

Wyznaczanie współczynników bezpieczeństwa biernego przy zderzeniu pojazdu ze słupem oświetleniowym na podstawie symulacji numerycznej

Wojciech Danek¹, Arkadiusz Mężyk¹, Eugeniusz Świtoński¹, Damian Gąsiorek¹

¹Institut Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska

email: wojciech.danek@polsl.pl, arkadiusz.mezyk@polsl.pl, eugeniusz.switonski@polsl.pl, damian.gasiorek@polsl.pl

STRESZCZENIE: Metody numeryczne w ostatnich latach nabrały większego znaczenia przy projektowaniu konstrukcji wsporczych urządzeń drogowych w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa biernego kierowcy i pasażerów. Umożliwiają ograniczyć koszty wprowadzenia nowego produktu na rynek, co prowadzi do obniżenia kosztów produkcji. W pracy tej przedstawiony został proces wyznaczania współczynników bezpieczeństwa biernego (THIV oraz ASI) na podstawie symulacji numerycznej zderzenia pojazdu ze słupem oświetleniowym. Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano metodę elementów skończonych zaimplementowaną w środowisku LS-Dyna. Przedstawiono modele dyskretne pojazdu oraz złożenia słupa oświetleniowego z fundamentem i gruntem. Poprzez przyjęte warunki początkowe oraz brzegowe odzwierciedlono zachowanie się słupa oświetleniowego w trakcie zderzenia i wyznaczono współczynniki bezpieczeństwa biernego przy zderzeniu pojazdu ze słupem oświetleniowym dla prędkości 100 km/h.

SŁOWA KLUCZOWE: LS DYNA, MES, słup oświetleniowy, zderzenie

1. Współczynniki bezpieczeństwa biernego

Konstrukcje wsporcze urządzeń drogowych, takie jak słupy oświetleniowe mogą w trakcie zderzenia stanowić zagrożenie dla kierowcy oraz pasażera. Dlatego przy projektowaniu tego rodzaju infrastruktury drogowej należy zwrócić uwagę na zwiększenie bezpieczeństwa biernego kierowcy oraz pasażerów. W tym celu PN- EN 12767 wyróżnia trzy kategorie bezpieczeństwa biernego [1]:

- pochłaniające energię w wysokim stopniu (HE),
- pochłaniające energię w niskim stopniu (LE),
- nie pochłaniające energii (NE)

W celu określenia, do jakiej klasy bezpieczeństwa biernego dany element infrastruktury zostanie zakwalifikowany, wykorzystywane są dwa współczynniki: ASI oraz THIV. Wskaźnik intensywności przyspieszenia ASI umożliwia określenie uciążliwości ruchu pojazdu dla osób siedzących w pobliżu obranego punktu pomiarowego oraz jest uważany za wymiar ciężkości wypadku pasażerów w uderzającym w przeszkodę pojeździe. Wyznaczany jest on z następującej zależności [2]:

$$ASI(t) = \left[(\bar{a}_x / \hat{a}_x)^2 + (\bar{a}_y / \hat{a}_y)^2 + (\bar{a}_z / \hat{a}_z)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

gdzie:

\bar{a}_x , \bar{a}_y , \bar{a}_z są składowymi przyspieszenia wybranego punktu P pojazdu, uśrednionymi z ruchomego przedziału czasu $\delta = 50\text{ms}$

\hat{a}_x , \hat{a}_y , \hat{a}_z z są granicznymi wartościami przyspieszenia wzdłuż osi nadwozia x, y, z.

Natomiast współczynnik THIV określa teoretyczną prędkość głowy pasażera podczas uderzenia w powierzchnię znajdującą się wewnątrz pojazdu i jest wyznaczany z zależności [2]:

$$THIV = \left[\mathbf{V}_x^2(T) + \mathbf{V}_y^2(T) \right]^{1/2} \quad (2)$$

gdzie:

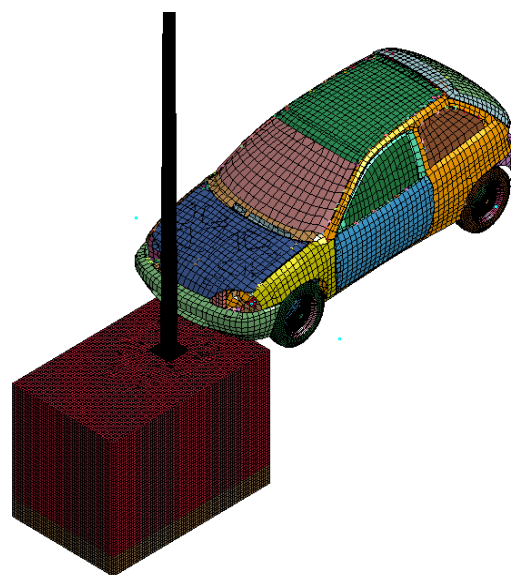
$\mathbf{V}_x(T)$, $\mathbf{V}_y(T)$ - prędkość teoretycznej głowy w chwili uderzenia w powierzchnię ograniczającą w pojeździe.

