

# OPTIMALIZACJA PROJEKTOWANIA SCAFFOLDU TYTANOWEGO PRZY UŻYCIU WNISKOWANIA ROZMYTEGO

SYLWIA SOBIESZCZYK

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY,  
UL. NARUTOWICZA 11/12, 80-233 GDAŃSK,  
MAILTO: SSOBIESZ@PG.GDA.PL

## Abstrakt

*Opracowano metodę wnioskowania rozmytego do oszacowania geometrii scaffoldu Ti6Al4V, otrzymanego przy użyciu metody metalurgii proszków. Zaproponowana metoda umożliwia oszacowanie i optymalizację architektury scaffoldu poprzez dobór odpowiednich parametrów procesu. Zaprojektowano i przeprowadzono symulację działania sterownika rozmytego (FLC) za pomocą oprogramowania Matlab. [Inżynieria Biomateriałów, 99-101, (2010), 45-47]*

## Wprowadzenie

Tytan i jego stopy są materiałami implantacyjnymi często stosowanymi w ortopedii w celu zastąpienia zniszczonej kości oraz do zapewnienia rusztowania dla nowotworzonej tkanki kostnej. Rusztowania przenoszące obciążenia powinny mieć zbliżone własności do tkanki kostnej i jednocześnie wykazywać odpowiednią wytrzymałość mechaniczną. Biomateriały tytanowe posiadają pożądane własności, takie jak relatywnie niski moduł sprężystości, dobrą wytrzymałość na zmęczenie, plastyczność i odporność na korozję [1]. Porowate implanty tytanowe stanowią trójwymiarową strukturę z połączoną siecią porów, która umożliwia transport płynów fizjologicznych, waskularyzację oraz wzrost tkanki kostnej [2]. Dostępnych jest wiele metod produkcji tytanowych rusztowań, takich jak spiekanie proszków metalowych bez porogenów [3] i z użyciem porogenów [2], replika gąbki polimerowej [4], technologia szybkiego prototypowania, jak np. trójwymiarowe odkładanie włókien (3DFD) [5] i wiele innych. Jedną z metod użytych do utworzenia porowatego tytanowego rusztowania jest metoda metalurgii proszków przy użyciu gazu  $TiH_2$  jako czynnika tworzącego pory [5]. Przy użyciu tej metody możliwe jest otrzymanie porowatej struktury tytanowej z kontrolowaną porowatością i jednorodnym rozkładem porów, uzyskując własności zbliżone do ludzkiej kości gąbczastej. Parametry procesu, takie jak temperatura spiekania i zastosowane ciśnienie podczas prasowania, mają wpływ na rozmiary porów oraz porowatość struktury.

## Metodyka badań

Rozmyty system wnioskowania jest skuteczną metodą służącą do ustalenia związków pomiędzy wielkościami wejściowymi i wyjściowymi bez użycia modeli matematycznych [6]. Rozmyte zbiory wejściowe i wyjściowe zostały ustalone na podstawie badań przeprowadzonych przez Gu i in. [5]. Jako zmienne wejściowe przyjęto temperaturę spiekania ( $840 \div 1100^\circ C$ ) oraz ciśnienie prasowania ( $9 \div 88$  MPa). Rozmyte zbiory wyjściowe, to: rozmiar porów ( $10-200 \mu m$ ) oraz porowatość ( $10 \div 70\%$ ). Przestrzeń wejściowa i wyjściowa zostały podzielone na zbiory rozmyte, którym nadano nazwy lingwistyczne: „bardzo mały (VS), mały

# OPTIMALIZATION OF TITANIUM SCAFFOLD DESIGN USING FUZZY REASONING APPROACH

SYLWIA SOBIESZCZYK

GDANSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,  
11/12 NARUTOWICZA STREET, 80-233 GDANSK, POLAND  
MAILTO: SSOBIESZ@PG.GDA.PL

## Abstract

*The geometry of Ti6Al4V scaffold, fabricated by powder metallurgy process, has been determined by using fuzzy reasoning approach. A proposed method showed the possibility of estimation and optimization the scaffold's architecture by choosing an appropriate processing conditions. A fuzzy logic controller (FLC) was utilized using Matlab Software.*

