

Wytwarzanie prac implantologicznych z wykorzystaniem otwartych systemów CAM/CNC

mgr inż. **Jakub Słoniewski**¹, dr hab. inż. **Piotr Czop**^{1,2}, tech. dent. **Magdalena Wojciechowska**¹

Istotnymi czynnikami wpływającymi w ostatnich latach na rozwój obszaru implantoprotetyki są zwiększająca się świadomość pacjentów, względy ekonomiczne oraz możliwość indywidualizacji uzupełnienia dla konkretnego pacjenta. W rezultacie zwiększającej się popularności i dostępności rozwiązań implantoprotetycznych pacjenci coraz częściej decydują się na leczenie implantologiczne, a rosnąca konkurencja na rynku implantów powoduje znaczący spadek cen dostępnych produktów z branży implantoprotetyki stomatologicznej. Względy ekonomiczne powodują, że pacjenci są w stanie ponieść większe koszty, które pozwolą na uniknięcie dodatkowych nakładów finansowych w przyszłości, co jest spowodowane większą trwałością rozwiązań implantoprotetycznych. Czynnikiem warunkującym rozwój implantoprotetyki jest starzejące się społeczeństwo. W Polsce według prognoz GUS liczba osób w wieku poprodukcyjnym zwiększy się z 5,12 mln do 8,35 mln (1). Istotnym czynnikiem analizowanym w tym artykule jest dostępna na rynku technologia CAD/CAM/CNC (2), której dynamiczny rozwój w latach 2002-2016 spowodował upowszechnienie się tej technologii w wiodących na rynku pracowniach techniki dentystycznej w Polsce. W efekcie możliwe stało się wytwarzanie prac implantologicznych uwzględniających indywidualne warunki implantacji, wprowadzenia oraz osadzenia uzupełnienia na łączniku, znacząco zmniejszając przy tym inwazyjność takiego zabiegu (2). Niejednokrotnie ze względu na trudne warunki implantacji wykorzystanie technologii CAD/CAM (3-4) jest jedynym możliwym rozwią-

zaniem pozwalającym na przygotowanie prac indywidualnych.

Podstawowym zadaniem oprogramowania CAM jest przygotowanie programu w kodzie zrozumiałym dla układu sterowania frezarki (np. kod G), który jest następnie wykonywany na frezarce CNC sterowanej numerycznie. Istotne jest przy tym, aby zarówno oprogramowanie CAM, jak i frezarka były systemami otwartymi, dającymi możliwość pełnej konfiguracji strategii obróbki (prędkości wrzeciona oraz posuwu roboczego), bazy materiałów (prefabrykaty, krążki), narzędzi (frezy), metod podmiany interfejsów (biblioteki implantów), implantów oraz wyboru postprocesorów, co umożliwi współpracę z różnymi typami frezarek różnych producentów. Istotna jest również możliwość zarządzania wyposażeniem frezarki CNC, w tym obsługa dodatkowych ramek producentów niezależnych (Medentica®, nt-Trading®) do prac wykonywanych z poziomu prefabrykatu, co z kolei umożliwi pracę z systemami producentów niezależnych oferujących zamienniki do systemów.

Systemy CAM dedykowane do prac implantologicznych

Rozwój rozwiązań różnych dostawców oprogramowania spowodował ukształtowanie się trendu funkcjonalności wspólnego dla większości otwartych programów CAM dostępnych na rynku. Warto sprawdzić, czy system, który posiadamy, daje takie możliwości, gdyż jest to inwestycja na lata, a przyzwyczajenie do obsługi interfejsu programu zapada głęboko w świadomość, przez co trudniej przychodzi nauka innego programu CAM. Należy również zwrócić uwagę, że wielu producentów frezarek CNC sprzedaje oprogramowanie wiodących producentów pod własną marką. Wtedy należy się upewnić, czy oryginalnie dostępne funkcje nie zostały zablokowane lub usunięte.

Zaawansowane rozwiązania dostępne w wiodących otwartych systemach CAM umożliwiają między inny-

TITLE: Making implantological restoration using open systems CAM/CNC

STRESZCZENIE: Artykuł omawia specyfikę pracy z systemem CAM/CNC przy wykonawstwie prac protetycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: odbudowa protetyczna, CAD/CNC

SUMMARY: The article describes the specificity of working using CAM/CNC systems to manufacture prosthetic restorations.

