

Modelowanie koron i ocena dokładności odwzorowania kształtu filarów protetycznych

Streszczenie. Celem opracowania była ocena *in vitro* dokładności odwzorowania pola protetycznego z zastosowaniem różnych mas wyciskowych. Dla porównania dokładności kształtu odwzorowanych numerycznie rzeczywistych filarów protetycznych z modelami filarów testowych uzyskanych techniką replik zastosowano program Geomagic Qualify. Badania pozwoliły stwierdzić, że dokładność wymiarowa modeli filarów protetycznych uzyskanych z wykorzystaniem badanych mas elastycznych, zapewnia na różnym poziomie odwzorowanie kształtu dla procedur modelowania i wykonawstwa koron.

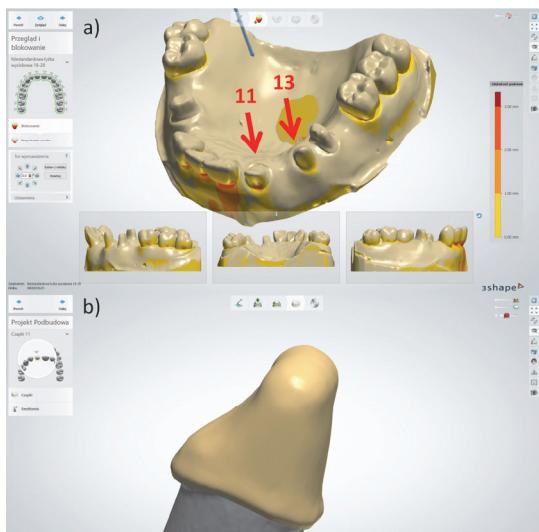
Abstract. The aim of the study was to evaluate *in vitro* the accuracy of the prosthetic field mapping using different impression materials. For comparison, the accuracy of the shape of the mapped numerically the real prosthetic abutments with models of the test abutments obtained a replica technique used program Geomagic Qualify. The study revealed that dimensional accuracy of the models prosthetic abutments obtained with the using of surveyed the elastic masses, provides various levels of shape mapping for the modeling procedures and execution of crowns. (**Modeling crowns and assessment of the accuracy of mapping the shape of prosthetic abutments.**)

Słowa kluczowe: filar protetyczny, technika replik, modele numeryczne, analiza 3D, błędy kształtu.

Keywords: prosthetic abutment, a replica technique, numerical models, the analysis of 3D, shape errors.

Wprowadzenie

W procesie wykonawstwa koron protetycznych bardzo ważną procedurą jest dokładność odwzorowania kształtu opracowanego filara protetycznego w tworzonej indywidualnie dla pacjenta konstrukcji stałej [1-5]. Na dokładność tego odwzorowania ma wpływ: leczenie przedprotetyczne oraz wstępne etapy leczenia protetycznego, sposób przygotowania i opracowania zęba filarowego, precyza jego odwzorowania oraz tkanek sąsiednich, dokładność modeli jak również dokładność wykonania oraz odwzorowania kształtu w procesach technologicznych. Na każdym etapie tych procedur mogą wystąpić błędy odwzorowania, które będą decydować o warunkach osadzenia korony i jej szczelności względem filara, co ostatecznie zadecyduje o powodzeniu leczenia, jego skuteczności i długoterminowości. Analiza geometryczna korony obejmuje ukształtowanie strefy przydziasowej, ocenę szczelności brzeżnej oraz dopasowanie między filarem zębowym, a podbudową korony (Rys.1) [4,6-8].



Rys.1. Modelowanie rekonstrukcji protetycznej w systemie CAD/CAM (Kavo Everest firmy KaVo): a) lokalizacja zębów filarowych w modelu szczęki, b) projektowanie podbudowy korony protetycznej na zębie 13.

Cel

Celem opracowania jest ocena *in vitro* dokładności odwzorowania pola protetycznego z zastosowaniem różnych mas wyciskowych, w aspekcie klinicznych procedur *in vivo*. Zastosowana metodyka pozwoliła odpowiedzieć na następujące pytania:

1. z wykorzystaniem której masy można uzyskać najlepsze dopasowanie do opracowanego klinicznie rzeczywistego filara protetycznego,
2. która z mas elastycznych charakteryzuje się najlepszą dokładnością odwzorowania ze względu na swoje parametry reologiczne i kompatybilność w procesie odlewania,
3. którą masą przy pobraniu wycisku negatywowego można uzyskać docelowo najlepszą szczelność koron.

