

# STENTY W CHOROBY NIEDOKRWIENNEJ SERCA – SYMULACJE NUMERYCZNE

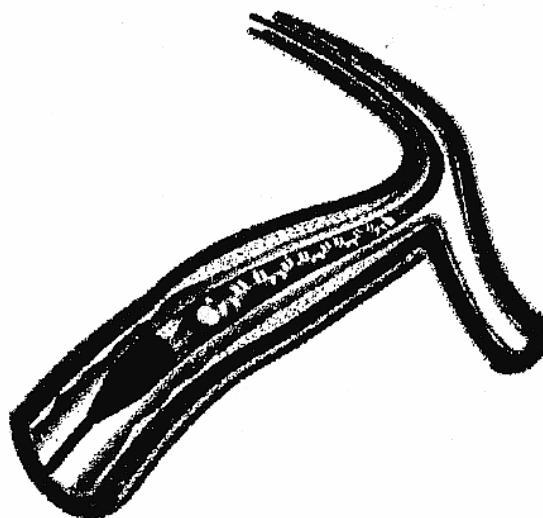
## INTRACORONARY STENTS IN ISCHAEMIC HEART DISEASE – NUMERICAL SIMULATION

*Jan Awrejcewicz, Krzysztof Włodarczyk, MESCO*

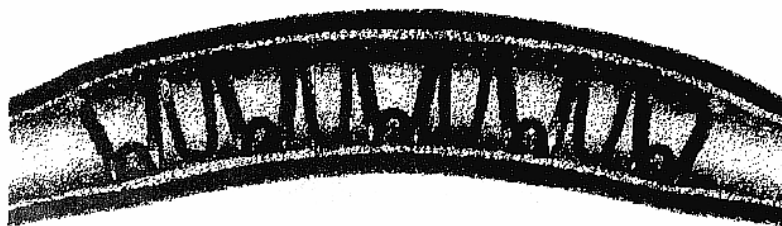
*Politechnika Łódzka, Katedra Automatyki i Biomechaniki, ul. Stefanowskiego 1/15, Łódź*

### 1. WSTĘP

Serce jest organem, którego pracę można porównać z działaniem pompy. Zadaniem serca jest dostarczanie krwi do wszystkich części ciała. Do mięśnia sercowego krew dostarczana jest poprzez naczynia krwionośne, zwane tętnicami wieńcowymi. W przypadku choroby tętnic wieńcowych, czego przyczyną jest odkładanie się w nich związków tłuszczowych (cholesterolu) dochodzi do ich zwężenia lub zamknięcia [5]. Upośledzenie przepływu krwi powoduje niedotlenienie obszaru mięśnia sercowego. Objawem tego jest ból w klatce piersiowej. Zamknięcie przepływu przez naczynie prowadzi do martwicy danego obszaru mięśnia sercowego, zwanego zawałem serca. Wówczas chora osoba może odczuwać silne bóle w klatce piersiowej. Choroba wieńcowa serca może wystąpić u ludzi w różnym wieku. Jej objawy znacznie wpływają na obniżenie aktywności życiowej. Istnieje wiele sposobów leczenia choroby niedokrwiennej serca. Jednym z nich jest wszczepienie jednego, lub kilku stentów do naczynia wieńcowego. Stent stanowi rodzaj rusztowania (rys.1) [1], które wszczepia się w miejsce krytycznie zwężonego odcinka w celu podparcia ścian naczynia i poszerzenia jego światła [6]



Rys. 1 Nierozprężony stent GR II [6]



Rys.2 Rozprężony stent GR II [6]

Zadaniem niniejszego opracowania jest stworzenie modelu numerycznego, obrazującego oddziaływanie naczynia krwionośnego na stent, co pozwoli wyznaczyć wartość odkształceń i naprężeń panujących w stencie.

## 2. BUDOWA MODELU NUMERYCZNEGO NACZYNIENIE – STENT

Do zbudowania modelu numerycznego wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie w postaci pakietu programu Metody Elementów Skończonych ANSYS (rys.3). Podczas modelowania uwzględniono poszczególne etapy prowadzące do uzyskania pełnego rozprężenia stentu. Zbudowany model ma charakter nieliniowy zarówno ze względu na nieliniowe odkształcenia, jak również nieliniowy związek fizyczny (1.1), wykorzystujący kryterium uplastycznienia wg von Missesa i kinematyczne wzmocnienie materiału.

$$\sigma_e = \left[ \frac{3}{2} (\{s\} - \{\alpha\})^T \cdot [M] (\{s\} - \{\alpha\}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