KEYWORDS: prosthetic restoration, CAD/CNC

mi modyfikację domyślnych oraz tworzenie nowych strategii obróbki, zarządzanie materiałami, zarządzanie narzędziami oraz wybór frezarki równoważny z wyborem odpowiedniego postprocesora.

Wśród funkcji optymalizujących pracę z oprogramowaniem należy wymienić automatyczne rozmieszczenie wytwarzanych prac w krążku, możliwość zapisu wykorzystanych krążków do dalszej pracy, dodawanie stabilizatorów do prac synteryzowanych czy też zaawansowane moduły wirtualnej symulacji obróbki, które umożliwiają ocenę jakości pracy jeszcze przed jej wykonaniem. Dzięki zastosowaniu symulacji możliwa jest ocena miejsc nieobrobionych ze względu na zbyt dużą średnicę użytego narzędzia (ryc. 2) lub wykrycie kolizji narzędzia w przypadku bardziej zaawansowanych prac przykręcanych (ryc. 3).

Wiodące systemy na rynku posiadają postprocesory do wielu frezarek, w tym do frezerek m.in. firm: Mikron®, DMG®, Hermle®, Roeders®, Ispen®, VHF®, MB-Maschinen®, Imes-Icore®, Roland®, Wieland®, Hint-els®, Yena®, Venture®, Macon®, Hurco®, Zeno®, Tecno-CN®, Righi® etc. Rozwój nowego postprocesora, nawet do bardzo niestandardowych frezerek typu Wissner Gamma 202 Dental D-5, jest możliwy w przeciągu 2-3 dni. Umożliwia to posiadanie jednej wersji otwartego oprogramowania CAM, które daje możliwość współpracy z wieloma frezarkami, bez konieczności jego wymiany w przypadku dokupienia nowej lub używanej obrabiarki.

Ze względu na coraz częstsze wykorzystywanie w pracowniach otwartych systemów CAD/CAM, pozwalających na wykorzystywanie zarówno materiałów, jak i narzędzi skrawających od różnych dostawców, dużą rolę odgrywa możliwość modyfikacji i tworzenia nowych strategii obróbki. Dostępność tej funkcjonalności pozwala na dostosowanie zarówno parametrów skrawania, takich jak: posuw, prędkość wrzeczona, głębokość skrawania czy grubość warstwy skrawanej, jak i wykorzystywanej trajektorii narzędzi w postaci tak zwanych ścieżek narzędzia.

Najważniejszymi zaawansowanymi funkcjonalnościami oprogramowania CAM w zakresie implantologii jest jednak

tak zwana możliwość podmiany interfejsów (ang. *interface replacement*) oraz zarządzania wyposażeniem frezarki. Funkcjonalność podmiany interfejsów implantologicznych ma szczególne znaczenie dla centrów frezowania, ale może być również z powodzeniem stosowana w mniejszych pracowniach. Ze względu na wysokie wymagania odnośnie do precyzji wymiarowej interfejsu dokładność możliwa do uzyskania dzięki siatce trójkątów charakterystycznej dla plików STL może okazać się niewystarczająca, aby uzyskać odpowiednie dopasowanie interfejsu implantologicznego. Przykładowo dla systemu CAMLOG dokładność i powtarzalność wymiarów geometrycznych powinny mieścić się w zakresie do 3 mm. Powoduje to, że dokładność wymiarowa przy obróbce bez dodatkowej korekty wymiarowej może nie dawać oczekiwanych rezultatów, z kolei zastosowanie tych samych wartości korekty dla wszystkich rodzajów interfejsów nie ma technologicznego uzasadnienia. W takiej sytuacji możliwe jest wykorzystanie podmiany interfejsów. Funkcjonalność pozwala na rzeczywiste zastąpienie fragmentu siatki powierzchniami pochodzącymi z inżynierskiego oprogramowania CAD, które pozbawione są niedokładności, a ich rozpoznawanie przez programowanie CAM opiera się na kalkulacji położenia punktów, krzywych i powierzchni za pomocą obliczeń numerycznych.

