

# ANALIZA BIOMECHANICZNA WKŁADU KORONOWO- KORZENIOWEGO Z WYKORZYSTANIEM METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

SONIA LOSKA\*, ZBIGNIEW PASZENDA, MARCIN BASIAGA,  
ANNA ZIĘBOWICZ, MARTA KIEL-JAMROZIK

KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I INŻYNIERII WYROBÓW MEDYCZNYCH,  
WYDZIAŁ INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ, POLITECHNIKA ŚLĄSKA,  
UL. GENERAŁA CHARLESA DE GAULLE'A 72  
41-800 ZABRZE

\* E-MAIL: SONIA.LOSKA@POLSL.PL

## Streszczenie

Destrukcje koron zębów, będące wynikiem złamań lub zaawansowanej próchnicy z towarzyszącym im stanem zapalnym miazgi stanowią szczególny problem stomatologii zachowawczej. W praktyce klinicznej takie zęby leczone są endodontycznie, czyli kanałowo. Wynikiem takiego leczenia jest ząb martwy, bez miazgi, przygotowany do odbudowy. Jedną z metod stosowanych w procesie rekonstrukcji koron zębów po leczeniu endodontycznym, jest stosowanie metalowych wkładów koronowo-korzeniowych, które należą do grupy protez stałych jednoczłonowych oraz stanowią podbudowę pod uzupełnienie protetyczne. Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów cementów stomatologicznych [1]. Aby ułatwić ich wybór, przeprowadzono analizę numeryczną układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb z wykorzystaniem trzech różnych rodzajów stosowanych cementów dentystycznych. Do analizy wytypowano wkład koronowo-korzeniowy Flexi-Post (wykonany ze stopu Ti6Al4V) ze względu na jego dużą retencję w kanale korzeniowym oraz mały nacisk na ścianę korzenia. Zakres przeprowadzonej analizy obejmował wyznaczenie stanu przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w elementach analizowanego układu w zależności od zastosowanego cementu stomatologicznego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że największe wartości naprężeń zredukowanych występują w przypadku zastosowania cementu fosforanowo-cynkowego, gdzie wartość ta była 3-krotnie większa w porównaniu do cementu szkłanojononimerowego oraz kompozytowego. Dodatkowo nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego cementu na pozostałe elementy analizowanego układu wkład-ząb. Uzyskane wyniki analizy numerycznej układu wkład-ząb z wykorzystaniem metody elementów skończonych stanowią cenną metodykę dla prawidłowego zaprojektowania jego postaci, cech geometrycznych, doboru własności mechanicznych oraz stopnia umocnienia biomateriału metalowego.

**Słowa kluczowe:** odbudowa zębów po leczeniu endodontycznym, standardowe wkłady koronowo-korzeniowe, cementy dentystyczne

[Inżynieria Biomateriałów 125 (2014) 13-20]

# BIOMECHANICAL ANALYSIS OF DENTAL POST-AND-CORE USING FINITE ELEMENT METHOD

SONIA LOSKA\*, ZBIGNIEW PASZENDA, MARCIN BASIAGA,  
ANNA ZIĘBOWICZ, MARTA KIEL-JAMROZIK

DEPARTMENT OF BIOMATERIALS AND  
MEDICAL DEVICES ENGINEERING,  
FACULTY OF BIOMEDICAL ENGINEERING,  
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
UL. GENERAŁA CHARLESA DE GAULLE'A 72  
41-800 ZABRZE, POLAND

\* E-MAIL: SONIA.LOSKA@POLSL.PL

## Abstract

The destruction of tooth crowns, resulting from fractures or advanced decay with an accompanying inflammation of the pulp is a particular problem in conservative dentistry. In clinical practice, these teeth are treated endodontically that is root canal therapy. The result of such treatment is inanimate tooth, without pulp, prepared for a reconstruction. One of the methods used in the process of reconstruction of the teeth crowns after endodontic treatment, is the use of metal endodontic posts-and-cores that belong to the group of monosegmental fixed dentures and constitute a foundation for restoration. There are a lot of different kinds of dental cements on the market [1]. In order to facilitate selection of the optimal system, numerical analysis of the dental post-and-core – tooth system (for three variants of dental cements) was carried out. The main aim of the present work was numerical analysis of the dental post-and-core – tooth system using finite element method. For the analysis the Flexi-Post was selected (made of Ti6Al4V alloy) because of its high retention in the root canal and a small pressure on the root's wall. The scope of the analysis included calculation of displacements, strains and stresses in the analyzed elements – depending on the applied dental cement. Based on the obtained results, it was found that the largest value of the equivalent stress occurred for zinc-phosphate cement. The value in this case was three times higher in comparison to the glass ionomer cement as well as composite cement. In addition, there was no significant influence of the cement used for other elements of the dental post-and-core – tooth system. The results of the analyzed system provide a valuable methodology for proper designing of its form, geometrical characteristics, the selection of the mechanical properties and an optimal degree of metallic biomaterial strengthening.

