

Zagadnienia materiałowe programu „Polskie sztuczne serce”.

Modele reologiczne nanomateriałów do zastosowania w sztucznych komorach wspomagających pracę serca

prof. dr hab. inż. Andrzej Milenin
B5, 710
E-mail: milenin@agh.edu.pl

Literatura

1. http://www.sztuczneserce.pl/polskie_sztuczne_serce.html
2. Wieloskalowy model komory wspomaganie POLVAD : zagadnienie modelowania ściany komory PU/TiN z wykorzystaniem oprogramowania własnego / Andrzej MILENIN, Magdalena KOPEKNIK // Biuletyn / Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi. — Biuletyn wydawany w ramach programu „Polskie Sztuczne Serce”. — S. 31–34. — Bibliogr. s. 34
3. A.Milenin Podstawy MES, zagadnienia termomechaniczne, AGH, 2010.
4. Milenin, A.; Kopernik, M. Multiscale FEM model of artificial heart chamber composed of nanocoatings //ACTA OF BIOENGINEERING AND BIOMECHANICS 11 (2): p 13-20 2009 (http://home.agh.edu.pl/~milenin/StronaPracowniMilenin/Publications/PapersInJournals/Art_02_Milenin_g.pdf)
5. Kopernik, M.; Milenin, A.; Major, R.; Lackner, J., M. Identification of material model of using numerical simulation of nanoindentation test // Materials Science and Technology DOI: 10.1179/026708310X12756557336193 <http://www.ingentaconnect.com/content/maney/mst/pre-prints/mst9313>
6. <http://www.home.agh.edu.pl/~milenin/>

Plan prezentacji

1. Wprowadzenie.
2. Motywacja badania własności mechanicznych nanomateriałów do zastosowania w sztucznych komorach wspomagających pracę serca.
3. Podstawy mechaniki nieliniowej.
4. Podstawy MES.
5. Analiza odwrotna.
6. Modeli wieloskalowe. Wieloskalowy model komory wspomaganie serca POLVAD.
7. Przykład modelowania ściany komory PU/TiN.
8. Podsumowanie.

1. Wprowadzenie.

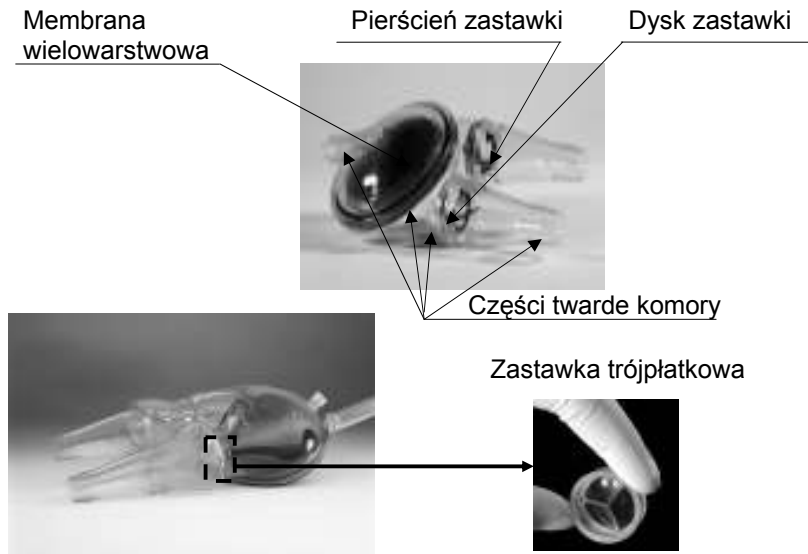
"Ze względu na prowadzony tryb życia i sposób odżywiania oraz możliwość wystąpienia powikłań pogrypowych każdemu z nas może przydarzyć się nieodwracalna niewydolność mięśnia sercowego. Wówczas jedynym ratunkiem staje się transplantacja. Niestety tylko co 10 pacjent ma na nią szansę (brak dawców). Pozostali muszą umrzeć. Jedynym wyjściem może być jak najszybsze wdrożenie do praktyki klinicznej w pełni implantowalnego sztucznego serca..."

