

## Ocena szczelności koron protetycznych w zależności od technologii ich wykonania

**Streszczenie.** Celem opracowania była ocena *in vitro* szczelności koron ze stopu Co-Cr-Mo na zęby przedtrzonowe i trzonowe wykonanych w trzech technologiach: odlewania, frezowania i stapiania laserowego. Dla porównania dopasowania koron do filarów protetycznych stanowiących modele referencyjne wykorzystano skanowanie światłem strukturalnym i modelowanie w programie Geomagic Qualify 12. Badania pozwoliły stwierdzić, że szczelność koron protetycznych wykonanych w badanych technologiach jest porównywalna i spełnia wymogi kliniczne.

**Abstract.** The aim of the study was to assess the *in vitro* tightness crown alloy Co-Cr-Mo on the premolars and molars made in three technologies: casting, milling and laser melting. For comparison fitting crowns to the pillars of prosthetic on which the reference models used structured light scanning and modeling in the Geomagic Qualify 12. The study revealed that the tightness of the prosthetic crowns made in the tested technologies is comparable and meets the requirements of the clinical (Evaluation of tightness prosthetic crowns depending on the technology of their execution).

**Słowa kluczowe:** korona, dopasowanie, modelowanie, wykonawstwo.

**Keywords:** crown, fit, modeling, manufacturing.

### 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, precyzja jego odwzorowania oraz tkanek sąsiednich, dokładność modeli jak również dokładność odwzorowania kształtu i wykonania podbudowy w procesach technologicznych. Analiza geometryczna korony obejmuje ukształtowanie strefy przydziąsłowej, ocenę szczelności brzeżnej oraz dopasowanie między filarem zębowym, a podbudową korony [3,6-9]. Tradycyjną metodą otrzymywania struktury nośnej korony jest odlewanie na podstawie modelu woskowego. W ostatniej dekadzie powszechną metodą postępowania w protetyce stało się wytwarzanie koron w oparciu o metodę frezowania w procedurze CAD/CAM. Najnowocześniejszą metodą wykonawstwa jest technologia selektywnego topienia laserem – Selective Laser Melting (SLM) również w systemie CAD/CAM.

### Cel

Celem pracy jest ocena i porównanie dokładności odwzorowania kształtu koron protetycznych ze stopu Co-Cr-Mo wykonanych w trzech technologiach: technologii odlewania metodą traconego wosku, technologii frezowania oraz technologii SLM. Analizowano dopasowanie koron do filarów protetycznych zębów przedtrzonowych i trzonowych w płaszczyznach prostopadłych do łuków zębowych.

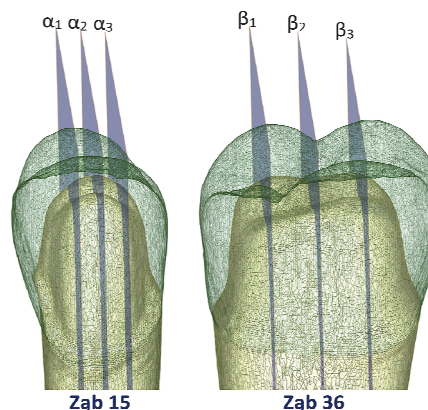
### Materiał i metoda badań

Materiałem badań były korony protetyczne ze stopu Co-Cr-Mo na drugi ząb przedtrzonowy szczęki po stronie prawej (ząb 15) i pierwszy ząb trzonowy żuchwy po stronie lewej (ząb 36) wykonane w ilości po 5 sztuk dla zębów 15 i 36 i dla każdej technologii (rys. 1, 2).

Ząb przedtrzonowy szlifowano na 5 fantomach uzębionej szczęki oraz ząb trzonowy szlifowano na 5 fantomach uzębionej żuchwy. Wykorzystano fantomy firmy KaVo. Korony zębów przedtrzonowego i trzonowego zostały oszlifowane ze stopniem pełnym rozwartym. Kąt rozwarcia stopnia wynosił  $140^{\circ} \pm 4^{\circ}$ . Wykonano modele