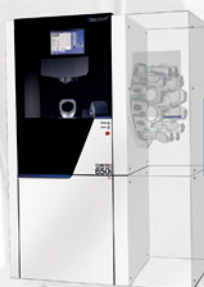
Dodatkowo dostępne rozwiązania pozwalają na wykorzystanie odpowiednich operacji obróbki w zależności od danej powierzchni interfejsu, a nawet całych fragmentów strategii przystosowanych do danego typu geometrii interfejsu. Tego typu podejście gwarantuje poprawność wymiarową wypracowaną w trakcie pracy z wytwarzaniem prac poprzez doświadczalne dopracowanie korekt wymiarowych. Podmiana interfejsu jest zatem skuteczną metodą pozwalającą uniezależnić wynik obróbki od jakości pliku STL oraz dokładności wymiarowej projektu CAD, dając tym samym powtarzalne rezultaty, gwarantujące zadowolenie klienta. Jednocześnie znacząco poprawia się wydajność pracy poprzez wyeliminowanie kolejnych poprawek frezerskich lub ręcznego opracowywania połączenia. Wiodące otwarte systemy CAM mają

Dokładność
MEDIT IDENTICA HYBRID



Szybkość
CORITEC 140i

Wszechstronność
CORITEC 350i



Wydajność
CORITEC 650i

hyperDENT
COMPACT · CLASSIC · OPTIONS

exocad
GmbH

MEDIT



Kontakt: + 48 32 411 03 24
biuro@imes-icore.pl

www.imes-icore.pl
CAD/CAM w dentystyce

Ryc. 1. Wspólne funkcjonalności systemów CAM dedykowanych do prac implantologicznych

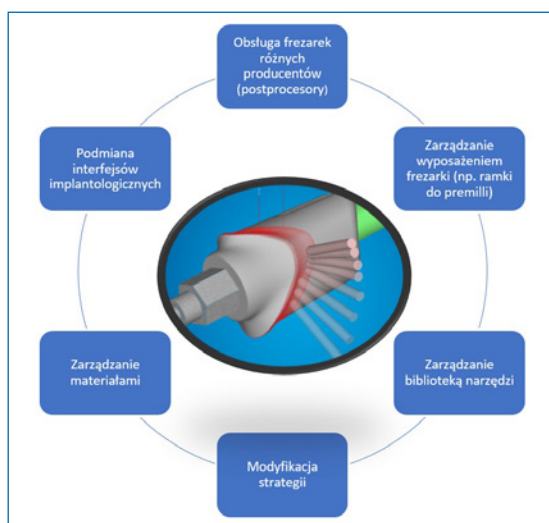
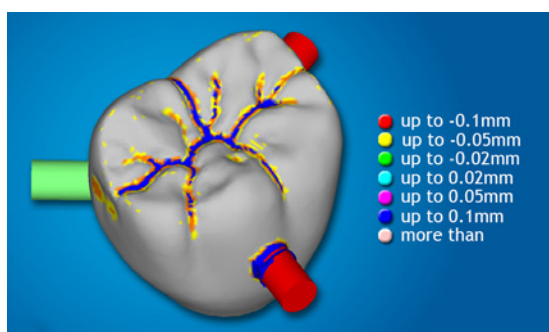
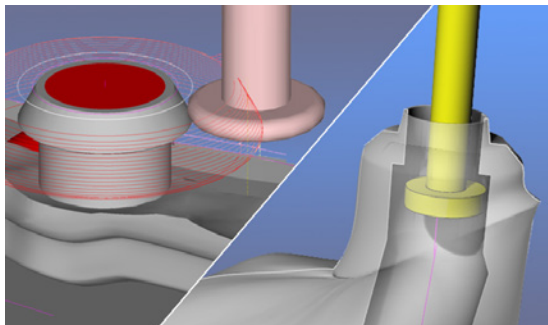


