala naukowcom na modelowanie z coraz większą dokładnością również wypadków komunikacyjnych [8, 9]. Numeryczna symulacja jest doskonałym narzędziem pozwalającym na testowanie nowych, prototypowych urządzeń zwiększających bezpieczeństwo w naszych pojazdach, a także na poprawę systemów stosowanych obecnie. Wspomnieć również należy, że metody komputerowe pozwalają na wielokrotne symulacje w zależności od zmiany parametrów początkowych (tj. masy i wysokości pasażerów, pozycji za kierownicą, prędkości pojazdu, masy pojazdu i wielu innych parametrów). Żadna inna metoda badawcza (np. crashtest) nie daje naukowcom tak wielu możliwości. Niniejsza praca przedstawia numeryczną analizę zderzenia czołowego, ze szczególnym uwzględnieniem sił działających na kierowcę nie zapiętego w pasy bezpieczeństwa.

## 2. METODY I MATERIAŁY

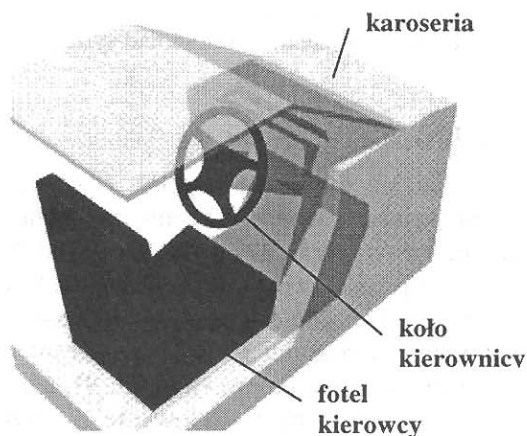
Warunkiem wykonania prawidłowej symulacji wypadku komunikacyjnego, jest posiadanie numerycznego modelu człowieka, który z maksymalną dokładnością oddawałby rzeczywistą ruchomość w poszczególnych stawach. W niniejszej pracy zaproponowano oryginalny model antropometryczny człowieka. Model przedstawiony na rys. 1 odwzorowuje kobietę o wysokości ciała 164 cm i masie ciała 54 kg. Składa się on z 17 elementów masowych (poszczególne części ciała) połączonych za pomocą odpowiednich wę-

złów, których zadaniem jest modelowanie ruchów obserwowanych w naturalnych stawach człowieka [1].

Zastosowano 11 węzłów typu zawias (modelują one staw skokowy, kolanowy, łokciowy, nadgarstkowy oraz stawy pomiędzy elementami palce-stopa i tułów-biodra) oraz 5 węzłów kulowych (stawy biodrowe, barkowe oraz w węzeł łączący elementy tułów-głowa).



Rys. 1. Model antropometryczny.

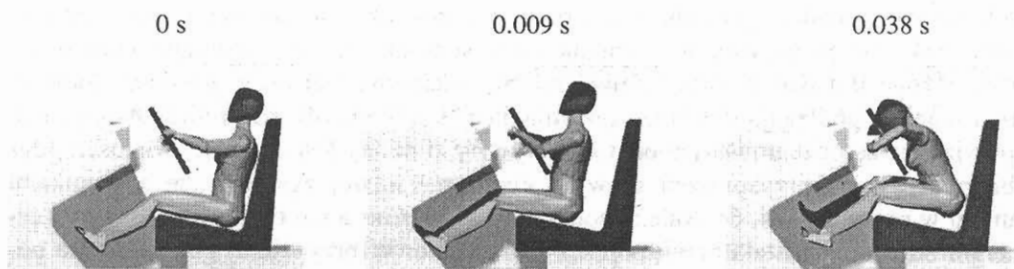


Rys. 2. Model wnętrza samochodu Polonez (rocznik 89' - 97').

Drugim niezbędnym elementem symulacji jest model pojazdu. Wybrano bardzo popularną markę samochodu w Polsce, tj. Polonez. Podyktowane to było łatwością w zdobywaniu materiałów technicznych opisujących geometrię wnętrza pojazdu, oraz tym, że w analizowanym pojeździe nigdy nie były dostępne takie systemy bezpieczeństwa jak napinacze pirotechniczne pasów, czy poduszki powietrzne. Model pojazdu składa się z trzech części (rys. 2), a jego łączna masa wynosi 1100 kg. Dzięki możliwości zmiany położenia fotela kierowcy względem koła kierownicy, uzyskano możliwość porównania wyników symu-

lacji w zależności od pozycji, jaką przyjmuje kierowca. Bryła pojazdu traktowana jest jako element idealnie sztywny.

Pozycja kierowcy została dobrana według zaleceń przedstawionych w pracy [2]. Pojazd porusza się ruchem prostoliniowym ze stałą prędkością 64 km/h i uderza w nieodkształcalną barierę o masie 2000 kg. Wszystkie powyższe warunki początkowe zostały oparte o zalecenia dotyczące wykonywania rzeczywistych testów zderzeniowych [2].



Rys. 3. Przebieg zderzenia w czasie.

