

Analiza bezpieczeństwa pasażera pojazdu podczas uderzenia samochodu osobowego w barierę ochronną na autostradzie przy prędkości 140 km/h

Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Data obrony: 04.09.2025



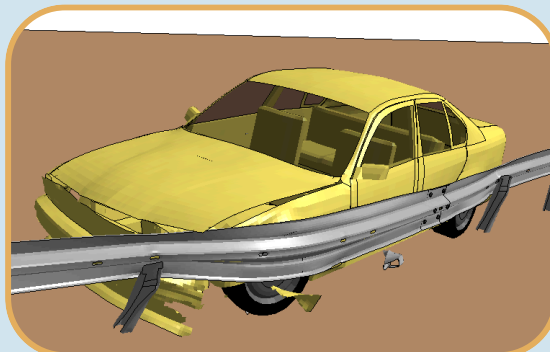
Autorka: mgr inż. Wiktoria Kolczyk
E-mail: wiktoria.kolczyk@pg.edu.pl
Promotor: dr inż. Dawid Bruski

1 MOTYWACJE

- Ograniczona dostępność danych eksperymentalnych dotyczących właściwości mechanicznych opony twardej (łac. dura mater).
- Brak realnych badań obrażeń uczestników zderzenia w testach zderzeniowych.
- Weryfikacja przydatności modelu materiałowego stosowanego w modelu ciała człowieka THUMS (ang. Total Human Model for Safety).
- Potrzeba opracowania nowego modelu materiałowego opony twardej.
- Poprawa prognozowań dotyczących obrażeń pasażera pojazdu.
- Dokładniejsza analiza obrażeń w wypadkach drogowych przy prędkościach przekraczających normowe wartości.

2 CEL I ZAKRES BADAŃ

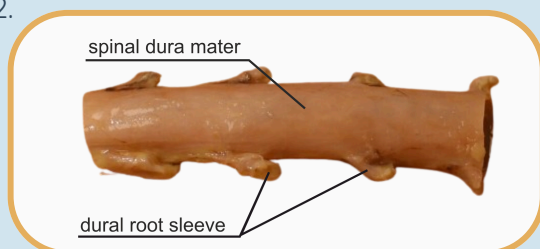
- Określenie kryteriów uszkodzenia opony twardej kręgosłupa i analiza ryzyka uszkodzenia tej tkanki w wypadkach drogowych na podstawie badań wytrzymałościowych i symulacji MES z modelem THUMS.
- Badania eksperymentalne opony twardej.
- Wyznaczenie właściwości mechanicznych opony twardej.
- Symulacje MES badania rozciągania próbki opony twardej.
- Modyfikacja modelu materiałowego w THUMS.
- Symulacje MES zachowania ciała pasażera w czasie wypadku drogowego przy prędkościach 50 i 140 km/h.
- Ocena bezpieczeństwa i analiza obrażeń pasażera.



Symulacja uderzenia pojazdu w barierę

3 CZYM JEST OPONA TWARDA?

- Najgrubsza i najwytrzymalsza błona z opon mózgowo-rdzeniowych.
- Odgrywa kluczową rolę w ochronie rdzenia kręgowego.
- Rozciąga się od podstawy czaszki do poziomu drugiego kręgu krzyżowego S2.



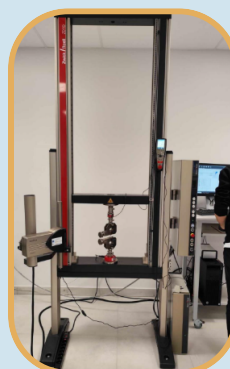
Fragment struktury opony twardej otaczającej nerw rdzeniowy

4 BADANIA EKSPERYMENTALNE

- Przygotowanie próbek opony twardej kręgosłupa.
- Montaż próbek opony twardej w uchwytach montażowych i zabezpieczenie zaciskami sprężynowymi.
- Badania wytrzymałościowe w maszynach:
 - UTB - Układ do Testowania Biomechaniki objęty zgłoszeniem patentowym o numerze P444805,
 - UTM - ang. Universal Testing Machine firmy ZwickRoell, model Z010.
- Przeprowadzenie badań statycznych i dynamicznych przy różnych prędkościach odkształcenia.



Próbka opony twardej kręgosłupa



Maszyna UTB

Maszyna UTM

5 SYMULACJE NUMERYCZNE

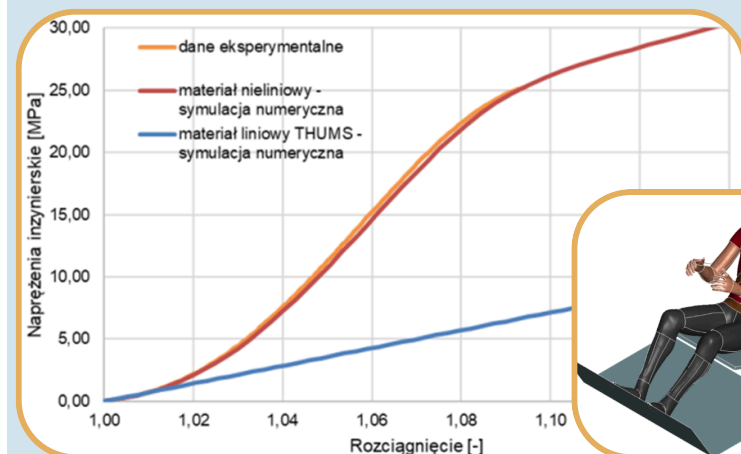
Symulacje opony twardej kręgosłupa - model lokalny:

