

# STANOWISKO DO MODELOWANIA PRÓB ZDERZENIOWYCH WYBRANYCH ELEMENTÓW DECYDUJĄCYCH O BEZPIECZEŃSTWIE BIERNYM POJAZDU

ADAM GOŁASZEWSKI<sup>1</sup>, KRZYSZTOF SURMIŃSKI<sup>2</sup>

Politechnika Łódzka

## Streszczenie

W artykule zostały zaprezentowane wyniki otrzymane podczas badań modelowych prób zderzeniowych. Zostały one uzyskane przy wykorzystaniu opracowanego i zbudowanego w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej stanowiska pomiarowego do symulacji zderzeń oraz zjawisk im towarzyszących. W skład stanowiska wchodzi redukcyjny model pojazdu wykonany z profili stalowych, posiadający regulowaną wielkość strefy zgniotu oraz zmienną masę przedzderzeniową, tor jezdny z precyzyjnym pozycjonowaniem położenia początkowego modelu pojazdu za pomocą ciągnika ustawiającego model na pozycji startowej przy wykorzystaniu silnika krokowego, nieodkształcalna przeszkoda oraz systemy pomiarowe czasu i opóźnień. Zaprezentowano założenia projektowe oraz procedury kalibracji stanowiska. Przedstawione zostały możliwości poznawcze związane z badaniami modelowymi prób zderzeniowych zilustrowane przykładowymi pomiarami. Stanowisko pozwala na badania modelowe zarówno odnoszące się do stref kontrolowanego zgniotu pojazdu jak i po odwróceniu reakcji do modelowych badań barier energochłonnych. Oprócz badań własnych przedstawione stanowisko stanowi od kilku lat atrakcyjny poznawczo składnik studenckich zajęć laboratoryjnych z przedmiotów związanych z budową pojazdów a także problemami bezpieczeństwa biernego.

**Słowa kluczowe:** Crash Test, bezpieczeństwo bierne.

## 1. Wprowadzenie

Wypadek drogowy jest to zdarzenie w ruchu drogowym, w wyniku którego uczestnik ruchu drogowego został ranny lub doszło do jego śmierci, bądź też wystąpiły straty materialne. Biorąc to pod uwagę istotne jest opracowanie właściwej konstrukcji pojazdu zwiększające stopień bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, e-mail: adam.golaszewski@p.lodz.pl, tel.: 42 631 23 95

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, e-mail: krzysztof.surminski@p.lodz.pl, tel.: 42 631 23 95

Funkcja bezpiecznej konstrukcji pojazdu jest bezpośrednio związana z odpowiednią podatnością na odkształcenia przedniej, bocznej i tylnej części samochodu. Odpowiednia konstrukcja nadwozia pojazdu musi zapewnić pochłanianie energii uderzenia poprzez zastosowanie w jego konstrukcji właściwie umiejscowionych stref kontrolowanego zgniotu. Jednocześnie kabina powinna charakteryzować się wystarczającą sztywnością w celu zachowania przestrzeni życiowej dla podróżujących. Strefę kontrolowanego zgniotu tworzą właściwie ukształtowane i rozmieszczone elementy składowe struktury nośnej nadwozia, wykonane z materiałów posiadających właściwości energochłonne, które w czasie zderzenia ulegają deformacji, pochłaniając część energii uderzenia. Podczas prób zderzeniowych pojazdu z płaską sztywną przeszkodą przeprowadzanych dla prędkości 64 km/h strefa zgniotu wynosi dla współczesnych pojazdów osobowych do 0,7 m. Biorąc te wielkości pod uwagę można określić wartość maksymalnego opóźnienia i czas trwania deformacji, które odpowiednio wynoszą 23 g i 80 ms.

## 1. Założenia projektowe

Przesłanką do rozpoczęcia prac było relatywnie trudne pozyskiwanie informacji empirycznych o zjawiskach towarzyszących zderzeniom. W drodze symulacji komputerowej oraz używając oprogramowania inżynierskiego można uzyskiwać wstępne wyniki dotyczące zachowania się pojazdu w trakcie zderzenia, wymagają one jednak weryfikacji eksperymentalnej.

Opierając się na zasadach teorii podobieństwa postanowiono zbudować stanowisko symulacyjne zapewniające podobieństwo modelu w czasie i przestrzeni.

