



Ocena jakości powierzchni podbudów pełnoceramicznych uzupełnień protetycznych wykonanych z tlenku cyrkonu.

T. Brzezinka^a, B. Ziębowicz^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Studenckie Koło Nanotechnologii i Materiałów Funkcjonalnych
email: tomabrz150@student.polsl.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Przetwórstwa Materiałów Metalowych i Polimerowych
email: boguslaw.ziebowicz@polsl.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia wyniki badań struktury łączników dwuczęściowych wszczepów stomatologicznych wykonanych przez wybranych producentów: Swiss-Medent, Robocam oraz Wieland. Badania przeprowadzono przy użyciu mikroskopu sił atomowych AFM. Na podstawie badań wyznaczono ich topografię powierzchni, chropowatość oraz siłę adhezji.

Abstract: This article presents the results of surface investigation of the two-piece dental implants' linking elements, made by selected manufacturers: Swiss-Medent, Robocam and Wieland. The research were performed using an Atomic Force Microscope. The topography of the surface, roughness and the strength of adhesion were obtained using the results of this investigation.

Słowa kluczowe: implanty, uzupełnienia protetyczne, tlenek cyrkonu, CAD/CAM, AFM

1. WSTĘP

Implanty zębowe są stosowane celem odbudowy utraconego zęba. Materiałami najczęściej stosowanymi na uzupełnienia protetyczne są tlenek tytanu oraz tlenek cyrkonu, który zyskuje coraz większą popularność. Materiały te mają porównywalne własności mechaniczne lecz tlenek cyrkonu ma dodatkowo walory estetyczne - podobnie jak naturalny ząb odbija światło oraz ma barwę porównywalną z zębem naturalnym. Aby uzupełnienie protetyczne zastosowane u pacjenta spełniło swoje zadanie, prócz odpowiednio dobranego rozwiązania technologicznego oraz materiału należy odpowiednio przygotować jego powierzchnię. W dzisiejszych czasach doskonałą alternatywą do tradycyjnie stosowanych metod wytwarzania uzupełnień protetycznych między innymi takich, jak technika traconego wosku i odlewania stopów dentystycznych są systemy komputerowego wspomaganie projektowania i wytwarzania CAD/CAM.

2. TECHNIKI CAD/CAM DO ZASTOSOWAŃ W PROTETYCE STOMATOLOGICZNEJ

CAD (Computer Aided Design) można przetłumaczyć jako komputerowo wspomagane projektowanie rozwiązań materiałowych i technologicznych za pomocą komputera. CAM (Computer Aided Manufacturing) zaś oznacza komputerowo wspomagane wytwarzanie. Wytwarzanie uzupełnień protetycznych przy pomocy metod CAD/CAM pozwala na znaczące poprawienie dokładności wykonania prac protetycznych przy zachowaniu optymalnych wartości dla szczelności brzeżnej poniżej 100 μm [1].

Prace nad wykorzystaniem projektowania komputerowego w stomatologii rozpoczęły się w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwszy system CAD/CAM do zastosowań stomatologicznych został zaprezentowany we Francji w 1983 roku. W 1985 roku z powodzeniem wykorzystano go do stworzenia pierwszej korony. Aktualnie w stomatologii najpopularniejsze są 4 systemy CAD/CAM: Procera, Kavo Everest, Cerec oraz Wieland. Różnią się one sposobem skanowania oraz rodzajem obróbki jednakże sama idea wykonania uzupełnienia protetycznego za pośrednictwem komputera pozostaje taka sama. Wytwarzanie elementów systemem CAD/CAM można podzielić na pięć podstawowych etapów: preparacji, skanowania, projektowania, komputerowo wspomaganego wykonania pracy protetycznej oraz cementowania pracy protetycznej (rys. 1) [2].