*[Engineering of Biomaterials, 99-101, (2010), 45-47]*

## Introduction

Titanium and titanium alloys are frequently used as implanting materials in orthopaedic applications in order to replace damaged bone and to provide support for healing bone tissue. Load-bearing scaffolds should mimic the properties of the native bone and possess adequate mechanical strength. Titanium biomaterials possess desirable properties, such as relatively low elastic modulus, good fatigue strength, formability and corrosion resistance [1]. Porous titanium implants provide three-dimensionally interconnected pores which permit the transportation of body fluids, vascularization and in-growth of bone tissue [2]. There are several processing techniques to fabricate titanium scaffolds, such as sintering of metal powders [3], space-holder method [2], replication of polymeric sponge [4], rapid prototyping technology, like three-dimensional fiber deposition (3DFD) [5], and many others. Among them, the powder metallurgy process with the addition of  $TiH_2$  as pore forming agent has been used [5]. Using this method it is possible to obtain a porous Ti6Al4V structure with controlled porosity and uniform pore size with properties similar to human cancellous bone. The pore size and porosity is affected by processing parameters, such as sintering temperature and pressure applied during powder compaction.

## Material and methods

Fuzzy reasoning approach provides an efficient method to establish the relationships between an input and an output without the need of complex mathematical models [6]. Fuzzy input and fuzzy output sets have been established based on the research conducted by Gu et al. [5]. As input variables sintering temperature ( $840 \div 1100^\circ C$ ) and compaction pressure ( $9 \div 88$  MPa) have been chosen. Fuzzy output sets are: pore size ( $10-200 \mu m$ ), and porosity ( $10 \div 70\%$ ). Input and output space have been divided into fuzzy triangular and trapezoidal sets, with linguistic names given: "very small (VS), small (S), medium (M), large (L), very large (VL)". The rule base has consisted of just 9 rules linking input values with output for certain parameters, which were introduced into Matlab environment, Fuzzy Toolbox [6]. Rules in the form "if – then" can be presented as decision table (Tab.1). The center of gravity defuzzification method has been used

(S), średni (M), duży (L) i bardzo duży (VL)". Rozmyta baza reguł składa się z 9 reguł rozmytych łączących odpowiednie parametry wejściowe oraz wyjściowe, wprowadzone do środowiska oprogramowania Matlab, Fuzzy Toolbox [6]. Reguły w postaci zdań warunkowych „jeżeli-to” zostały przedstawione w tabeli decyzyjnej (TAB.1). Dla określenia wynikowych wartości wyjściowych wykorzystano metodę wyostrzenia środka ciężkości (RYS.1).

## Wyniki badań i dyskusja

Na podstawie wnioskowania rozmytego dla danych wartości wielkości wejściowych, otrzymano rozmyte zbiory wyjściowe (RYS.1). W wyniku procesu wyostrzenia została wybrana tylko jedna wartość w odpowiedzi na dane wartości wejściowe. Jako przykład, dla wartości wejściowych temperatury spiekania 970oC oraz ciśnienia prasowania 45

Wejście rozmyte Fuzzy input			Wyjście rozmyte Fuzzy output					
If	T is VS	and	C is VS	then	PS is L	and	P is M	
	T is S				C is M		PS is L	P is VL
	T is S				C is VL		PS is VS	P is S
	T is M				C is VS		PS is S	P is L
	T is M				C is S		PS is S	P is M
	T is M				C is M		PS is S	P is M
	T is M				C is L		PS is M	P is M
	T is M				C is VL		PS is VS	P is S
	T is L				C is M		PS is VS	P is S