Przyjęto następujące założenia początkowe:

- próba zderzeniowa zostanie przeprowadzona na modelu redukcyjnym, który w sposób możliwie wierny będzie odtwarzał rzeczywisty pojazd osobowy,
- model będzie obiektem wielorazowego użytku z wymienną strefą zgniotu,
- masa, wymiary modelu i warunki próby powinny być ze sobą powiązane zgodnie z elementami teorii podobieństwa,
- zakres osiągniętych opóźnień przy zderzeniu modelu z przeszkodą powinien odpowiadać wartościom występującym w rzeczywistych crash testach,
- w trakcie zderzenia mierzone będzie opóźnienie środka masy,
- stanowisko będzie w przyszłości połączone z drugim, odtwarzającym działanie poduszek gazowych,
- ze względu na koszty budowy i rozmiary modelu zostanie użyty napęd grawitacyjny w postaci pochyłego toru jezdni.

Po uwzględnieniu możliwości zabudowy w pomieszczeniach laboratoryjnych zdecydowano przyjąć współczynnik odwzorowania równy 10.

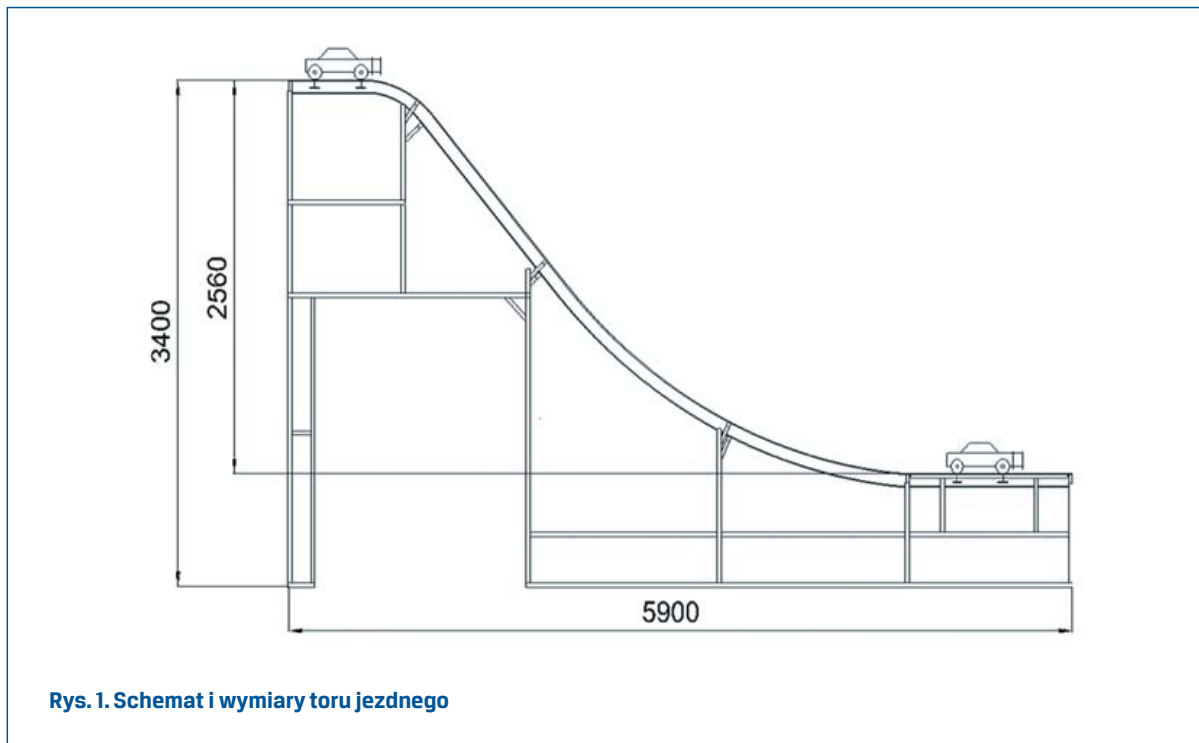
## 2. Stanowisko badawcze

W celu przeprowadzenia badań udarowych wybranych elementów bezpieczeństwa biernego pojazdu samochodowego zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze. Składa się ono z następujących elementów:

- toru jezdneho,
- przeszkody,
- modelu samochodu osobowego,
- aparatury pomiarowej,
- napędu ustawiającego model na pozycji startowej.

