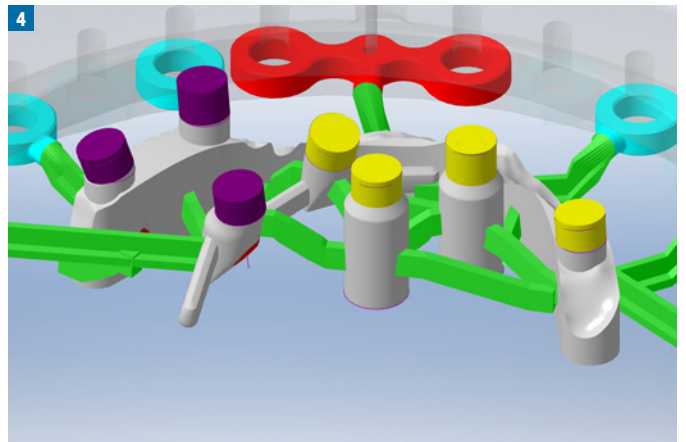
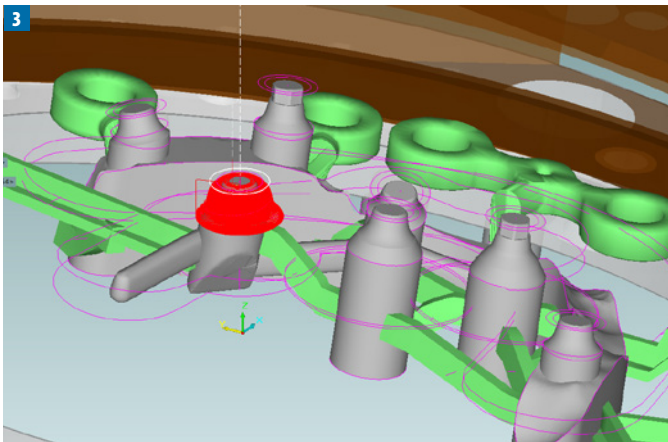
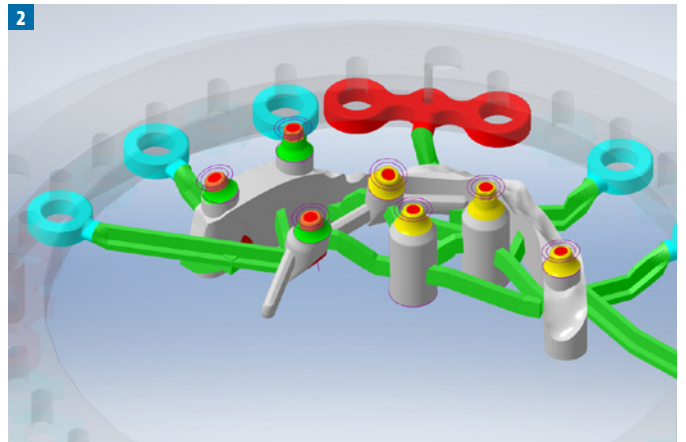
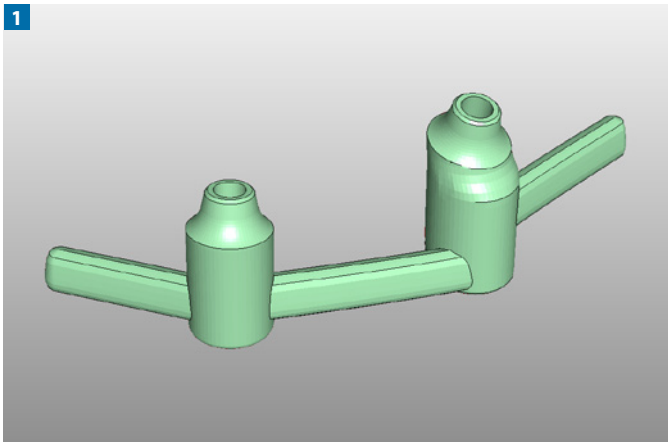


