

TECHNIKI SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA W TWORZENIU MODELI MEDYCZNYCH WYKORZYSTYWANYCH W IMPLANTOPROTETYCE – doniesienie wstępne

**RAPID PROTOTYPING TECHNIQUES FOR MEDICAL MODELS FABRICATION
USED FOR IMPLANTOPROSTHETIC AIMS
– preliminary raport**

**lek. stomatolog Sergij Isaryk
Klinika Implantologii Stomatologicznej
ul. Grenadierów 4, Bydgoszcz**



**dr inż. Sławomir Miechowicz
Politechnika Rzeszowska**

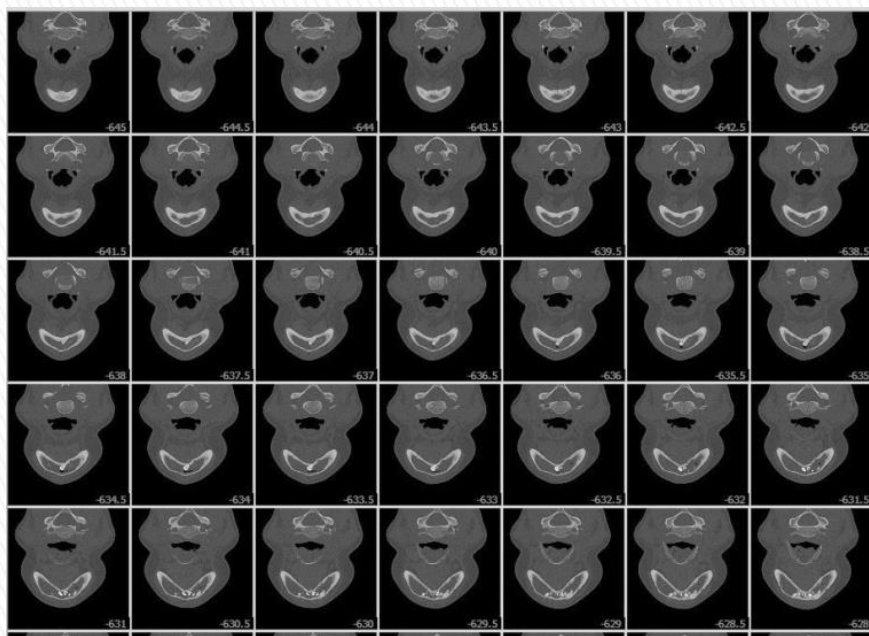
- ▶ **Szybkie Prototypowanie** – (ang. *Rapid Prototyping* – RP)
 - technologia pozwalająca na wierne odtworzenie rzeczywistego obiektu w fizycznym modelu.

Dzięki technologii RP możliwe jest wykonanie rzeczywistych modeli fizycznych w skali 1:1 oraz ich wybranych fragmentów w dowolnej skali oraz formie (przetwarzanie cyfrowe).

