

Modelowanie ciała człowieka na potrzeby projektowania inżynierskiego

Human body modeling for engineering design

PAWEŁ FUDALI
SŁAWOMIR MIECHOWICZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.22>

W pracy przedstawiono sposób modelowania ciała człowieka w celu wykonania symulacji MES rozkładu nacisków na elementy siedziska. Wykonano model CAD z uwzględnieniem wewnętrznych cech anatomicznych (kości). Jako pozycję człowieka przyjęto taką, w której podparte były klatka piersiowa, pośladki oraz podudzia.

SŁOWA KLUCZOWE: naciski powierzchniowe, MES, ciało człowieka

The paper presents the method of human body modeling in order to perform the FEM simulation of pressure distributions on the seat components. A CAD model was developed, taking into account internal anatomical features. As a human position, the system was based on the support of the chest, buttocks and shins.

KEYWORDS: contact pressure, FEM, human body

Podczas projektowania urządzeń bezpośrednio współpracujących z człowiekiem stosuje się różne modele ciała człowieka w celu opracowania ergonomicznego stanowiska pracy. Te modele najczęściej są opracowywane na podstawie atlasów antropometrycznych, zawierających szereg danych statystycznych dotyczących konkretnej populacji, takich jak wymiary poszczególnych części ciała człowieka oraz ich masa i zakres ruchu [1]. Podane wielkości odnoszą się najczęściej do trzech reprezentatywnych modeli ciała człowieka: 5c, 50c i 95c. Symbolem 5c oznacza się model pięciocentylowy. Centyl (percentyl) to jednostka statystyczna, która opisuje położenie wyniku względem całej grupy. W przypadku cech antropometrycznych model 5c mówi, że 5% badanych osób miało wymiary poszczególnych części ciała mniejsze niż przedstawiony model. Niektóre systemy CAx zawierają moduł z zaimplementowanymi danymi antropometrycznymi. Jednym z przykładów jest moduł *Ergonomics Design & Analysis* programu CATIA. Przy jego pomocy do projektu urządzenia można zaimportować model manekina kobiety lub mężczyzny z jednej z kilku dostępnych populacji i o konkretnej wartości centylowej. Dzięki temu można określić wymiary projektowanego urządzenia, przestrzeń roboczą jego użytkownika czy zakres widzenia.

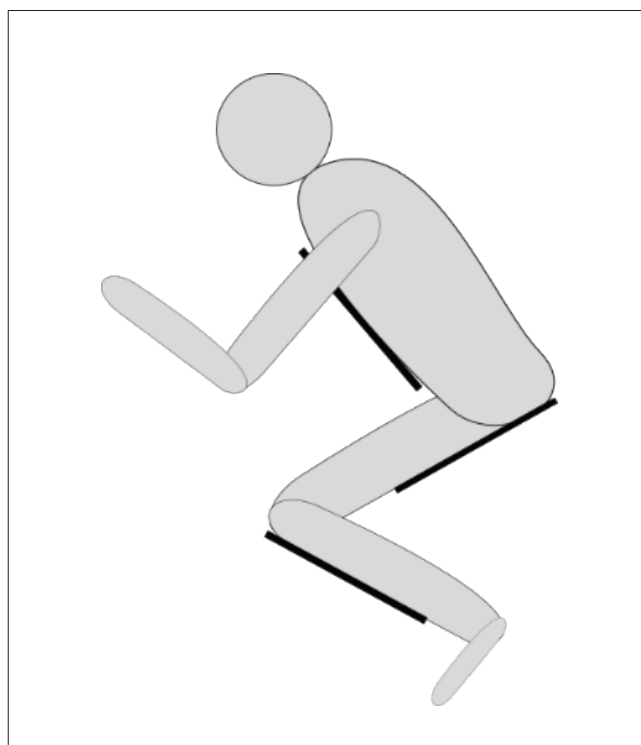
W przypadku projektowania niektórych urządzeń, np. foteli, bardzo duże znaczenie ma komfort użytkowania. Na określenie jego poziomu wpływa wiele czynników psychofizycznych. W literaturze zdefiniowano relację między komfortem a parametrami użytkowymi. Drgania oraz rozkład nacisków to dwa mechaniczne parametry, które są

ściśle związane z komfortem [2]. W niniejszej pracy został poruszony problem nacisków. Zbyt duży oraz długotrwały nacisk może powodować zmiany skórne, prowadzące niekiedy do powstawania odleżyn. Minimalizacja nacisku jest więc niezwykle istotna.