Prof. Zbigniew Religa, Założyciel Fundacji Rozwoju Kardiologii



Fotografia: Zbigniew Religa, Fundacja Rozwoju Kardiologii

POLVAD – pozaustrojowe komory wspomagania serca



Zagadnienia do modelowania matematycznego

Zjawiska związane z:

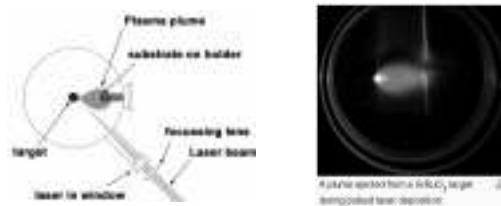
- przepływem krwi – parametry globalne przepływu, turbulencje
- zachowaniem krwi jako medium wielofazowego – skrzepy, hemoliza krwi, agregacja czerwonych krwinek
- mechaniczne własności wielowarstwowego układu materiałów w tym nanopowłok,
- biogodność – trwała obecność żywych komórek na powierzchni materiału syntetycznego,
- technika nanoszenia powłok.



2. Motywacja badania własności mechanicznych nanomateriałów do zastosowania w sztucznych komorach wspomagających pracę serca.



Zabezpieczenie powierzchni protezy przed wykrzepianiem.
Materiał protezy: poliuretan;
Materiał powłoki na bazie: węgla diamentopodobnego, Ti, TiN, TiO₂;
Możliwe problemy: rozwarstwienie;
Metoda rozwiązania: optymalizacja formy komory oraz parametrów warstwy (grubości).
Narzędzie do optymalizacji: model numeryczny.

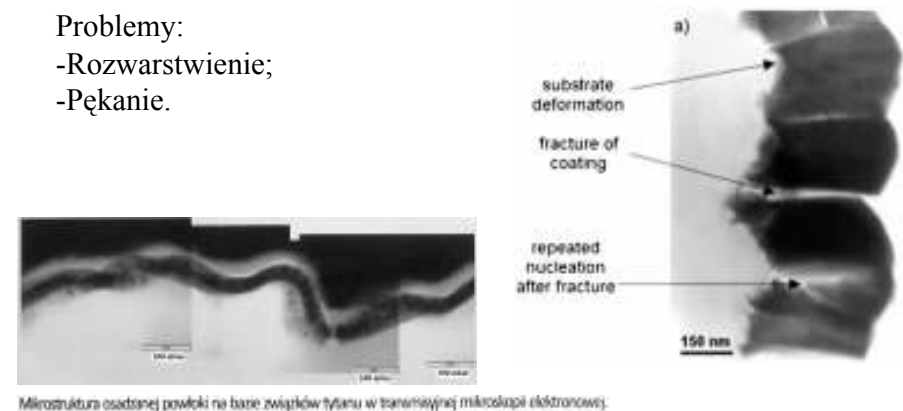


Pulsed Laser Deposition of Thin Films, edited by Douglas B. Chrisey and Graham K. Hubler, John Wiley & Sons, 1994

Model wszczepialnej, pneumatycznej komory wspomagania serca POLVAD-IMPL z zastosowaniem modyfikacji powierzchni kontaktu z krwią i tkankami poprzez naniesienie nanowarstwy azotku tytanu metodą ablacji laserowej (Pulsed Laser Deposition -PLD).
http://www.sztuczneserce.pl/polskie_sztuczne_serce.html

Problemy:

- Rozwarstwienie;
- Pęknięcie.

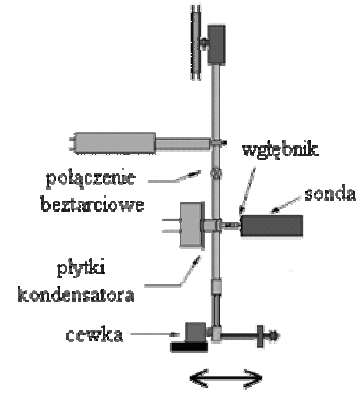


Mikrostruktura osadzonej powłoki na bazie związków tytanu w transmisyjnej mikroskopii elektronowej.

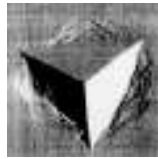
* Biuletyn / Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi. — Biuletyn wydawany w ramach programu „Polskie Sztuczne Serce”. — S. 31–34.