Zastosowanie hybrydowej technologii wytwarzania uzupełnień protetycznych

Obecnie istnieją trzy dostępne technologie wytwarzania metalowych uzupełnień protetycznych, do których należą: odlewanie, frezowanie oraz spiekanie. Technologia odlewania stanowi najstarszą metodę, której podstawowe wady to pracochłonność oraz niska powtarzalność rezultatów zależna od doświadczenia technika wykonującego pracę. Technologia frezowania jest technologią wprowadzoną do praktyki protetycznej pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku jako naturalne następstwo wprowadzenia metod komputerowego skanowania oraz obróbki prac protetycznych z użyciem systemów CAD/CAM oraz frezarek CNC (ang. *Computer Numerical Control*) (1). Do zalet tej technologii zalicza się wysoką precyzję oraz powtarzalność wymiarów geometrycznych wykonywanych podbudów. Do głównych wad należy zaliczyć wysokie koszty związane z eksploatacją frezarek oraz ograniczenia w wykonywaniu uzupełnień wymagających konstrukcji typu *scaffold* lub posiadających znaczne podcienie. Frezowanie jest ubytkową metodą obróbki, stąd jej zasadniczą wadą są duże straty materiału odpadowego w trakcie obróbki oraz koszty narzędzi frezujących w zależności od rodzaju obrabianego materiału, najwyższe dla stopów tytanu i chrom-kobaltu. Druk 3D komponentów podbudów protetycznych w technologii DMLS (ang. *Direct Metal Laser Sintering*), popularnie zwanej „spiekaniem”, to metoda wytwarzania komponentów metalowych podbudów protetycznych poprzez bezpośrednie selektywne przetapianie proszków metali. Ta technika wytwarzania elementów protetycznych rozpowszechniła się na rynku w ostatnich 5 latach. Technologia druku 3D należy do metod przyrostowych (1), co oznacza, że materiał jest stopniowo dokładany do powstającego elementu. Do podstawowych wad tej metody należy koszt samego wdrożenia, natomiast głównymi zaletami są wysoka wydajność procesu produkcji i niskie zużycie materiału (proszek, który nie został zużyty w ramach jednego cyklu spiekania, jest ponownie wykorzystywany). Najnowszą i zarazem najefektywniejszą metodą wytwarzania uzupełnień protetycznych o wysokim stopniu precyzji (5-10 mikronów) jest technologia

hybrydowa, łącząca w sobie zalety metody druku 3D metali, czyli DMLS, oraz frezowania na maszynie CNC z użyciem zintegrowanego oprogramowania CAM. W przypadku technologii hybrydowej oprogramowanie CAM umożliwia wygenerowanie właściwego pliku geometrii dla drukarki 3D oraz programów obróbki (programów NC) dla frezarki CNC. Technologia hybrydowa składa się z dwóch etapów. W pierwszym, z użyciem technologii DMLS, wykonuje się półfabrykat struktury podbudowy, który następnie jest wykańczany na maszynie CNC do otrzymania produktu końcowego lub półproduktu, który po ręcznym wykończeniu stanowi właściwy produkt – strukturę podbudowy. Połączenie wspomnianych metod (DMLS i frezowania CNC) nie było do tej pory możliwe ze względu na brak technicznego rozwiązania pozwalającego na przeniesienie półfabrykatu z maszyny DMLS do frezarki CNC. Hybrydowa technologia wytwarzania pozwala na zmniejszenie jednostkowego kosztu wytwarzania poprzez zmniejszenie ilości zużywanego materiału i narzędzi oraz poprawę cech użytkowych produktów. Pierwsze dwie zalety przyczyniają się bezpośrednio do zmniejszenia kosztów produkcji, a jednocześnie zmniejszenie materiałochłonności metody hybrydowej niezaprzeczalnie potwierdza pozytywny wpływ na środowisko, w tym znaczne zmniejszenie ilości odpadów (wiórów, niewykorzystanych struktur monobloku oraz odpadów płynnych, np. chłodziwo) od 20 do 50%. Szacowana redukcja zużycia materiałów w metodzie hybrydowej może wynosić 50-60% w stosunku do metody frezowania oraz 60-80% w stosunku do metody odlewania, stosowanych jako samodzielne metody wytwarzania. Ponadto technologia hybrydowa wiąże się z ok. 50-proc. redukcją jednostkowego czasu wytwarzania w stosunku do metod tradycyjnych. Technologia hybrydowa zmniejsza również o 70-80% zużycie narzędzi oraz częstotliwość ich wymiany, co zapewnia stałą jakość wytwarzania w czasie oraz dodatkową oszczędność czasu i redukcję kosztów przeznaczonych na frezy. Z drugiej strony, dzięki zastosowaniu technologii DMLS, która zapewnia wysoką rozdzielczość punktową wią-