Rysunek 1. Etapy wytwarzania CAD/CAM
Figure 1. Stages production of CAD/CAM

Podczas pierwszego etapu - preparacji zęby są opracowywane poprzez zmniejszenie ich wymiarów, z zachowaniem charakterystycznego kształtu, bez pozostawiania podcieni. Jeżeli do wykonania uzupełnienia stosowany jest tlenek cyrkonu, ważnej jest wyraźne zaznaczenie brzegu preparacji poprzez stopień typu „chamfer” lub „shoulder” z zaokrąglonym kątem wewnętrznym. Należy również unikać pozostawiania ostrych brzegów, gdyż ma to znaczenie podczas procesu wycinania pracy z materiału w formie bloku. Po ukończeniu opracowywania należy odwzorować pole protetyczne. W systemach Procera, Cercon oraz Kavo Everest wycisk zostaje pobrany zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką. W przypadku systemu Cerec 3D dokonuje się pobrania tzw. wycisku optycznego czyli optycznej analizy miejsc preparacji wraz z tkankami otaczającymi. Można tego dokonać, gdyż system ten dysponuje specjalną kamerą [3, 4].

Kolejnym etapem jest skanowanie. W pierwszej kolejności po opracowaniu zęba pobiera się wycisk celem przygotowania modelu roboczego. Następnie umocowany w uchwycie skanera segment modelu jest skanowany przy pomocy sondy w kształcie kulki przesuwającej się wzdłuż jego powierzchni. Rejestrowane dane są przedstawiane w postaci obrazu skanowanego modelu na ekranie komputera [5].

Projektowanie podbudowy jest przeprowadzane przy użyciu komputera na ekranie monitora. Oprogramowanie automatycznie uwzględnia skurcz materiału wywołany jego spiekaniem, dzięki czemu cyfrowe dane filaru zęba oraz projekt podbudowy są odpowiednio powiększane [4].

W końcu powiększony model filaru zęba jest wycinany przy pomocy frezarki w materiale. Po nadaniu kształtu implantowi przeprowadza się jego syntetyzację celem kompresji przestrzeni międzykrystalicznych, co zaś w efekcie powoduje wzrost jego wytrzymałości mechanicznej [6].

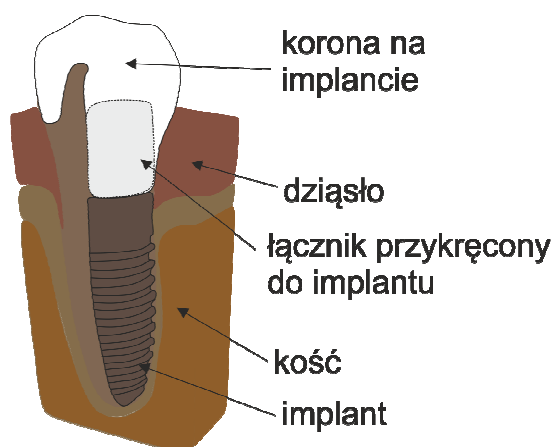
Gotowe do osadzenia uzupełnienie protetyczne jest cementowane np. metodami adhezyjnymi. Uzupełnienia z tlenku cyrkonu przed zacementowaniem należy wypłukać. Dzięki temu zabiegowi zostaje zwiększona powierzchnia kontaktu z materiałem co skutkuje lepszym połączeniem [7].

3. PEŁNOCERAMICZNE UZUPEŁNIENIA PROTETYCZNE

W uzupełnieniach pełnoceramicznych ceramika znajduje zastosowanie nie tylko do licowania czyli nadawania kształtu końcowego oraz koloru uzupełnienia protetycznego, ale także wykonywana jest z niej struktura nośna zastępująca tym samym stosowaną dotąd podbudowę metalową. Do podstawowych metod ich produkcji należą: odlewanie, wypalanie na modelu ogniotrwałym, tłoczenie (prasowanie) oraz spiekanie (syntetyzacja) [8].

Powszechnie stosuje się dwa rodzaje implantów stomatologicznych: jednoczęściowe oraz dwuczęściowe. Implant jednoczęściowy to śruba, kompletna struktura, która natychmiast po wprowadzeniu w kość szczęk wystaje ponad dziąsło. Na wystającej części wykonywana jest korona protetyczna lub inne uzupełnienie protetyczne [9].

Implant dwuczęściowy to śruba, która całkowicie zanurzona jest w kości i pokryta jest dziąsłem. Potrzebuje on dodatkowej części (łącznika), aby można było wyprowadzić jego strukturę ponad dziąsło i zakończyć leczenie. Dodatkowa wymienna część pośrednia daje możliwość zastosowania śrub całkowicie odizolowanych od środowiska jamy ustnej podczas ich integracji. Ponadto uzyskuje się możliwość zmiany rozwiązania protetycznego w przyszłości (wymieniamy sam łącznik) (rys.2) [9].