** Kopernik, M.; Milenin, A.; Major, R.; Lackner, J., M. Identification of material model of using numerical simulation of nanoindentation test // Materials Science and Technology DOI: 10.1179/026708310X12756557336193

Mechaniczne własności wielowarstwowego układu materiałów złożonych z nanopowłok



Schemat doświadczenia do pomiaru własności nanopowłok.
PRÓBA WCISKANIA WGLĘBNIKA

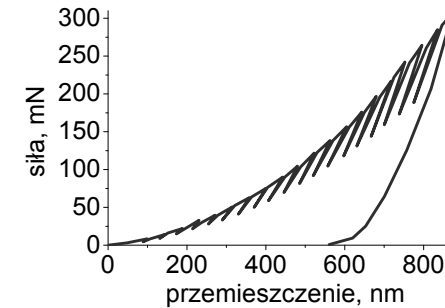


Odcisk w materiale wykonany wglębniem Berkovicha



Próbka wielopowłokowa
widok z boku

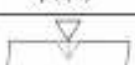





Dla próbki wielopowłokowej wynik doświadczalny ma postać:



Aby wyznaczyć własności powłok wewnętrznych należy zbudować model matematyczny doświadczenia i określić własności powłok wewnętrznych.

3. Podstawy mechaniki nieliniowej.

Zależnie od własności materiału powłoki wyniki doświadczalne mogą wyglądać następująco:

przykład materiału	elastyczny	sprężysto - plastyczny	plastyczny
wglębeniec			
krzywa rezultantowa			

Wglębeniec →
Próbka →
Wynik →

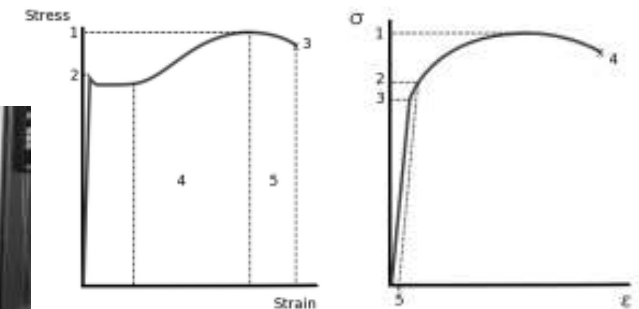
Na podstawie otrzymanego wyniku doświadczalnego wyznaczane są własności mechaniczne próbki jednopowłokowej np. twardość, moduł sprężysto-plastyczny, które określają przydatność analizowanego materiału do określonych zastosowań.

Teoria sprężysto - plastycznych odkształceń

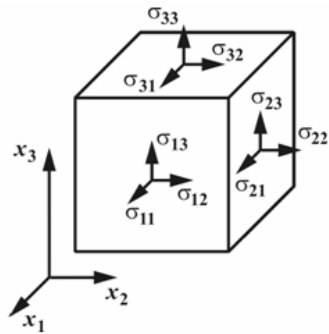
Założenia:

- Wartości odkształceń sprężystych i plastycznych są bliskie
- Odkształcenie objętościowe jest sprężyste
- Obciążenie jest monotoniczne i proste
- Wartości odkształceń są małe

Fizyczne zasady:



Stan naprężeń



$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} = \sigma_0 \delta_{ij} + S_{ij}$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ 1, & i = j \end{cases}$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)}$$

Stan odkształceń

$$\varepsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix} = \varepsilon_0 \delta_{ij} + e_{ij} \quad \varepsilon_{ij} = \varepsilon_0 \delta_{ij} + e_{ij}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{3} \varepsilon_{ij} \delta_{ij} = 0 \quad (?)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + 6(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{yz}^2 + \varepsilon_{zx}^2)}$$