Materiał i metoda badań

Materiałem badań były zęby szczęki w liczbie po 10 sztuk siekaczy i 10 sztuk kłów. Zęby zostały ustabilizowane w podstawkach akrylowych i odpowiednio oszlifowane ze stopniem pełnym rozwartym celem zaopatrzenia ich koronami protetycznymi. Kąt rozwarcia stopnia wynosił $140^\circ \pm 4^\circ$. Następnie, z wykorzystaniem programu do systemu KaVo, przeprowadzono skanowanie tak opracowanych filarów protetycznych oraz wykonano przestrzenne rekonstrukcje CAD, które stanowiły modele referencyjne. Skanowanie przeprowadzono z zastosowaniem skanera optycznego Everest scan pro 06 1086 firmy KaVo o zmiennej szerokości prążków światła strukturalnego. Precyza pomiarów wynosiła 20 μm . W kolejnej procedurze pobrano wyciski – modele negatywowe opracowanych filarów zębowych następującymi masami wyciskowymi:

1. silikonową addycyjną o konsystencji gęstej Bisico S1 soft (mieszane ręcznie) oraz wycisk dopełniający masą rzadką Bisico Super Hydrophil S4 Suhy (mieszane mechanicznie) firmy Bisico – wyciski dwuczasowe,
2. alginateową klasą A z chromatycznym wskaźnikiem fazy Kromopan 100 firmy Lascod (mieszane mechanicznie),
3. polieterową o średniej gęstości Impregum Penta (mieszane mechanicznie) oraz wycisk dopełniający Permadyne Galant (mieszane mechanicznie) firmy 3M ESPE – wyciski dwuczasowe,

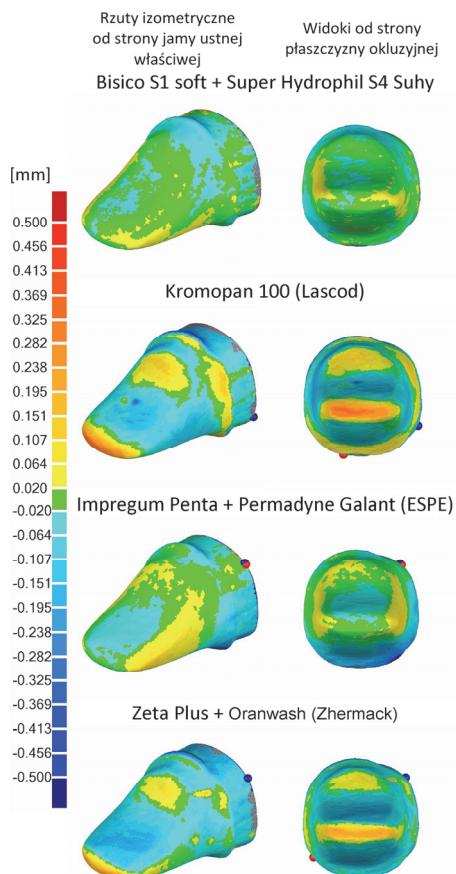
4. silikonową kondensacyjną Zeta Plus (mieszane ręcznie) oraz wycisk dopełniający Oranwash (mieszane ręcznie) firmy Zhermack – wyciski dwuczasowe.

Na podstawie tych wycisków po 1 godzinie odlano modele gipsowe kikutów zębów filarowych z wykorzystaniem super twardego gipsu typu IV Fujirock EP Pastel Yellow firmy Fuji. Uzyskane fizyczne modele gipsowe opracowanych zębów filarowych odwzorowanych różnymi masami skanowano z zastosowaniem tego samego skanera Everest scan pro. Utworzono w ten sposób 80 wirtualnych, przestrzennych modeli testowych.