**Keywords:** restoration of teeth after endodontic treatment, standard post-and-core, dental cements

[Engineering of Biomaterials 125 (2014) 13-20]

Jeden z problemów stomatologii zachowawczej stanowią przypadki poważnych destrukcji koron zębów z towarzyszącym im stanem zapalnym miazgi. W praktyce klinicznej takie zęby są leczone endodontycznie. Po leczeniu ząb staje się martwy, nie posiada miazgi, jednak zachowany zdrowy korzeń stanowi naturalny wszczep i pozwala na wykorzystanie go do dalszej odbudowy. Pozostawienie wyleczonego i prawidłowo zabezpieczonego korzenia zęba pozwala w pewnym stopniu opóźnić proces zaniku kości wyrostka zębodołowego. Jedną z metod stosowanych w procesie rekonstrukcji takich koron zębów, jest stosowanie metalowych wkładów koronowo-korzeniowych, które należą do grupy protez stałych jednoczłonowych i stanowią podbudowę pod uzupełnienie protetyczne, zwiększając retencję wypełnienia a jednocześnie powinny zachować fizjologiczną drogę przenoszenia obciążeń wywieranych w trakcie żucia [2,3]. Wkłady koronowo-korzeniowe składają się z części koronowej będącej substytutem zniszczonych tkanek zęba oraz korzeniowej osadzonej w kanale zęba. Część koronowa wkładu tworzy podbudowę pod przyszłe uzupełnienie protetyczne, zaś część korzeniowa ma pełnić funkcję elementu retencyjnego. Ze względu na sposób wytwarzania wkłady koronowo-korzeniowe można podzielić na wkłady indywidualne odlewane oraz wkłady prefabrykowane [4,5].

W przypadku wkładów prefabrykowanych skuteczność rehabilitacji protetycznej jest w równym stopniu zależna od postaci konstrukcyjnej wkładu koronowo-korzeniowego i materiału, z którego został on wykonany oraz rodzaju zastosowanego cementu. Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów postaci konstrukcyjnych wkładów koronowo-korzeniowych i cementów stomatologicznych. Do analizy wytypowano wkład Flexi-Post. Wkład ten charakteryzuje się dużą retencją w kanale korzeniowym oraz małym naciskiem na ścianę korzenia. Aby ułatwić wybór odpowiedniego rodzaju cementu, przeprowadzono analizę numeryczną układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb z wykorzystaniem trzech różnych cementów stomatologicznych.

W literaturze niewiele miejsca poświęca się zagadnieniu biomechanicznemu układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb z uwzględnieniem stanu przemieszczeń, odkształceń i naprężeń. Dotychczas przeprowadzone analizy uwzględniają uproszczone modele układów wkład – ząb. Niewiele z nich zawiera analizy uwzględniające różne rodzaje cementów stomatologicznych [6-11]. Z tego względu celem przeprowadzonej analizy było określenie wpływu zastosowanego rodzaju cementu w układzie wkład koronowo-korzeniowy - ząb.

Celem przeprowadzonej analizy numerycznej było wyznaczenie stanu przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w elementach analizowanego układu. Tego rodzaju analiza jest podstawą do optymalizacji zarówno cech geometrycznych implantu, jak i własności mechanicznych biomateriału. Niniejsza praca stanowi fragment badań prowadzonych przez autorów dotyczących poprawy własności użytkowych wkładów koronowo-korzeniowych stosowanych w protetyce stomatologicznej [12].

## Materiały i metody

Analizie poddano wkład koronowo-korzeniowy Flexi-Post firmy Essential Dental Systems o rozmiarze nr 2, wykonany ze stopu tytanu – RYS. 1a. W pierwszym etapie pracy wykonano model geometryczny wkładu k-k – RYS. 1b.

## Introduction

The one of the problems in conservative dentistry is the destruction of tooth crowns with the simultaneous occurrence of the inflamed pulp. In clinical practice, these teeth are treated endodontically. After the treatment the tooth becomes dead, does not have a pulp. However a healthy root is a natural implant that can be used for further restoration. Leaving cured and properly secured root's canal may avoid or minimize alveolar bone loss. A post-and-core is a type of monosegmental dental restoration that is utilized when there is inadequate tooth structure remaining to support a traditional restoration. Posts-and-cores are usually made of metallic alloy, which increase the fill's retention and at the same time should retain physiological transfer way of stresses exerted during mastication [2,3]. The endodontic posts consist of the crown part which is a substitute for damaged tissue of tooth and root part which is embedded in the tooth canal. Because of the fabrication method these restorations can be divided into individual cast and prefabricated posts [4,5].

In the case of prefabricated posts the effectiveness of prosthetic rehabilitation equally depends on its geometric form and material, from which it was made, and on the type of used cement. There are many types of dental post-and-cores and dental cements commercially available. The Flexi-Post was selected to realize research. This post has high retention in the root canal and small emphasis on the root wall. In order to facilitate the selection of optimal cement, numerical analysis of the dental post-and-core – tooth system (for three variants of dental cements) was carried out.

Little attention has been devoted in the literature on a post-and-core – tooth system biomechanical issues taking into account displacements, strains and stress state. To date, taken analyses include simplified models of post-and-core – tooth system. Few of them contain analysis including different types of dental cements [6-11]. For this reason, the aim of the work was to determine effects of the type of cement used in the post-and-core – tooth system. Displacements, strains and stresses have been designated in the analysis.

This kind of analysis is the basis to optimization both the characteristics of geometry of the implant and the mechanical properties of the biomaterial. This work is a part of research carried out by the authors concerning improvement of functional properties of endodontic posts used in dental prosthetics [12].

## Materials and methods

Flexi-Post from Essential Dental Systems, Inc.; (Size 2), made of titanium alloy was analyzed in the work – FIG. 1a. In the first stage the post-and-core geometrical model was created – FIG. 1b.