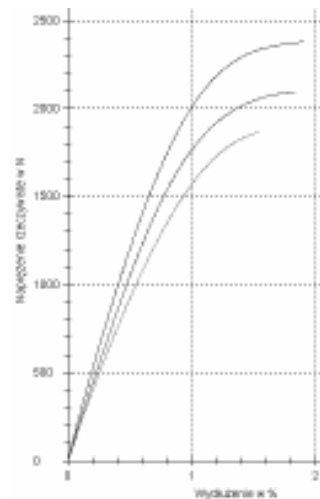
Związek naprężeń i odkształceń

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(\varepsilon_{ij}) = \delta_{ij} 3k_V \varepsilon_0 + \frac{\bar{\sigma}(\bar{\varepsilon})}{(1+\nu)\bar{\varepsilon}} (\varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \varepsilon_0)$$

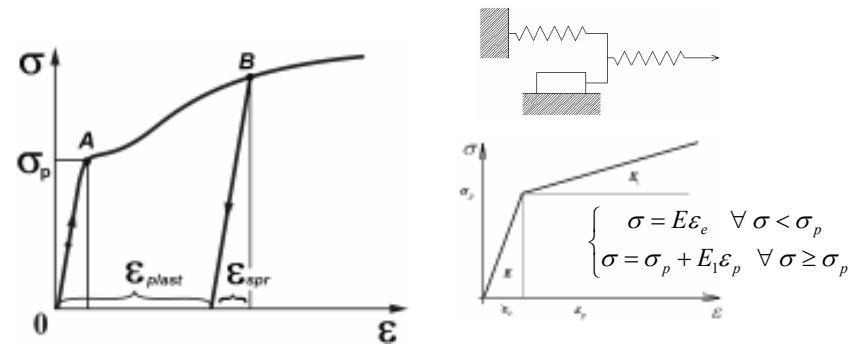
$$k_V = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

$$\sigma_{xx} = 3k_V \varepsilon_0 + \frac{\bar{\sigma}(\bar{\varepsilon})}{(1+\nu)\bar{\varepsilon}} (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_0)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\bar{\sigma}(\bar{\varepsilon})}{(1+\nu)\bar{\varepsilon}} \varepsilon_{xy}$$

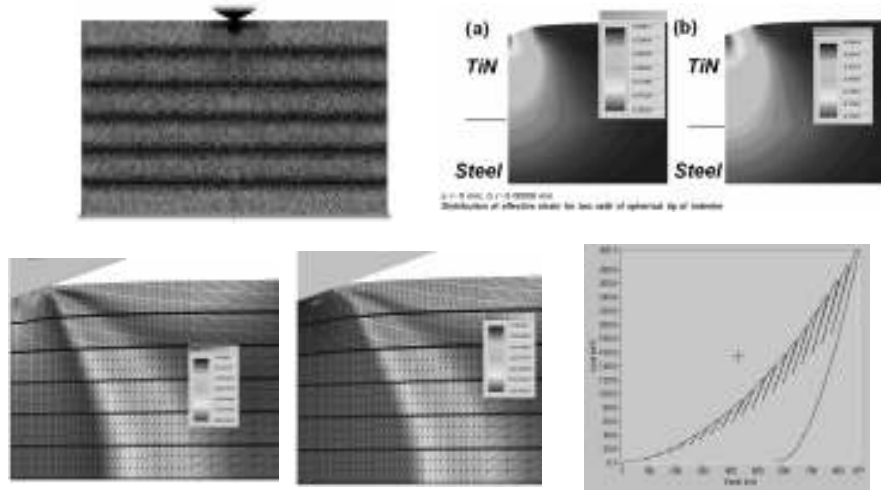


Modelowanie odprężenia



sprężysty	sprężysto - plastyczny	plastyczny

Model matematyczny doświadczenia

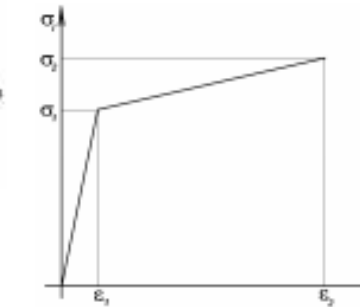
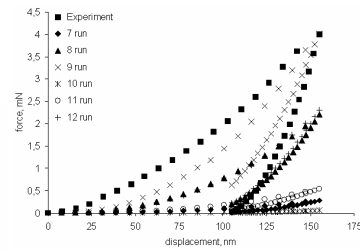
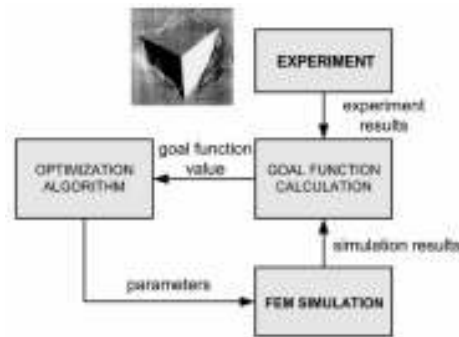


