

Sprawność rdzenia kręgowego uzależniona jest m.in. od wytrzymałości **opony twardej** (*dura mater*), czyli włóknistej błony otaczającej rdzeń. Podczas, na przykład, wypadków komunikacyjnych lub upadków błona ta poddawana jest bardzo szybkim rozciągnięciom. Niestety, większość obecnych modeli numerycznych ciała człowieka (**Human Body Models, HBM**) upraszcza jej zachowanie do liniowej sprężystości, co niezbyt dokładnie symuluje zachowanie tej tkanki. To może prowadzić do zaniżenia progów urazu neurologicznego.

Projekt **DURA-FORM** ma na celu stworzenie pełnego opisu mechaniki ludzkiej opony twardej, który uwzględni jej **anizotropię** (różne własności wzdłuż i w poprzek włókien kolagenowych), **czułość na prędkość odkształcenia** oraz **zjawiska reologiczne**. W praktyce oznacza to, że model będzie potrafił rozróżnić odpowiedź błony przy powolnym zginaniu kręgosłupa od tej przy gwałtownym uderzeniu na przykład głowy w poduszkę powietrzną. Badacze pobiorą próbki z odcinka szyjnego, piersiowego i lędźwiowego pięciu etycznie przekazanych kręgosłupów, ukształtują je w standaryzowane próbki i poddadzą seriom jednoosiowych prób rozciągania: od quasi-statycznych ($0,004\text{ s}^{-1}$) po dynamiczne (do 50 s^{-1}) prędkości odkształcenia.

Kluczowym elementem będą także **próby cykliczne**, pozwalające uchwycić **histerezę** - zjawisko, w którym działanie układu zależy nie tylko od obecnego stanu, ale również od jego historii. Zjawisko to, wraz z tzw. **efektem Mullinsa** (trwałe „zmiękczenie” po pierwszych silniejszych obciążeniach), jest charakterystyczne dla materiałów hipersprężystych, lecz rzadko było wcześniej mierzono dla opony twardej. Przestrzenny rozkład odkształceń zarejestruje system **cyfrowej korelacji obrazu (DIC)**, co umożliwi m.in. określenie pozornego współczynnika Poissona - relacji poprzecznego zwężenia do podłużnego wydłużenia próbki.

Dane z laboratoriów zostaną oczyszczone z szumów, podzielone na charakterystyczne odcinki (strefa początkowa, liniowa, przedniszczeniowa), a następnie dopasowane do **włóknistego modelu visco-hyperelastycznego** z gałęzią pseudoelastyczną Ogdena-Roxburgha, która odwzoruje nieodwracalne „luzowanie” struktury kolagenowej. Model zostanie zakodowany w programie LS-DYNA jako procedura UMAT i zweryfikowany tak, aby różnice między obliczeniami a pomiarami nie przekraczały 5 % ($R^2 > 0,95$).

Rezultatem DURA-FORM będzie zweryfikowane prawo materiałowe gotowe do wprowadzenia do nowoczesnych HBM-ów. Dzięki temu symulacje zderzeniowe dokładniej pokażą obciążenia opony twardej, pozwalając projektantom pasów i poduszek na lepsze zabezpieczenie kręgosłupa. Dodatkowo uzyskane progi uszkodzeń będą przydatne neurochirurgom przy planowaniu zabiegów oraz ocenie ryzyka powikłań pourazowych. Projekt łączy inżynierię materiałową, biomechanikę i medycynę, tworząc fundament pod bardziej wiarygodne prognozy urazów rdzenia i skuteczniejsze działania profilaktyczne.