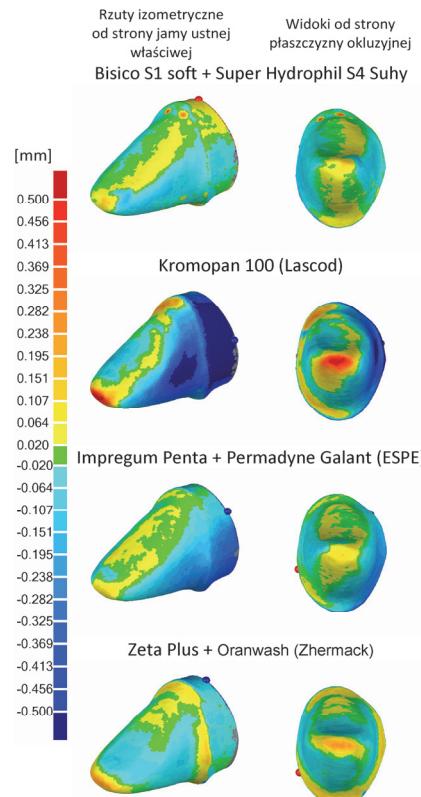
Dla porównania dokładności kształtu odwzorowanych numerycznie rzeczywistych filarów protetycznych (referencyjnych) z modelami filarów testowych uzyskanych na podstawie modeli negatywowych z wykorzystaniem różnych zestawów mas wyciskowych, zastosowano program Geomagic Qualify. Program ten, w procedurze najlepszego dopasowania kształtu, ustawia automatycznie porównywane bryły, a następnie identyfikuje dodatnie i ujemne odchyłki wynikające z dokładności odwzorowania kształtu modelu testowego zęba filarowego względem modelu referencyjnego.

Wyniki badań

Program Geomagic Qualify umożliwił porównanie dopasowania zębów filarowych do odlewów gipsowych tych zębów, uzyskanych jako repliki, na podstawie wycisków z zastosowaniem różnych mas przygotowanych według zaleceń producentów i pobranych zgodnie z procedurami klinicznymi. W procedurach badawczych przeprowadzono analizy dla 10 filarowych zębów siecznych szczęki po stronie prawej (o oznaczeniu 11) i 10 filarowych kłów szczęki po stronie prawej (o oznaczeniu 13).



Rys.2. Mapa błędów odwzorowania kształtu filarowych zębów siecznych z wykorzystaniem różnych zestawów mas wyciskowych



Rys.3. Mapa błędów odwzorowania kształtu filarów zębów trzecich (kłów) z wykorzystaniem różnych zestawów mas wyciskowych

Dla każdego z tych filarów wykonano odlewy gipsowe poprzez odwzorowanie negatywowe czterema wyżej wymienionymi zestawami mas wyciskowych. Na rysunku 2 i 3 zamieszczono wybrane mapy błędów odwzorowania kształtu filarowych zębów siecznych oraz kłów z wykorzystaniem klinicznych mas elastycznych w rzutach izometrycznych od strony jamy ustnej właściwej oraz w widokach od strony płaszczyzny okluzyjnej.

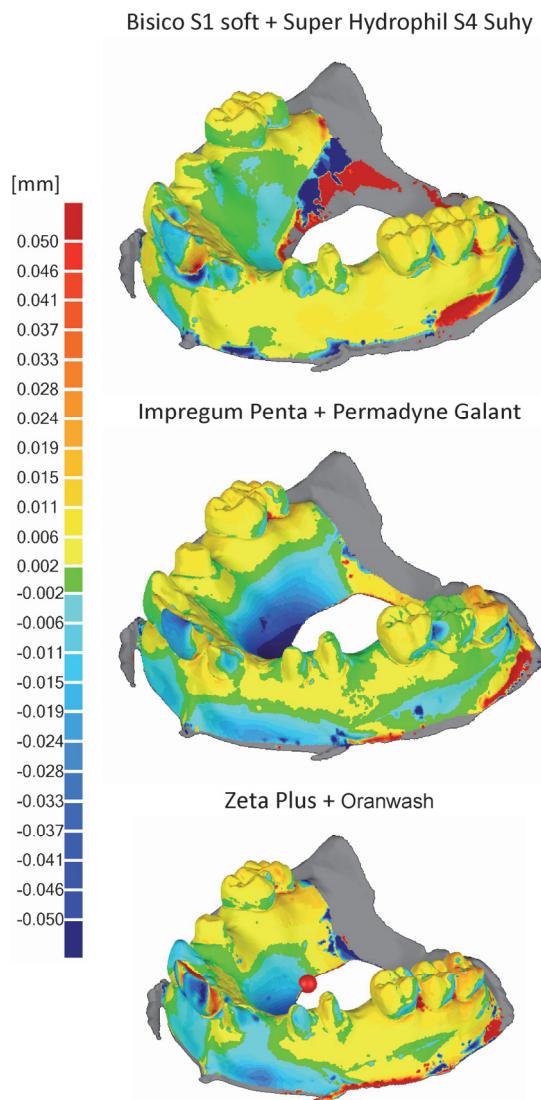
Analizy raportów, w formie map i zestawień zbiorczych wskazują, że wszystkie histogramy i mapy charakteryzują się symetrycznym rozkładem i małymi wartościami dodatnimi i ujemnymi odchyłek kształtu (Tab.1).