4. Podstawy MES.

Wykorzystanie metody elementów skończonych do rozwiązania zadań sprężysto- plastycznych

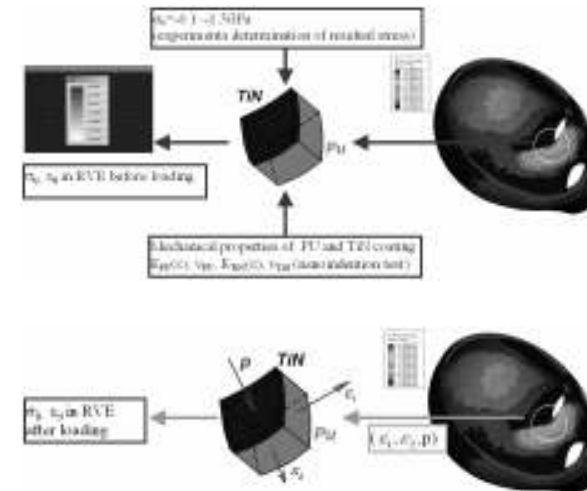
1. W rozpatrywanym ośrodku bierzemy pod uwagę ograniczoną ilość punktów (węzłów).
2. Wartości przemieszani U_i w każdym węźle definiujemy jako parametry, którzy musimy wyznaczyć.
3. Strefa wyznaczenia U_i się na ograniczoną ilość pod-stref, które nazywamy elementami skończonymi.
4. Wartości przemieszani U_i aproksymuje się na każdym elemencie za pomocą wielomianu, który wyznaczony jest za pomocą węzłowych wartości U_i . Wyznacza się go w taki sposób, aby zachować warunek ciągłości U_i na granicach elementów.
5. Węzłowe wartości U_i muszą być dobrane w taki sposób, aby zapewnić najlepsze do rzeczywistego przybliżenie pola U . Taki dobór wykonywany jest za pomocą minimalizacji funkcjonału.

5. Analiza odwrotna.



$$\delta = \sum_{m=1}^{m_{test}} \sum_{n=1}^{n_{mt}} (P_{mn}^{calc} - P_{mn}^{exp})^2$$

6. Modeli wieloskalowe. Wieloskalowy model komory wspomaganie serca POLVAD.



7. Przykład modelowania ściany komory PU/TiN.

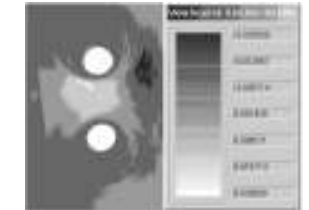
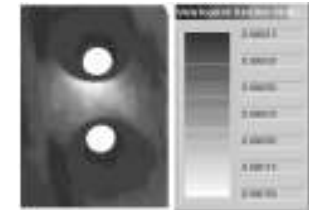
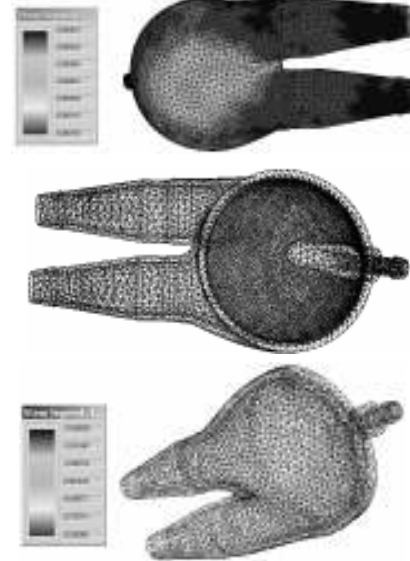