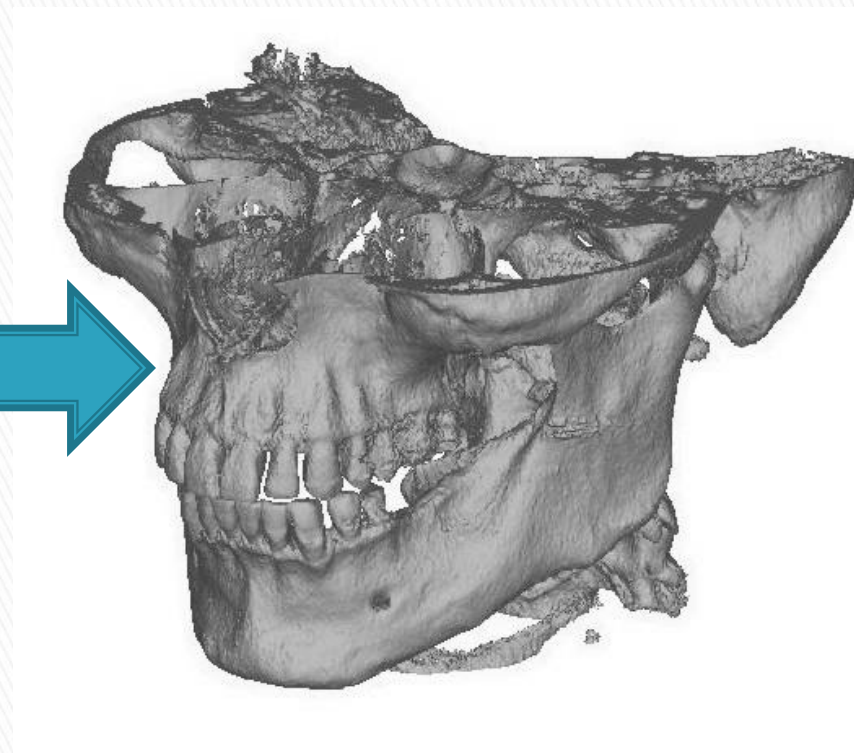
► **Model medyczny –**

W implantologii stomatologicznej, czy inaczej implantoprotetyce, pod pojęciem **modelu medycznego** kryje się model szczęki lub żuchwy pacjenta, albo jego fragmenty wybrane przez lekarza stomatologa pod kątem wizualizacji, planowania zabiegu implantologicznego, wykonania szablonu protetycznego i chirurgicznego oraz symulacji zabiegu wszczepienia.

- ▶ **Etapy modelowania medycznego:**
 - Przetwarzanie danych obrazowych TK na trójwymiarowy model wektorowy

