

**Marcin DĄBROWSKI, Marek PAWLIKOWSKI**, Instytut Mechaniki i Konstrukcji,  
Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska, Warszawa

## **OCENA ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNEGO IMPLANTOWANEJ ENDOPROTEZY STAWU BIODROWEGO**

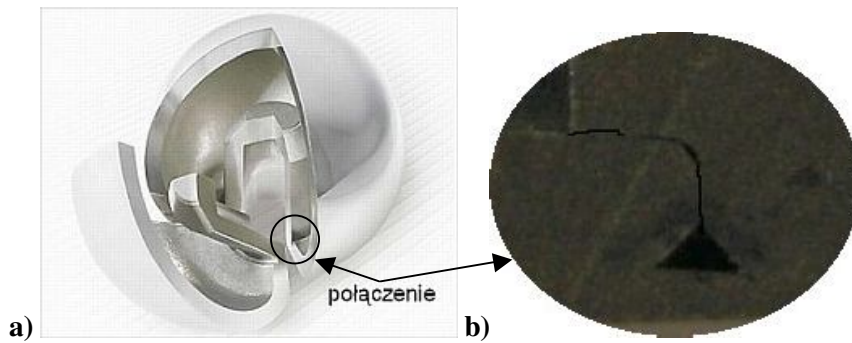
Streszczenie. W pracy badaniu poddano endoprotezę stawu biodrowego, która uległa zniszczeniu po kilkuletnim okresie od wszczęcia. Zakres badań obejmował etapy trójwymiarowego modelowania układu trzpień-głównka, ze szczególnym uwzględnieniem osadzenia gniazda w główce endoprotezy oraz ocenę wytrzymałościową konstrukcji z rozpatrywaniem warunków obciążenia. Przeprowadzono symulacje numeryczne pól naprężeń i odkształceń z oceną dopuszczalnych obciążeń celem weryfikacji poprawności rozwiązania.

### 1. WSTĘP

Zabieg wszczęcia endoprotezy stawu biodrowego jest powszechną procedurą mającą na celu poprawę jakości życia i poruszania się osób dotkniętych urazami omawianego narządu ruchu. Z roku na rok liczba implantacji zwiększa się. Spowodowane jest to wieloma czynnikami, do których zaliczyć możemy starzenie się społeczeństwa, czy następstwo wypadków komunikacyjnych. Dlatego też prace lekarzy i inżynierów kładą duży nacisk na niezawodność i długi okres użytkowania sztucznych narządów. Do konstrukcji elementów endoprotezy stawu biodrowego wybierane są materiały o wysokim stopniu bezpieczeństwa w stosunku do reakcji alergicznych. Istotnym elementem alloplastyki stawu biodrowego jest planowanie przedoperacyjne, którego składnikami jest dobranie odpowiedniej protezy, określenie zakresu ruchów i typu oraz wielkości panewki oraz trzpienia.

Praca dotyczy oceny konstrukcji endoprotezy firmy SAMO. Przy weryfikacji tej konstrukcji posłużono się metodą elementów skończonych (MES) [1]. W tym celu autorzy wykonali model składający się z kości, trzpienia i główki a następnie przeprowadzili analizę MES z interpretacją wyników.

Przypadek poddany analizie dotyczył endoprotezy firmy SAMO systemu Duofit. Jego składnikami był trzpień RKT0145 wykonany ze stopu tytanu i pokryty wysoko porowatym tytanem (TiCoat 300) za pomocą techniki Vacuum Plasma Spray i główka ze stali nierdzewnej [2]. W celu zmniejszenia ciężaru całej endoprotezy firma SAMO postanowiła wykonać główkę, jako kulistą czaszę wydrążoną w środku (rys. 1a) połączoną z częścią stożkową, w której osadzana jest szyjka trzpienia endoprotezy, za pomocą silnego spojenia (rys. 1b).