2. Model numeryczny

W niniejszej pracy wykorzystano model numeryczny pojazdu Suzuki Swift, spełniający kryteria odnośnie masy

pojazdu oraz umiejscowienia środka ciężkości zawarte w normie PN- EN 12767. Ze względu na skomplikowaną postać konstrukcyjną pojazdu oraz niepełne informacje odnośnie parametrów elementów wchodzących w skład pojazdu wykorzystany został model wykonany przez National Crash Analysis Center (NCAC).

W przypadku modelu słupa oświetleniowego został on zamodelowany wraz z fundamentem oraz gruntem w celu jak najdokładniejszego odzwierciedlenia rzeczywistych warunków panujących w trakcie zderzenia. Szczególnie istotne było przemieszczenie kątowe fundamentu występujące w początkowej fazie zderzenia, wpływające na wartości współczynników ASI oraz THIV.



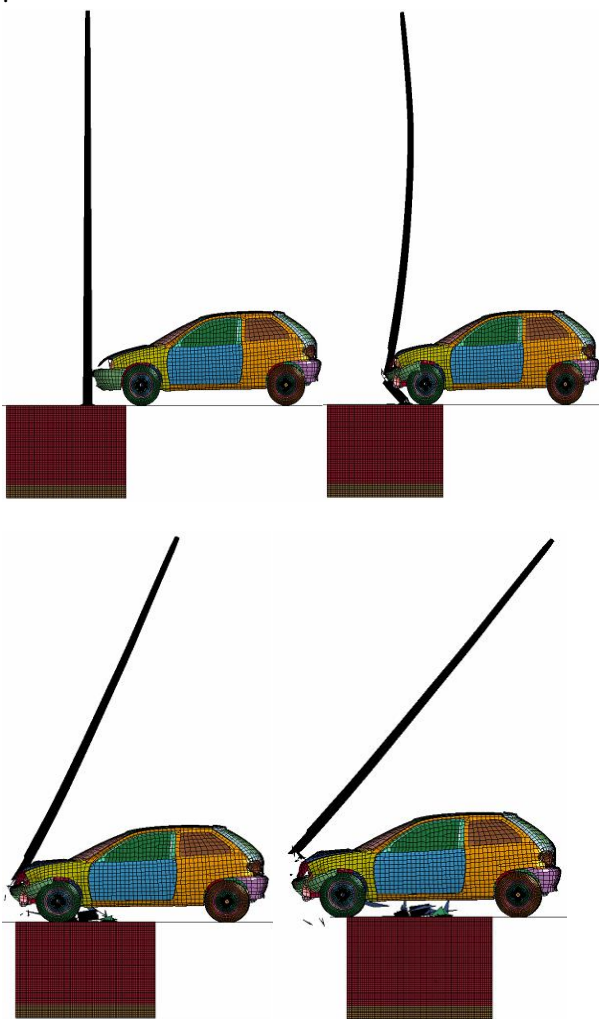
Rys. 1. Model numeryczny (rzut izometryczny)

W celu rozwiązania układu równań różniczkowych, uzyskanych na podstawie dyskretyzacji modelu oraz określenia odpowiednich własności materiałowych, niezbędne jest nałożenie na układ dodatkowych warunków związanych z przemieszczaniem poszczególnych elementów oraz wymuszeniami działającymi na dany model. Jako warunek brzegowy odebrano wszystkie stopnie

swobody w węzłach znajdujących się na zewnętrznych ścianach gruntu. Natomiast jako wymuszenie przyjęto prędkość 100 km/h wynikającą z konstrukcji analizowanego słupa oświetleniowego, który jest przeznaczony do montażu na drogach, na których dopuszczalne są duże prędkości. Wymuszenia w postaci prędkości zadano dla wszystkich węzłów pojazdu, dodatkowo zasympulowano ruch obrotowy kół z określoną prędkością kątową, wyznaczoną na podstawie znajomości średnicy koła.