Rysunek 2. Zamocowanie korony na implantcie dwuczęściowym wprowadzonym do luki międzyzębowej [10]

Figure 2. Attaching the crown on the two-piece implant as placed on the interdental gap [10]

Dzięki zastosowaniu implantów możliwe jest osiągnięcie rozwiązań stomatologicznych, których nie można zrealizować przy użyciu klasycznych mostów. Implant wprowadza się do luki międzyzębowej, na nim zaś mocuje się koronę. W przypadku tradycyjnego mostu konieczne jest spiłowanie często zdrowych zębów sąsiadujących [10].

4. MATERIAŁ DO BADAŃ

Do badań wykorzystano łączniki wykonane z tlenku cyrkonu dwuczęściowych wszczepów stomatologicznych wybranych producentów: Swiss-Medent, Robocam oraz Wieland.

Materiały ceramiczne stanowią najbardziej zaawansowane biomateriały - jako jedyne charakteryzują się zdolnościami adaptacyjnymi w odniesieniu od żywych struktur organizmu. Ze względu na swoją biogodność, wysoką wytrzymałość na siły działające podczas gryzienia, odporność na działanie kwasowego środowiska, małą przewodność cieplną oraz odporność na ścieranie tlenek tytanu jest często stosowany jako materiał na implanty stomatologiczne. Ponadto łączy się on z komórkami kostnymi i dzięki temu stabilnie i trwale zakotwicza w szczęce lub żuchwie [10].

Wszczepy wykonane z tlenku cyrkonu uzyskują podobne własności jak te wykonane z tlenku tytanu, przy czym mogą one wytrzymać nawet trzy krotnie większe obciążenie w porównaniu do implantów z tlenku tytanu. Ponadto tlenek cyrkonu odbija światło oraz ma wygląd taki sam jak naturalny ząb. Dzięki czemu po latach użytkowania kiedy nieuchronnie nastąpi zanik kości nie będzie widoczna ciemna metaliczna powierzchnia śruby [4].

Tlenek cyrkonu posiada trzy odmiany krystalograficzne: jednoskośną, regularną oraz tetragonalną. W trakcie chłodzenia przy temperaturze około 1000 °C zachodzi przemiana fazowa, która idzie w parze ze zmianą objętości w granicach 3-4 %. Generowane są pęknięcia spowodowane naprężeniami, które to mogą doprowadzić do zniszczenia implantu. W celu przeciwdziałania temu procesowi, zostają wprowadzone stabilizatory w postaci tlenków CaO, MgO, CeO₂, Y₂O₃ dzięki czemu powstają wielofazowe materiały. W odniesieniu do biokompatybilności ceramika oparta na tetragonalnym tlenku cyrkonu, stabilizowanym tlenkami itru lub ceru, zbliżona jest do biokorundu. Odpowiedni zespół własności mechanicznych ZrO₂ związany jest z drobnoziarnistą, metastabilną strukturą [5,10].

5. METODYKA BADAŃ

W celu przeprowadzenia badań próbki zostały najpierw sonikowane w płuczce ultradźwiękowej w izopropanolu przez 15 minut celem usunięcia możliwych zanieczyszczeń. Następnie przyklejono je do krążków stalowych za pomocą taśmy dwustronnej celem stabilizacji.

Ocenę jakości powierzchni próbek przeprowadzono przy użyciu mikroskopu sił atomowych JPK Nanowizzard III w zakładzie Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Podczas badania zarejestrowano mapy: topografii, adhezji oraz obraz sił lateralnych. Celem precyzyjnego wyznaczenia sił oddziaływania między próbką, a ostrzem, przeprowadzono kalibrację każdego z wykorzystanych próbników AFM. Po ustawieniu lasera, rejestrowano krzywą siła-odległość na powierzchni o module Younga znacznie większym niż moduł próbника. Z tej krzywej, wyznaczono zależność między napięciem na pozycyjnie czulej fotodiodzie (V), a ugięciem mikrobilki (nm). Następnie, w znacznej odległości od podłoża z widma swobodnych drgań termicznych wyznaczono stałą

sprężystości cantilevera. Pozwoliło to na obliczenie efektywnej siły oddziaływania między próbką a ostrzem AFM.