Tabela 1. Zestawienie zbiorcze maksymalnych i minimalnych odchyłek kształtu filarów zębów siecznych (11) i kłów (13) wraz z odchyleniem standardowym.

Filar	Rodzaj masy	Odchyłki dokładności odwzorowania kształtu zębów filarowych, mm		
		Odchyłki 3D max	Odchyłki 3D min	Odchylenie standardowe
Zęby pierwsze (sieczne, 11)	Bisico S1+S4	0,106	-0,158	0,035
	Kromopan	0,421	-0,348	0,062
	Impregum + Permadyne	0,095	-0,088	0,041
	Zeta + Oranwash	0,284	-0,238	0,047
Zęby trzecie (kły, 13)	Bisico S1+S4	0,148	-0,263	0,042
	Kromopan	0,448	-0,398	0,058
	Impregum + Permadyne	0,115	-0,206	0,036
	Zeta + Oranwash	0,247	-0,271	0,039

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badane zestawy mas wyciskowych, za wyjątkiem masy Kromopan, zapewniają właściwe odwzorowanie kształtu filarów protetycznych. W odwzorowaniach z

wykorzystaniem mas: silikonowych addycyjnych Bisico S1 soft i wycisk dopełniający Bisico Super Hydrophil S4 Suhy, polieterowych Impregum Penta i wycisk dopełniający Permadyne Galant oraz silikonowych kondensacyjnych Zeta Plus i wycisk dopełniający Oranwash stwierdzono rozkłady odchyłek dodatnich i ujemnych o bardzo małych wartościach (odch. maks. +0,284mm, odch. min. -0,271mm) (Rys. 2, 3). Charakter odwzorowania obszarów wkleśnych i wypukłych związany z parametrami reologicznymi użytej masy zaobserwowano dla odwzorowań następującymi masami: hydrokoloidową Kromopan oraz wycisku dwuczasowego, dwuwarstwowego masą silikonową kondensacyjną Zeta Plus i Oranwash (Rys. 2, 3). W obu zestawach stwierdzono odchyłki dodatnie – w strefie opracowanej powierzchni brzegu siecznego, odchyłki ujemne – w strefie ściany bocznej.



Rys.4. Mapa błędów odwzorowania pola protetycznego z wykorzystaniem różnych zestawów mas wyciskowych.

Dla obu tych mas zauważono, że ukierunkowanie strefy płynięcia oraz lokalizacja i kształt odwzorowywanego obszaru mają wpływ na wystąpienie odchyłek dodatnich i ujemnych w stosunku do modelu referencyjnego. Ponadto dla odwzorowań filarów zębowych na podstawie masy Kromopan stwierdzono niekorzystny rozkład odchyłek na odwzorowywanym stopniu - wprawdzie o niewielkich wartościach, ale zmieniających się z dodatnich na ujemne –

co w warunkach dopasowania kształtu będzie powodować wystąpienie błędu sumacyjnego.

Najlepszą dokładnością odwzorowania kształtu rzeczywistego filara protetycznego wyróżniają się odlewy filarów gipsowych uzyskane na podstawie wycisków negatywowych dwuczasowych, dwuwarstwowych silikonową masą addycyjną o konsystencji gęstej Bisico S1 soft oraz silikonową addycyjną o konsystencji rzadziej Bisico Super Hydrophil S4 Suhy. Ponadto z wykorzystaniem tych dwuczasowych, dwuwarstwowych wycisków Bisico S1 soft i Bisico Super Hydrophil S4 Suhy osiągnięto najlepszą ostrokonturowość w strefie stopnia. Porównywalną ostrokonturowością charakteryzuje się odwzorowanie stopnia masą Impregum Penta i Permadyne Galant.

Odwzorowania zębów filarowych z zastosowaniem następujących mas elastycznych: silikonowych addycyjnych oraz kondensacyjnych stosowanych w wyciskach dwuczasowych, dwuwarstwowych oraz polieterowych stosowanych w wyciskach dwuwarstwowych, dwuczasowych zapewniły optymalną dokładność, polegającą na najlepszym dopasowaniu do klinicznie opracowanego filara protetycznego oraz najlepszą ostrokonturowość w strefie odwzorowywanego stopnia (Rys. 4).