W ramach prac badawczych prowadzonych w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej stworzono koncepcję nowatorskiego rozwiązania siedziska wózka dla osób z niepełnosprawnościami [3, 4], zapewniającego podparcie dla klatki piersiowej, ud oraz podudzi (rys. 1).

Przedstawione rozwiązanie ma szereg udogodnień w stosunku do klasycznego fotela [5], a zwłaszcza umożliwia zmianę rozkładu nacisków powierzchniowych siedziska na ciało człowieka. Dzięki temu można czasowo odciążać najbardziej obciążone obszary. Rozwiązanie mechanizmu sprzęgającego ze sobą elementy podparcia zostało zgłoszone do ochrony patentowej – decyzją z sierpnia 2016 r. patent został przyznany [3].

W celu określenia zakresu kątów między elementami siedziska oraz odpowiadających im zmian rozkładu nacisków postanowiono wykonać symulacje z wykorzystaniem metody elementów skończonych, aby dobrać korzystne ułożenie siedziska dla różnych modeli człowieka.



Rys. 1. Koncepcja układu podparcia w wózku dla osób z niepełnosprawnościami

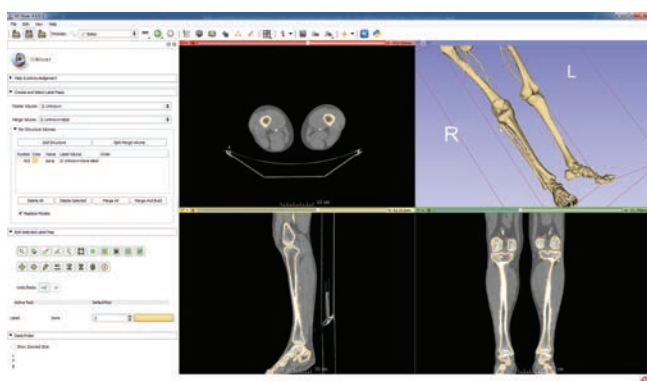
* Dr inż. Paweł Fudali (pfudali@prz.edu.pl), dr hab. inż. Sławomir Miechowicz, prof. PRz (smiechowicz@prz.edu.pl) – Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Model CAD ciała człowieka

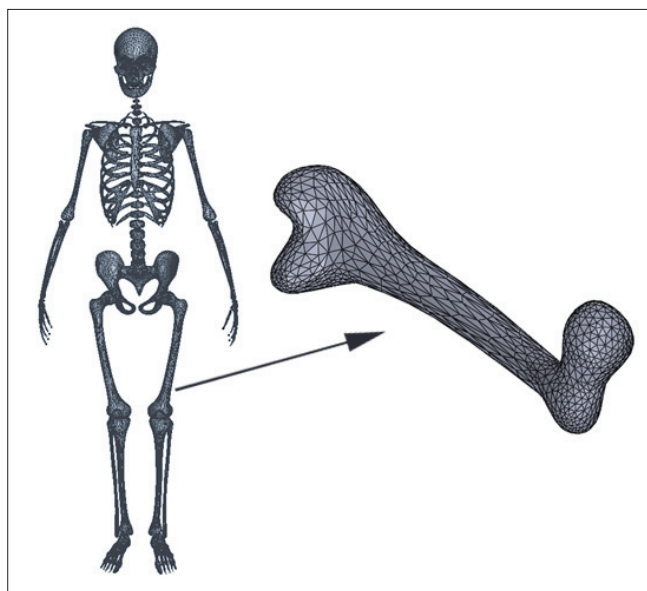
W celu wykonania symulacji MES niezbędne jest opracowanie modeli ciała człowieka. Można je wykonać na podstawie danych antropometrycznych bądź z wykorzystaniem metod inżynierii odwrotnej. Ze względu na złożoność modeli zdecydowano się na zastosowanie tomografii komputerowej (CT). Dane uzyskane ze skanowania są zapisywane w standardowym formacie DICOM (*digital imaging and communications in medicine*). Dane te składają się z serii obrazów. Odległość między warstwami (kolejnymi obrazami) jest równa rozdzielczości skanowania.