Początkowo pomiary prowadzono w trybie kontaktowym przy użyciu cantileverów firmy Sicona o stałej sprężystości równej 0.215 N/m. Uzyskanie poprawnych obrazów w tym trybie było bardzo trudne ze względu na dużą porowatość próbek.

Ostatecznie pomiary przeprowadzono w trybie Quantitative Imaging (QI). Polega na skanowaniu powierzchni próbki punkt po punkcie. W każdym punkcie, mierzona jest zależność siła-odległość: ostrze porusza się w kierunku pionowym, następuje dojazd ostrza do powierzchni do zadanej siły granicznej (setpoint), a następnie jego powrót do położenia początkowego. Proces taki pozwala uzyskać dokładność niedostępną dla innych trybów pomiaru AFM, gdyż eliminuje zniekształcenia powstające w wyniku adhezji. Tryb ten eliminuje również skutki degradacji próbki wynikające z zagarniania materiału przez ostrze belki poruszającej się po powierzchni próbki. Akwizycja pełnej krzywej zależności siła-odległość umożliwia wyznaczenie rozkładu siły adhezji na badanej powierzchni.

Uzyskane obrazy pozwoliły na obliczenie chropowatości poszczególnych próbek - odczytano ją przy pomocy programu Gwydion. Na każdej próbce przebadano obszar o wymiarach 10x10 μm z rozdzielczością 512x512 pixeli.

6. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Na rysunku 3 przedstawiono odwzorowanie topografii powierzchni badanych łączników.

W tabelicy 1 zestawiono parametry charakteryzujące powierzchnię poszczególnych łączników: chropowatość (R_a), największa powierzchnia czynna (Surface Area), wahanie wysokości (RMS). Zostały one obliczone na podstawie zgromadzonych wyników przy pomocy programu Gwydion.

Na rysunku 4 przedstawiono obraz sił lateralnych badanych łączników, który informuje nas o ich własnościach trybologicznych. Siła lateralna to wartość poprzecznego ugięcia (skręcenia) skanującej belki spowodowane obecnością sił równoległych do powierzchni próbki, przede wszystkim sił tarcia powierzchniowego.

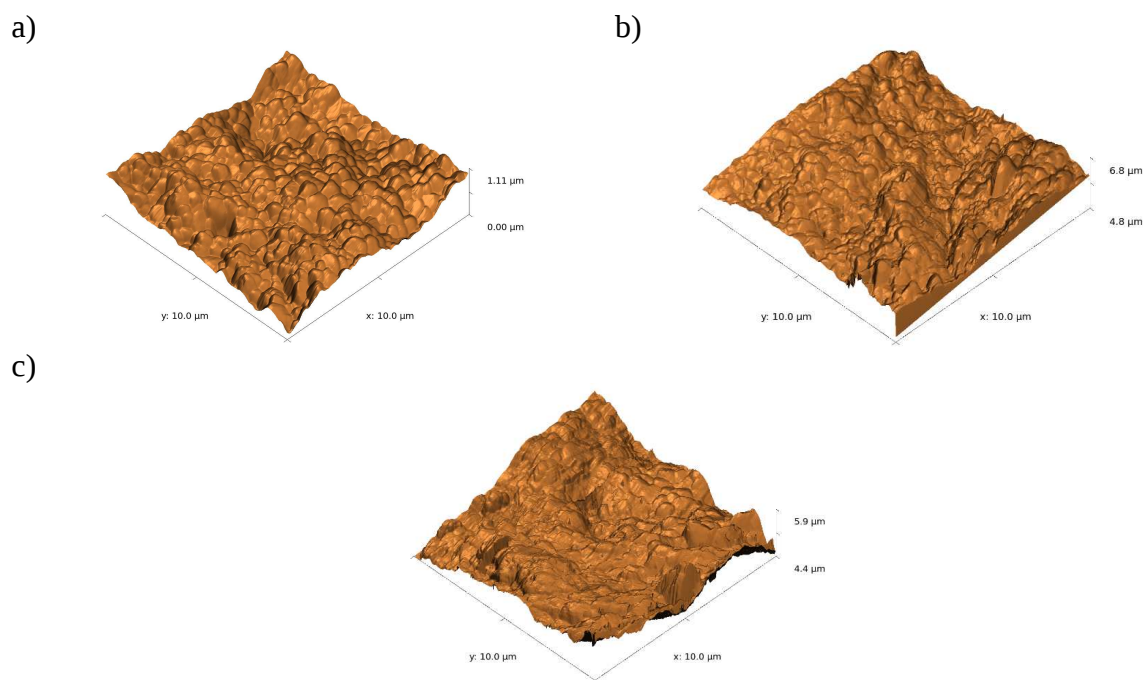
Na rysunku 5 przedstawiono obraz rozkładu siły adhezji na powierzchni łączników.