Rys. 1. Połączenie podstawy główki z czaszą a) przekrój główki, b) przybliżenie złącza

Endoproteza została wszczepiona pacjentowi ze schorzeniem stawu biodrowego. Po kilku latach, w wyniku codziennej aktywności uległa ona uszkodzeniu (rys.2). Uszkodzenie to polegało na oderwaniu się stożka główki (1) od jej podstawy (2), co nie powodowało dolegliwości bólowych. W skutek poruszania kończyną, dochodziło do tarcia górnej powierzchni stożka o powierzchnię wewnętrzną czaszy, prowadząc do ubytku materiału na obydwu współpracujących powierzchniach. Uszkodzenie główki spowodowało dalsze zniszczenie endoprotezy. Polegało ono na przewężeniu średnicy szyjki na skutek tarcia jej powierzchni bocznej o krawędź podstawy główki. Doprowadziło to do powstania poważnego uszkodzenia szyjki, tj. jej złamania, co spowodowało utratę zdolności poruszania się pacjenta. W wyniku tych procesów do organizmu pacjenta przedostała się pewna ilość materiału obcego, co także niekorzystnie wpłynęło na stan zdrowia poszkodowanego. Wszystkie te uszkodzenia doprowadziły do destabilizacji endoprotezy i stworzyły konieczność przeprowadzenia alloplastyki rewizyjnej [3].



Rys. 2. Uszkodzona endoproteza

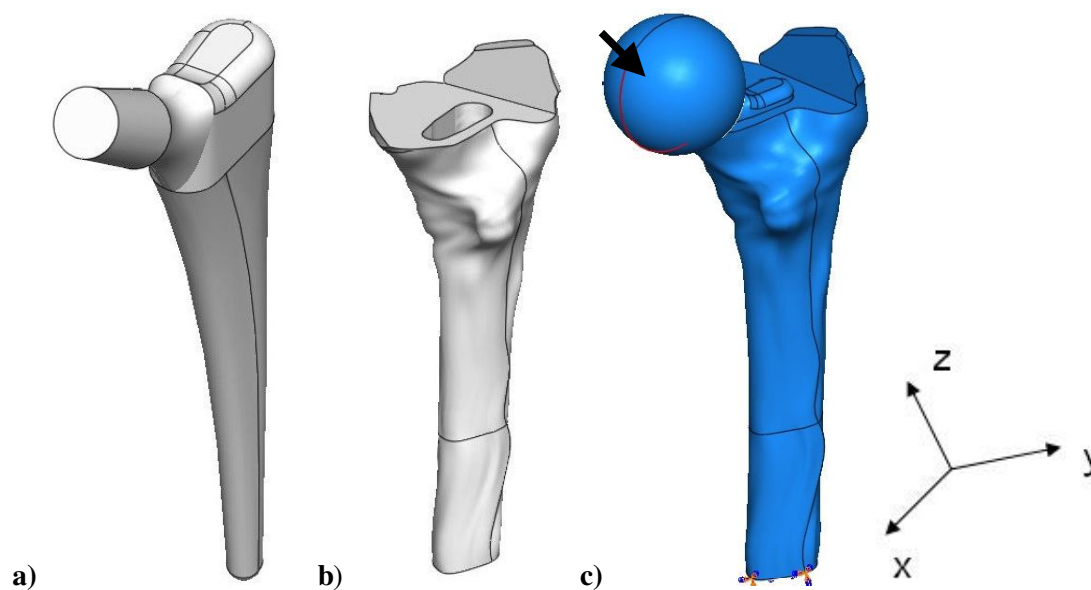
## 2. METODA

W celu weryfikacji konstrukcji endoprotezy utworzono jej trójwymiarowy model geometryczny. Wymiary uszkodzonego trzpienia i główki zostały pozyskane w drodze pomiarów usuniętej podczas alloplastyki rewizyjnej. Odwzorowanie geometryczne przeprowadzono w programie ProEngineer®, gdzie oddzielne elementy systemu utworzono i zapisano w postaci plików STL. Rysowanie odbywało się w szkicowniku a następnie poprzez obrót i wyciągnięcia elementów uzyskano finalny kształt obiektów. Część wymiarów opierała się na danych producenta, co pozwoliło sprawdzić poprawność wykonania i wprowadzić korekty prowadzące do szczegółowego oddania kształtów endoprotezy. Kształt trzpienia otrzymanego w wyniku powyższych zabiegów znajduje się na rys. 3a.