POLVAD

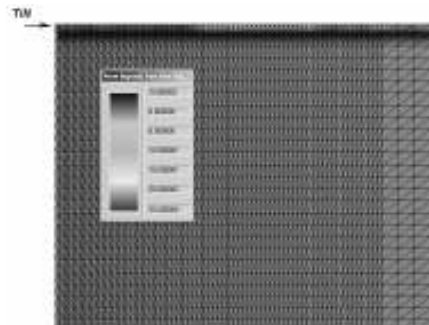


POLVAD EXT

POLVAD

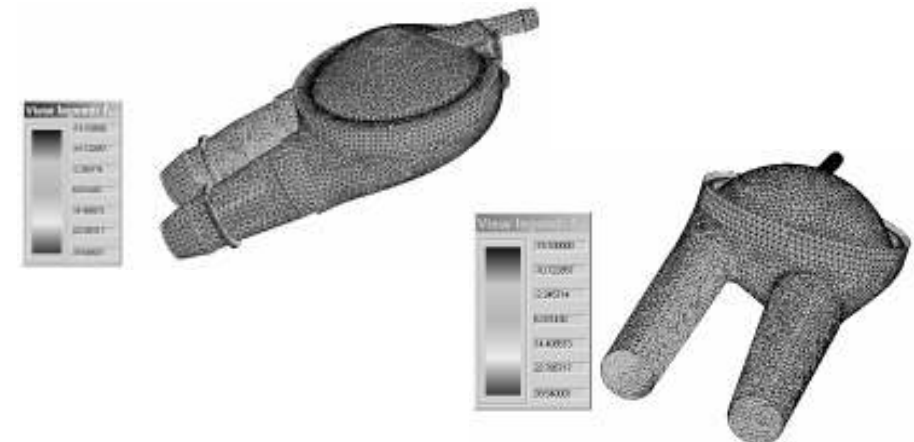


POLVAD, skala micro



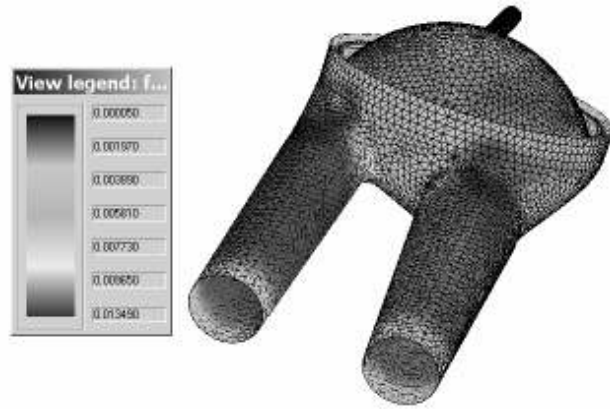
The biggest value of strain intensity is located in the very thin region between two main material layers TiN and PU (a). The average stress in layers TiN (b) is equal 20 MPa (0.7 MPa for PU chamber). The biggest values of average stress and strain intensity in boundary between two main material layers is a reason for experimental investigation of connection quality during long-time work of chamber.

POLVAD EXT



Wynik symulacji: rozkład średniego naprężenia na zewnętrznej powierzchni POLVAD_EXT

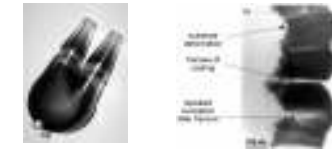
POLVAD EXT



Wynik symulacji: rozkład intensywności odkształceń na wewnętrznej powierzchni POLVAD_EXT

8. Podsumowanie. *Modele reologiczne nanomateriałów do zastosowania w sztucznych komorach wspomagających pracę serca*

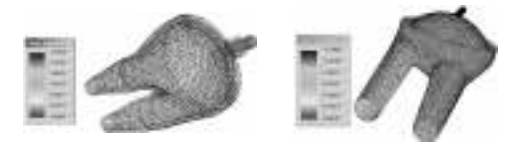
Motywacja: powłoki o wysokiej biogodności



*Metodyka: test nanotwardość
model MES testu
analiza odwrotna
model wieloskalowy*



*Zastosowanie: Wykorzystanie w modelu komory MES
Porównawcza analiza komory POLVAD i POLVAD_EXT.*



Dziękuję za uwagę