

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA**

DYSCYPLINA NAUKOWA – INŻYNIERIA MECHANICZNA/

DZIEDZINA NAUK – NAUKI INŻYNIERYJNO – TECHNICZNE

# **Rozprawa doktorska**

mgr inż. Przemysław Rumianek

## **Symulacja rozpraszania energii w elementach ochrony pieszych**

**Promotor**

dr hab. inż. Piotr Żach, prof. uczelni

**Promotor pomocniczy**

dr inż. Jarosław Mańkowski

WARSZAWA 2024

## Streszczenie

Rozprawa doktorska pt. *Symulacja rozpraszania energii w elementach ochrony pieszych* dotyczy zagadnień bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego (NUD). W pracy przedstawiono ocenę skuteczności rozpraszania energii przez elementy ochrony pieszego tj. wykonane z ekspandowanego polipropylenu (pianki EPP) stosowane w pojazdach osobowych. Głównym celem pracy było odwzorowanie numerycznego opisu materiału EPP oraz opracowanie numerycznego modelu oceny skuteczności działania elementu ochrony pieszego stosowanego w pojeździe.

Na dysertację składa się siedem rozdziałów.

W rozdziale pierwszym omówiono aspekty bezpieczeństwa niechronionych użytkowników dróg, przedstawiono przepisy dotyczące NUD i zmiany w nich zachodzące na przestrzeni lat. Omówiono metodykę oceny bezpieczeństwa pieszych oraz urządzenia służące do oceny obrażeń pieszych (impaktory). Jako uzasadnienie ważności prowadzonych badań przedstawiono statystyki wypadków z udziałem NUD. We wstępie pracy zostały omówione elementy pojazdów osobowych zmniejszające skutki wypadków z udziałem pieszych. Scharakteryzowano element ochrony pieszego, materiał polimerowy, z którego został wykonany oraz pełnione zadania.

Rozdział drugi przedstawia przedmiot i cel rozprawy, która koncentruje się na badaniu właściwości pochłaniania energii i rozpraszania jej w strukturach z polipropylenu ekspandowanego (EPP) wykorzystywanych w ochronie pieszych.

W rozdziale trzecim pracy omówiono polimerowe, termoplastyczne struktury z polipropylenu ekspandowanego (EPP), które są szeroko stosowane w aplikacjach ochronnych, zwłaszcza w motoryzacji. Przedstawiono charakterystykę materiału EPP, jego unikalne właściwości. Omówiono proces produkcji, strukturę wewnętrzną materiału. Opisano badania eksperymentalne materiałów EPP: przy zastosowaniu mikroskopii skaningowej (SEM, z ang. *Scanning Electron Microscope*), która jest szeroko stosowaną metodą do badania struktury materiałów, weryfikacyjne rodzaju materiału, przy wykorzystaniu spektrometrii FTIR (spektrometrii w podczerwieni z transformacją Fouriera), pozwalające na ocenę właściwości termicznych materiału przy użyciu kalorymetrii różnicowej DSC (Differential Scanning Calorimetry), statycznych - próby ściskania pianek EPP o różnych gęstościach w zakresie 20- 200 [g/dm<sup>3</sup>] oraz próbek o różnych temperaturach w zakresie -30°C <T<80°C, dynamiczne pianek EPP, wpływu prędkości odkształcenia na możliwości absorbowania energii przez strukturę polimeru o porach zamkniętych.

Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych wykorzystano do opracowania modeli materiałów. Opis analityczny pianki EPP i modele materiałowe zostały przedstawione w rozdziale czwartym. Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych wykorzystano do opracowania modeli materiałów.

Rozdział czwarty przedstawia wybrane analityczne modele materiałowe uwzględniając nieliniowe właściwości mechaniczne materiału EPP. Przedstawiono także metodę kalibracji modeli na podstawie wyników badań eksperymentalnych. Analiza tych modeli miała na celu lepsze zrozumienie i prognozowanie zachowania struktury pianki EPP.

W rozdziale piątym przedstawiono proces modelowania materiałów piankowych EPP. Wykonano odwzorowanie badań doświadczalnych w środowisku MES. Porównano wyniki badań doświadczalnych i uzyskanych z symulacji. Przeprowadzone symulacje pozwoliły na zweryfikowanie i modyfikacje modelu materiałowego, który został wykorzystany do opisu właściwości elementu ochronnego stosowanego w pojeździe.

Badania numeryczne elementu ochrony pieszego (absorbera energii) przedstawiono w rozdziale szóstym. W oparciu o wytyczne dotyczące badań nad bezpieczeństwem NUD przeprowadzono ocenę skuteczności działania absorbera energii.

W części podsumowującej (rozdział siódmy) zamieszczono wnioski z przeprowadzonych badań empirycznych oraz analiz numerycznych MES. Rozprawę zakończono wskazaniem kierunków rozwoju dalszych badań i możliwościami praktycznego wykorzystania prowadzonych badań.

Prowadzone badania i analizy symulacyjne pozwoliły na zweryfikowanie skuteczności działania elementu ochrony pieszego przy uwzględnieniu wpływu struktury, gęstości, temperatury i różnych prędkości odkształcenia.

Zestawiony materiał badawczy oraz przeprowadzone analizy umożliwiły rozszerzenie stanu wiedzy obejmującej polimerowe struktury kompozytowe o porach zamkniętych (EPP) stosowane w pojeździe w celu poprawy bezpieczeństwa NUD. Uzyskane rezultaty stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu ochrony niechronionych użytkowników dróg, w dyscyplinie inżyniera mechaniczna oraz stanowią podstawę do zrozumienia zjawisk zachodzących w strukturze materiału, które mają wpływ na działania absorberów energii.

**Słowa kluczowe:** ekspandowany polipropylen, materiał komórkowy, materiał piankowy, właściwości mechaniczne, absorber energii, bezpieczeństwo pieszych, bezpieczeństwo NUD.