robocze składane pełnego łuku zębowego z zastosowaniem super twardego gipsu typu IV Fujirock EP Pastel Yellow firmy Fuji na podstawie wycisków dwuwarstwowych, jednoczasowych wykonanych masą silikonową addycyjną o konsystencji gęstej Bisico S1 soft firmy Bisico oraz wycisk dopełniającą masą rzadką Bisico Super Hydrophil S4 Suhy firmy Bisico. Modele referencyjne stanowiły zęby filarowe wydzielone z modelu roboczego. Dla technologii odlewania na modelach referencyjnych zęba przedtrzonowego wykonano 5 woskowych modeli koron i dla zęba trzonowego również 5 modeli, które wykorzystano w metodzie odlewania próżniowo-ciśnieniowego do wykonania 10 sztuk odpowiednich koron ze stopu Co-Cr-Mo (Brealloy, Bredent, Polska). Dla technologii frezowania i SLM opartych o procedurę CAD/CAM przeprowadzono skanowanie modeli referencyjnych oraz wykonano przestrzenne rekonstrukcje CAD (rys.1).

Skanowanie przeprowadzono z zastosowaniem skanera optycznego o zmiennej szerokości prążków światła strukturalnego - systemu Everest scan pro 06 1086 firmy KaVo. Dokładność pomiarów wynosiła 20  $\mu\text{m}$ , a rozdzielczość przestrzenna 0,02mm x 0,02mm x 0,02mm.

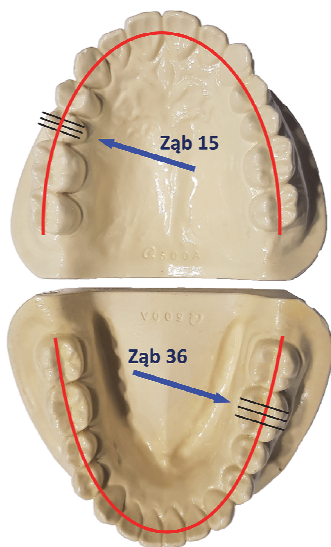


Rys.1. Korony protetyczne na zębach filarowych ze wskazaniem płaszczyzn przekroju do analizy dokładności odwzorowania kształtu względem filarów

Na podstawie plików STL wykonano po 5 sztuk koron frezowanych (stop Co-Cr-Mo, Renomed, Poznań, Polska) oraz po 5 sztuk koron w technologii SLM (Wirobond C+,

Bego Medical GmbH, Brema, Niemcy) odpowiednio na zęby 15 i 36. Wewnętrzny kształt koron replikowano przy zastosowaniu izolatora (Dura Lay Lubricant, Reliance Dental Mfg.Co., Worth, IL, USA) oraz szybkopolimeryzującej, ostrokonturowej masy akrylowej (Dura Lay II, Reliance Dental Mfg.Co., Worth, IL, USA). Uzyskane w ten sposób modele skanowano z zastosowaniem tego samego skanera Everest scan pro. Utworzono w ten sposób 30 wirtualnych, przestrzennych modeli testowych. Rozdzielczość przestrzenna siatki modelu: 0,1mm x 0,1mm x 0,1mm. W badaniach porównano dopasowanie koron wykonanych w trzech technologiach do modeli referencyjnych. Do analizy zastosowano metodę best fit oceny dopasowania z wykorzystaniem programu Geomagic Qualify 12. 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

) oraz szczelność wewnętrzną (internal fit -IF).



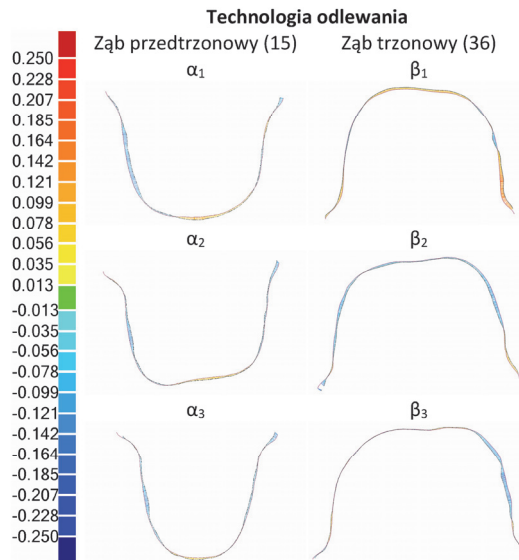
Rys.2. Lokalizacja odbudowywanych protetycznie zębów w widoku na łuki zębowe szczęki i żuchwy, ze wskazaniem płaszczyzn przekroju