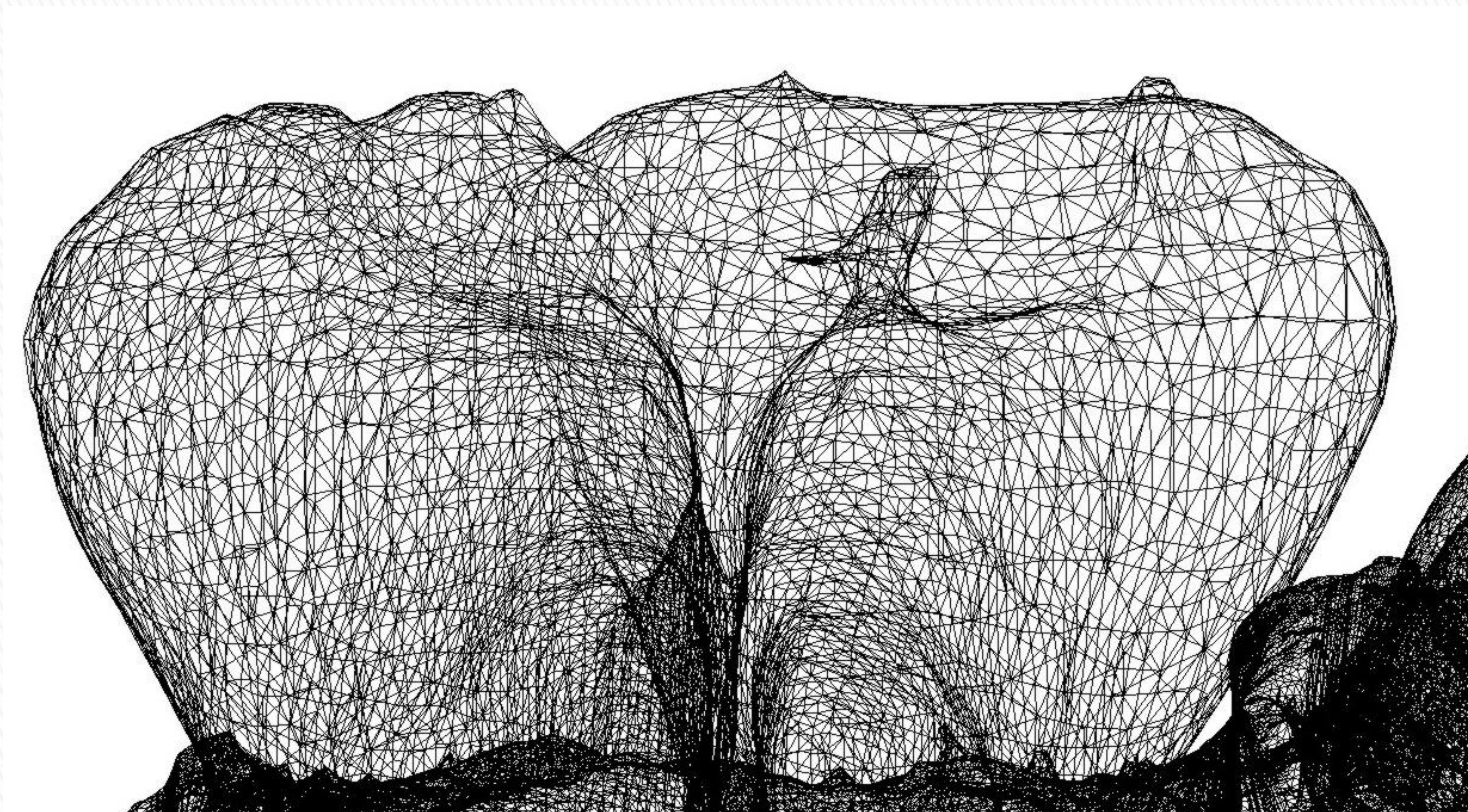


Rys. 1. Zbiór obrazów
rastrowych z Tomografii
Komputerowej (TK)



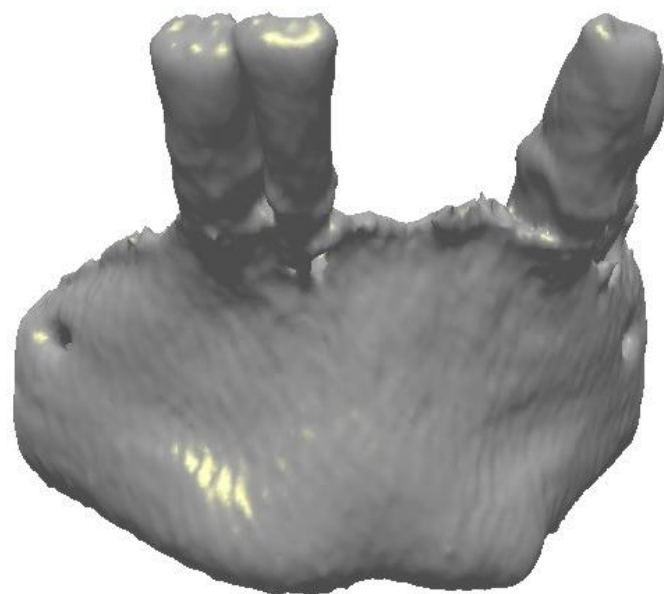
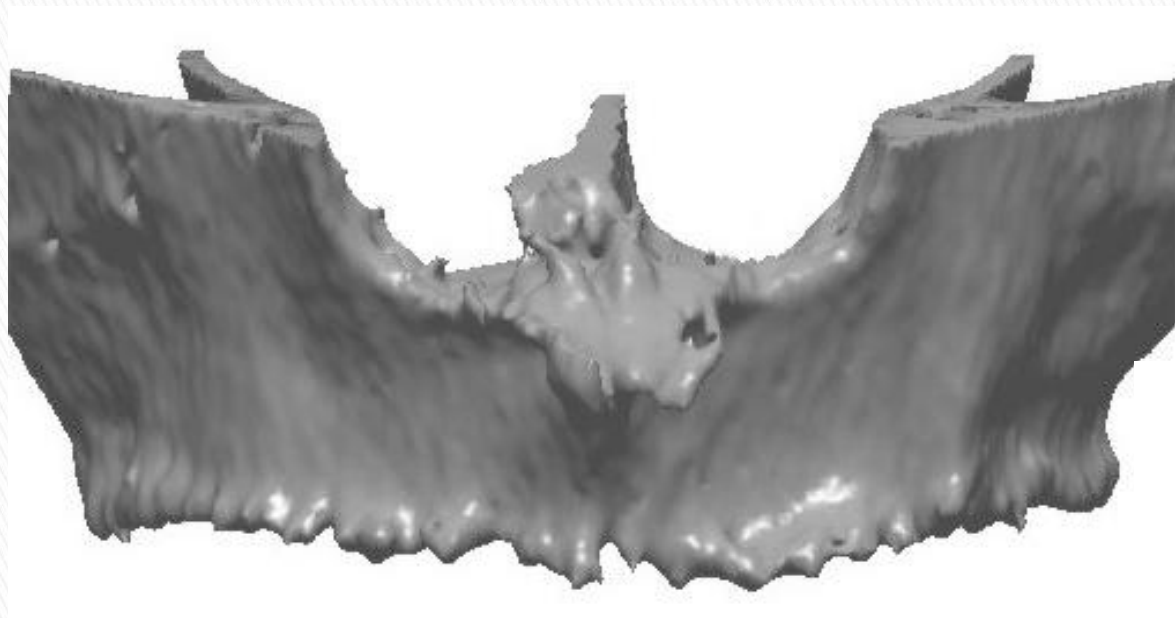
Rys. 2. Model medyczny
w formacie STL