Tablica 1. Podstawowe parametry powierzchni próbek

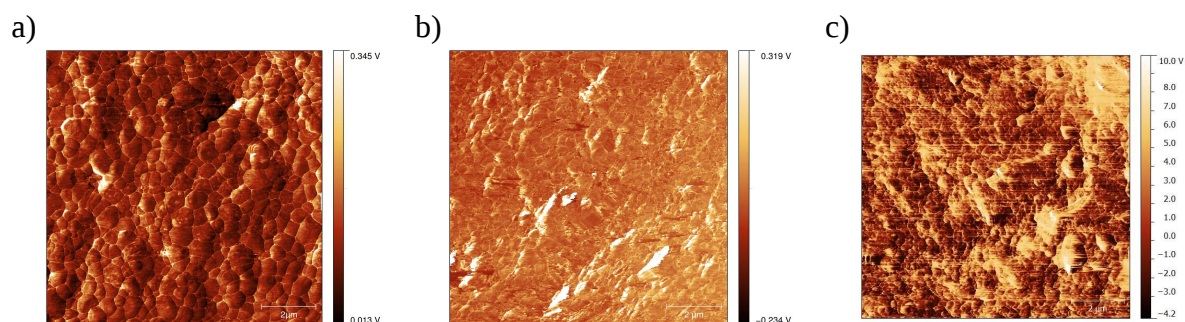
Table .1 Basic parameters of the surface of the samples

Próbka	R_a [μm]	RMS [μm]	Surface Area [μm^2]
Wieland	0.233	0.288	109.655
Robocam	0.366	0.427	147.407
Swiss-Medent	0.190	0.250	155.884

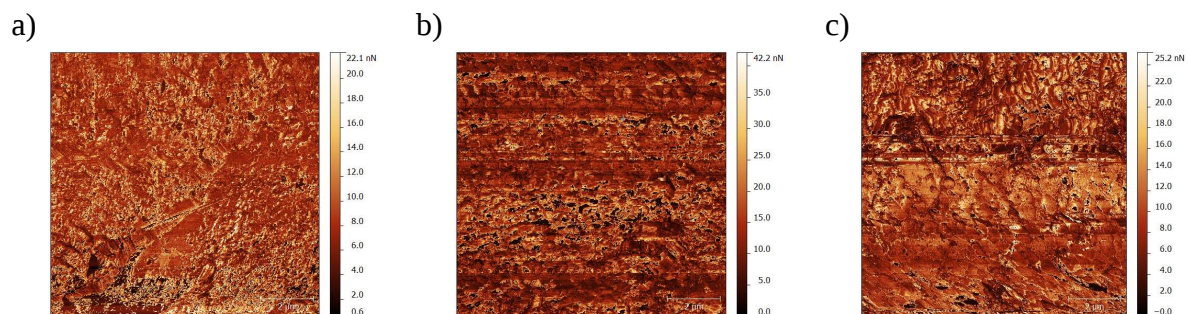
Na podstawie przeprowadzonych badań (odwzorowanie topografii powierzchni tabela 1 i rys. 3 oraz obrazu sił lateralnych rys. 4) stwierdzono, że największą chropowatością charakteryzuje się łącznik firmy Robocam. Daje to podstawy do stwierdzenia, że łącznik ten najlepiej pod względem własności wytrzymałościowych połączy się z materiałem korony na implantancie.