### Wyniki badań

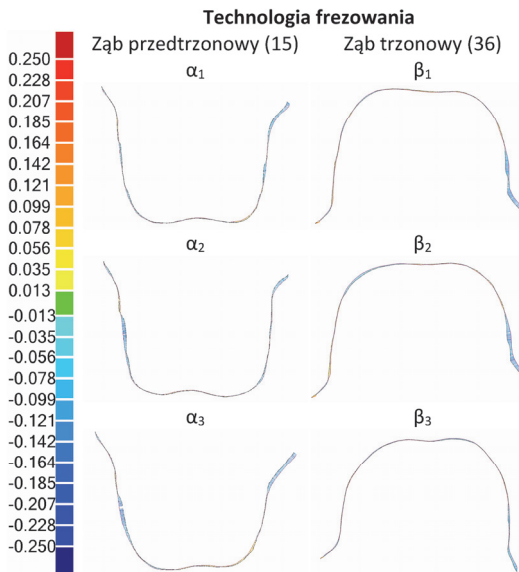
Program Geomagic Qualify 12 umożliwił porównanie dopasowania zębów filarowych do odpowiednich koron zębów wykonanych w omawianych technologiach. W procedurach badawczych przeprowadzono analizy szczelności 10 koron odlewanych, 10 koron frezowanych i 10 koron z SLM do odpowiadających modeli zębów filarowych, stanowiących modele referencyjne. Wyniki badań obejmują mapy rozkładu odchyłek dokładności odwzorowania kształtu koron w przekrojach płaszczyznami prostopadłymi do łuków (rys. 2). Dla każdego odbudowanego protetycznie zęba przedtrzonowego i trzonowego wykonano przekroje w trzech płaszczyznach: przekrój w płaszczyźnie prostopadłej do łuku zawierający oś długą zęba ( $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ) oraz dwa przekroje w płaszczyznach do niej równoległych – bliższą ( $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ) i dalszą ( $\alpha_3$ ,  $\beta_3$ ) (rys. 3, 4, 5).

W technologii odlewania występują równocześnie odchyłki ujemne o wartościach średnich  $-0,06$  mm i dodatnie o wartościach średnich  $+0,03$  mm. O dokładności wykonania koron w tej technologii niekorzystnie świadczy występowanie odchyłek dodatnich i ujemnych w strefie bocznej, które niestety będą się sumowały powodując błąd

w odwzorowaniu tych powierzchni. Występowanie ujemnych odchyłek w strefie stopnia o wartościach  $-0,08$  mm oraz odchyłek dodatnich  $+0,18$  mm będą powodowały błąd sumacyjny w odwzorowaniu stopnia – co stanowi największy mankament tej technologii (rys. 3).



Rys. 3. Mapy rozkładu odchyłek dokładności odwzorowania kształtu koron wykonanych w technologii odlewania w przekrojach płaszczyznami policzkowo – podniebiennymi prostopadłymi do łuku zębowego szczęki ( $\alpha$ ) oraz w przekrojach płaszczyznami policzkowo – językowymi prostopadłymi do łuku żuchwy ( $\beta$ )



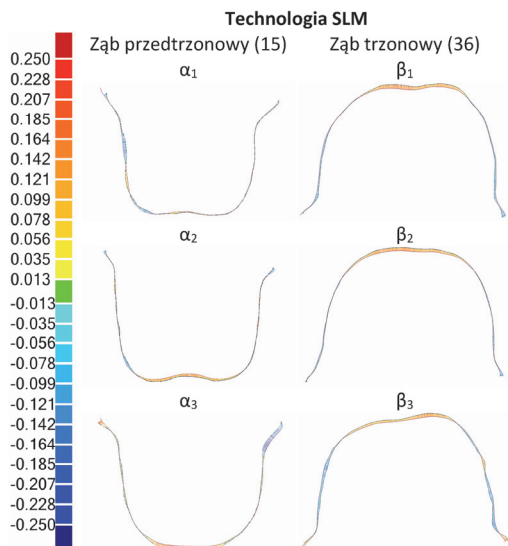
Rys. 4. Mapy rozkładu odchyłek dokładności odwzorowania kształtu koron wykonanych w technologii frezowania w przekrojach płaszczyznami policzkowo – podniebiennymi prostopadłymi do łuku zębowego szczęki ( $\alpha$ ) oraz w przekrojach płaszczyznami policzkowo – językowymi prostopadłymi do łuku żuchwy ( $\beta$ )

W technologii frezowania charakterystyczna jest przewaga odchyłek ujemnych o bardzo małych wartościach  $-0,03$  mm. Występuje bardzo dobre odwzorowanie: w strefie powierzchni bocznych (odchyłki  $-0,020$  mm), powierzchni dookluzyjnej (odchyłki  $-0,012$  mm) oraz stopni od strony powierzchni policzkowych dla przedtrzonowca i trzonowca (odchyłki  $-0,008$  mm) (rys. 4).