$\sigma_e$  - równoważne naprężenie plastyczne  
gdzie s:

$$\{s\} = \{\sigma\} - \sigma_m [111000]^T$$

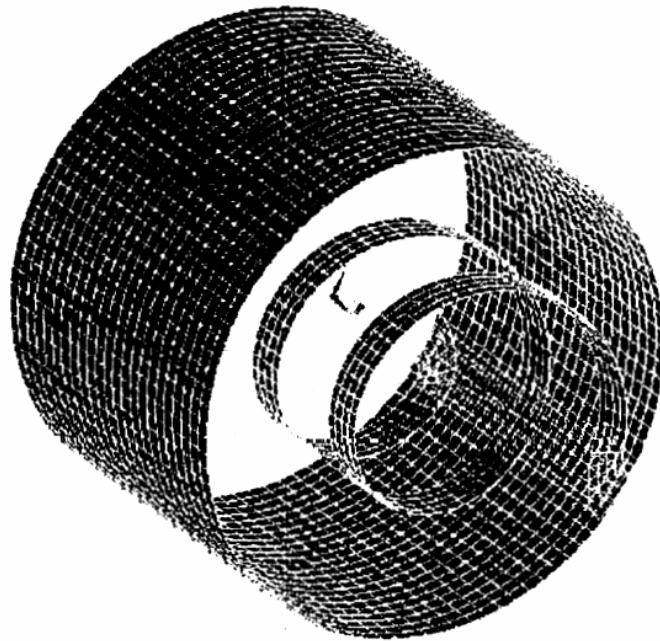
$\{s\}$  - wektor dewiatora naprężeń  
 $[M]$  - macierz opisująca zmiany naprężeń plastycznych  
 $\{\alpha\}$  - wektor translacyjny odkształceń plastycznych  
 $\sigma_m$  - naprężenie hydrostatyczne =  $\frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$

Cały model naczynie – stent jest zbudowany z 3.273 elementów. Stent zamodelowano z elementów typu SHELL 93 (przestrzenne, 8 – węzłowe), a naczynie z elementów CONTA 170 i CONTA 174 (przestrzenne, 8 – węzłowe).

Cała symulacja odbywa się w następujący sposób:

- stent zostaje rozprężony ciśnieniem od wewnątrz  $p=6$  atm.,
- etap początkowy odbywa się w zakresie liniowo – sprężystym (związek fizyczny Hooke'a), małe odkształcenia,
- następnie wyniki końcowe naprężeń etapu sprężystego są warunkami początkowymi etapu plastycznego i związek fizyczny przyjmuje postać (1.1), (duże nieliniowe odkształcenia),
- stent zostaje całkowicie rozprężony (dotyka do powierzchni naczynia), następuje wzmocnienie materiału,
- naczynie zaczyna cyklicznie naciskać na stent z ciśnieniem  $p=250$  mm Hg (przyjęto zapas bezpieczeństwa równy 3), ciśnienie oddziaływania naczynie – stent jest równe około  $p=83,9$  mm Hg [3].

Powyższy model ma na celu uwzględnienie historii odkształcenia, co ma ogromny wpływ na poziom odkształceń i naprężeń końcowych, wywołanych oddziaływaniem naczynia na implant, a co za tym idzie określenie wytrzymałości zmęczeniowej stentu podczas milionów cykli wywołanych pracą serca. Jako materiał z którego został wykonany wyżej wymieniony stent przyjęto stal chirurgiczną 316 L [7], [4].



Rys 3 Model numeryczny stent – naczynie (siatka elementów skończonych).



Rys 4 Model numeryczny stenta (podział na elementy skończone)

### 3. WYNIKI SYMULACJI NUMERYCZNYCH

W wyniku obliczeń numerycznych uzyskano dane na temat poziomu odkształceń i naprężeń w poszczególnych etapach rozprężania stentu. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wyniki naprężeń zredukowanych uzyskane dla etapu kontaktu plastycznego.



Rys.5 Naprężenia zredukowane w stencie

#### 4. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie metod numerycznych i technik komputerowych do modelowania zjawisk zachodzących w ludzkim organizmie jest coraz bardziej powszechne i daje coraz lepsze rezultaty. W przypadku badań dotyczących serca ludzkiego symulacje numeryczne są niekiedy jedynymi możliwymi do przeprowadzenia. W przypadku stentów wieńcowych pozwalają one określić poziom naprężeń i odkształceń, a co za tym idzie – wytrzymałość zmęczeniową. Symulacje komputerowe dostarczają badaczom informacji, które mogą być użyteczne w uzyskaniu optymalnych kształtów konstrukcji implantów. Następnie tak skonstruowany implant może być poddany testom na maszynach zmęczeniowych, badaniom na zwierzętach, a następnie implantowany do ludzkich naczyń wieńcowych. Jednak koszt symulacji numerycznych jest nieporównywalny w stosunku do innego rodzaju badań.

#### LITERATURA

1. Awrejcewicz Jan, Włodarczyk Krzysztof, Biomechaniczne aspekty leczenia choroby niedokrwiennej serca z zastosowaniem stentów, Konferencja Biomechanika-modelowanie, metody komputerowe, eksperymenty i zastosowania biomedyczne, Łódź, grudzień 1998, s.15
2. Materiały firmy COOOK – Instrukcja implantowania stentów wieńcowych GR II, Coronary Stenting – Advanced Techniques and New Developments
3. Brazenor, RM and Angus, JA. Ergometrine contracts isolated canine coronary arteries by a serotonergic mechanism, *Journal Pharmacol Exp.* Nr 218, s. 530-536, 1981
4. Tomasz Brzostek, Stenty w chorobie niedokrwiennej serca, *Kardiologia Polska* Nr 45, 1996, s.541
5. Materiały Akademii Medycznej w Łodzi, dotyczące implantowania stentów, Zakład Hemodynamiki
6. GR II Coronary Stent – Reference Manual, COOK Cardiology
7. GR II Coronary Stent – Correct Sizing, COOK Cardiology