Tor jezdny, po którym swobodnie zjeżdża model samochodu został ukształtowany w taki sposób, aby zapewnić uzyskanie zakładanych parametrów ruchu pojazdu przed uderzeniem w przeszkodę. Schemat oraz wymiary toru zostały przedstawione na rysunku 1. Istotnym elementem toru jezdneho jest również zaprojektowane i wykonane prowadzenie modelu, które zapewnia mu zachowanie kierunku ruchu podczas zjazdu. Zdjęcie toru jezdneho przedstawiono na rysunku 2.

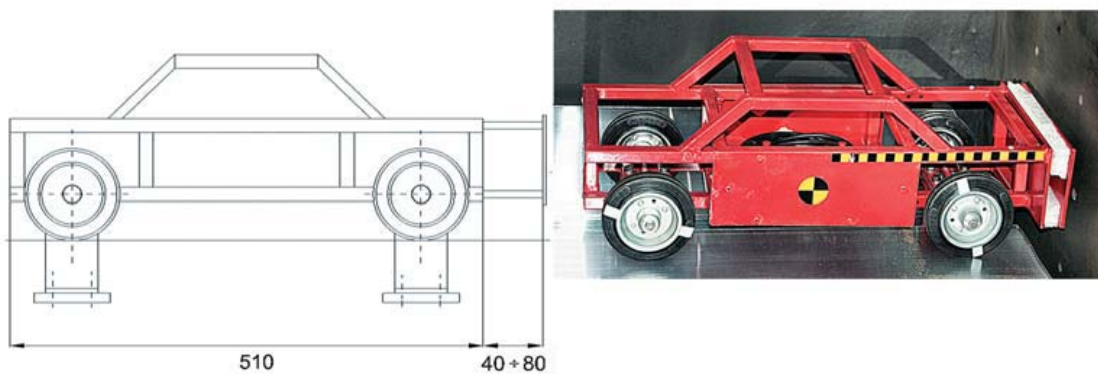
Kolejnym elementem stanowiska badawczego jest przeszkoda, w którą w czasie doświadczenia uderza pojazd. Jest to przeszkoda nieruchoma, wykonana z płyty stalowej, przytwierdzona do elementu konstrukcyjnego budynku. Grubość płyty wynosi 30 mm. Powoduje to, że jest to element, który można uznać za niepodlegający odkształceniu podczas próby zderzeniowej.