foto: archiwum autorów

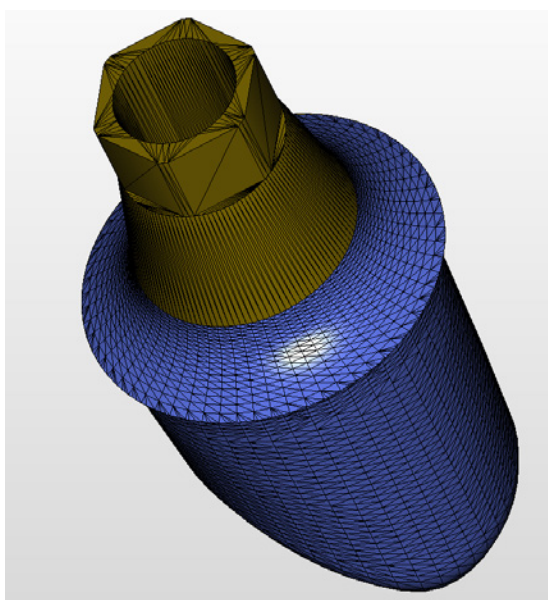
Ryc. 2. Ocena ilości materiału pozostałego po obróbce w miejscach niedostępnych dla narzędzia wykańczającego



Ryc. 3. Wykrywanie kolizji na przykładzie obróbki powierzchni elementu typu interlock oraz filaru belki z przekserowanym torem wprowadzania śruby z wykorzystaniem narzędzi specjalnych



Ryc. 4. Siatka zbudowana z trójkątów (format STL)



prekonfigurowane pakiety zawierające geometrię oraz strategię obróbki, m.in. dla systemów: Zimmer®, Xive®, Uni®, Strauman®, Osstem®, Nobel®, Camlog®, Astra® etc. Możliwość zarządzania wyposażeniem frezarki oraz tworzenia nowych bibliotek prefabrykatów pozwala na dodawanie dedykowanych ramek (ryc. 4) do frezarek CNC, np. do frezowania łączników indywidualnych z poziomu prefabrykatu (ang. *abutment premill*) oraz rozwoju nowych rozwiązań zamocowania materiału, np. dla potrzeb hybrydowych metod wytwarzania lub mocowania materiału w formie innej niż krążek. W oparciu o pliki CAD dostarczone przez dostawcę prefabrykatu możliwe jest przygotowanie dodatkowych uchwytów oraz bibliotek prefabrykatów niezbędnych do właściwego pozycjonowania pracy w nowej ramce i właściwe zorientowanie geometrii na frezarce CNC. Do najpopularniejszych bibliotek na rynku należą np. Gt-Medical lub Target 3D.

Frezarki dedykowane do prac implantologicznych

Wytwarzanie indywidualnych prac implantologicznych jest w chwili obecnej prowadzone głównie w specjalizowanych laboratoriach protetycznych wyposażonych w odpowiednio wydajne frezarki CNC zdolne obrabiać takie materiały, jak stopy chromo-kobaltowe oraz stopy tytanu. Jednocześnie małe frezarki można spotkać również w klinikach stomatologicznych, gdzie wysoka wydajność nie jest wymagana, a kluczowym problemem jest gotowość wytworzenia pracy podczas jednej wizyty pacjenta.

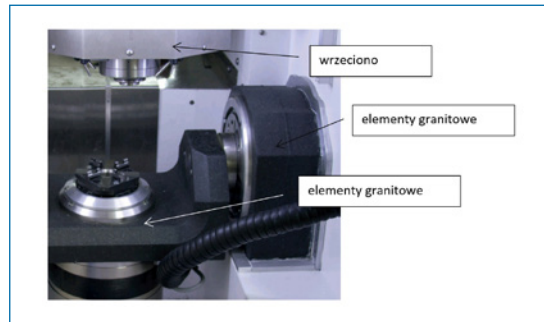
Szeroka dostępność systemów CAD/CAM/CNC umożliwiła wytwarzanie indywidualnych prac implantologicznych każdemu posiadaczowi średnio zaawansowanej frezarki, co nasuwa pytanie, czy taka „produkcja” podlega uregulowaniom branżowym, podobnie jak produkcja odbywająca się w zakładach dużych producentów systemów implantologicznych. Przykładowo na rynku amerykańskim Urząd Żywności i Leków (ang. *Food and Drug Administration, FDA* – odpowiadający polskiemu Urzędowi Rejestracji Leków, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych), zajmujący się szeroko rozumianą kontrolą produktów spożywczych, kosmetycznych, leków, jak również urządzeń medycznych, wprowadził konieczność uzyskania certyfikacji w zakresie implantologii dla frezarek używanych w procesie wytwarzania indywidualnych łączników. Pozytywna opinia wydana przez FDA dla danego produktu jest uznawana także poza Stanami Zjednoczonymi za wyznacznik jakościowy. Wiodący producenci frezarek CNC starają się uzyskać takie certyfikaty. W chwili obecnej znaczenie tego typu działań na rynku europejskim może przyczynić się jedynie do wzrostu prestiżu i potwierdzić ja-