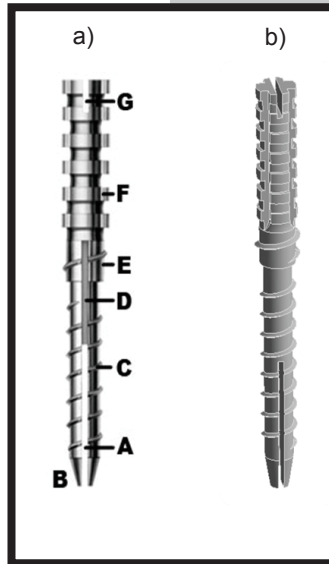
The geometrical model of a tooth was modeled, maintaining its actual dimensions – FIG. 2. The lower right canine model with fully reconstructed crown was analyzed. Subsequently model of post-and-core – tooth system was developed. In the root's canal – the hole filled with cement was simulated – combining the post with the tooth root. At the apex of the tooth root, 5 mm gutta-percha filling was simulated. In the canal the post was inserted. To the coronal part of post-and-core a composite material (rebuilding tooth stump) was applied. The next step was to simulate the crown imposed on the tooth stump. Around the periodontal tooth root with a thickness of about 0.2 mm was modelled. Geometrical models of analyzed system were created in Autodesk Inventor – FIG. 2.

W kolejnym etapie pracy wykonano model geometryczny zęba, zachowując jego rzeczywiste wymiary – RYS. 2. Analizie poddano model kła dolnego prawego z całkowicie odbudowaną koroną. W dalszej kolejności opracowano model układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb. W kanale korzenia zęba zasymulowano otwór wypełniony cementem, łączącym wkład z korzeniem zęba, natomiast przy wierzchołku korzenia zęba zasymulowano 5 mm wypełnienia gutaperką. W tak przygotowany kanał wprowadzono wkład. Natomiast na koronową część wkładu koronowo-korzeniowego nałożono materiał kompozytowy odbudowujący kikut zęba. Kolejnym krokiem było zasymulowanie korony nałożonej na kikucie. Wokół korzenia zęba zamodelowano ozębnię o grubości ok 0,2 mm. Modele geometryczne elementów analizowanego układu wykonano w programie Inventor – RYS. 2.

Dla tak opracowanych modeli geometrycznych wygenerowano siatkę do obliczeń metodą elementów skończonych. Do dyskretyzacji elementów analizowanego układu wykorzystano oprogramowanie ANSYS Workbench v13 – RYS. 3. Dla przeprowadzenia obliczeń niezbędne było określenie i nadanie warunków początkowych oraz brzegowych, które z odpowiednią dokładnością odwzorowywały zjawiska zachodzące w układzie rzeczywistym. Przyjęto następujące założenia:

- koronę obciążono siłą  $F = 300$  N przyłożoną na brzegu siecznym oraz na ok. 1/3 powierzchni wargowej osiowo wzdłuż osi zęba,
- umiejscowienie podpory uniemożliwiło ruch ozębnej w kierunku osi X, Y i Z.

W obliczeniach numerycznych uwzględniono dane materiałowe składowych modelu dostępne w piśmiennictwie fachowym oraz w materiałach producentów (TABELA 1).

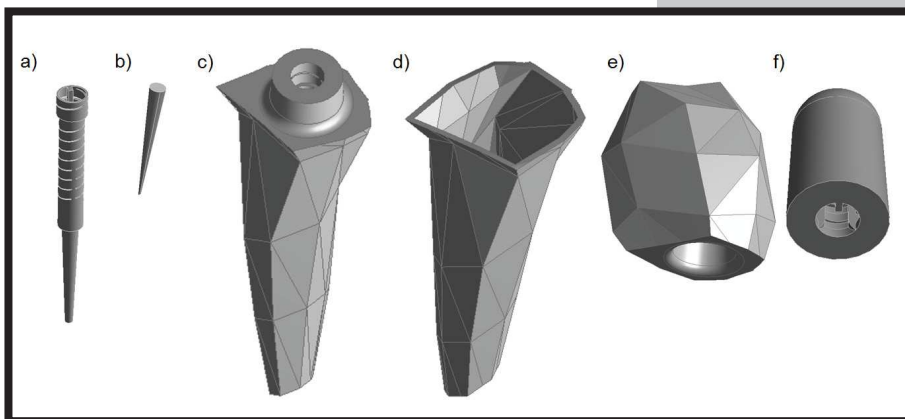


**RYS. 1.** Postać konstrukcyjna wkładu koronowo-korzeniowego Flexi-Post [13]: a) rzeczywista, b) geometryczna; A – unikalna konstrukcja rozciętego trzonu wkładu, B – stożkowate zakończenie ramion wkładu, C – równoległościenny ostry gwint, D – kanał wentylacyjny wkładu, E – II stopień trzonu, F – równoległe bruzdy w części koronowej, G – rowek dla klucza wewnętrznego.

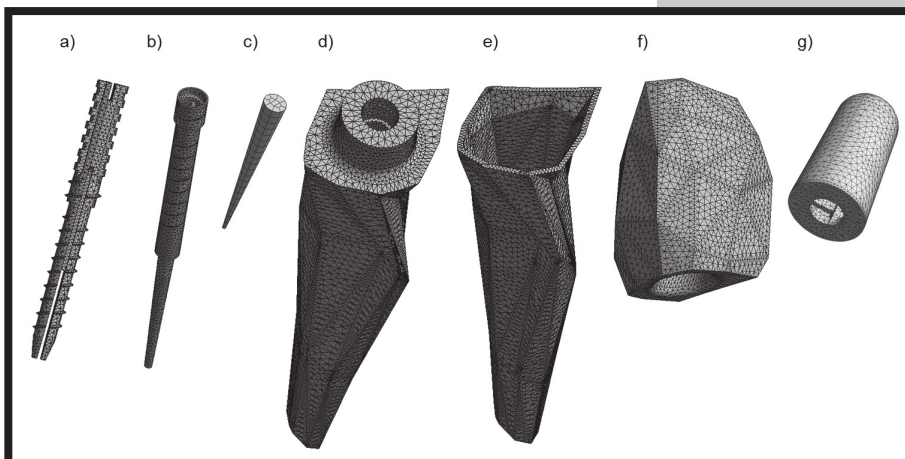
On the basis of the geometrical models, finite element meshes were generated. Numerical models were prepared in ANSYS Workbench v13 – FIG. 3. In order to carry out calculations it was necessary to evaluate and establish initial and boundary conditions which imitate phenomena in real system with appropriate accuracy. The following assumptions were established:

- crown was loaded with force  $F = 300$  N exerted on the incisal end and approximately 1/3 labial surface axially along post-and-core,
- the positioning of the support prevented the periodontium movement in the direction of X, Y and Z axis.