W technologii SLM występują średnie odchyłki dodatnie  $+0,08$  mm i ujemne  $-0,04$  mm. W strefie powierzchni

bocznych odchyłki przyjmują wartości ujemne  $-0,058$  mm oraz w strefie stopnia  $-0,06$  mm. Największe wartości odchyłek dodatnich, ze wszystkich analizowanych technologii, występują w obszarze powierzchni dookluzyjnej, maksymalne nawet  $+0,18$  mm (rys. 5).

Najlepsze odwzorowanie strefy stopnia występuje w technologii frezowania, porównywalne i nieco gorsze odwzorowanie stopnia ma miejsce w technologii SLM i odlewania.



Rys. 5. Mapy rozkładu odchyłek dokładności odwzorowania kształtu koron wykonanych w technologii SLM w przekrojach płaszczyznami policzkowo – podniebiennymi prostopadłymi do łuku zębowego szczęki ( $\alpha$ ) oraz w przekrojach płaszczyznami policzkowo – językowymi prostopadłymi do łuku żuchwy ( $\beta$ )

## Omówienie i dyskusja

Analiza wyników wskazuje, że korony wykonywane w technologii odlewania, frezowania i topienia laserowego są prawidłowe pod względem klinicznym. Rozkłady odchyłek dokładności odwzorowania kształtu koron względem filarów zębowych są istotne w aspekcie biomechanicznym. Stąd celem opracowania było porównanie dokładności odwzorowania w zależności od technologii wytworzenia – szczególnie, że oprócz tradycyjnego odlewania stosuje się cyfrowe metody wytwarzania konstrukcji protetycznych. Dokładność odwzorowania kształtu decyduje o szczelności koron w strefie wewnętrznej oraz w strefie stopnia. Najistotniejszy obszar stanowi strefa stopnia, ponieważ jest ona opracowywana klinicznie przez lekarza i występują w niej najwyższe wartości naprężeń w warunkach żucia i okluzji.

Zastosowany program stanowi wiarygodne narzędzie do analizy geometrycznej opracowanych klinicznie zębów filarów protetycznych i koron wykonanych na te zęby. Z uwagi na bardzo dobrą wizualizację analizowanych kształtów może on weryfikować pracę lekarza protetyka, który opracowanie zęba pod koronę – zębów filar protetyczny wykonuje w procedurze szlifowania wiertłem z wolnej ręki. Procedura ta wymaga, aby w zabiegu oszczędzającym tkanki oraz odpowiedniej preparacji strefy przydziąsłowej 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 naprężeń w okluzji i żuciu.

Dokładność odwzorowania można ocenić poprzez dopasowanie lub szczelność konstrukcji. Dla

długoterminowej skutecznej terapii z wykorzystaniem uzupełnień stałych konieczna jest szczelność konstrukcji [9,11]. Nieakceptowalna klinicznie szczelność brzeżna może spowodować wyplukanie cementu z biologicznymi powikłaniami takimi jak wtórna próchnica, problemy z przyzęciem oraz zapalenie miazgi [4,10]. 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 [2,3,7,10,12]. Wraz ze zwiększającą się liczbą technik projektowania w systemie CAD/CAM 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 [1-3,13,17]. Dotyczy on wykonawstwa różnych rozwiązań konstrukcyjnych koron. Analizowany jest w koronach na podbudowie metalowej licowanych ceramiką [1], koronach ceramicznych [18], koronach ceramicznych z tlenku cyrkonu stabilizowanego itrem [2]. Metody oceny dokładności odwzorowania koron i filarów polegają na fizycznych pomiarach odwzorowań wnętrza podbudowy z wykorzystaniem wycisku woskowego i pomiarach filara protetycznego [3,5], wykorzystują technikę skanowania modeli referencyjnych i replik [2,3,19,20], analizę dopasowania korony z wykorzystaniem mikro CT [10] lub CT [21] oraz analizę kształtu z wykorzystaniem światła strukturalnego [4,5]. Jednak żadna z tych metod nie wykorzystuje bezstronnego narzędzia – oceny dopasowania w automatycznej procedurze numerycznej wolnej od błędów związanych z osobą wykonującą pomiar.