Rys. 1. Schemat i wymiary toru jezdneho



Rys. 2. Tor jezdny

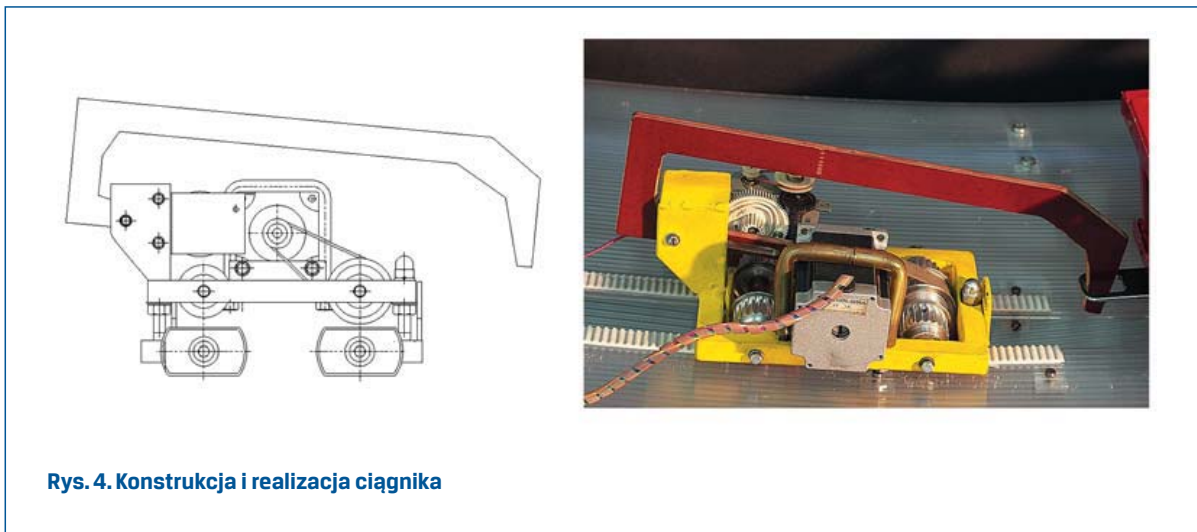


Rys. 3. Schemat, wymiary oraz modelu pojazdu

Podczas prób zderzeniowych pomiędzy płytą czołową a szkieletem nadwozia umieszczone są elementy o różnej sztywności, które zostają poddane zgniotowi.

Pojazd został wyposażony w elementy prowadzące, które współpracując z prowadnicami toru zapewniają zachowanie kierunku jazdy podczas próby.

W środku masy modelu umieszczono specjalnie do tego celu wykonany czujnik opóźnienia. Jako elementu pomiarowego użyto w nim scalonego akcelerometru mikromechanicznego ADXL 250 firmy Analog Devices. Moduł ten posiada dwie jednostki pomiarowe o wzajemnie prostopadłych osiach działania. W wykonanym czujniku wykorzystano je obie; dla osi poziomej ustalono zakres pomiarowy  $\pm 50g$ , dla pionowej  $\pm 25g$ . Konstrukcja czujnika pozwala na przestawienie położenia osi pomiarowych i tym samym zmianę czułości.



**Rys. 4. Konstrukcja i realizacja ciągnika**

Na końcowym, poziomym odcinku toru mierzona jest prędkość modelu w chwili zderzenia. Wykorzystano układ dwóch fotokomórek rozstawionych w odległości 1 m. Przy rozdzielczości pomiaru równej 1 ms osiągnięta jest powtarzalność wyników lepsza niż 0.5%. Sygnał z fotokomórki znajdującej się bliżej punktu zderzenia jest jednocześnie wykorzystywany do uruchamiania procesu rejestracji. Przyjęty okres próbkowania 0.02 ms okazał się wystarczający do obecnego etapu uruchamiania stanowiska, ale należy przewidywać, że wykonane zostaną próby przy większej częstotliwości pomiarów.

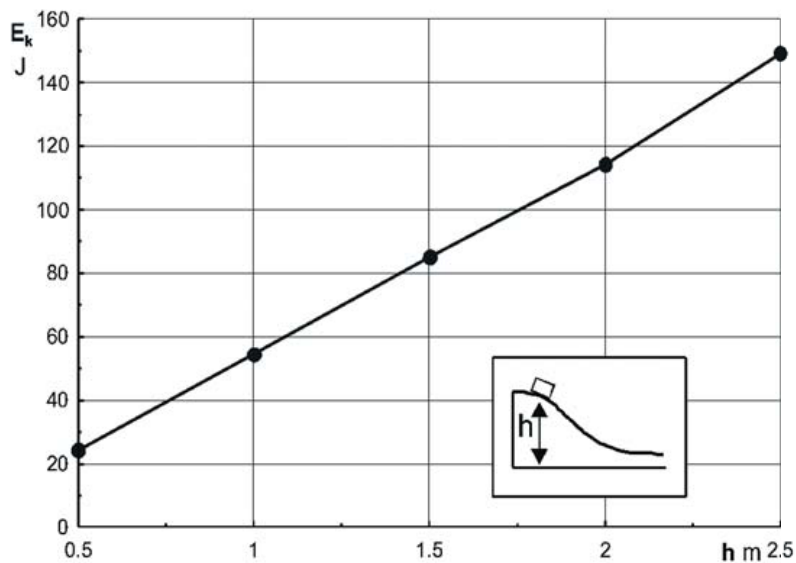
Umieszczanie modelu na pozycji startowej zapewnia autonomiczny ciągnik poruszający się po torze jezdny (rys.4). Zastosowany w nim napęd z silnikiem krokowym oraz elektryczny mechanizm uwalniania modelu pojazdu zapewniają łatwość, precyzję i powtarzalność pozycjonowania.