Wygenerowano także trójwymiarowy model geometryczny kości udowej, w której osadzono endoprotezę. Posłużono się tutaj danymi tomograficznymi pacjenta. Dane te zostały odpowiednio przetworzone w specjalistycznym systemie MIMICS®. Zostały one następnie importowane do systemu komputerowego wspomaganie projektowania ProENGINEER® w postaci krzywych NURBS. Krzywe te posłużyły do wygenerowania powierzchni odwzorujących kształt zewnętrzny i wewnętrzny (jama szpikowa) kości udowej. W następnym kroku modelowania utworzono model bryłowy kości udowej (rys. 3b) [4].

Tak uzyskany model geometryczny układu endoproteza-kość zaimportowano do programu metody elementów skończonych ABAQUS®. Interakcja między endoprotezą a kością zamodelowano za pomocą kontaktu powierzchniowego.

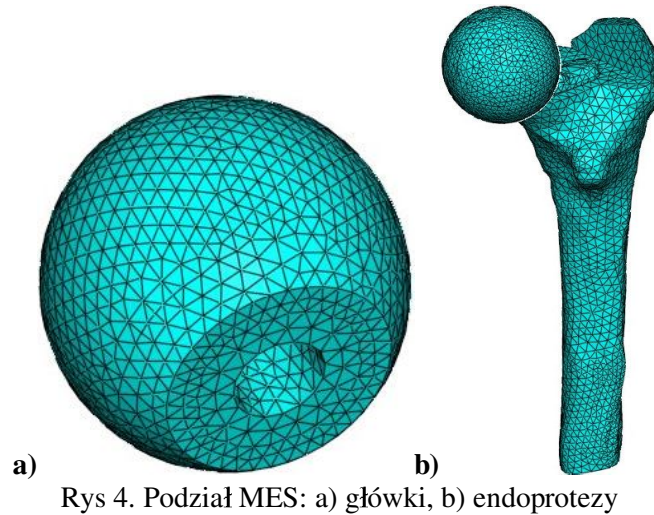
Na układ nałożono warunki obciążenia odpowiadające pozycji stania na jednej nodze [5]. Składowe  $x$ ,  $y$ ,  $z$  siły reakcji działającej na główkę endoprotezy wynosiły odpowiednio 300 N, 310 N i 1670 N (rys. 3c).



Rys. 3. Modele geometryczne: a) trzpienia endoprotezy, b) kości udowej, c) układu endoproteza-kość

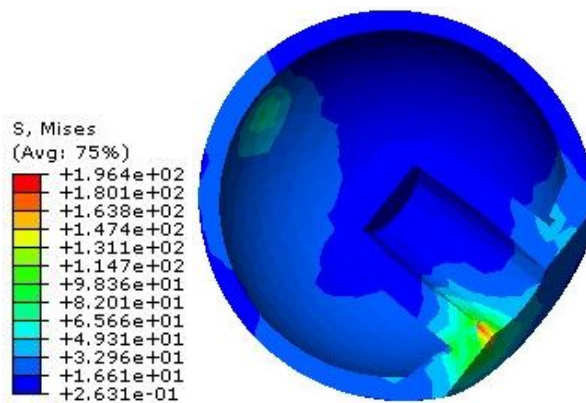
Zarówno endoproteza jak i kość zamodelowana została, jako materiał sprężysty izotropowy. Przyjęto następujące własności sprężyste dla kości: moduł Young'a  $E_k = 20$  GPa, współczynnik Poisson'a  $\nu_k = 0,4$ . Natomiast dla endoprotezy wielkości te wynosiły odpowiednio  $E_e = 200$  GPa,  $\nu_e = 0,3$ .