- Opracowanie modeli próbki opony twardej.
- Implementacja modeli materiałowych:
 - model liniowo-sprężysty - stosowany w THUMS,
 - model nieliniowy - autorski, którego właściwości opracowano na podstawie badań eksperymentalnych.
- Walidacja modelu materiałowego na podstawie badań eksperymentalnych rozciągania jednoosiowego próbek opony twardej.
- Przeprowadzenie symulacji na poziomie lokalnym

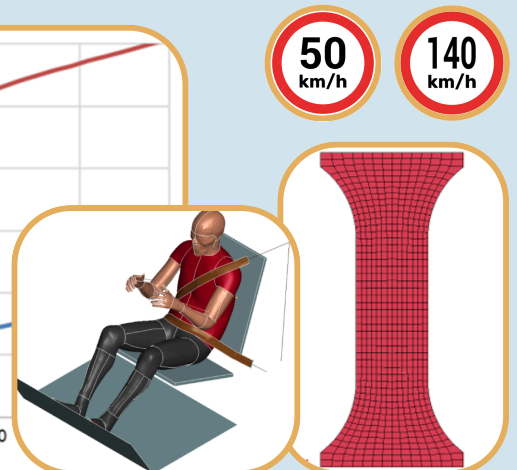


Symulacje typu sled test z wykorzystaniem modelu MES ciała człowieka (THUMS) - model globalny:

- Implementacja nowego modelu materiałowego do THUMS
- Przeprowadzenie docelowych symulacji wypadku drogowego w dwóch scenariuszach: (1) 50 km/h, 90° (uderzenie czołowe w sztywną ścianę), energia uderzenia IE = 144,7 kJ, (2) 140 km/h, 20° (uderzenie pojazdu w barierę na autostradzie), IE = 132,7 kJ w Ansys LS-DYNA wykorzystując jawny schemat całkowania równań ruchu (wariant sumowy Metody Różnic Centralnych).



Wykres naprężenie-rozciąganie

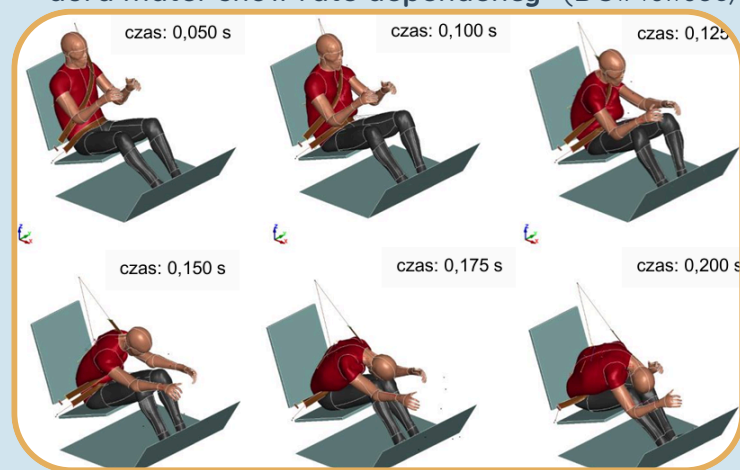


THUMS

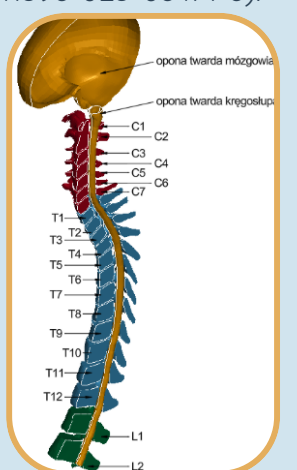
Model lokalny

6 REZULTATY I PODSUMOWANIE

- Zaproponowany model nieliniowy opony twardej pozwala na bardziej wiarygodną analizę odpowiedzi opony twardej niż oryginalny model liniowo-sprężysty w THUMS, który zaniża przewidywane ryzyko urazu.
- Uderzenia w bariery drogowo spełniające wymagania normy EN 1317, mogą być niebezpieczne dla uczestników zdarzenia przy prędkościach autostradowych (140 km/h), których norma ta nie uwzględnia.
- Najbardziej narażony obszar kręgosłupa to odcinek szyjny w połączeniu z odcinkiem piersiowym (C6-C7, T1).
- Ryzyko uszkodzenia opony twardej wzrasta wraz z prędkością zderzenia: dla wypadku 140 km/h (20°, IE = 132,7 kJ) prawdopodobieństwo przekroczenia średniej wytrzymałości na rozciąganie (24 MPa) wyniosło 67,5%, a dla przypadku 50 km/h (90°, IE = 144,7 kJ) otrzymano 60,6%.
- Zalecana jest implementacja modelu nieliniowego opony twardej kręgosłupa do modeli MES ciała człowieka oraz opracowanie wiarygodnych kryteriów biomechanicznych do oceny bezpieczeństwa pasażerów pojazdów w czasie wypadków drogowych.
- Fragment wyników tej pracy został opublikowany w czasopiśmie Scientific Reports w artykule „Mechanical properties of human spinal dura mater show rate dependency” (DOI: 10.1038/s41598-025-08471-8).



Sled test - model globalny



Lokalizacja opony twardej