Uzupełnieniem otrzymywanych wyników jest rejestracja wideo z prędkościami 470-1000 kl/s co ułatwia analizę zjawisk zachodzących w czasie zderzenia. Do filmowania z takimi prędkościami użyto zaawansowanych aparatów cyfrowych firm Casio i Fuji, które po zapewnieniu odpowiedniego oświetlenia dostarczają materiału o zadawalającej jakości.

### 3. Wyniki pomiarów

Po uruchomieniu stanowiska wykonano na nim szereg prób w celu rozpoznania zakresu otrzymywanych wyników. Oceniono osiągniętą powtarzalność warunków próby, użyteczność różnych materiałów wykorzystywanych do budowy strefy zgniotu oraz trwałość modelu.

Przykładem wzorcowania stanowiska jest przedstawiona na rysunku zależność energii kinetycznej w chwili zderzenia w funkcji wysokości startowej modelu. Próby takie przeprowadzono dla różnych jego mas wykorzystując możliwość mocowania dodatkowego obciążenia. Zostało to przedstawione na rysunku 5.

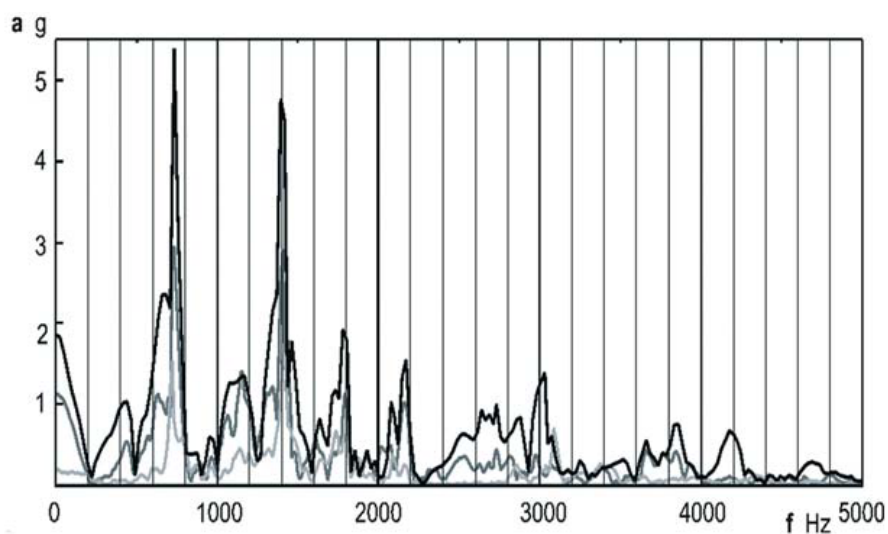


Rys. 5. Zależność energii kinetycznej w chwili zderzenia w funkcji wysokości punktu startowego

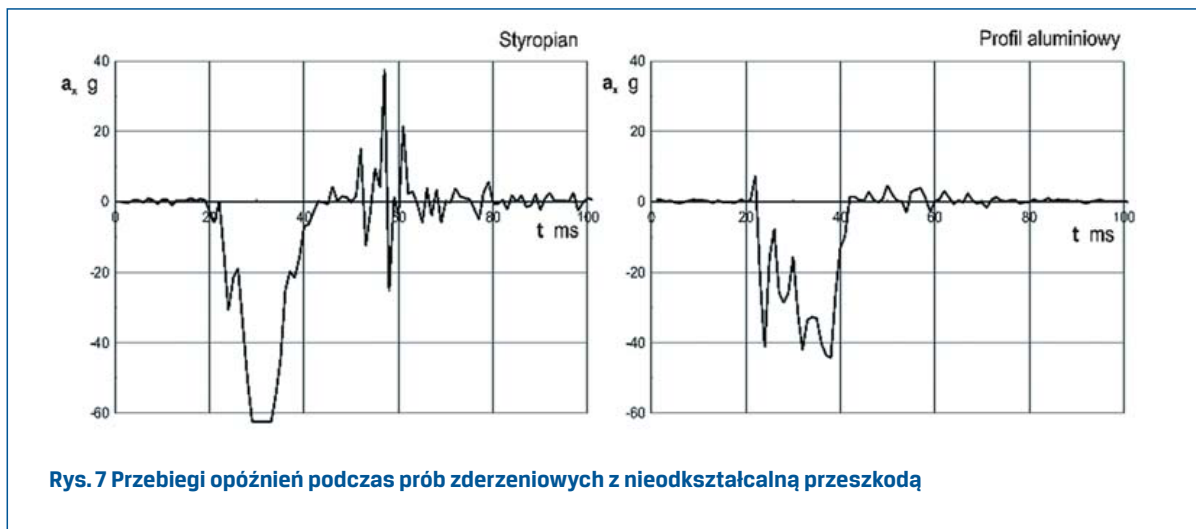
Wielokrotnie przeprowadzane próby wykazały bardzo dobrą powtarzalność prędkości końcowej modelu – odchylenie nie przekraczające 1%.

