

Antoni JOHN, Monika MIARKA, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Metod Komputerowych Mechaniki, Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA ROZMYTA ELEMENTÓW UKŁADÓW BIOMECHANICZNYCH

Streszczenie. Analiza numeryczna układów biomechanicznych natrafia na liczne problemy związane z budową modelu numerycznego rozpatrywanego obiektu. Pierwsze niedokładności powstają przy odwzorowywaniu geometrii, kolejne związane są z wartościami stałych materiałowych (wynikającymi z różnych danych źródłowych oraz z różnych metod eksperymentalnych). Mając to na uwadze autorzy artykułu zastosowali arytmetykę rozmytą w celu analizy wybranych elementów biomechanicznych. Podjęto próbę zastosowania wnioskowania rozmytego do generowania modułu Younga na podstawie wybranych cech populacji.

1. WSTĘP

Biomechanika inżynierska zajmuje się wieloma zagadnieniami dotyczącymi funkcjonowania i budowy poszczególnych elementów ludzkiego ciała. W związku z tym, że analizowanie przemieszczeń, odkształceń czy naprężeń struktur anatomicznych i implantów „in vivo” byłoby bardzo trudne, symuluje się naturalne warunki, stany chorobowe czy zwyrodnieniowe w laboratorium doświadczalnym lub komputerowym. W związku z tym układy rzeczywiste zastępuje się wyidealizowanymi układami biomechanicznymi. Przyczynia się to do powstawania błędów, które wynikają z niedokładnego odwzorowania geometrii oraz niedokładnych wartości stałych materiałowych (wynikających z różnych danych źródłowych oraz różnych metod eksperymentalnych).

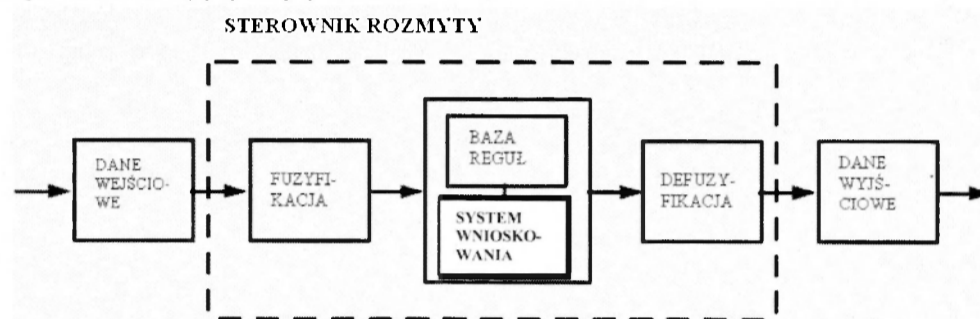
W celu przeprowadzenia analizy uwzględniającej powyższe niejednoznaczności posłużono się arytmetyką interwałową [1] oraz rozmytą. W pracy do obliczeń numerycznych wykorzystano metodę elementów skończonych. Parametry materiałowe zamodelowano jako rozmyte, przypisując im funkcje przynależności. Zastosowano wnioskowanie rozmyte do generowania modułu Younga dla wybranych cech osobniczych.

Przeprowadzona analiza interwałowa umożliwia ocenę wybranych wielkości nie tylko dla dyskretnej wartości parametrów materiałowych, ale dla przyjętego zakresu zmienności, co znacznie dokładniej odwzorowuje rzeczywistość.

2. GENEROWANIE MODUŁU YOUNGA ZA POMOCĄ STEROWNIKA ROZMYTEGO

Bardzo często należy wyznaczyć rozkład naprężeń, odkształceń i przemieszczeń przed interwencją chirurgiczną. Ze względu na bezpieczeństwo pacjenta pod uwagę brane są tylko dwie metody: testy przeprowadzone na modelu i symulacja numeryczna. Numeryczne obliczenia wymagają znajomości parametrów materiałowych. Pomimo wielu przeprowadzonych badań, nie udało się jak do tej pory określić jednoznacznej zależności pozwalającej wyznaczyć moduł Younga tkanki kostnej dla poszczególnych elementów układu kostnego dla konkretnego pacjenta. Parametry materiałowe kości zależą od wielu czynników: płci, wieku, stanu zdrowia, trybu życia, środowiska i wielu innych [2].

Jednym z efektywnych sposobów wyznaczenia modułu Younga może być wnioskowanie rozmyte. Aby stworzyć system rozmyty (Rys.1) generujący moduł Younga wymagana jest wiedza eksperta, którą w tym wypadku reprezentować mogą wyniki kliniczne dla odpowiednio dużej populacji pacjentów.