Jednym z darmowych programów do obróbki plików DICOM jest 3D-Slicer, który umożliwia ich eksport do uniwersalnych formatów, takich jak *.stl*.

Dane ze skanowania zostały pokazane na rys. 2. Po ich obróbce wykonano model układu kostnego pokazany na rys. 3, na którym powiększono jedną z kości w celu zaprezentowania dokładności modeli.



Rys. 2. Dane medyczne otrzymane w wyniku skanowania



Rys. 3. Model układu kostnego

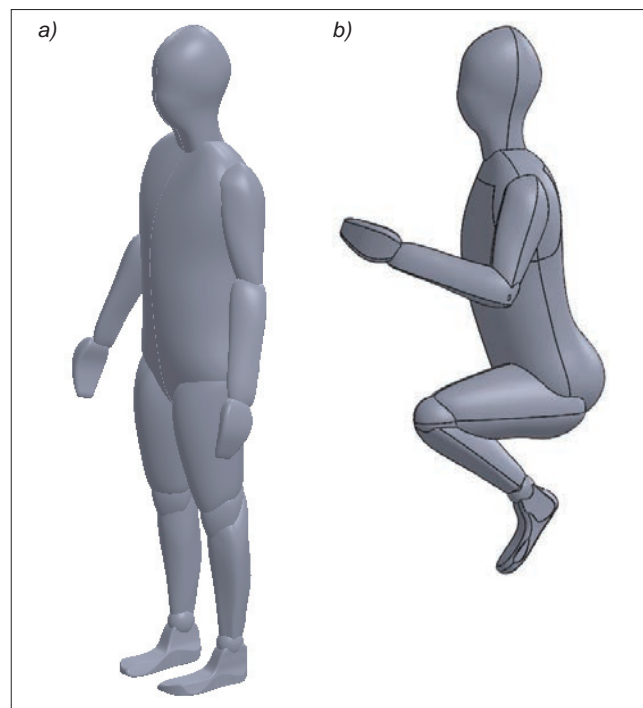
Analogicznie postanowiono podejść do problemu uzyskania powierzchni zewnętrznej. Ze względu na złożoność modelu uproszczono go, zwłaszcza w mało istotnych (z punktu widzenia symulacji) miejscach, takich jak dłonie, stopy i głowa. Otrzymano model w pozycji wyprostowanej (rys. 4a). Dokonano również pewnych uproszczeń w stawach, aby można było z łatwością zmieniać pozycję modelu w zależności od konfiguracji siedziska. Wprowadzono dodatkowy obiekt w kolanie, zapewniający płynne

przejście do różnych wariantów ułożenia kończyn (rys 4b). Operacje te zostały przeprowadzone w środowisku Solid Works [6].

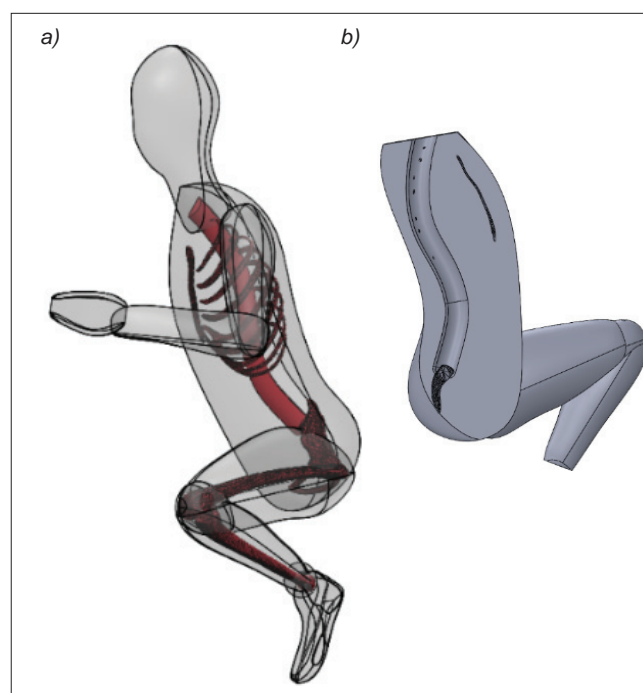
Uproszczeniu poddano również układ kostny, w tym kręgosłup, a w analizie MES uwzględniono jedynie te kości, które mają bezpośredni wpływ na rozkład nacisków analizowanego siedziska na ciało człowieka.