Rysunek 3. Topografia powierzchni łączników: a) Wieland, b) Robocam, c) Swiss-Medent
 Figure 3. Surface topography of abutments: a) Wieland, b) Robocam, c) Swiss-Medent



Rysunek 4. Obraz sił lateralnych łączników: a) Wieland, b) Robocam, c) Swiss-Medent
 Figure 4. Image of lateral force of abutments : a) Wieland, b) Robocam, c) Swiss-Medent



Rysunek 5. Obraz rozkładu siły adhezji na powierzchni łączników: a) Wieland, b) Robocam, c) Swiss-Medent
 Figure 5. Image of adhesion force on the surface of abutments : a) Wieland, b) Robocam, c) Swiss-Medent

Na podstawie obrazów pomiarów sił lateralnych badanych łączników stwierdzono, że najlepsze własności trybologiczne posiada łącznik firmy Robocam. Na obrazie rozkładu sił lateralnych na powierzchni próbki występuje najwięcej obszarów o maksymalnych wartościach tej siły a ich rozkład jest najbardziej równomierny.

Z analizy uzyskanych wyników rozkładu sił adhezji (rys. 5) wynika, że największe jej wartości przekraczające 40 nN posiada łącznik firmy Robocam. Na obrazie rozkładu sił łącznika tej firmy występuje najwięcej obszarów o wartości siły adhezji w przedziale 10-20 nN - 60%. Ilość obszarów o wartości siły adhezji w przedziale 20 nN dla pozostałych łączników wynosi: 19% dla łącznika firmy Swiss-Medent oraz 3% dla łącznika firmy Vieland.

7. PODSUMOWANIE

Najlepiej przygotowaną powierzchnię z punktu widzenia własności wytrzymałościowych połączenia implantów dwuczęściowych z koroną posiada łącznik firmy Robocam. Ma on największe wartości chropowatości, najlepsze własności trybologiczne oraz najkorzystniejszy rozkład sił adhezji na jego powierzchni. Tak przygotowana powierzchnia łącznika jest gwarantem prawidłowego zamocowania korony na implantcie dwuczęściowym.

Zastosowanie dwuczęściowych implantów wytwarzanych przy pomocy metod CAD/CAM zamocowanych w luce międzyzębowej jest najbardziej skutecznym sposobem uzupełnienia braków w uzębieniu z uwzględnieniem ich walorów estetycznych oraz własności wytrzymałościowych. Takie rozwiązanie technologiczne w najlepszy sposób przybliża własności, którymi charakteryzował się ząb, który musiał zostać usunięty.

Zastosowanie mikroskopu sił atomowych do oceny jakości materiałów stomatologicznych nie wymaga ich niszczenia i daje szerokie spektrum bardzo dokładnych własności do analizy związanych z ich powierzchnią.

LITERATURA

- [1] M. Persson, M. Andersson, B. Bergman, The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 74/3, 223-9, 1995.
- [2] E.D. Rekow, Dental CAD-CAM systems: what is the state of the art?, *Journal of the American Dental Association*, 122, 43-48, 1991.
- [3] M. Gładkowska, P. Montefka, Porównanie systemów CAD / CAM stosowanych we współczesnej protetyce stomatologicznej, *Protetyka Stomatologiczna*, 63/2, 105-113, 2008.
- [4] S. Majewski, Nowe technologie wytwarzania stałych uzupełnień zębowych: galwanofarming , technologia CAD / CAM , obróbka tytanu i współczesne systemy ceramiczne, *Protetyka Stomatologiczna*, 62/2, 124-131, 2007.
- [5] G.K. Davidowitz, The use of CAD/CAM in dentistry, *Dental Clinics of North America*, 55/3, 559-570, 2011.
- [6] N. Martin, N.M. Jedynakiewicz, Clinical performance of CEREC ceramic inlays: a systematic review, *Dental Materials*, 15/1, 54-61, 1999.
- [7] S.W. Majewski, Rekonstrukcja zębów uzupełnieniami stałymi, Wydawnictwo Fundacji Rozwoju Protetyki, Kraków, 2005.
- [8] K.B. May, M.M. Russell, M.E. Razzoog, B.R. Lang, Precision of fit: the Procera All Ceram crown, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 80/4, 394-404, 1998.

- [9] S. Eugeniusz, Protetyka stomatologiczna, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 1999.
- [10] J. Marciniak, M. Kaczmarek, A. Ziębowicz, Biomateriały w stomatologii, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2008.