The numerical calculation taken into account material data of model components available in a professional literature and manufacturers' data (TABLE 1).



**RYS. 2.** Model geometryczny: a) cementu, b) gutaperki, c) korzenia, d) ozębnej, e) korony, f) odbudowy kikuta



**RYS. 3.** Model zdyskretyzowany: a) wkładu koronowo-korzeniowego, b) cementu, c) gutaperki, d) korzenia, e) ozębnej, f) korony, g) odbudowy kikuta.



**TABELA 1. Dane materiałowe wykorzystane w obliczeniach.**  
**TABLE 1. Material data used in the calculation.**

	Moduł Younga Young's modulus [GPa]	Współczynnik Poissona Poisson's ratio
Wkład koronowo-korzeniowy (stop tytanu) Post-and-core (Titanium alloy)	110	0.31
Korzeń (Zębina) / Root (Dentine)	18.6	0.31
Korona (ceramika tlenku cyrkonu) Crown (Zirconium oxide ceramics)	210	0.30
Cement szklanojononmerowy [Wariant I] Glass ionomer cement [I Variant]	4	0.35
Cement kompozytowy Variolink (Ivoclar) [Wariant II] Variolink composite cement (Ivoclar) [II Variant]	8.3	0.35
Cement fosforanowo-cynkowy [Wariant III] Zinc-phosphate cement [III Variant]	22.4	0.35
Odbudowa kikuta (kompozyt Ti-Core Natural) Reconstruction of the stump (Ti-Core Natural composite)	22.2	0.30
Gutaperka / Gutta-percha	0.00069	0.45
Ozębna / Periodontium	0.0689	0.45

**TABELA 2. Wyniki analizy numerycznej – wariant I (cement szklanojononmerowy).**  
**TABLE 2. The results of the numerical analysis – I variant (glassionomer cement).**

	Elementy układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb Elements of the post-and-core – tooth system						
	Wkład k-k Post-and-core	Korzeń Root	Ozębna Periodontium	Korona Crown	Cement	Gutaperka Gutta-percha	Odbudowa kikuta Reconstruction of the stump
Przemieszczenia całkowite Total displacement, mm	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.005	0.02
Odształcenia zredukowane Equivalent strain $\epsilon_{max}$ , %	0.05	0.2	6	0.01	0.1	0.02	0.02
Naprężenia zredukowane Equivalent stress $\sigma_{max}$ , MPa	65	34	5	25	5	0.03	5
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{xy}$ , MPa	15	7	1	6	2	0.01	1
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{yz}$ , MPa	8	4	1	4	2	-	2
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{xz}$ , MPa	8	2	0.5	4	1	0.007	0.5

**TABELA 3. Wyniki analizy numerycznej – wariant II (cement kompozytowy Variolink).**  
**TABLE 3. The results of the numerical analysis – II variant (composite cement Variolink).**

	Elementy układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb Elements of the post-and-core – tooth system						
	Wkład k-k Post-and-core	Korzeń Root	Ozębna Periodontium	Korona Crown	Cement	Gutaperka Gutta-percha	Odbudowa kikuta Reconstruction of the stump
Przemieszczenia całkowite Total displacement, mm	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.005	0.02
Odształcenia zredukowane Equivalent strain $\epsilon_{max}$ , %	0.05	0.18	6	0.01	0.08	0.02	0.02
Naprężenia zredukowane Equivalent stress $\sigma_{max}$ , MPa	65	34	5	25	7	0.03	5
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{xy}$ , MPa	12	7	1	6	3	0.01	1
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{yz}$ , MPa	6	4	1	4	2	0.009	2
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{xz}$ , MPa	6	2	0.5	4	1	0.01	0.5

**TABELA 4. Wyniki analizy numerycznej – wariant III (cement fosforanowo-cynkowy).**  
**TABLE 4. The results of the numerical analysis – III variant (zinc-phosphate cement).**

	Elementy układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb Elements of the post-and-core – tooth system						
	Wkład k-k Post-and-core	Korzeń Root	Ozębna Periodontium	Korona Crown	Cement	Gutaperka Gutta- percha	Odbudowa kikuta Reconstruction of the stump
Przemieszczenia całkowite Total displacement, mm	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.005	0.02
Odształcenia zredukowane Equivalent strain $\epsilon_{\max}$ , %	0.05	0.18	6	0.01	0.07	0.02	0.02
Naprężenia zredukowane Equivalent stress $\sigma_{\max}$ , MPa	65	33	5	25	17	0.03	4
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{xy}$ , MPa	9	7	1	6	4	0.001	1
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{yz}$ , MPa	5	4	1	4	2	0.004	2
Naprężenia styczne Shear stress $\tau_{xz}$ , MPa	4	2	0.5	4	1	0.007	0.5