- ▶ **Wizualizacja modelu trójwymiarowego:** szczegółowa inspekcja wybranych fragmentów tkanek, ocena dokładności odwzorowania powierzchni



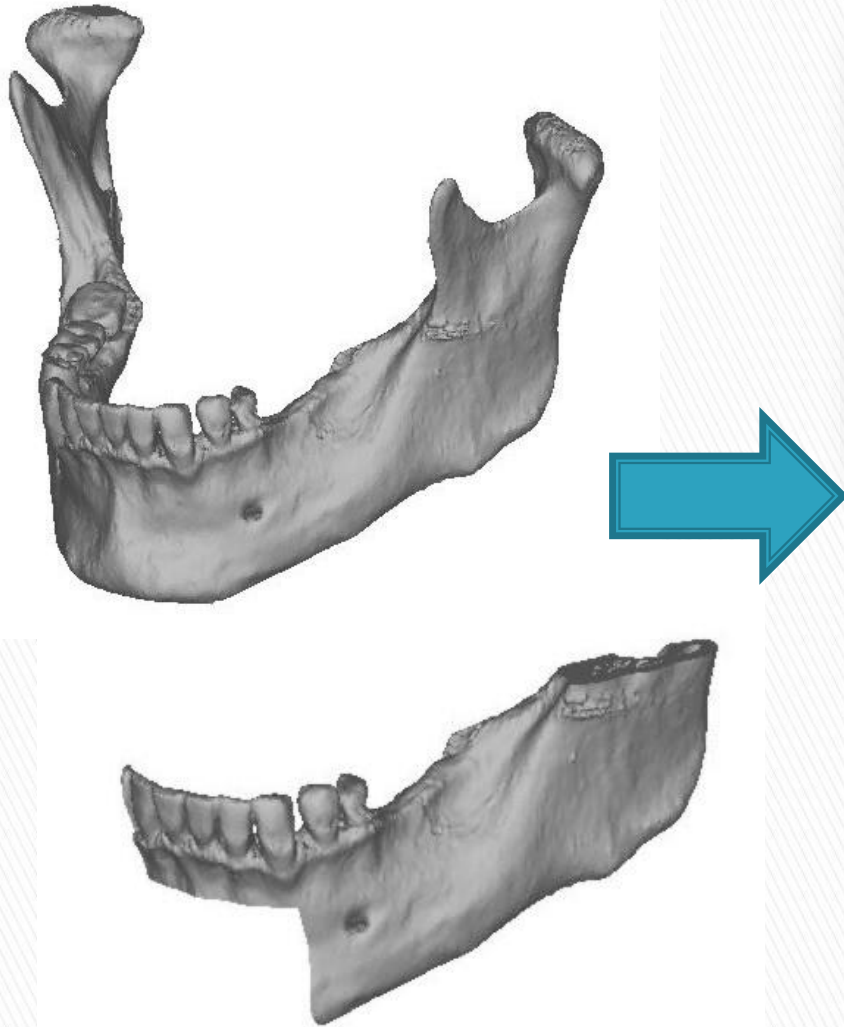
Rys. 3. Powiększony model siatkowy fragmentu powierzchni zęba