Rys.1. Model systemu rozmytego

Jako dane wejściowe do danego modelu przyjęto:

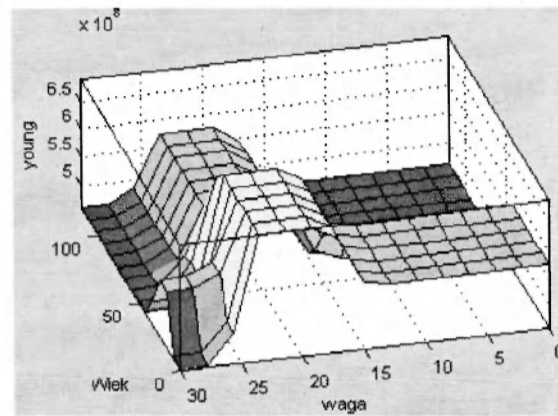
- wiek – do modelowania zastosowano cztery funkcje przynależności Z, dwie gaussowskie oraz S dla odpowiednio: dzieci, młodzieży, dorosłych i starców,
- płeć – stworzono dwa oddzielne systemy rozmyte dla kobiet i mężczyzn,
- wskaźnik BMI – użyto trzy funkcje przynależności Z, gaussowską i S dla odpowiednio niedowagi, normy i nadwagi,
- tryb życia – zastosowano dwie funkcje przynależności Z dla siedzącego trybu życia, S dla aktywnego trybu życia.

Moduł Younga, który stanowi wyjście z systemu, został zamodelowany za pomocą siedmiu gaussowskich funkcji przynależności. Zastosowano model wnioskowania typu Mamdaniego, który jest idealny dla modelowania „ludzkich” danych wejściowych. Użyto 24 reguły typu IF-TIEN. Rysunek 2 pokazuje zależność modułu Younga od wieku i wagi, podczas gdy rysunek 3 prezentuje zależność modułu Younga od wieku i trybu życia (siedzący/aktywny). Moduł Younga rośnie sukcesywnie od wieku młodzieńczego do wieku średniego osiągając swoją maksymalną wartość pomiędzy 40 a 50 rokiem życia, po czym raptownie spada. Kość mężczyzn charakteryzuje się wyższą wartością modułu Younga niż kość kobiet. Wzrost aktywności powoduje wzrost wartości modułu Younga.

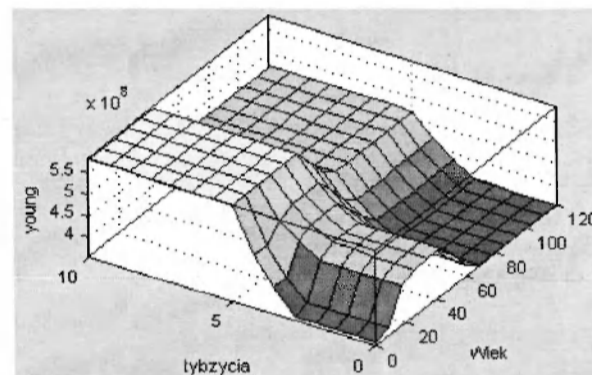
Tabela 1 przedstawia wyniki przeprowadzonych symulacji dla określonych grup wiekowych. Dla konkretnej grupy wiekowej wykonano obliczenia przy zmianie jednej z danych wejściowych:

- dla dzieci pokazano różnice wartości modułu Younga dla aktywnego i siedzącego trybu życia,

- dla młodzieży założono istnienie małej niedowagi oraz przyjęto aktywny i siedzący tryb życia,
- dla dorosłych wskazano różnice występujące dla osobników prowadzących średnioaktywny tryb życia oraz mających wagę w normie lub nadwagę,
- dla osób w wieku starszym pokazano wpływ wagi oraz trybu życia.



Rys. 2. Wykres zależności modułu Younga od wieku i wagi (wskaźnik BMI)