## Wyniki

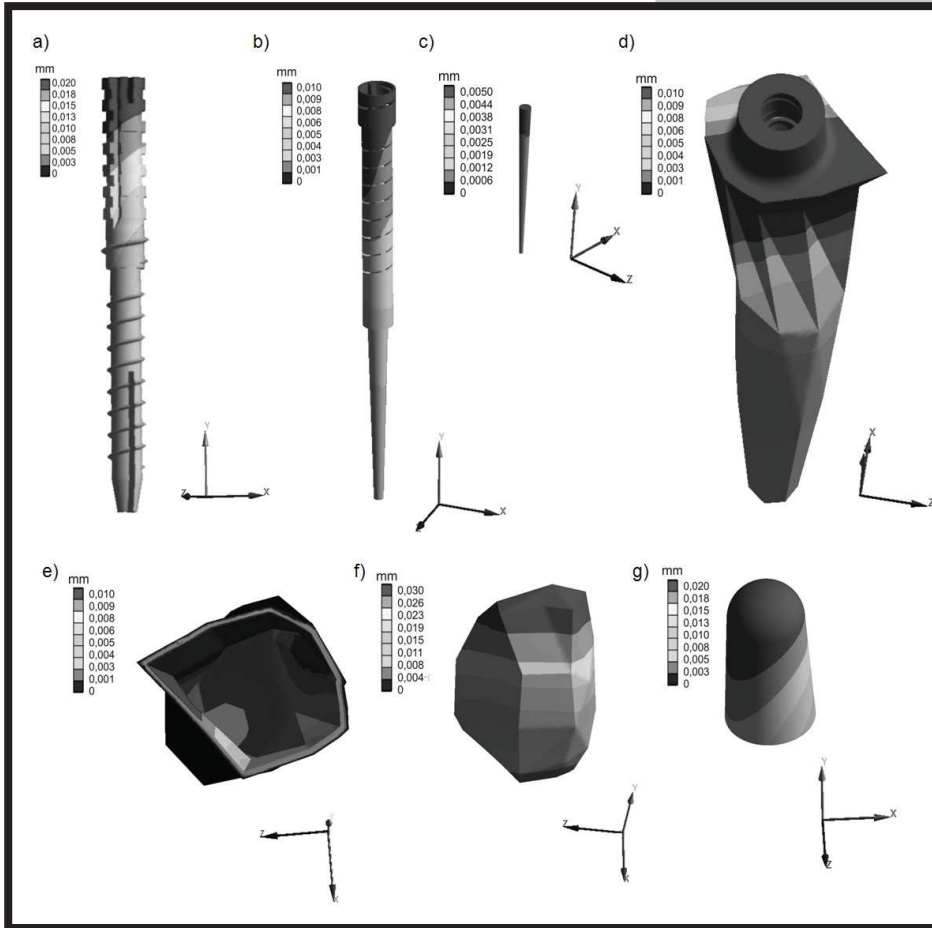
Wyniki analizy stanu przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w elementach układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb przedstawiono w TABELACH 2-4. Natomiast na RYS. 4-6 przedstawiono przykładowe wyniki stanu przemieszczeń, odkształceń i naprężeń (wariant II).

Analiza uzyskanych wyników wskazuje na zróżnicowany rozkład wartości przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w elementach analizowanego układu. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że niezależnie od zastosowanego cementu największe przemieszczenia występują w koronie i zlokalizowane były na powierzchni siecznej zęba, gdzie ich wartość maksymalna wynosiła 0,03 mm – RYS. 4. Uzyskane wartości przemieszczeń całkowitych są znikome i świadczą o stabilności i odpowiedniej sztywności analizowanego układu. We wszystkich przypadkach największe wartości odkształceń  $\epsilon_{\max} = 6\%$  zlokalizowane były w ozębnej w części przykoronowej oraz korzeniowej od strony językowej. Ich wartość nie zmieniała się wraz ze zmianą zastosowanego cementu stomatologicznego – RYS. 5. Z kolei maksymalne naprężenia zredukowane  $\sigma_{\max} = 65$  MPa we wszystkich przypadkach występowały we wkładzie koronowo-korzeniowym w środkowej części korzeniowej od strony językowej – RYS. 6. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono również zróżnicowane wartości naprężeń zredukowanych dla badanych cementów. Zaobserwowano, że największe wartości naprężeń zredukowanych występowały w przypadku zastosowania cementu fosforanowo-cynkowego. Wartość ta wynosiła  $\sigma_{\max} = 17$  MPa i zlokalizowana była po stronie kontaktującej się z korzeniem. Dodatkowo zaobserwowano nieznaczne różnice w wartościach naprężeń stycznych dla analizowanych cementów stomatologicznych.