Ryc. 1. Projekt belki wspartej na dwóch filarach mocowanych z użyciem łączników **Ryc. 2.** Projekt CAM prefabrykatów wraz z elementami podpierającymi wpisany w okrąg ramki adapter (kolor zielony oznacza konektory, kolory czerwony i niebieski oznaczają elementy mocujące, kolor fioletowy to krzywe technologiczne) **Ryc. 3.** Projekt CAM prefabrykatów wraz z elementami podpierającymi oraz naniesionymi konturami krzywych technologicznych (kolor fioletowy) **Ryc. 4.** Materiał naddatkowy do obróbki interfejsów implantologicznych (kolory żółty i fioletowy)



Ryc. 5. Projekt belki wykonany w oprogramowaniu CAD (widok ekranu wykonany w Dental Lab Laboratorium Dentystyczne)

ki przemieszczającej się po stąpianej powierzchni, jakość odwzorowania skomplikowanych detali nie stanowi problemu technologicznego. Możliwość stosowania ziaren o małej gradacji zapewnia jednorodną strukturę powierzchni. Chropowatość powierzchni związana z ziarnistą strukturą materiału

zapewnia wysoką adhezję materiałów stosowanych w dalszych procesach produkcji. W przypadku wykonywania wielu elementów w trakcie jednego cyklu spiekania lub polimeryzacji czas przeliczony na pojedynczy element pozwala osiągnąć wysoką wydajność procesu. ▶

Druk 3D komponentów podbudów protetycznych w technologii DMLS (ang. *Direct Metal Laser Sintering*), popularnie zwanej „spiekaniem”, to metoda wytwarzania komponentów metalowych podbudów protetycznych poprzez bezpośrednie selektywne przetapianie proszków metali.

► Projektowanie w technologii hybrydowej

Hybrydowa technologia wytwarzania realizowana jest w trzech zasadniczych etapach:

- projektu wytwarzanego obiektu w oprogramowaniu CAM zarówno dla metody DMSL, jak również frezowania CNC,
- wytworzenia pracy z użyciem technologii DMLS,
- wykończenia elementów pracy z użyciem technologii frezowania CNC.

W sierpniu 2018 r. w Dental Lab Laboratorium Dentystycznym w Gdańsku opracowano projekt

odbudowy protetycznej opartej na belce osadzonej na dwóch implantach w systemie Astra 3.5 wykonanej w wersji bez antyrotacji (ryc. 1) oraz na teleskopie cementowanym na łączniku indywidualnym. W celu zilustrowania kolejnych etapów technologii hybrydowej posłużymy się przykładem belki będącej częścią uzupełnienia protetycznego.

Do wytworzenia belki wykorzystano zmodyfikowaną technologię Make & Mill opracowaną w ramach współpracy pomiędzy firmą CIMSystem oraz imes-core Polska. Pierwszym zasadniczym krokiem jest stworzenie projektu CAM, w którym model pracy zostaje uzupełniony konektorami tworzącymi tzw. sieć pajęczą (ryc. 2) zapewniającymi możliwość późniejszego umieszczenia półfabrykatu w adapterze i zamocowanie w uchwycie frezarki (etap 3).

Projekt CAM definiuje również odpowiednią strategię obróbki interfejsów z użyciem narzędzi do obróbki zgrubnej, kształtującej oraz wykańczającej wraz z określeniem optymalnych posuwów i prędkości obrotowej narzędzia podczas obróbki. Na ryc. 3 przedstawiono trajektorie ruchu narzędzi w trakcie obróbki interfejsów.