Przemieszczenie kierowcy nie zapiętego w pasy bezpieczeństwa względem wnętrza pojazdu przedstawiono na rys. 3. Przeprowadzone obliczenia numeryczne pozwalają na akwizycję wielu użytecznych parametrów, przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń poszczególnych części modelu. Zastosowane środowisko programowe umożliwia również analizę metodą elementów skończonych odkształceń i naprężeń w poszczególnych częściach modelu (co jest konieczne przy obliczeniu parametrów HIC i VC). Zgodnie z zaleceniami EuroNCAP [3], po przeprowadzonym teście zderzeniowym należy obliczyć parametry porównawcze takie jak Head Injury Criterion (HIC) [4], Vicous Criterion (VC) [3, 5] i na ich podstawie opracować protokół porównawczy. Jednak autorzy na obecnym poziomie badań nie zdecydowali się na tak rozbudowaną analizę zagadnienia, gdyż ich głównym celem była weryfikacja stworzonego modelu antropomorficznego w badaniach dotyczących bezpieczeństwa użytkownika pojazdu. Jako przykład otrzymanych wyników na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wykresy przyspieszeń środka ciężkości głowy i klatki piersiowej [G] przyjętego modelu kobiety. (gdzie G jest krotnością przyspieszenia ziemskiego).



Rys. 4. Przebieg przyspieszenia środka ciężkości głowy w czasie.



Rys. 5. Przebieg przyspieszenia środka ciężkości klatki piersiowej w czasie.

Analizując powyższe wykresy (rys. 4 i 5), i porównując je z rys. 3, zauważyć można gwałtowny wzrost przyspieszenia do wartości około 1200 [G] w momencie uderzenia o kierownicę. Jest to spowodowane przyjęciem uproszczeń dotyczących własności materia-

lowych zarówno modelu pojazdu, jak i modelu człowieka. W rzeczywistości bowiem, znaczna część energii pojazdu pochłaniana jest w strefach zgniotu, natomiast wewnątrz pojazdu wyłożone jest materiałami tłumiącymi siłę uderzenia kierowcy (również elementy wnętrza pojazdu podlegają deformacji pochłaniając część energii zderzenia). Można jednak przyjąć, że zaprezentowany model numeryczny zbliżony jest do rzeczywistości, gdyż przebiegi krzywych przyspieszeń głowy i klatki piersiowej zgadzają się z wynikami podanymi w pracach [3, 4, 6]. Należy podkreślić, iż kierowca nie był zapięty w pasy i cała energia uderzenia została przejęta przez kierownicę. W przypadku, gdy kierowca pojazdu ma zapięte pasy bezpieczeństwa zmierzone w rzeczywistości wartości przyspieszeń osiągają wartość do 250 [G].

### 3. WNIOSKI

Uproszczenie modelu człowieka i samochodu do idealnie sztywnej bryły spowodowało, że przyspieszenia kierowcy są zdecydowanie większe niż obserwowane podczas rzeczywistych testów zderzeniowych. Różnice wyników najbardziej są widoczne w czasie, gdy „manekin” pozostaje w kontakcie z kierownicą pojazdu [3, 4, 6], a prędkość pojazdu jest większa od 20 km/h. Dla niewielkich prędkości (<20 km/h) wyniki uzyskiwane z symulacji numerycznych znajdują potwierdzenie w literaturze [6]. Spowodowane jest to tym, że pojazd przy mniejszych prędkościach kolizji ulega deformacji w stopniu niewielkim i uproszczenie jego własności do ciała idealnie sztywnego nie wnosi istotnych błędów.

### 4. PIŚMIENNICTWO

- [1] Bochenek A., Reicher M. [1997] *Anatomia człowieka I*, PZWL, Warszawa.
- [2] *European New Car Assessment Programme, Frontal Impact Testing Protocol*, Version 4.0, January 2003.
- [3] *European New Car Assessment Programme, Assessment Protocol and Biomechanical Limits*, Version 4.0, January 2003.
- [4] Hutchinson J., Kaiser M.J., Lankarani H.M. [1998] *The Head Injury Criterion (HIC) functional*, Applied Mathematics and Computation 96, 1-16.
- [5] Kroell C.K., Schneider D.C., Nahum A.M. [1971] *Impact Tolerance and Response of The Human Thorax*, SAE Paper no. 710851.
- [6] Kumar S., Narayan Y., Amell T. [2003] *Analysis of low velocity frontal impact*, Clinical Biomechanics 18, 694-703.
- [7] Noureddine A., Digges, K.H. and Bedewi N. [1996] *An Evaluation of Deformation Based Chest Injury Criteria Using A Hybrid III Finite Element Model*, International Journal of Crashworthiness, Vol. 1, 181-189.
- [8] Oshita F., Omori K., Nakahira Y., Miki K. [2001] *Development of a finite element model of the human body*, 7-th International LS-DYNA Users Conference.
- [9] Watanabe I., Furusu K., Kato C., Miki K., Hasegawa J. [2001] *Development of practical and simplified human whole body FEM model*, JSAE Review 22, 189-194.