Na model tkanek miękkich nałożono model układu kostnego (rys. 5a), a następnie za pomocą operacji boolowskich odjęto bryły od siebie. W ten sposób otrzymano odkształcalny model przedstawiony na rys. 5b.

W ramach uproszczeń podzielono model wzdłuż płaszczyzny symetrii.



Rys. 4. Model ciała człowieka w pozycji: a) stojącej, b) zajmowanej w zaproponowanej konstrukcji siedziska



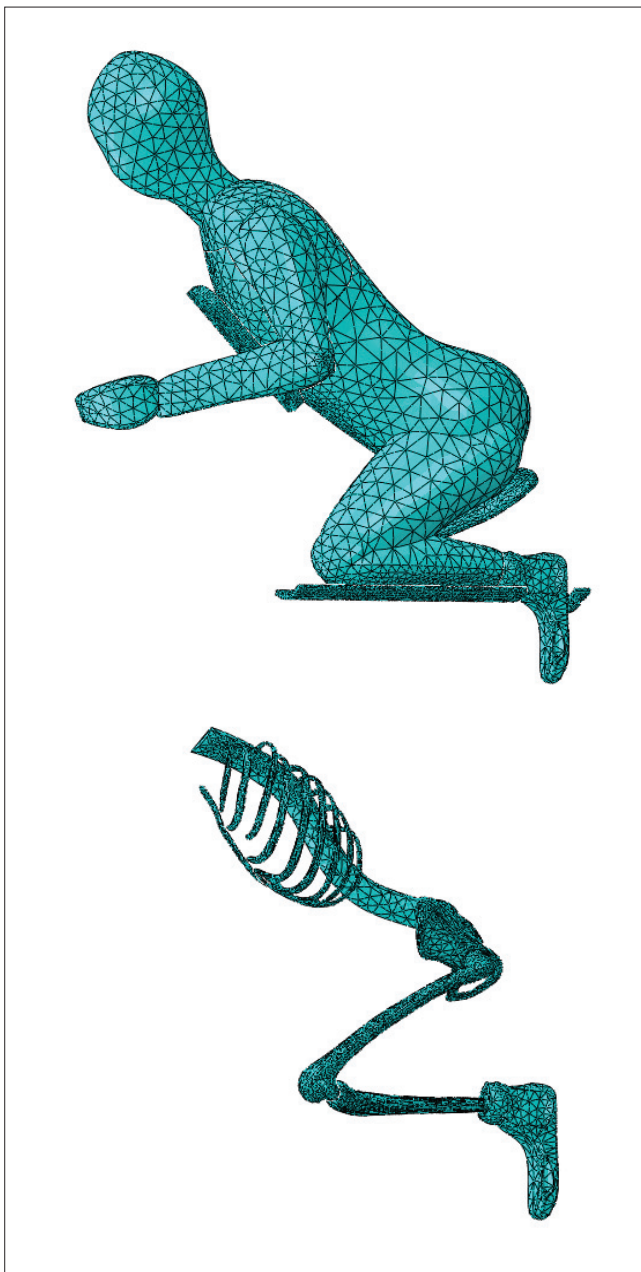
Rys. 5. Model ciała człowieka: a) z nałożonym modelem kości, b) przyjęty jako bryła odkształcalna po odjęciu modeli kości