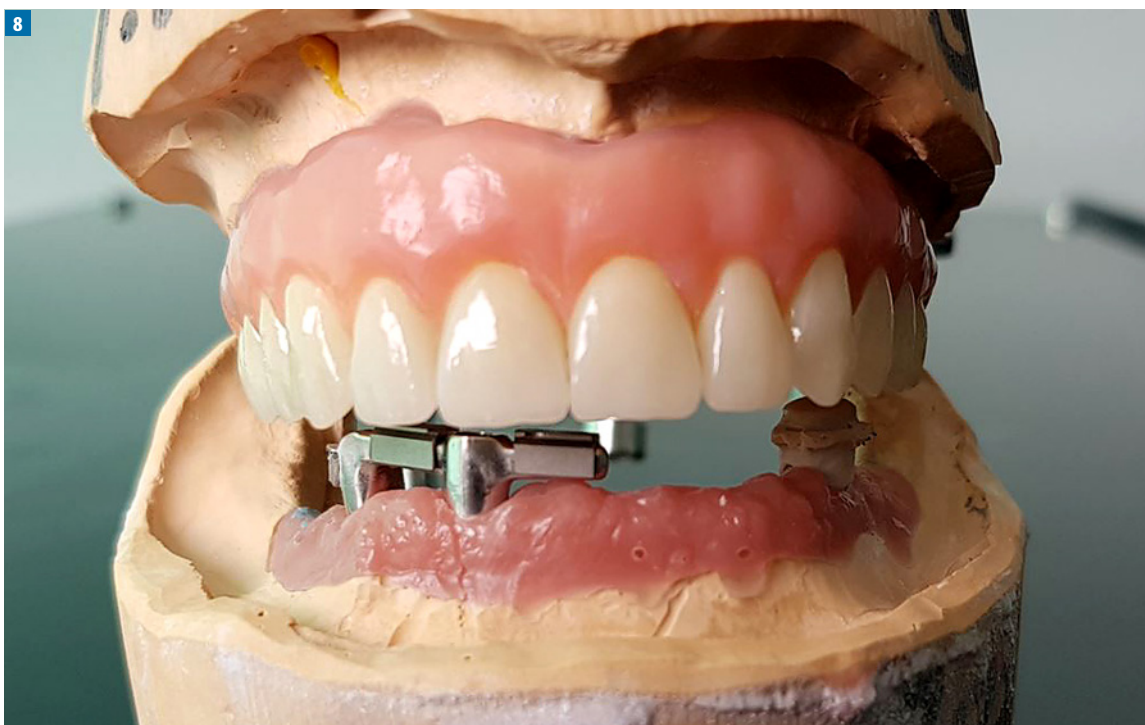
Podczas tworzenia projektu wprowadza się również dokładne modele geometryczne interfejsów ele- ►

Ryc. 6. Belka z wykończonymi interfejsami implantologicznymi (tzw. interfejsy) w systemie Astra 3.5 bez antyrotacji zamocowana w strukturze „sieci” po wyjęciu z frezarki





Ryc. 7. Belka z wykończonymi interfejsami implantologicznymi w systemie Astra 3.5 bez antyrotacji, po odcięciu podpór (fotografia wykonana przez Dental Lab Laboratorium Dentystyczne)



Ryc. 8. Odbudowa po osadzeniu na modelu z nałożonymi elementami retencyjnymi (fotografia wykonana przez Dental Lab Laboratorium Dentystyczne)

Technologia frezowania jest technologią wprowadzoną do praktyki protetycznej pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku jako naturalne następstwo wprowadzenia metod komputerowego skanowania oraz obróbki prac protetycznych z użyciem systemów CAD/CAM oraz frezarek CNC.

- ▶ mentów implantologicznych z bibliotek zewnętrznych udostępnianych wraz z oprogramowaniem CAM. Proces ten nazywa się podmianą interfejsów (ang. *interface replacement*). W miejscu interfejsów umieszczony jest element cylindryczny o odpowiedniej dla wybranego interfejsu średnicy, który stanowi naddatek technologiczny do dalszej obróbki. W jednym zamocowaniu wykonywane są zarówno interfejs, jak i otwór pod śrubę mocującą. Zapewnia to idealnie współosiowe położenie tych struktur.

Wytwarzanie w technologii hybrydowej

Do wytworzenia belki użyto drukarki 3D DMLS M100 EOS oraz frezarki protetycznej imes-icore CORiTEC 750i. Prefabrykat został odprężony w celu redukcji naprężeń resztkowych w piecu Nabertherm wyposażonym w komorę do wyżarzania w atmosferze gazu obojętnego (argon). Praca została wykonana z materiału w postaci proszku metali CoCr SP2 (2). Kolejne etapy procesu projektowania, wytwarzania oraz weryfikacji pasywności belki i kompletnej pracy zostały przedstawione na ryc. 5-7.