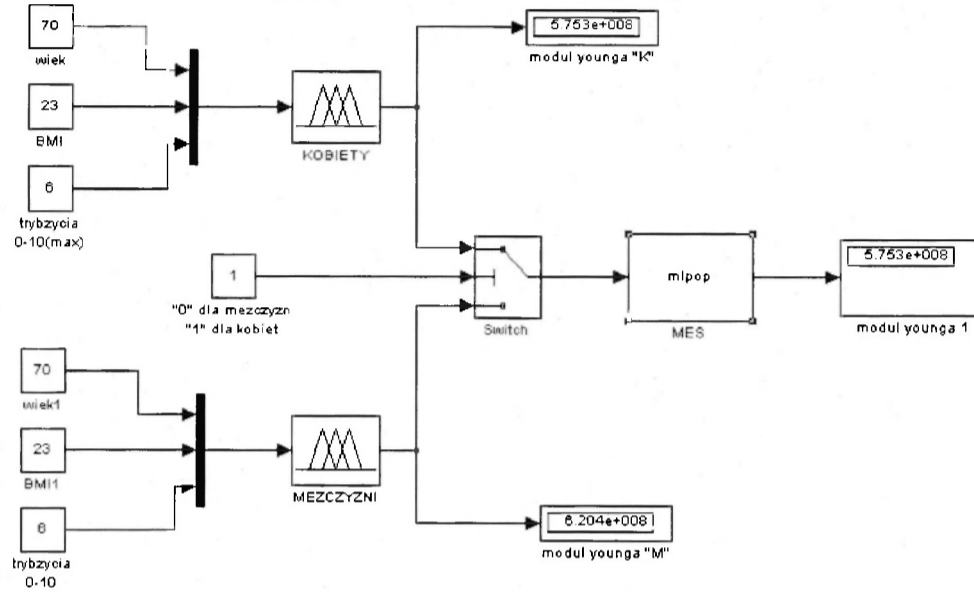
Rys. 3. Wykres zależności modułu Younga od wieku i trybu życia (aktywny/siedzący)

Tab. 1. Wyniki przeprowadzonych symulacji

Lp.	Wiek	Wskaźnik BMI	Tryb życia	Moduł Younga	
				Kobiety	Mężczyźni
1	10	21	2	4,437 E+08	5,443E+08
2	10	21	8	5,884E+08	7,157E+08
3	25	17	3	5,045E+08	6,095E+08
4	25	17	7	5,85E+08	7,044E+08
5	44	22	7	7,439E+08	
6	44	26	7	5,521E+08	6,652E+08
7	70	26	2	4,349E+08	5,328E+08
8	70	23	6	5,153E+08	6,266E+08

3. WYZNACZANIE NAPRĘŻEN W MODELU KOŚCI DŁUGIEJ

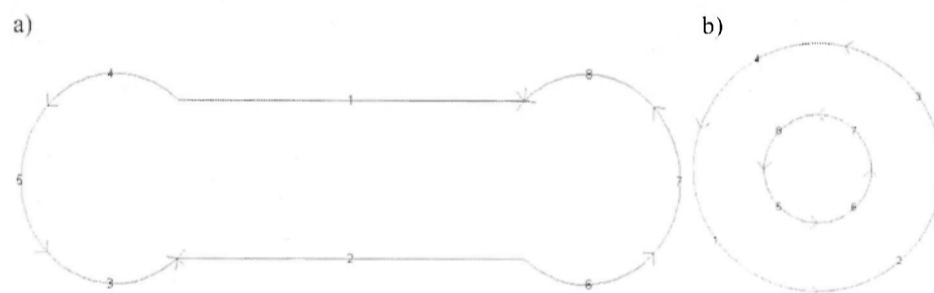
Wyznaczony za pomocą systemu rozmytego moduł Younga stanowił wejście do modułu obliczającego metodą MES naprężenia i odkształcenia w przekroju podłużnym i poprzecznym kości długiej (rys. 4). Do obliczeń MES wykorzystano toolbox PDE.



Rys. 4. Schemat modelu wnioskowania rozmytego oraz wyznaczania naprężeń i odkształceń metodą MES za pomocą systemu Simulink

Zadano następujące warunki brzegowe (rys. 5):

- na brzegach 5a i 1b zerowe warunki Dirichleta,
- na brzegach 1a-5a, 8a, 2b, 4b-8b zerowe warunki Neumanna,
- na brzegu 7a zadano obciążenie 650 N skierowaną do brzegu,
- na brzegu 3b zadano obciążenie 100 N skierowane do brzegu

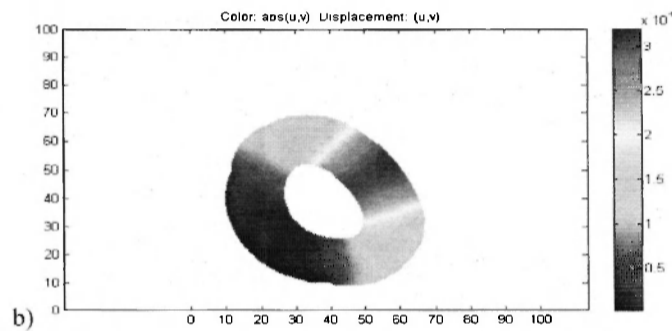
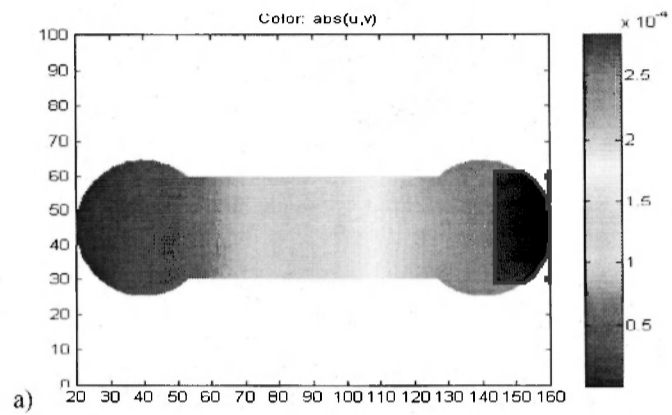