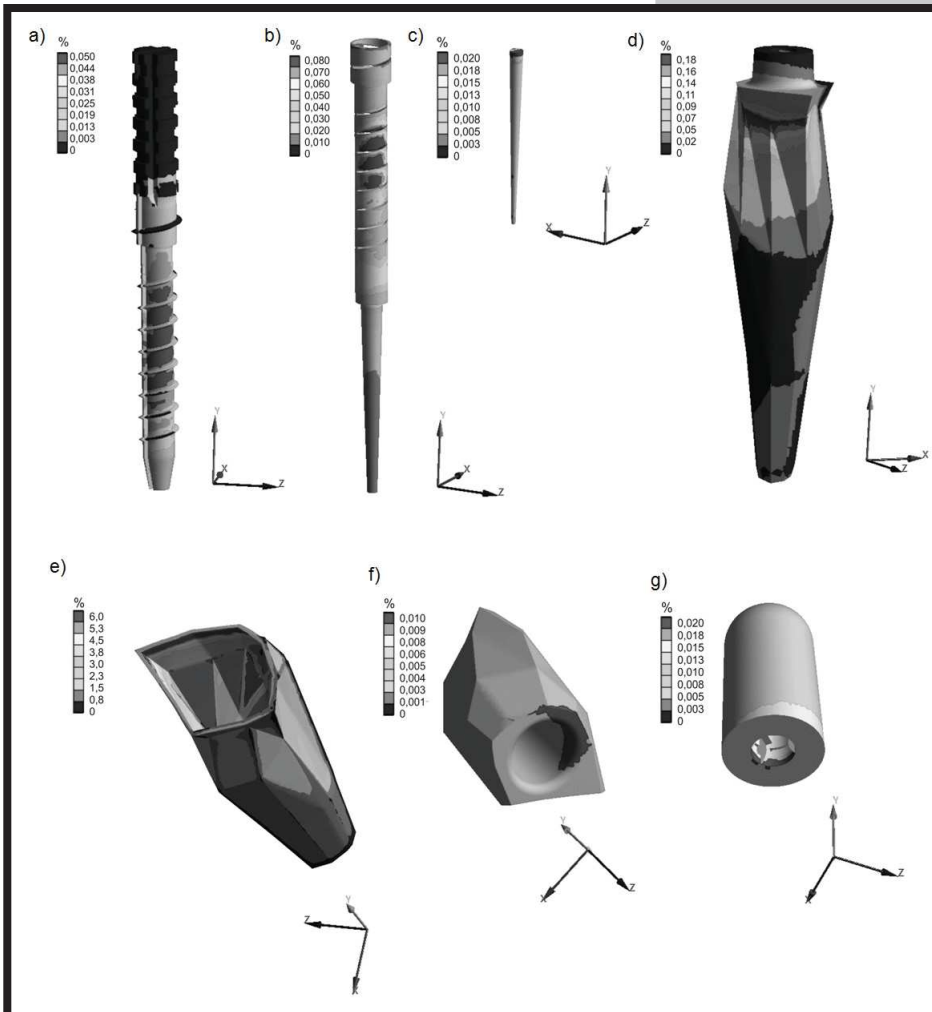
## Results

The results of analysis of displacements, strains and stresses in each element of the post-and-core system are presented in TABLES 2-4. In FIGS. 4-6 examples of the results of the displacements, strains and stresses (II variant) are shown.

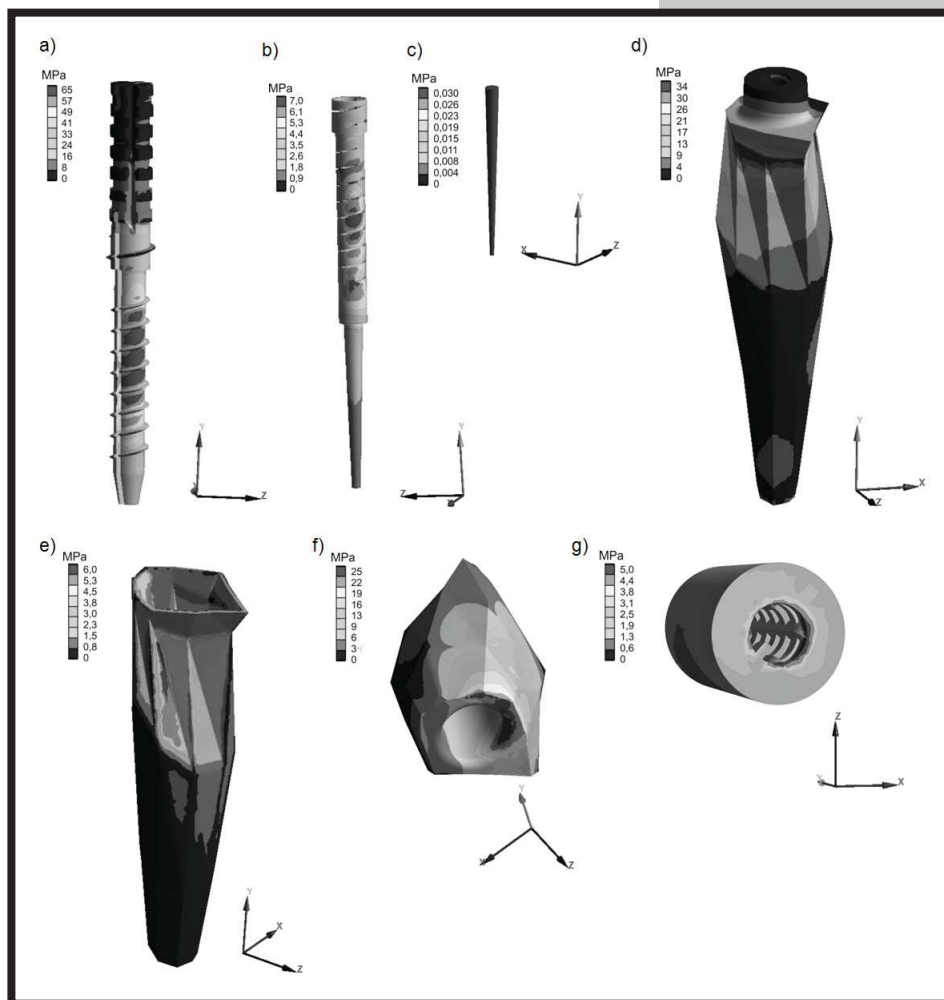
Analysis of the obtained results points on diverse distribution of the displacements, strains and stresses in each elements of the system. On the basis of the analysis it can be noticed that the maximal displacements are localized in crown (in incisal tooth surface) regardless of the applied cement. The maximal value of displacement was equal to 0.03 mm – FIG. 4. Obtained values of total displacements were minimal, what provides the adequate stability and stiffness of the analyzed system. In all cases, maximal strain values were  $\epsilon_{\max} = 6\%$ , and were localized in periodontal membrane (in crown and root part, near tongue). Strains in the periodontal membrane remain unchanged for all applied cements – FIG. 5. On the other hand, the maximal values of the equivalent stress for all considered variants were localized in post-and-core, near tongue, and were equal to  $\sigma_{\max} = 65$  MPa – FIG. 6. Based on the analysis various values of equivalent stress for tested cements were also noticed. The highest values of the equivalent stresses were observed for zinc-phosphate cement. The value was equal to  $\sigma_{\max} = 17$  MPa and was localized on the side in contact with root. In addition, slight differences of the shear stresses for analyzed dental cement were observed.