Przeprowadzono również badania twardości próbek prefabrykatu metodą Vickersa przy obciążeniu 500 g na mikrotwardościomierzu Future-Tech FM-700 według PN-EN ISO 6507-1 i otrzymano twardość dla HV0,5 = 289 ± 11 dla stopu CORiTEC CoCr oraz twardość HV0,5 = 470 ± 8 dla struktury spieczonej z proszku CoCr (2).

Podsumowanie i wnioski

Wykorzystanie hybrydowej technologii DMSL/CNC pozwala wytwarzać wysokiej jakości prace implantologiczne przy wszystkich zaletach technologii addytywnej (drukowania 3D), do której należą: duża wydajność, niskie straty materiału, niezmienna w czasie jakość prac oraz przede wszystkim niskie koszty wytwarzania, a także obróbki ubytkowej, której szczególnymi cechami są wysoka precyzja oraz jakość

obrabianej powierzchni. Jednostkowy koszt wytworzenia pracy metodą hybrydową jest dużo niższy niż frezowania CNC w rezultacie wykańczania jedynie elementów współpracujących (interfejsów implantologicznych), co znacząco wydłuża żywotność frezów. Przy odpowiednim wsparciu oprogramowania CAM integracja przedstawionych możliwości wytwarzania może stanowić korzystne rozszerzenie metod stosowanych w technologii CAD/CAM w technice dentystycznej. Ponad roczne doświadczenie z metodą hybrydową DMLS/CNC oraz wykonane testy i badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Produkt wytworzony metodą DMLS/CNC ma chropowatą powierzchnię poprawiającą adhezję materiałów pokrywających, nakładanych w dalszych procesach produkcyjnych (licowanie czy cementowanie).
2. Produkt wykonany metodą frezowania z krążka metalu CNC nie wymaga wyżarzania. W przypadku metody DMLS/CNC dużą twardość likwidujemy poprzez wyżarzanie w odpowiednich czasach i temperaturach. Brak wyżarzania w przypadku metody CNC powoduje, że naprężenia resztkowe mogą wpływać na problemy podczas dalszych etapów produkcji (nakładanie warstw ceramiki, wypalanie itp.).

Efektami wdrożenia wytwarzania hybrydowego w Dental Lab Laboratorium Dentystycznym są: skrócony czas wykorzystania maszyn frezujących CNC, znaczące obniżenie zużycia materiałów i narzędzi, zwiększona podatność materiału na dalsze etapy produkcji, co w efekcie daje lepszy produkt końcowy. Szacuje się, że dwukrotnie obniżono koszt produkcji przy założeniu wykorzystywania materiałów najwyższej jakości z odpowiednimi certyfikatami. ■

Piśmiennictwo

1. Stoniewski J., Czop P., Kaźmierowska M., Truszkowski A.: *Przegląd hybrydowych technologii wytwarzania uzupełnień protetycznych* „Nowoczesny Technik Dentystyczny”, 2017, 6, 44-50.
2. Dyrektywa wyroby medyczne MDD 93/42/EEC, załącznik IX, reguła 8.

-
- 1 imes-icore Polska Sp. z o.o.
44-100 Gliwice, ul. Wincentego Pola 16
 - 2 Katedra Robotyki i Mechatroniki
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza
30-059 Kraków, ul. Adama Mickiewicza 30
 - 3 Dental Lab Laboratorium Dentystyczne
80-463 Gdańsk, ul. Żwirki i Wigury 2
-

Frezowanie gwintów
... z nami to proste ✓

imes-core[®] Polska
Competence in CNC & DENTAL-Solutions



imes-core.pl

The image features a 3D CAD rendering of a dental lathe in operation. A blue cylindrical workpiece is being machined by a tool bit, with a thread being cut into its end. The background is a light blue grid of hexagons and lines, suggesting a digital or technical environment.

imes-core[®] Polska
Competence in CNC & DENTAL-Solutions



CORiTEC 350i
Legendarna jakość

imes-core.pl

The image shows a woman in an ornate, historical-style dress standing next to a modern dental machine. The machine is a CORiTEC 350i, which has a large screen displaying a 3D model of a dental part. The woman is looking at the machine with a slight smile, suggesting a connection between traditional craftsmanship and modern technology.