Rys. 5. Model przekroju a) podłużnego b) poprzecznego kości długiej z zaznaczonym podziałem na brzegi

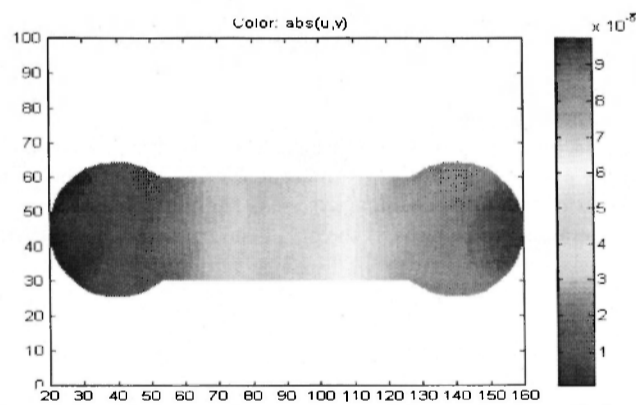
Poniżej zamieszczono wyniki symulacji przeprowadzone w dwóch przypadkach:

- dla 70-letniej kobiety z otyłością prowadzącą siedzący tryb życia (tab. 1, rys. 6),
- dla 44-letniego mężczyzny w wagą w normie prowadzącego aktywny tryb życia (tab.1, rys.7, 8).

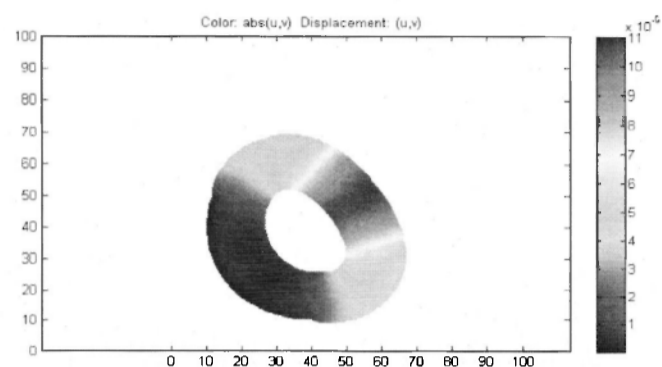
Osie na rysunkach 6-8 odpowiadają wymiarom [mm] kości w przekroju podłużnym i poprzecznym.



Rys. 6. Rozkład przemieszczeń w modelu przekroju a) podłużnego i b) poprzecznego kości długiej kobiety dla PSN, PSO



Rys. 7. Rozkład przemieszczeń w modelu przekroju podłużnego kości długiej mężczyzny dla PSN



Rys. 8. Rozkład przemieszczeń w modelu przekroju poprzecznego kości długiej mężczyzny dla PSO

3. WNIOSKI

Zaproponowane podejście może w przyszłości stanowić efektywny sposób określania parametrów materiałowych indywidualnie dla każdego pacjenta. Analizując otrzymane wyniki można zauważyć, że wartości odkształcenia i przemieszczenia dla dwóch pacjentów o różnej wadze, trybie życia i płci mogą znacznie odbiegać od siebie. Aby stworzyć system wspomagający diagnozowanie, potrzeba jednak znacznie dokładniejszych i szerszych danych eksperymentalnych oraz wiedzy eksperta.

LITERATURA

- [1] John A., Miarka M., Orantek P.: Analiza interwałowa wybranych elementów układu kostnego człowieka, Modelowanie Inżynierskie, tom 1, zeszyt 33, Gliwice 2007.
- [2] John A., Miarka M., Orantek P.: The interval and fuzzy analysis of the human pelvic bone, przyjęto na konferencję CMM – 2007, Łódź – Spała.

FUZZY ANALYSIS OF THE BIOMECHANICAL SYSTEMS ELEMENTS

Summary. Numerical modeling results in many errors. Moreover the material properties are not precise (it result form different literature sources and different experimental methods). The authors of the article used fuzzy numbers to analyze selected elements of the biomechanical systems. The fuzzy reasoning was used to derive Young modulus on the basis of the age, gender, life style and BMI factor.