Omówienie i dyskusja

Zastosowany program stanowi wiarygodne narzędzie do analizy geometrycznej opracowanych klinicznie zębowych filarów protetycznych. Z uwagi na bardzo dobrą wizualizację analizowanych kształtów może on weryfikować pracę lekarza protetyka, który opracowanie zęba pod koronę – zębowy filar protetyczny wykonuje w procedurze szlifowania wiertłem z wolnej ręki. Procedura ta wymaga, aby w zabiegu oszczędzającym tkanki oraz odpowiedniej preparacji strefy przydziąsowej utworzyć na obwodzie zęba stopień ze stałym kątem rozwarcia. Celem takiego opracowania zęba jest stworzenie warunków do osadzenia wykonywanej korony, która będzie miała odpowiednią szczelność i retencję oraz nie wystąpią strefy spiętrzenia naprężen w okluzy i żuciu.

Dokładność odwzorowania można ocenić poprzez dopasowanie lub szczelność konstrukcji. Dla długoterminowej skutecznej terapii z wykorzystaniem uzupełnień stałych konieczna jest szczelność konstrukcji [9,10]. Nieakceptowalna klinicznie szczelność brzeżna może spowodować wypłukanie cementu z biologicznymi powikłaniami takimi jak wtórna próchnica, problemy z przypiekiem oraz zapalenie miazgi [5,9]. Nierównomierna szczelina wewnętrzna może powodować wykruszanie się cementu spowodowane nierównomiernością nacisków kontaktowych w warunkach żucia i również skutkować rozszczelnieniem korony i obluzowaniem. Definicja terminu szczelność jest różna w różnych badaniach. Ponadto stosowane są różne techniki pomiaru szczelin brzeżnych i wewnętrznych [3,4,7,9]. Wraz ze zwiększającą się liczbą technik projektowania w stomatologii rekonstrukcyjnej szczególnego znaczenia nabierają numeryczne metody oceny dokładności odwzorowania kształtu.

Problem dokładności odwzorowania filarów protetycznych, który stanowi podstawę docelowego wykonania optymalnej korony, szczególnie w systemach CAD/CAM, jest analizowany przez wielu badaczy [2-4,1114]. Dotyczy on wykonawstwa różnych rozwiązań konstrukcyjnych koron. Analizowany jest w koronach na podbudowie metalowej licowanych ceramiką [1,2,15], koronach ceramicznych [15-18], koronach ceramicznych z tlenku cyrkonu stabilizowanego itrem [3,11]. Metody oceny dokładności odwzorowania filarów polegają na fizycznych

pomiarach filara protetycznego i pomiarach odwzorowań wnętrza podbudowy z wykorzystaniem wycisku woskowego [1,4], wykorzystują technikę skanowania modeli referencyjnych i replik [3,4,19], analizę dopasowania korony z wykorzystaniem mikro CT [9] lub CT [20] oraz analizę kształtu z wykorzystaniem światła strukturalnego [5]. Jednak żadna z tych metod nie wykorzystuje bezstronnego narzędzia – oceny dopasowania w automatycznej procedurze numerycznej wolnej od błędów związanych z osobą wykonującą pomiar.

Wnioski

Opracowana i zastosowana obiektywna metoda jest właściwa do kontroli i oceny odwzorowania pola protetycznego.

Zastosowany program Geomagic Qualify stanowi wiarygodne narzędzie analizy 3D do oceny procedury opracowania zęba filarowego oraz wskazania błędów kształtu opracowanej powierzchni okluzyjnej, powierzchni bocznej filara oraz błędów ukształtowania strefy stopnia.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że dokładność wymiarowa modeli gipsowych filarów protetycznych w zębach siecznych i kłach uzyskanych z wykorzystaniem badanych mas elastycznych silikonowych oraz polieterowych, z zachowaniem reguł ich przygotowania i pobierania wycisków, wystarczająco zapewnia odwzorowanie kształtu dla dalszych procedur modelowania i wykonawstwa koron.