Model MES ciała człowieka

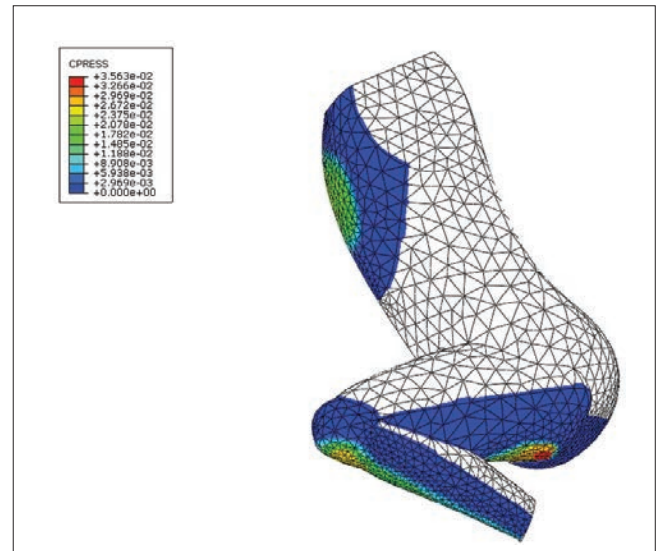
W celu wykonania symulacji MES modele CAD zostały zaimportowane do środowiska ABAQUS. Model z rys. 5b został przyjęty jako odkształcalny o współczynnikach materiałowych zaczerpniętych z literatury [7]. Założono model materiałowy izotropowy, hiperelastyczny, nieściśliwy. Wszystkie pozostałe obiekty potraktowano jako bryły sztywne. Na bryły nałożono siatkę z elementów czworościennych drugiego rzędu (rys. 6). Między kośćmi a elementami elastycznymi założono kontakt w postaci trwałego związania, natomiast między siedziskiem a ciałem człowieka – kontakt tarcowy. Jako obciążenie przyjęto grawitację. Elementy siedziska zostały utwierdzone. W przypadkach symetrycznych obliczenia wykonywano dla połowy modelu.

W wyniku symulacji otrzymano rozkład nacisków powierzchniowych (rys. 7).

Zaprezentowany model ma szereg uproszczeń. Poza wspomnianymi wcześniej należy jeszcze wskazać pominięcie rozróżnienia tkanek miękkich, takich jak: tłuszcz,



Rys. 6. Model dyskretny przyjęty do symulacji



Rys. 7. Rozkład nacisków (w MPa) na ciało człowieka dla przykładowej konfiguracji siedziska

skóra, mięśnie i organy wewnętrzne. Wszystkie te uproszczenia w pewnym stopniu wpływają na dokładność otrzymanych wyników, jednak również znacząco upraszczają problem obliczeniowy. W celu określenia zgodności takich wyników z warunkami rzeczywistymi należałoby dokonać walidacji modelu MES przez badania eksperymentalne, potwierdzające słuszność przyjętych założeń. Służyć do tego mogą maty naciskowe, stosowane przez koncerny samochodowe do badania foteli w pojazdach.

Podsumowanie

W przypadku potwierdzenia słuszności przyjętych założeń przez badania stanowiskowe przedstawiony sposób modelowania ciała człowieka (i wykorzystanie takiego modelu do symulacji numerycznych) pozwoli projektować urządzenia korzystne z ergonomicznego punktu widzenia. Znając rozkład nacisków dla różnych ułożeń siedziska, można tak modyfikować jego ustawienie, aby zmaksymalizować czas przebywania człowieka w wózku bez narażania go na wystąpienie zmian skórnych. Przedstawione podejście umożliwia optymalizację konstrukcji pod konkretną osobę.

LITERATURA

1. Gedliczka A. „Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej”. Warszawa: Wydawnictwo CIOP, 2001.
2. Verver M.M. „Numerical tools for comfort analyses of automotive seating”. Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
3. Miechowicz S., Fudali P. „Wózek zwłaszcza dla osób niepełnosprawnych”. Wzrost, numer prawa wyłącznego: 224969, zgłoszenie P. 408447 z 05.06.2014 r.
4. Fudali P., Miechowicz S. „Analiza porównawcza rozwiązań siedzisk z wykorzystaniem MES”. Wybrane zagadnienia i problemy z zakresu budowy maszyn, cz. 2. Red. Leszek Skoczylas. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2014, s. 21–32.
5. Vaucher M., Isner-Horobet M.E., Demattei C., Alonso S., Hérisson C., Kouyoumdjian P., van Dieën JH., Dupeyron A. “Effect of a kneeling chair on lumbar curvature in patients with low back pain and healthy controls: A pilot study”. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 58, 3 (2015): s. 151–156.
6. Kęska P. „SolidWorks 2014: Modelowanie powierzchniowe, narzędzia do form, rendering i wizualizacje: podręcznik do nauki na poziomie zaawansowanym”. Warszawa: CADvantage, 2014.
7. Tang C.Y., Chan W., Tsui C.P. “Finite Element Analysis of Contact Pressures between Seat Cushion and Human Buttock-Thigh Tissue”. *Engineering*. 2, 9 (2010): s. 720–726.