Należy zwrócić uwagę, że dokładność odwzorowania kształtu w technologii odlewania jest znacznie bardziej uzależniona od czynnika ludzkiego niż w technologiach opartych o procedury CAD/CAM. Występują w niej duże straty materiału spowodowane koniecznością odciążenia wypełnionych metalem kanałów odlewniczych, a proces topienia i krzepnięcia stopu wpływa na pogarszanie właściwości mikromechanicznych uzyskanej konstrukcji.

Pomijając wyższe koszty wykonania w technologii SLM, a biorąc pod uwagę straty materiału i niszczenie narzędzi w technologii frezowania, można uznać technologię stapiania laserowego za perspektywiczną.

W przedstawionym opracowaniu analizowano dokładność odwzorowania kształtu koron względem filarów w przekrojach płaszczyznami prostopadłymi do łuku zębowego szczęki oraz żuchwy. Kolejnym zagadnieniem przewidzianym do analizy jest ocena dokładności odwzorowania koron w przekrojach płaszczyznami stycznymi do łuków zębowych.

## Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że szczelność koron protetycznych ze stopu Co-Cr-Mo wykonanych w technologii tradycyjnego odlewania oraz w technologii frezowania i technologii SLM jest porównywalna i spełnia wymogi kliniczne.

Zastosowany program Geomagic Qualify 12 stanowi wiarygodne narzędzie analizy 3D do oceny technologii wykonania korony oraz wskazania błędów dopasowania powierzchni bocznej korony (IF) oraz błędów ukształtowania strefy stopnia (MF).

Ocenę jakości koron protetycznych należy poszerzyć o badania dokładności odwzorowania w przekrojach płaszczyznami stycznymi do łuków zębowych oraz o analizy strukturalne i badania mikromechaniczne stopu Co-Cr-Mo uzyskanego w trzech badanych procesach technologicznych.

#### Podziękowania

Autorzy chcą serdecznie podziękować za wsparcie finansowe w ramach grantu dziekańskiego nr. WIMiR/kkem/44/15.11.130.967/2014.

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

#### LITERATURA

- [1] 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
- [2] Persson A., et al., A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner, *The Journal of prosthetic dentistry*, 95 (2006), nr.3, 194-200
- [3] 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
- [4] Schaefer O., Watts D.C., Sigusch B.W., Kuepper H., Guentsch 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
- [5] Ryniewicz W., Ryniewicz A.M., Bojko Ł., Modelowanie koron i ocena dokładności odwzorowania kształtu filarów protetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr.5, 146-149
- [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, 79-82
- [9] Boeckler A.F., Stadler A., Setz, J.M., The significance of marginal gap and overextension measurement in the evaluation of the fit of complete crowns, *J Contemp Dent Pract*, 6 (2005), nr.4, 26-37
- [10] Rungruanunt 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, 995-1000
- [11] Laurent M., Scheer P., Dejou J., Laborde G., Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns-validation of the silicone replica method, *Journal of oral rehabilitation*, 35 (2008), nr.2, 116-122
- [12] Kim K.B., et al., An evaluation of marginal fit of three-unit fixed dental prostheses fabricated by direct metal laser sintering system, *Dental Materials*, 29 (2013), nr.7, 91-96
- [13] Litzemberger 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
- [14] 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
- [15] 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
- [16] Ucar Y., Akova T., Akyil M.S., Brantley W.A., Internal fit evaluation of crowns prepared using a new dental crown fabrication technique: laser-sintered Co-Cr crowns, *The Journal of prosthetic dentistry*, 102 (2009), nr.4, 253-259
- [17] Ortorp A., Jonsson D., Mouhsen A., von Steyern P.V., The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: a comparative in vitro study, *Dental Materials*, 27 (2011), nr.4, 356-363
- [18] Syrek A., et al., 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, 553-559
- [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] Gajdus P., Niedzwiedzki T., Hędzielek W., Zastosowanie wybranych cyfrowych technologii w wytwarzaniu metalowych struktur protez stałych, *Protetyka stomatologiczna*, 64 (2014), nr.1, 5-10
- [21] Polakowski K., Filipowicz S.F., Sikora J., Rymarczyk T., Quality of Imaging in Multipath Tomography, *Przegląd Elektrotechniczny*, 85 (2009), nr.12, 134-136