RYS. 4. Przykładowe wyniki stanu przemieszczeń w elementach układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb (wariant II): a) wkład koronowo-korzeniowy, b) cement, c) gutaperka, d) korzeń, e) ozębna, f) korona, g) odbudowa kikuta.  
 FIG. 4. An example of the results of the displacements in elements of the post-and-core – tooth system (II variant): a) post-and-core, b) cement, c) gutta-percha, d) root, e) periodontium, f) crown, g) reconstruction of the stump.



RYS. 5. Przykładowe wyniki stanu odkształceń w elementach układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb (wariant II): a) wkład koronowo-korzeniowy, b) cement, c) gutta-percha, d) korzeń, e) ozębna, f) korona, g) odbudowa kikuta.  
 FIG. 5. An example of the results of the strains in elements of the post-and-core – tooth system (II variant): a) post-and-core, b) cement, c) gutta-percha, d) root, e) periodontium, f) crown, g) reconstruction of the stump.



RYS. 6. Przykładowe wyniki stanu naprężeń w elementach układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb (wariant II):

a) wkład koronowo-korzeniowy,  
 b) cement,  
 c) gutaperka,  
 d) korzeń,  
 e) ozębna,  
 f) korona,  
 g) odbudowa kikuta.

FIG. 6. An example of the results of the stresses in elements of the post-and-core – tooth system (II variant):  
 a) post-and-core,  
 b) cement,  
 c) gutta-percha,  
 d) root,  
 e) periodontium,  
 f) crown,  
 g) reconstruction of the stump.

## Dyskusja i Wnioski

Głównym celem zrealizowanej pracy było określenie wpływu zastosowanego cementu na własności użytkowe analizowanego wkładu koronowo-korzeniowego. W literaturze trudno znaleźć modele wykonane i obciążone w ten sam sposób. W związku z tym porównania wyników otrzymywanych przez różnych badaczy są w pewnym stopniu ograniczone. Rodzaj zastosowanego cementu, wielkość stosowanej siły oraz miejsce i kąt jej przyłożenia bywają różne [6-12,14-16]. Podobne badania prowadziła Magdalena Tańska i zespół [8], których celem było porównanie poziomów naprężeń w wybranych wkładach w zależności od rodzaju zastosowanego cementu. Do badań wytypowała wkład z tytanu, oraz włókna szklanego obciążony siłą 50 N przyłożoną pod kątem 45° przy brzegu siecznym. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdziła, że użycie cementu kompozytowego skutkowało obniżeniem się naprężeń o ok. 40% w stosunku do cementu fosforanowego. Z kolei badania realizowane przez Oguza Ersalana [14] z zespołem, wykazały konieczność stosowania cementu fosforanowego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzili, iż w przypadku zastosowania wkładu tytanowego najlepsze własności uzyskuje się gdy zastosowano cement o wyższym module sprężystości. Jak można zauważyć wyniki tych badań są zróżnicowane, a zatem ta kwestia nie jest jeszcze w pełni rozwiązana. Dlatego też autorzy pracy podjęli się przeprowadzenia analizy numerycznej aby jednoznacznie określić wpływ rodzaju cementu na pracę układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb.

## Discussion and Conclusions

The major aim of the study was to determine the influence of applied dental cement for functional properties of the analyzed post-and-core. It's difficult to find a similar models that applied in the same way as in the presented studies thus the possibility of comparison results provided by various authors is limited. Type of applied cement, size of applied force and location of its application could be different [6-12,14-16]. The similar researches were presented by Tańska et al. [8]. Their aim was to compare the stress levels in selected posts, depending on the applied dental cement. The post made of titanium and fiberglass loaded with the force of 50 N at an angle 45° at the incisal was selected for research purposes. Based on the results of research it was found that application of the composite cement resulted in lowering of stresses (about 40%) in comparison with phosphate cement [8]. On the other hand, research by Oguza Ersalana et al. [14] showed the need to use phosphate cement. On the basis of their results, it was stated that the best properties were for titanium post with the use of higher elasticity module cement. As may be noted, these results are very diverse, so that the problem remains unsolved. For that reason, the authors undertook to carry out numerical analysis to unambiguously determine the effect of the type of the cement for the work of the post-and-core – tooth system.



Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że największe wartości naprężeń zredukowanych występują w przypadku zastosowania cementu fosforanowo-cynkowego, gdzie wartość ta była 3-krotnie większa w porównaniu do cementu szklanojononowego oraz kompozytowego – TABELA 2-4. Jest to potwierdzeniem wyników uzyskanych w badaniach przeprowadzonych przez Tańską i zespół [8]. Dodatkowo nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego cementu na pozostałe elementy analizowanego układu wkład-ząb. Niezależnie od rozpatrywanego wariantu zastosowanego cementu dentystrycznego, uzyskane w analizie wartości naprężeń zredukowanych dla wkładu koronowo-korzeniowego nie przekroczyły wartości granicy plastyczności biomateriału metalowego ( $R_{p0,2} = 780$  MPa), co gwarantuje odkształcenie wkładu w zakresie sprężystym. Dodatkowo stwierdzono również, że uzyskane wartości naprężeń w pozostałych elementach analizowanego układu nie przekraczały wartości ich wytrzymałości na ściskanie. Uzyskane wyniki wskazują, że analizowany wkład koronowo-korzeniowy charakteryzuje się dużą retencją w kanale korzeniowym oraz małym naciskiem na ścianę korzenia niezależnie od rodzaju zastosowanego cementu.