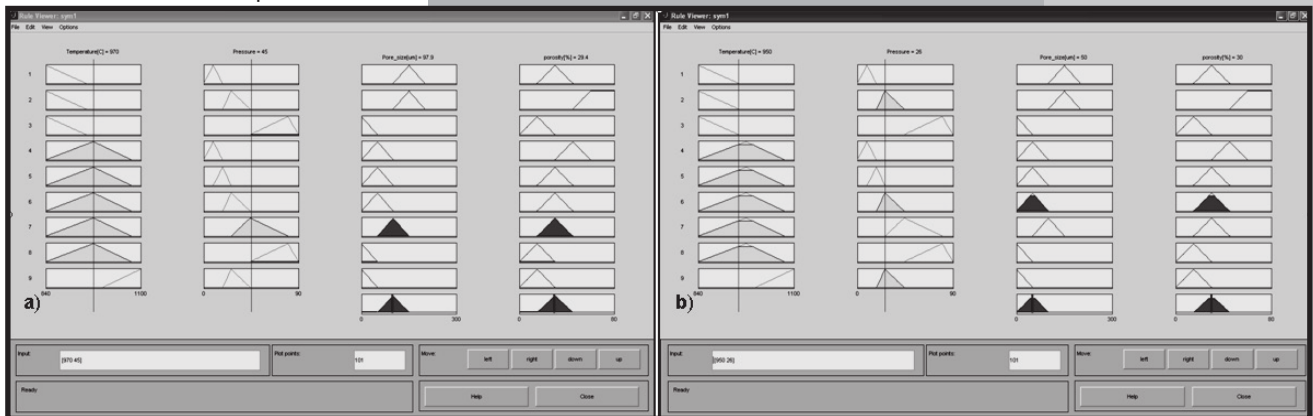
**TABELA 1.** Tabela decyzyjna bazy reguł rozmytych dla utworzenia porowatego rusztowania Ti6Al4V za pomocą metody metalurgii proszków [5], gdzie: T – temperatura spiekania [oC], C – ciśnienie prasowania [Pa], PS – średnica porów [ $\mu\text{m}$ ], P – porowatość [%].

**TABLE 1.** Decision table of fuzzy rule base for fabrication of porous Ti6Al4V by powder metallurgy process [5], where: T – sintering temperature [oC], C – compression pressure [Pa], PS – pore size [ $\mu\text{m}$ ], P – porosity [%].

to estimate the exact output values from fuzzy reasoning system as is show on FIG.1.

## Results and discussion

Accordingly to approximate reasoning for chosen input variables values, the resultant output sets have been received (FIG.1). As a result of defuzzification process, only one value was chosen, in response to given input values. As an example, for the chosen input variables: applied sintering temperature of 970oC and compaction pressure of



**RYS.1.** Wyniki obliczeń metodą wnioskowania rozmytego dla procesu wytwarzania porowatej struktury Ti6Al4V: a) wielkości wejściowe – zastosowana temperatura spiekania 970oC oraz ciśnienie prasowania 45 MPa, wielkości wyjściowe – średnica porów 97,9  $\mu\text{m}$  oraz porowatość 29,4%, b) wielkości wejściowe – zastosowana temperatura spiekania 950oC oraz ciśnienia prasowania 26 MPa, wielkości wyjściowe – średnica porów 50  $\mu\text{m}$  oraz porowatość 30%.

**FIG.1.** Results of fuzzy reasoning system for fabrication of porous Ti6Al4V: a) the inputs - applied sintering temperature 970oC and compaction pressure 45 MPa, the outputs – pore size 97.9  $\mu\text{m}$  and porosity 29.4 %, b) the inputs - applied sintering temperature 950oC and compaction pressure 26 MPa, the outputs – pore size 50  $\mu\text{m}$  and porosity 30%

MPa, w wyniku przeprowadzonej symulacji uzyskano wielkości wyjściowe: średnicę porów 97,9  $\mu\text{m}$  oraz porowatość 29,4%. Podobnie dla wielkości wejściowych, temperatury spiekania 950oC oraz ciśnienia prasowania 26 MPa, wartościami wyjściowymi są: średnica porów 50  $\mu\text{m}$  oraz porowatość 30%. Otrzymane wartości średnicy porów oraz porowatości są zgodne z danymi eksperymentalnymi uzyskanymi w [5].

## Wnioski

Za pomocą prostej metody wnioskowania rozmytego można określić optymalną geometrię architektury rusztowania dla wzrostu kości. Możliwe jest uzyskanie bardziej dokładnego modelu poprzez dodanie reguł rozmytych, mimo iż udowodniono, że liczba 9 reguł rozmytych jest wystarczająca do poprawnego określenia geometrii rusztowania. Zaproponowana metoda jest użytecznym narzędziem w przypadku, kiedy nie istnieje wystarczająca liczba danych eksperymentalnych.

45 MPa, the simulation results determined the outputs variables: pore size of 97.9  $\mu\text{m}$  and porosity of 29.4%. Similarly, for the inputs variables: applied sintering temperature of 950oC and compaction pressure of 26 MPa, the outputs variables: pore size of 50  $\mu\text{m}$  and porosity of 30%. The obtained pore size dimensions and porosity are in line with the experimental data achieved by Gu Y.W. et al.[5].