kość produkowanych urządzeń. Niewykluczone jednak, że za kilka lata taka forma certyfikacji stanie się normą prawną również na terenie Unii Europejskiej.

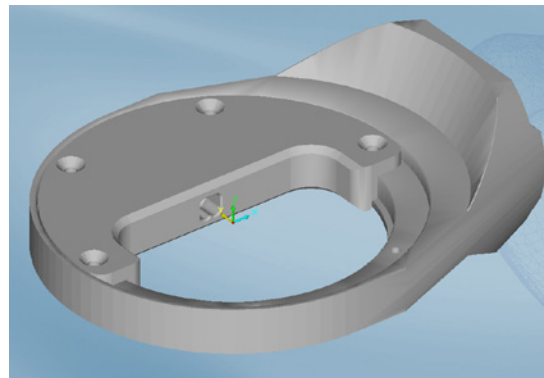
Sztywność

Do podstawowych ograniczeń poza dokładnością siatki modelu należy również zaliczyć sztywność maszyn frezujących. Ugięcie frezu w materiale obrabianym jest powszechnie znanym zjawiskiem technologicznym, zależnym od podatności konektorów, na których wsparta jest praca, podatności samego narzędzia, ale również od podatności całej konstrukcji obrabiarki. Ze szczególnym uwzględnieniem sposobu zamocowania wrzeciona, rodzaju napędów, konstrukcji prowadnic osi ruchu liniowego i obrotowego. Zagwarantowanie odpowiedniej dokładności wymaga dużej sztywności obrabiarki. Wymagania takie spełniają frezarki przemysłowe oraz wersje premium frezarek CNC dedykowanych dla przemysłu dentystycznego (DMG MORI ULTRASONIC®, CORiTEC®, Datron® etc.). Najczęściej rama nośna wykonana jest z pełnych bloków naturalnego granitu (ryc. 5), które poza wysoką sztywnością gwarantują również niską podatność na wpływ temperatury otoczenia (współczynnik rozszerzalności cieplnej dla granitów wynosi tylko od 0,003 mm do 0,012 mm dla odcinka pomiarowego o długości 1 m na 1°C).

Bardzo istotny jest również sposób realizacji przemieszczeń i obrotów. Wykorzystywane bardzo często we frezarkach niewielkich rozmiarów silniki krokowe nie gwarantują wysokiej dokładności pomiarowej z powodu braku przesyłania informacji zwrotnej o bieżącym położeniu elementów wykonawczych frezarki. Nieco bardziej dokładne są rozwiązania oparte na serwo mechanizmach połączonych z odczytem położenia kąтового wału silnika. Ze względu na luzy przekładniowe występujące pomiędzy silnikiem a elementem napędzonym (pomiędzy śrubą i nakrętką, na sprzęgle silnika, w przekładni motoreduktora, na pasku napędowym) pomiar położenia elementu napędzanego jest obciążony pewnym błędem przypadkowym. Najdokładniejsze na chwilę obecną jest rozwiązanie wykorzystujące bezpośrednio napędy liniowe oraz silniki momentowe połączone z bezpośrednim pomiarem położenia elementu napędzanego. Po rozwiązaniu to coraz częściej sięgają producenci dużych frezarek przemysłowych. Zostało ono również wykorzystane we frezarkach klasy premium, np. L DMG-MORI ULTRASONIC®, Datron® M5, CORiTEC® 650i. Idea rozwiązania silników liniowych polega na bezpośrednim (bezprzekładniowym) napędzaniu wózka jezdnego wyposażonego w sterowane cewki elektromagnetyczne oddziałujących na szynę prowadzącą wyposażoną w magnesy stałe. Zmniejszenie tarcia w trakcie ruchu jest realizowane przy pomocy podusz-