Próby z różnymi masami modelu wskazały na istnienie składowej oporów zależnych od sił pionowych, co jest zgodne z zjawiskami oporów toczenia rzeczywistego pojazdu.

Przy analizie otrzymywanych wyników wprowadzono filtrację cyfrową (opartą o transformatę Fouriera FFT) w celu odseparowania składowych sygnału pochodzących z wibracji



Rys. 6. Przykłady widma zarejestrowanych sygnałów z akcelerometru



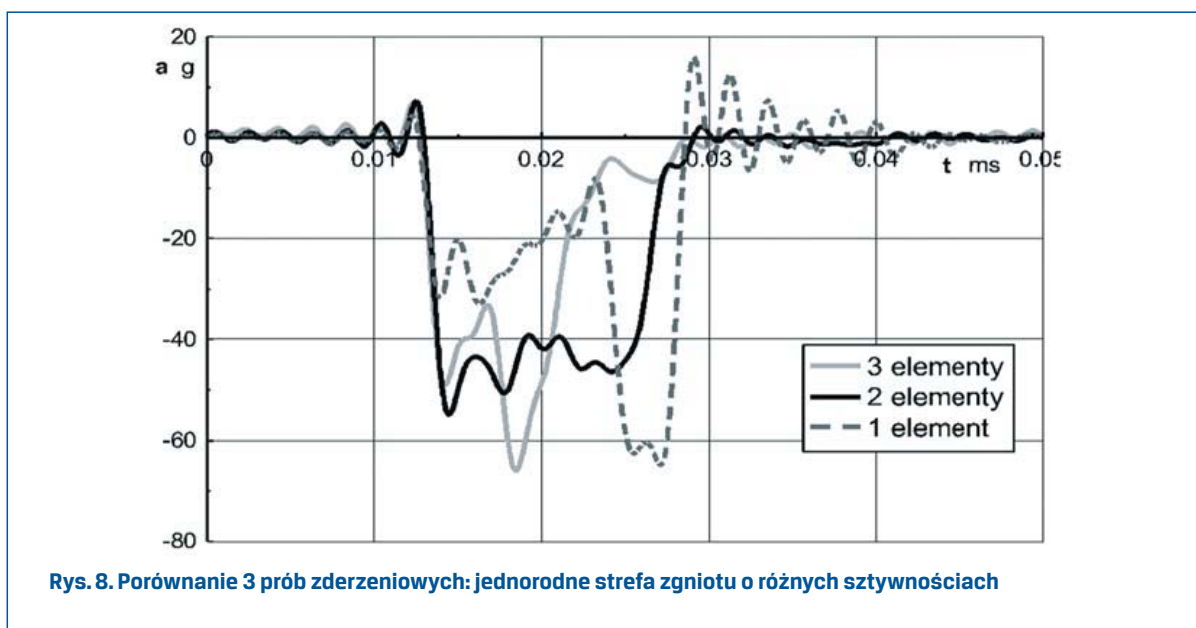
Rys. 7 Przebiegi opóźnień podczas prób zderzeniowych z nieodkształcalną przeszkodą

materiału niszczonego w strefie zgniotu oraz elementów konstrukcyjnych modelu od sygnału zasadniczego, związanego z przemieszczaniem się środka masy pojazdu. Rysunek 6 przedstawia rozkłady widma trzech przykładowych, zarejestrowanych sygnałów, które pozwalają określić parametry dolnoprzepustowego filtra FFT.