Autorzy: dr n. med. Wojciech Ryniewicz, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Wydział Lekarski, Katedra Protetyki Stomatologicznej, ul. Montelupich 4, 31-155 Kraków, E-mail: wojciech@rynievicz.pl; dr hab. inż. Anna M. Ryniewicz, prof. AGH, Akademia Górnictwa-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: anna@rynievicz.pl; mgr inż. Łukasz Bojko, Akademia Górnictwa-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: lbojko@agh.edu.pl

LITERATURA

- [1] Pieralini A.R.F., Nogueira F., Ribeiro R.F., Adabo G.L., Improvement to the marginal coping fit of commercially pure titanium cast in phosphate-bonded investment by using a simple pattern coating technique, *The Journal of prosthetic dentistry*, 108 (2012), nr.1, 51-57.
- [2] Quante K., Ludwig K., Kern M., Marginal and internal fit of metal-ceramic crowns fabricated with a new laser melting technology, *Dental Materials*, 24 (2008), nr.10, 1311-1315.
- [3] Persson A., Andersson M., Oden A., Sandborgh-Englund G., A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner, *The Journal of prosthetic dentistry*, 95 (2006), nr.3, 194-200.
- [4] Renne W., McGill S.T., Forshee K.V., DeFee M.R., Mennito A.S., Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors, *The Journal of prosthetic dentistry*, 108 (2012), nr.5, 310-315.
- [5] Schaefer O., Watts D.C., Sigusch B.W., Kuepper H., Gentsch A., Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility, *Dental Materials*, 28 (2012), nr.3, 320-326.
- [6] Yuan F., Sun Y., Wang Y., Lv P., Computer-aided design of tooth preparations for automated development of fixed prosthodontics, *Computers in biology and medicine*, 44 (2014), 10-14.
- [7] Wöstmann B., Rehmann P., Trost D., Balkenhol M., Effect of different retraction and impression techniques on the marginal fit of crowns, *Journal of dentistry*, 36 (2008), nr.7, 508-512.
- [8] Kuchta M., Wnuk M., Modeling of resilient support of a dental prosthesis, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr.12, 7982.
- [9] Rungruananunt P., Kelly J.R., Adams, D.J., Two imaging techniques for 3D quantification of pre-cementation space for CAD/CAM crowns, *Journal of dentistry*, 38 (2010), nr.12, 9951000.
- [10] Laurent M., Scheer P., Dejou J., Laborde G., Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns-validation of the silicone replica metod, *Journal of oral rehabilitation*, 35 (2008), nr.2, 116-122.
- [11] Moldovan O., Luthardt R.G., Corcodel N., Rudolph H., Threedimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings, *Dental Materials*, 27 (2011), nr.12, 1273-1278.
- [12] Litzenburger A.P., Hickel R., Richter M.J., Mehl A.C., Probst F.A., Fully automatic CAD design of the occlusal morphology of partial crowns compared to dental technicians' design, *Clinical oral investigations*, 17 (2013), nr.2, 491-496.
- [13] Zhou L.B., et al., Accurate reconstruction of discontinuous mandible using a reverse engineering/ computer-aided design/rapid prototyping technique: a preliminary clinical study, *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 68 (2010), nr.9, 2115-2121.
- [14] Bindl A., Mörmann W.H., Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations, *J. Oral Rehabil.*, 32 (2005), nr.6, 441-447.
- [15] Zhang Z., Tamaki Y., Hotta Y., Miyazaki T., Novel method for titanium crown casting using a combination of wax patterns fabricated by a CAD/CAM system and a non-expanded investment, *Dental Materials*, 22 (2006), nr.7, 681-687.
- [16] Syrek A., Reich G., Ranftl D., Klein C., Cerny B., Brodesser J., Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling, *Journal of dentistry*, 38 (2010), nr.7, 553559.
- [17] Zafiropoulos G.G., Rebbe J., Thielen U., Deli G., Beaumont C., Hoffmann O., Zirconia removable telescopic dentures retained on teeth or implants for maxilla rehabilitation. Threeyear observation of three cases, *Journal of Oral Implantology*, 36 (2010), nr.6, 455-465.
- [18] Fahmy N.Z., Influence of veneering materials on the marginal fit and fracture resistance of an alumina core system, *Journal of Prosthodontics*, 20 (2011), nr.1, 45-51.
- [19] Nicoll R.J., Sun A., Haney S., Turkyilmaz I., Precision of fit between implant impression coping and implant replica pairs for three implant systems, *The Journal of prosthetic dentistry*, 109 (2013), nr.1, 37-43.
- [20] Polakowski K., Filipowicz S.F., Sikora J., Rymarczyk T., Quality of Imaging in Multipath Tomography, *Przegląd Elektrotechniczny*, 85 (2009), nr.12, 134-136.