Kolejne etapy badań obejmować będą analizę numeryczną również innych postaci wkładów koronowo-korzeniowych z uwzględnieniem zjawisk zachodzących w układzie stomatognatycznym (np. bruksizm). Dodatkowo zamodelowana zostanie kość gąbczasta oraz korowa o cechach geometrycznych odzwierciedlających rzeczywiste wymiary występujące w żuchwie ludzkiej. W dalszej kolejności przeprowadzone będą badania doświadczalne. Tak kompleksowe opracowanie będzie stanowić cenne źródło informacji dla stomatologów.

## Podziękowania

*Praca była finansowana ze środków na działalność statutową dla Wydziału Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej.*

On the basis of the results, it was found that the maximal values of equivalent stresses were observed when zinc-phosphate cement was applied. That value was three times higher in comparison to glass ionomer cement and composite cement – TABLES. 2-4. This confirms the results obtained in a study conducted by Tańska et al [8]. In addition there was no significant influence of applied cement on other parts of post-and-core – tooth system. The values of the equivalent stresses in post-and-core did not exceed the yield strength of the metallic biomaterial ( $R_{p0,2} = 780$  MPa), regardless of the applied dental cement. This guarantees deformations of the post-and-core in the elastic range. Moreover, it was found that values of the equivalent stresses observed in the other components of analyzed system did not exceed their compressive strength. The results of the analysis shown that post-and-core is characterized by substantial retention in root and low pressure at the wall of the root, regardless of applied dental cement.

Further studies will cover numerical analysis of other forms of post-and-core, taking into account phenomena occurring stomatognathic system (e.g. bruxism). In addition, cortical bone and cancellous bone reflecting the actual dimension of the human mandible will be modeled. In the next step experimental research will be carried out. Such comprehensive study will be valuable source of knowledge for dentists.

## Acknowledgements

*The work was financed from resources assigned to the statutory activity of the Faculty of Biomedical Engineering, Silesian University of Technology.*

## Piśmiennictwo

- [1] Szczyrek P., Zadroga K., Mierzwińska-Nastalska E.: Cementing of porcelain restorations – review of the literature. Part I, *Protetyka Stomatologiczna* (2008) LVIII, 4, 279-283.
- [2] Spiechowicz E.: *Protetyka stomatologiczna. Podręcznik dla studentów*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010.
- [3] Milewski G.: Wytrzymałościowe aspekty interakcji biomechanicznej tkanka twarda – implant w stomatologii, *Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Mechanika* nr 89, Kraków 2002.
- [4] Zielińska R., Dejak B., Suchorzewski A.: Porównanie własności zębów odbudowanych wkładami koronowo-korzeniowymi lanymi i standardowymi kompozytowymi wzmocnionymi włóknami szklanymi na podstawie piśmiennictwa, *Protetyka Stomatologiczna* (2010) LX, 1, 37-43.
- [5] Marciniak J., Kaczmarek M., Ziębowicz A., *Biomateriały w stomatologii*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008
- [6] Mattos C. M. A., Las Casas E. B., Dutra I. G. R., Sousa H. A., Guerra S. M. G.: Numerical analysis of the biomechanical behaviour of a weakened root after adhesive reconstruction and post-core rehabilitation, *Journal of Dentistry* 40 (2012) 423-432.
- [7] Dejak B.: Comparison of the strength of teeth restored by individual cast dowels and prefabricated fiberglass-reinforced composite posts, *Protetyka Stomatologiczna* (2010) LX, 2, 112-123.
- [8] Tańska M., Wyciśłok P., Mierzwińska-Nastalska E.: Comparison of stress levels related to cement elasticity in selected standard posts cemented in teeth models: Computer simulations, *Protetyka Stomatologiczna* (2010) LX, 4, 260-266.

## References

- [9] Dobosz A., Panek H., Napadłek P.: Implementation of Numerical Analysis in Assessment of Stresses in Hard Tissues of Teeth Reconstructed with Selected Fixed Prosthesis, *Dental and Medical Problems* (2005) 42, 4, 657-662.
- [10] Pérez-González A., González-Lluch C., Sancho-Bru J. L., Rodríguez-Cervantes P. J., Iserte-Vilar J. L.: *Biomechanical Models of Endodontic Restorations, Theoretical Biomechanics*, Dr Vaclav Klika (Ed.), 2011.
- [11] de Castro Albuquerque R., Polleto L. T., Fontana R. H., Cimini C. A., Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts, *Journal of Oral Rehabilitation* (2003) September, 30, 9, 936-943.
- [12] Loska S., Paszenda Z., Basiaga M., Kajzer W.: Analiza numeryczna wkładu koronowo-korzeniowego z wykorzystaniem metody elementów skończonych w: L. Leniowska, Z. Nawrat: *Postępy Inżynierii Biomedycznej*, Rzeszów, 2013.
- [13] Katalog firmowy - Essental Dental Systems.
- [14] Eraslan O., Aykent F., Yücel M. T., Akman S.: The finite element analysis of the effect of ferrule height on stress distribution at post-and-core-restored all-ceramic anterior crowns, *Clinical Oral Investigations* (2009) 13, 223-227.
- [15] Coelho C. S., Biffi J. C., Silva G. R., Abrahao A., Campos R. E., Soares C. J.: Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and post, *Dental Materials Journal* (2009) 28, 6, 671-678.
- [16] Garbin C. A., Spazzin A. O., Meira-Júnior A. D., Loretto S. C., Lyra A. M. V. C., Braz R.: Biomechanical behavior of a fractured maxillary incisor restored with direct composite resin only or with different post systems, *International Endodontic Journal* (2010) 43, 12, 1098-1107.