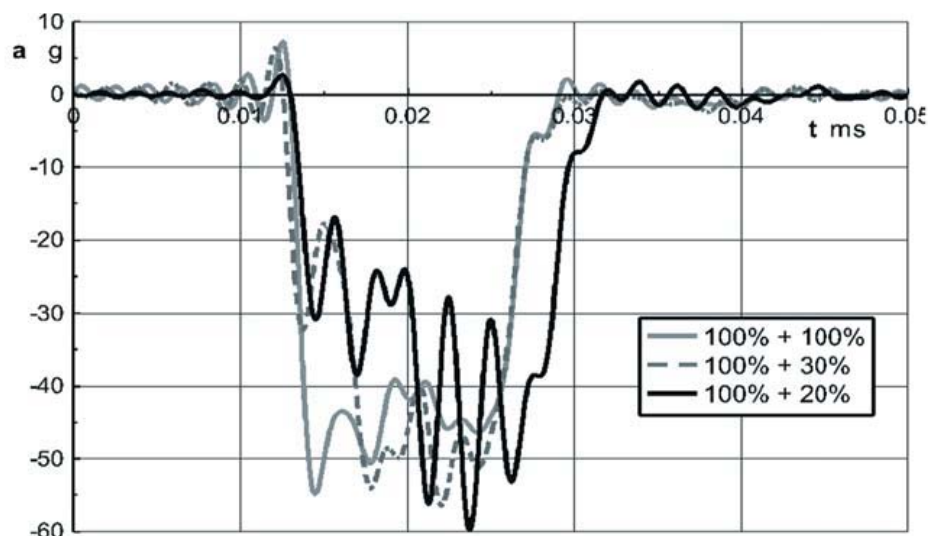
Powyższy przykład ujawnia obecność składowej związanej z drganiami własnymi konstrukcji modelu, o częstotliwości znacznie wyższej niż oczekiwany sygnał użyteczny.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe przebiegi opóźnień zarejestrowane przy próbach zderzenia z wykorzystaniem różnych materiałów w strefie zgniotu.

Efekty zastosowania jednorodnych stref zgniotu o różnych wartościach sztywności przedstawia rysunek 8. Zestawiono na nim wyniki zderzeń dla trzech różnych wartości



Rys. 8. Porównanie 3 prób zderzeniowych: jednorodna strefa zgniotu o różnych sztywnościach



**Rys. 9. Porównanie 3 prób zderzeniowych dwuelementowych stref zgniotu: jednolita i dwie o zmiennej sztywności (100% = pełna długość najdłuższego elementu zgniatanego)**

sztywności części zgniatanej. W prezentowanych wynikach prób zderzeniowych zróżnicowaną sztywność osiągnięto zwielokrotniając równoległe pojedynczy element wykonany z profilu aluminiowego.

Porównanie pozwala wskazać negatywne cechy zarówno konstrukcji zbyt sztywnej (3 elementy) jak i zbyt podatnej (1 element).

Kolejnym przykładem możliwości wpływania na przebieg opóźnienia pojazdu są strefy zgniotu o zmiennej sztywności będące równoległym połączeniem elementów o różnej długości. Przykład takich badań modelowych przedstawiono na rysunku 9.

Wykonano również testy odtwarzające zjawisko przemieszczającego się ładunku, zarówno przesuwającego się swobodnie jak i związanego z pojazdem za pomocą więzów o ograniczonej wytrzymałości.

Pewnym rozwinięciem tych zagadnień będzie wprowadzenie modelu kierowcy (manekin „dummy”) z indywidualnie wbudowanym akcelerometrem.

Konstrukcja płyty na końcu toru pozwala na wprowadzenie w przyszłości podatnych przeszkód, co zamodeluje warunki zderzenia wymagane w klasycznych, przeprowadzanych na świecie crash testach.

Zachowując niezmienną konstrukcję modelu pojazdu stanowisko może posłużyć do modelowych badań barier energochłonnych. Wysoka powtarzalność otrzymywanych wyników, zarówno w odniesieniu do prędkości początkowej zderzenia jak i rejestrowanego opóźnienia pozwala na obserwację efektów nawet niewielkich modyfikacji np. materiałowych.