- ▶ **Wizualizacja modelu trójwymiarowego:** określenie obszaru badanych tkanek, ograniczenie geometrii modelu do wybranych fragmentów



Rys. 4. Gotowe modele STL fragmentów kości wybranych przez lekarza stomatologa

- ▶ Wykonywanie fizycznych modeli dostępnymi technikami Rapid Prototyping : (SLA, 3DP, FDM, POLYJET)



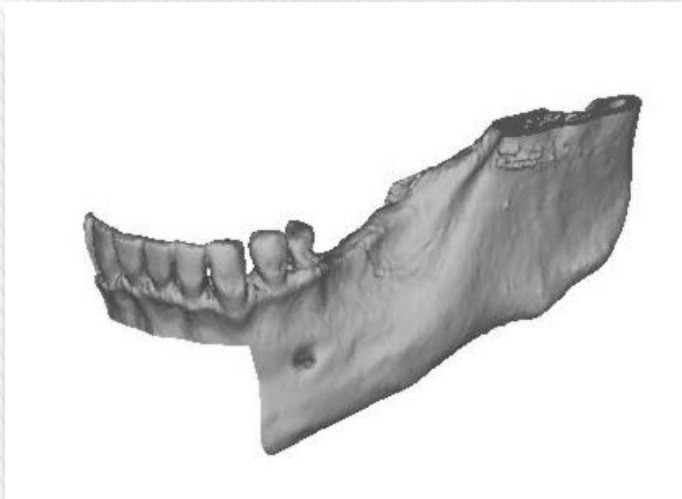
Rys. 5. Opracowane modele STL



Rys. 6. Wytworzone modele fizyczne (3DP)

- **Podstawowe kryteria doboru techniki RP w zastosowaniach medycznych:**

- cena,
- właściwości materiału,
- funkcjonalność modelu.



Rys. 7. Model STL wycinka żuchwy



Rys. 8. Model wycinka żuchwy wykonany wybranymi technikami RP: - kolejno: SL, 3DP, FDM.

- Modelowanie technikami szybkiego prototypowania:

- STEREOLITOGRAFIA – SL

Najbardziej popularna i najstarsza na rynku techniką RP. Jest ona najbardziej rozpowszechnioną metodą także w medycynie. Została opracowana i wprowadzona na rynek w 1987 r. przez firmę 3D Systems Inc. **Budowa obiektu polega na naświetlaniu promieniem lasera, warstwa po warstwie, światłoczułej żywicy.** Obszar naświetlania jest określony przez poprzeczne przekroje obiektu, np. struktury kostnej pacjenta otrzymanej z tomografu komputerowego. Równocześnie z właściwym modelem powstaje konstrukcja podtrzymująca go w czasie procesu wytwarzania (podpory). Gotowy model po wyjęciu z płynnej żywicy jest czyszczony acetonem.

- Modelowanie technikami szybkiego prototypowania:
 - STEREOLITOGRAFIA



Rys. 9. Model wycinka żuchwy wykonany w technologii SL. (Bardzo dobra widoczność cech budowy wewnętrznej oraz struktury kości, możliwość nawiercania modelu w celu symulacji zabiegu. Temperatura nawiercania nie może przekraczać 45 stopni C.)

- ◉ **Modelowanie technikami szybkiego prototypowania:**
 - FDM – FUSED DEPOSITION MODELING**

Modele w tej metodzie są budowane przez nakładanie kolejnych warstw z półpłynnego, termoplastycznego materiału podawanego przez głowice termiczne, wyposażone w wymienne dysze. Materiał jest podawany w postaci włókien rozwijanych ze szpuli. Warstwa szybko zastyga, tworząc podstawę kolejnych warstw. Dobór materiału jest uwarunkowany jedynie metodą sterylizacji i przeznaczeniem wykonywanego modelu. Metoda ustępuje Stereolitografii pod względem dokładności. Jednak pod względem możliwości zastosowania materiałów biokompatybilnych (ABS, PC-ISO) oraz łatwych do sterylizacji, znacznie ją przewyższa.