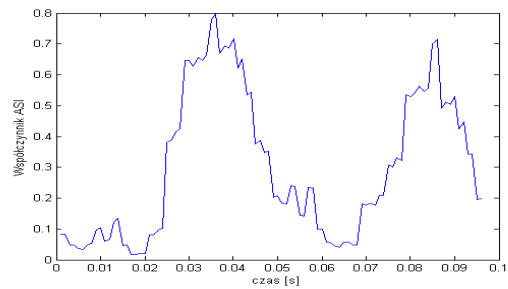
3. Wyniki obliczeń

W rozdziale tym przedstawione zostały wyniki symulacji numerycznej zderzenia pojazdu ze słupem oświetleniowym wykonanej w oprogramowaniu LS-Dyna. Ograniczono się do przedstawienia wyłącznie jakościowej analizy zderzenia dla kilku kroków czasowych niezbędnych do wyznaczenia współczynników bezpieczeństwa biernego

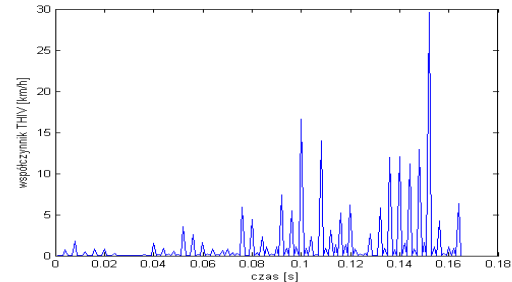


Rys. 2. Analiza jakościowa zderzenia pojazdu ze słupem oświetleniowym dla czasu $t=0$ s, $t=0,02$ s, $t=0,06$ s i $t=0,085$ s

Dodatkowo w celu określenia współczynników bezpieczeństwa biernego (THIV i ASI) został napisany skrypt w oprogramowaniu MATLAB umożliwiający pobieranie i przetwarzanie danych z pliku wynikowego symulacji.



Rys. 3. Wartość współczynnika ASI w funkcji czasu



Rys. 4. Wartość współczynnika THIV w funkcji czasu

Jak można zauważyć na rysunku 2 po uderzeniu pojazdu w słup oświetleniowy następuje jego ścinanie przy braku znacznego odkształcenia w elementach karoserii samochodu. Dodatkowo wartości współczynników THIV oraz ASI znajdują się w przedziale pozwalającym zakwalifikować słup do kategorii NE bezpieczeństwa biernego. Zachowanie modelu numerycznego jest zbliżone do danych uzyskanych dla innych słupów oświetleniowych, znajdujących się w tej samej klasie bezpieczeństwa biernego [8].

4. Podsumowanie

- 1) Przedstawiona symulacja miała na celu potwierdzenie wyników uzyskanych w trakcie badań umożliwiających przyporządkowanie słupa do określonej klasy bezpieczeństwa biernego.
- 2) Uwzględnienie fundamentu oraz grunt pozwoliło na wierne odzwierciedlenie zjawiska występującego podczas rzeczywistego zderzenia
- 3) W dalszych pracach model posłuży do optymalizacji postaci konstrukcyjnej słupa oświetleniowego w celu minimalizacji współczynników bezpieczeństwa biernego

Literatura

- [1] PN -EN 12767 Bierne bezpieczeństwo konstrukcji wsporczych dla urządzeń drogowych Wymagania i metody badań.
- [2] PN - EN 1317-1 Systemy ograniczające drogę Część 1: Terminologia i ogólne kryteria badań
- [3] ntrs.nasa.gov
- [4] Rojek J.: Modelowanie i symulacja komputerowa złożonych zagadnień mechaniki nieliniowej metodami elementów skończonych i dyskretnych, IPPT PAN, Warszawa 2007
- [5] Du Bois P., Chou C. C., Fileta B. B., Khalil T. B., King A. I., Mahmood H. F., Mertz. H. J., Wismans J.: *Vehicle crashworthiness and occupant protection*, American Iron and Steel Institute, Michigan 2004.
- [6] Jedliński T., Buśkiewicz J.: *Analysis of the influence of differences in strength parameters of steel S235 on passive safety of lighting columns*, 3rd Polish Congress of Mechanics & 21st Computer Methods in Mechanics, 2015
- [7] Abdel- Nasser A.: *Frontal crash simulation of vehicle against lighting columns using FEM*, Alexandria
- [8] <http://www.sapagroup.com>