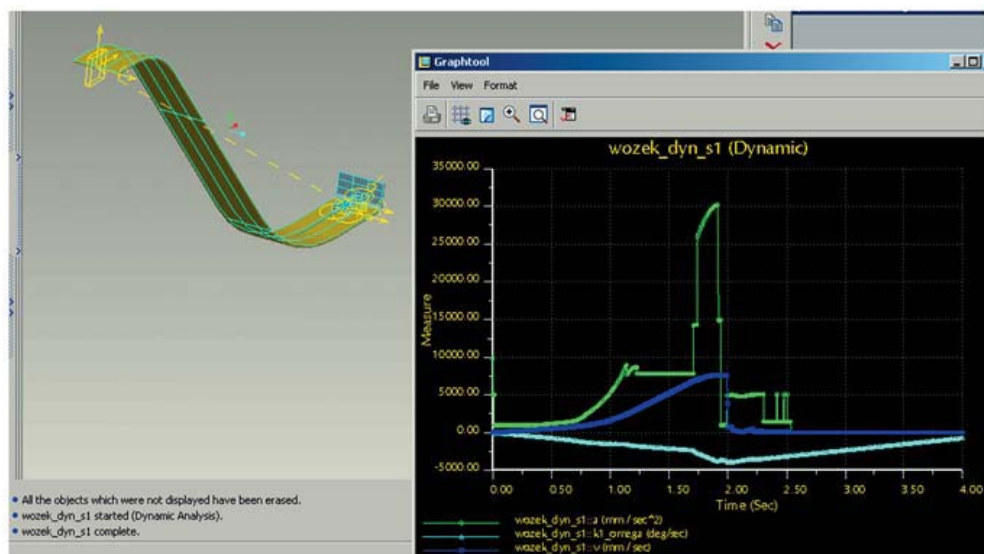




Rys. 10. Przykładowa realizacja strefy zgniotu w ramach projektu studenckiego

W części pomiarowej przygotowywane jest użycie optycznego czujnika przemieszczenia związanego z torem jezdny. Pozwoli to na rejestrowanie chwilowego położenia pojazdu w czasie zderzenia – niezależnie od szybkiej, poklatkowej rejestracji wideo.

Dostarczane przez stanowisko wyniki stały się również podstawą do podjęcia prób odwzorowania zjawisk tam zachodzących w programie Pro/Mechanism - Pro/ ENGINEER (autor dr inż. J. Ormezowski – KPiPBM PŁ).



Rys. 11. Próba modelowania stanowiska w programie Pro/Mechanism - Pro/ ENGINEER

## 4. Wnioski

W zaprezentowanej konstrukcji osiągnięto efekty, które pozwalają na analizę zderzeń i wykazują zbieżność ze znanymi np. publikowanymi w materiałach UTAC, ADAC wykresami przebiegów opóźnienia podczas prób przeprowadzanych na rzeczywistych pojazdach.

Stanowisko już w swojej obecnej formie posiada istotny aspekt dydaktyczny w procesie kształcenia kadry inżynierskiej wymagając znajomości tematów związanych z programem realizowanym w ramach różnych przedmiotów studiów. Jego dalsza rozbudowa powinna pozwolić na przeprowadzenie bardziej zróżnicowanych testów odtwarzających różne aspekty towarzyszące zderzeniom.

## LITERATURA

- [1] AMBROSZKO W., STRICKER L., WRZECIONIARZ P. A.: *Badania symulacyjne modelu zderzaka z tworzyw sztucznych*. Badania Symulacyjne w Technice Samochodowej, Politechnika Lubelska Lublin 1995.
- [1] AMBROSZKO W., ZABŁOCKI W.: *Analiza rozwiązań konstrukcyjnych zderzaków pojazdów samochodowych*. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy Bezpieczeństwa w Pojazdach Samochodowych”, Kielce 2002.
- [1] KOLENDA J.: *Stanowisko do badania energochłonności osłon*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, nr 2 (177) 2009.
- [1] WICHER J.: *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. WKŁ, Warszawa 2002.
- [1] ŻUCHOWSKI A., PROCHOWSKI L.: *Szttywność nadwozia - analiza sił działających na przeszkodę podczas zderzenia*. VI Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy Bezpieczeństwa w Pojazdach Samochodowych”, Kielce 2008.
- [1] *Wypadki drogowe w Polsce w 2006*. Komenda Główna Policji.