## Conclusions

The optimal geometry of scaffold's architecture can be well determined using simple fuzzy reasoning method. It is possible to make the model more accurate by addition of fuzzy rules in order to make a better estimation of scaffold's architecture, although it has been proven that just 9 fuzzy rules is enough to properly predict the scaffold's geometry. Proposed method provides a useful tool within the range of area responses established, based on selective and limited representative experimental data.

## Podziękowania

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu PORTAL (kontrakt nr NCBiR/ERA-NET MATERA/5/2009).

## Acknowledgments

The research has been performed as a part of the PORTAL Project (contract No. NCBiR/ERA-NET MATERA/5/2009).

## Piśmiennictwo

- [1] Gu Y.W., Yong M.S., Tay B.Y., Lim C.S.: Synthesis and bioactivity of porous Ti alloy prepared by foaming with TiH<sub>2</sub>. *Materials Science and Engineering*, vol. C 29 (2009) 1515-1520.
- [2] Karageorgiou V., Kaplan D.: Porosity of 3D biomaterial scaffolds and osteogenesis. *Biomaterials*, 26 (2005) 5474-5491.
- [3] Oh I.H., Nomura N., Masahashi N., Hanada S.: Mechanical properties of porous titanium compacts prepared by powder sintering. *Scripta Mater.* 49 (2003) 1197-1202.

## References

- [4] Li J.P., Li S.H., de Groot K., Layrolle P.: Preparation and characterization of porous titanium. *Key Eng. Mater.* 218 (2002) 51-54.
- [5] Alvarez K., Nakajima H.: Metallic scaffolds for bone regeneration. *Materials*, 2 (2009) 790-832.
- [6] Łachwa A.: Rozmyty świat zbiorów, liczb, faktów, reguł i decyzji. *Problemy współczesnej nauki, teoria i zastosowania*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.

## WPŁYW DOMIESZEK NA PROCESY STERYLIZACJI BIOSZKŁA MAŁYMI DAWKAMI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

S.SZARSKA, I.MALISZEWSKA, K.TUPICA

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, 50-370 WROCŁAW  
MAILTO: STANISLAWA.SZARSKA@PWR.WROC.PL

### Streszczenie

W pracy pokazano wpływ domieszek na właściwości strukturalne bioszkieł. Przedstawiono sposoby otrzymywania i domieszkowania jonami srebra, miedzi lub żelaza, cienkich warstw bioszkieł otrzymanego metodą zol-żel. Określono aktywność bakteryjną Gram-ujemnych pałeczek ropy błękitnej *Pseudomonas aeruginosa* and Gram-dodatniego gronkowca złocistego *Staphylococcus aureus* w domieszkowanych próbkach. Zbadano wpływ promieniowania ultrafioletowego na przeżywalność bakterii.

q: bioszkieł, efekt antybakteryjny, procesy sterylizacji, nanocząsteczki srebra

[*Inżynieria Biomateriałów*, 99-101, (2010), 47-50]

### Wstęp

Biomateriały po wprowadzeniu do organizmu mogą ulec infekcji. Właściwości fizyczne materiału mogą wzmacniać jego odporność na mikroorganizmy. Biomateriał niemodyfikowany, nie posiadający metalicznych domieszek, nie wykazuje właściwości bakteriobójczych. Wiadomo jednak,

## INFLUENCE OF DOPANTS ON STERILIZATION PROCESS OF BIOGLASS OF SMALL DOSE RADIATION

S.SZARSKA, I.MALISZEWSKA, K.TUPICA

WROCLAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, WROCLAW, POLAND  
MAILTO: STANISLAWA.SZARSKA@PWR.WROC.PL

### Abstract

A recent study has shown that the occurrence of structural alteration of the bioglass which accompanies the remarkable change in glass properties depends on the ions to be incorporated. In this paper, the preparation and antibacterial activity of doped with silver, copper and iron (respectively) bioactive glass thin films, obtained by sol-gel processing, are reported. The antibacterial activity against Gram-negative *Pseudomonas aeruginosa* and Gram-positive *Staphylococcus aureus* has been examined. The influence of UV irradiation of different doses on these samples has been investigated.

**Keywords:** bioglass, antibacterial effect, sterilization process, silver nanoparticles

[*Engineering of Biomaterials*, 99-101, (2010), 47-50]

### Introduction

Biomaterials, after their implantation into the organism, can enhance infections. At implantation, the surface of biomaterials provides easy access into both tissue cells and bacteria. The physical properties of the material gives protection against microorganisms. Bacteria can participate