- Modelowanie technikami szybkiego prototypowania:
 - FDM – FUSED DEPOSITION MODELING



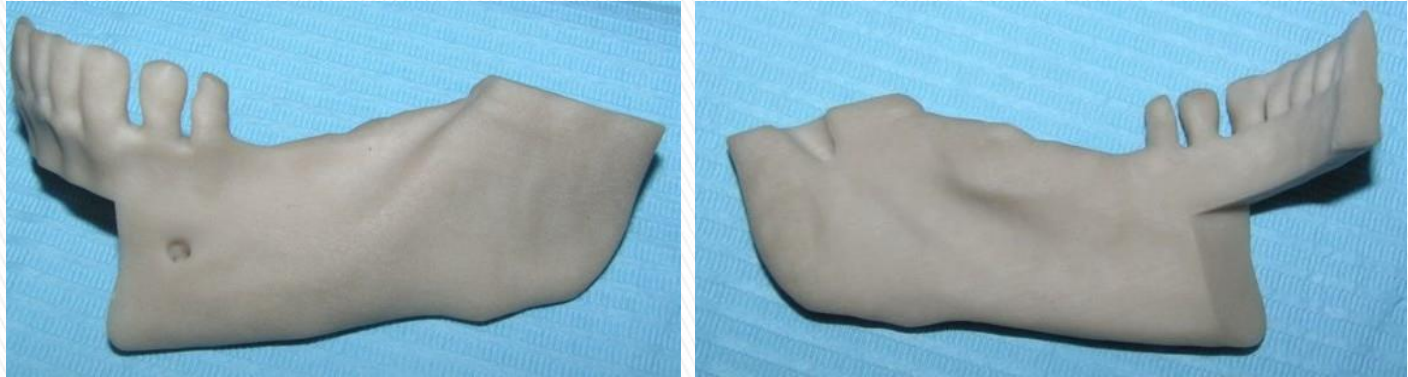
Rys. 10. Wycinek żuchwy tego samego pacjenta wykonany technologią FDM (PC-ISO). Pomimo mniejszej przejrzystości modelu w porównaniu do modelu SLA, przebieg kanału dolnożuchwowego jest nadal dość dobrze widoczny. Model mniej podatny na odkształcenia termiczne (możliwość sterylizacji w temp. do 130 stopni C), oraz obróbkę mechaniczną. Widoczne na zdjęciu elementy procesu symulacji zabiegu: nawiercanie wiertłem pilotującym i wprowadzenie wskaźników kierunku implantów.

- ◉ **Modelowanie technikami szybkiego prototypowania:**
 - 3DP – 3D PRINTING**

3D Printing to technologia, w której głowica drukuje cienką warstwę materiału jedna po drugiej, nanosząc warstwę spoiwa na luźną warstwę proszku. Kropelki spoiwa wiążą ziarna proszku. Metoda nanoszenia spoiwa jest podobna do metody nanoszenia tuszu przez drukarkę atramentową. Niezwiązany proszek, stanowi jednocześnie wypełnienie pustych przestrzeni i pełni funkcję podpór. Po zakończeniu procesu jest on usuwany za pomocą sprężonego powietrza. Niezwiązany proszek może być ponownie użyty. Nie ma więc konieczności manualnego odrywania podpór jak w przypadku Stereolitografii. Po wydruku model jest dodatkowo nasączany wybranym infiltratorem – woskiem czy specjalną żywicą dla uzyskania pożądanych właściwości. Po nałożeniu wszystkich warstw model jest utwardzany w piecu.

- Modelowanie technikami szybkiego prototypowania:
 - 3DP – 3D PRINTING

Rys. 11. Wycinek żuchwy tego samego pacjenta wykonany technologią 3DP – (proszek ZP130+ infiltrator woskowy).