Ostatnim etapem przygotowania modelu do obliczeń było podzielenie go na elementy skończone. Ponieważ kluczowe znaczenie w badaniach odgrywała główka endoprotezy, zdecydowano się na zagęszczenie podziału na elementy skończone w obszarze połączenia podstawy z czaszą. Wiązało się to z wydłużeniem czasu obliczeń, ale prowadziło do uzyskania dokładniejszego rozkładu naprężeń i odkształceń w tym obszarze (rys. 4).

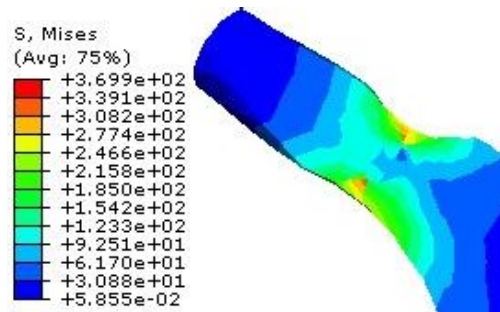


### 3. WYNIKI

Przedmiotem badań było określenie obszarów koncentracji naprężeń w główce i trzpieniu. Rozkłady naprężeń dla założonego modelu pokazano na rys. 5. Można zauważyć, że największe wartości w główce występują w narożu stożka w bezpośrednim sąsiedztwie spojenia i wynoszą 196 MPa.



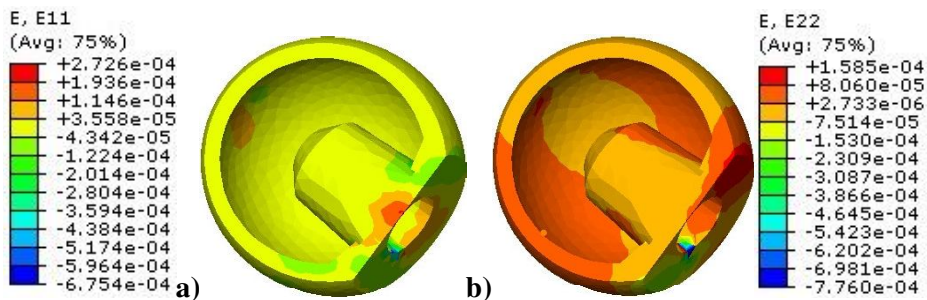
Rys 5. Rozkład naprężeń maksymalnych wg Hubera-Mizesa (MPa) w główce endoprotezy, przekrój w płaszczyźnie XZ



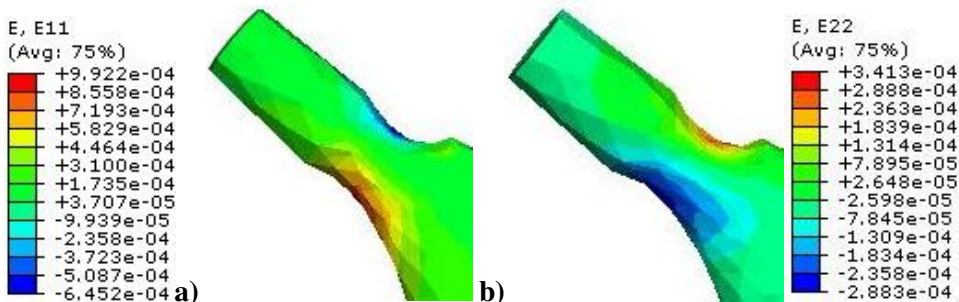
Rys 5. Rozkład naprężeń maksymalnych wg Hubera-Misesa (MPa) w trzpieniu endoprotezy, przekrój w płaszczyźnie XZ

Największą wartością naprężeń, występującą w przypadku trzpienia jest 370 MPa. Ma to miejsce na odcinku szyjki, w jej najmniejszym przekroju. Wizualizacje pokazują obustronne występowanie wysokich naprężeń.