Ryc. 5. Przykład zastosowania naturalnego granitu jako materiału konstrukcyjnego łoża frezarki CORiTEC® 650i



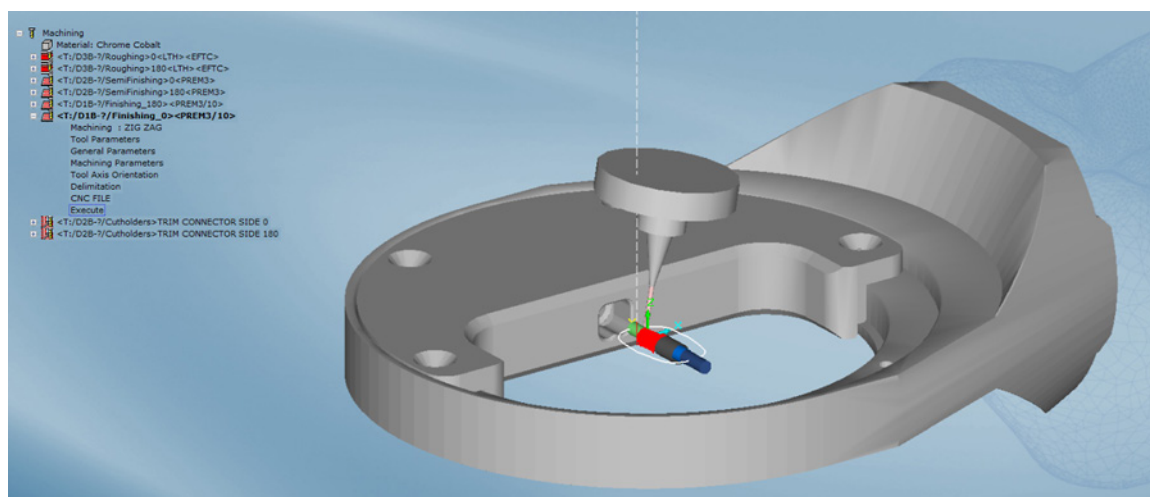
Ryc. 6. Model ramki w oprogramowaniu CAM

ki powietrznej. Silniki momentowe działają podobnie do silników krokowych, przy czym mają możliwość przenoszenia bardzo wysokich momentów sił, dzięki czemu doskonale nadają się jako napędy dla osi obrotowych utrzymujących sztywne i masywne stoły obrabiarek. Silniki momentowe charakteryzują się bardzo wysoką rozdzielczością kątową, co pozwala na utrzymanie wysokiej jakości pracy wykonywanej w pięciu osiach aktywnych. Rozwiązanie pośrednie jest wykorzystane we frezarce Datron® M5 Linear Scales, która wykorzystuje tradycyjne serwomotory połączone z bezpośrednim odczytem położenia elementów napędzanych przy pomocy liniałów pomiarowych. Pozwala to na zmniejszenie przypadkowego błędu pomiaru związanego z luzami przekładniowymi, jednakże nie eliminuje elementów przekładniowych podlegających zużyciu i wymagających konserwacji.

Obróbka prefabrykatów producentów niezależnych

Wiodące programy CAM są wyposażane w predefiniowane biblioteki do popularnych zamienników oryginalnych systemów implantów (NT Trading®, Medentica®, Simbiosi®, Bluesky® etc.), pozwalające na automatyczne pozycjonowanie implantu w dostępnej przestrzeni prefabrykatu. O elastyczności oprogramowania CAM decyduje jednakże możliwość dodawania własnych systemów ramek z prefabrykatami dowolnych producentów niezależnych. Proces definiowania własnego systemu ramki składa się z dwóch etapów. Do określenia względnego położenia obrabianego prefabrykatu we frezarce ►

Ryc. 7. Przykład adaptacji ramki uchwytywnej producenta niezależnego w oprogramowaniu CAM podczas symulacji wytwarzania łącznika



SŁOWNICZEK

CAD – Computer Aided Design
 CAM – Computer Aided Manufacturing
 CNC – Computer Numerical Control
 NC – Numerical Control

- ▶ potrzebne są: skalibrowana ramka uchwykowa dostarczana najczęściej przez producenta zamienników oraz numeryczne odzwierciedlenie położenia modelu ramki we frezarce w oprogramowaniu CAM (ryc. 6).