W przypadku odkształceń, zaprezentowanych na Rys. 6 i 7, ścianka stożka w główce i szyjka trzpienia są i tutaj miejscami newralgicznymi endoprotezy. Wartości w tych elementach wskazują na prawie czterokrotnie większe odkształcenia w przypadku szyjki niż główki (E11). Wyniki pokazują, że najbardziej obciążona jest górna powierzchnia szyjki.



Rys 6. Rozkład odkształceń E11 (a) i E22 (b) w główce w przekroju w płaszczyźnie XZ



Rys 7. Rozkład odkształceń E11 (a) i E22 (b) w szyjce trzpienia

#### 4. WNIOSKI

Z uzyskanych rezultatów wynika, że najbardziej narażonym na uszkodzenie fragmentem endoprotezy jest szyjka trzpienia. Największe przewężenie na tym odcinku prowadzi do występowania najwyższych naprężeń i odkształceń. Prowadzi to do wniosków, że model geometryczny nie oddał rzeczywistego kształtu tego elementu, gdyż w przypadku klinicznym

zniszczeniu uległa w pierwszej kolejności spójnie podstawa-czasza główki. Wiąże się to z faktem, że szyjka trzpienia uległa przewężeniu na skutek tarcia o krawędź czaszy główki powstałej po oderwaniu się stożka główki od podstawy. Uniemożliwiło to poprawne określenie wymiarów szyjki trzpienia endoprotezy, którą usunięto podczas alloplastyki rewizyjnej. Rzeczywistych powodów defektu należy szukać w technikach połączenia kluczowych elementów główki, jakimi są czasza i stożek. Zamodelowanie takiego układu było niemożliwe z powodu niewystarczającej wiedzy na temat technologii wytwarzania tego modelu endoprotezy. Wspomniane połączenie jest najsłabszym punktem konstrukcji, występuje tam najmniejsza grubość ścianki, co widoczne jest na obrazach naprężeń, nawet w przypadku założonej jednolitości główki. Wyniki symulacji numerycznych, jak również wzrastająca liczba przypadków klinicznych uszkodzeń omawianego rodzaju główki, wskazują na pewne jej wady konstrukcyjne w obszarze połączenia czasza-stożek.

## LITERATURA

- [1] Kwiatkowski K., Cejmer W., Sowiński T., Skalski K., Pawlikowski M.: Doświadczalna ocena przyczyn uszkodzeń trzpieni protez okienkowych typu Austina Moore'a, *Lekarz Wojskowy*, nr 2, t. 78, 2002, s.81-84.
- [2] <http://www.samobiomedica.com>
- [3] Bader R., Scholz R., Steinhäuser E., Zimmermann S., Busch R., Mittelmeier W.: The influence of head and neck geometry on stability of total hip replacement, *Acta Orthop Scand*, nr 4, t. 75, 2004, s.415–421
- [3] Pawlikowski M., Dąbrowska-Tkaczyk A.M., Skalski K., Wróblewski G.: Application of integrated CAD/CAE systems in the process of hip joint reconstruction, *Computer-aided Production Engineering – CAPE 2003*, 18-19 marzec, , 2003, s.199-207.
- [4] Davy, D.T., Kotzar, G.M., Brown, R.H., Heiple, D.G., Goldberg, V.M., Heiple Jr., K.G., Berilla, J., Burstein, A.H.: Telemetric hip force measurements across the hip after total arthroplasty. *Journal of Bone and Joint Surgery*, t. 70, w.1, 1988, s.45-50.

## ESTIMATION OF CONSTRUCTIONAL SOLUTION OF IMPLANTED HIP JOINT ENDOPROSTHESIS

Summary. The objective of the study was to determine the reasons of endoprosthesis failure after several years since implantation. The range of the investigation included 3D modelling of endoprosthesis and femur and numerical simulation of stress-strain fields in the bone-endoprosthesis system. In the paper special emphasis was put on specific construction of the endoprosthesis head and on estimation of its construction strength. Numerical simulations of stress-strain fields in the endoprosthesis were done to assess correctness of the construction.