W rezultacie możliwe jest przygotowanie plików programu NC dla frezarki, w którym układy współrzędnych odniesienia modelu ramki w oprogramowaniu CAM oraz ramki zainstalowanej we frezarce będą się pokrywać. Nawet najmniejsza rozbieżność w wartościach współrzędnych będzie zauważalna w jakości wykonanego łącznika indywidualnego. Pierwszym etapem jest zatem przygotowanie takiego modelu geometrycznego ramki uchwytywnej dla oprogramowania CAM, który umożliwi właściwe określenie punktu odniesienia dla obróbki pojedynczych łączników. Przygotowanie takiego pliku wymaga wykonania prac projektowych w przemysłowym oprogramowaniu CAM, które pozwoli na właściwe zdefiniowanie wymiarów ramki, linii oraz punktów odniesienia dla pozycjonowania modelu prefabrykatu. Drugim etapem jest przygotowanie biblioteki modeli prefabrykatów odzwierciedlającej właściwą geometrię interfejsów implantologicznych należących do systemu. Każdy z modeli prefabrykatów w ramach biblioteki powinien mieć dodatkowe linie odniesienia pozwalające na wypozyjonowanie modelu łącznika opracowanego w oprogramowaniu CAD względem interfejsu prefabrykatu z uwzględnieniem rotacji, dopasowania charakterystycznych cech geometrycznych interfejsów oraz wyrównania położenia pracy w osi prefabrykatu. Kolejność i sposób wykonywania powyższych operacji zależą od oprogramowania CAM i zwykle wy-

magają współpracy z inżynierami dostawcy oprogramowania oraz dostawcą systemu prefabrykatu. Dodatkowo może być wymagane opracowanie sposobu kalibracji ramki w uchwycie frezarki, np. poprzez wyfrezowanie i pomiar prefabrykatu kalibracyjnego oraz porównanie wyników pomiaru z wartością oczekiwaną i naniesienie korekt w położeniu ramki względem punktu zerowego w oprogramowaniu CAM (ryc. 7).

Podsumowanie

W artykule wykazano zalety nowoczesnych programów CAM w odniesieniu do indywidualizacji prac implantoprotetycznych wraz z możliwością użycia materiałów prefabrykowanych dostarczanych przez producentów niezależnych. Omówienie w artykule podstawowych i rozszerzonych funkcjonalności oprogramowania CAM oraz cech konstrukcyjnych współpracujących z nim frezarek CNC pozwala obecnym i przyszłym użytkownikom zweryfikować wymagania, jakie stawiają systemom realizującym technologię CAD/CAM/CNC. ■

Piśmiennictwo

1. Szałtys D. (red.): *Prognoza ludności na lata 2014-2050*. www.stat.gov.pl (dostęp: 2016 r.).
2. Gronkiewicz K., Majewski P.: *Zastosowanie cyfrowo kodowanych śrub gojących i technologii CAD/CAM do wykonawstwa indywidualnych filarów implantoprotetycznych*. „Implantoprotetyka”, 2011, tom XII, nr 3-4 (44-45).
3. Hyla A., Bociek W.: *Uzasadnienie obecności technologii CAD/CAM w gabinecie stomatologicznym i w rozwijającej się pracowni techniki dentystycznej*. „Nowoczesny Technik Dentystyczny”, 1/2016, s. 86-89.
4. Gładkowska M., Montefka P., Okoński P.: *Porównanie systemów CAD/CAM stosowanych we współczesnej protezycie stomatologicznej*. „Protet. Stomatol.”, 2008, LVIII, 2, s. 105-113.

1 imes-icore Polska Sp. z o. o., Gliwice, ul. Wincentego Pola 16
 2 AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, ul. Adama Mickiewicza 30, Kraków