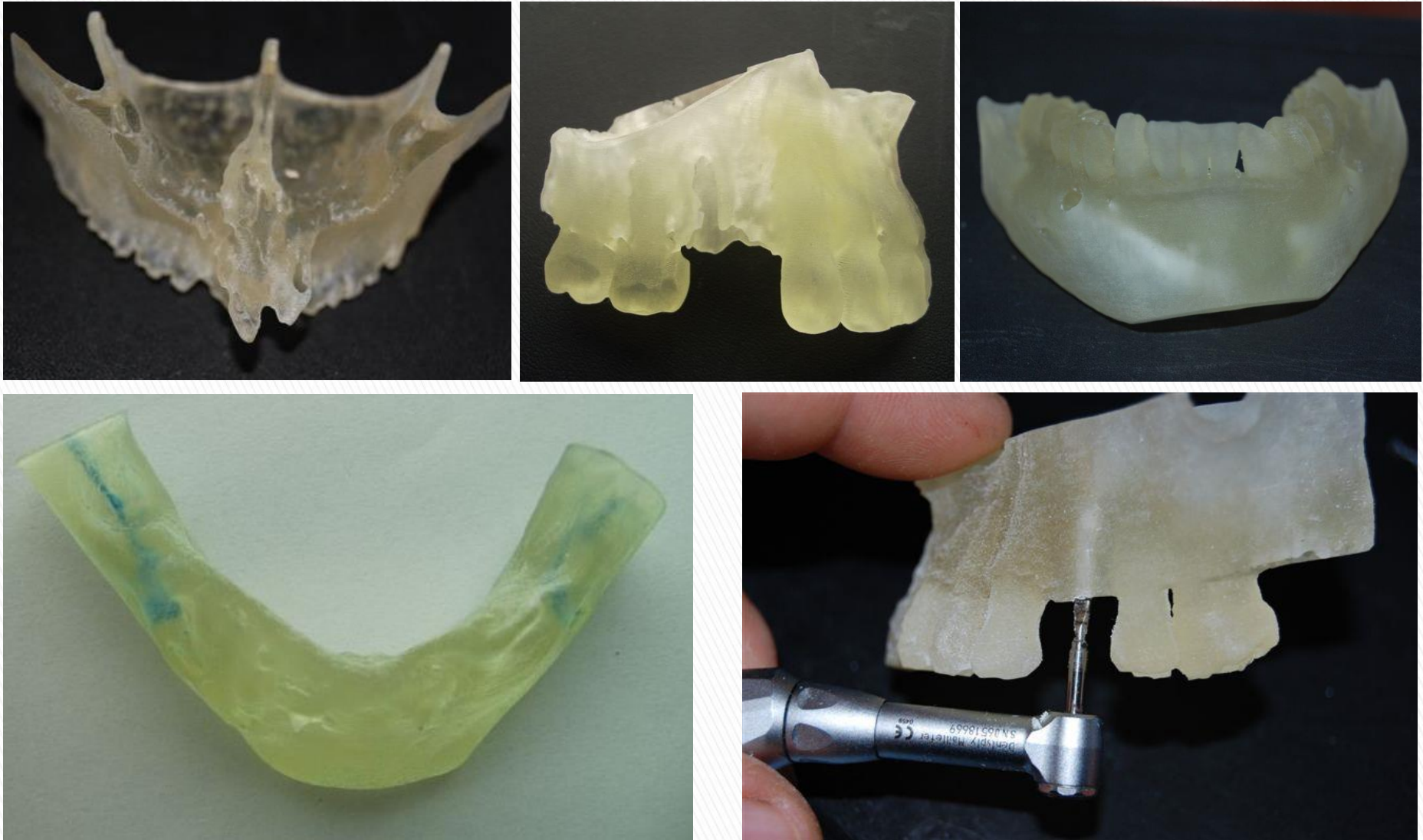


Rys. 12. Model żuchwy wykonany techniką 3DP – (proszek ZP130+ infiltrator żywiczny), model utwardzony specjalną żywicą posiada fakturę powierzchni bardzo podobną do kości naturalnej.

◉ Modelowanie technikami szybkiego prototypowania: – POLYJET

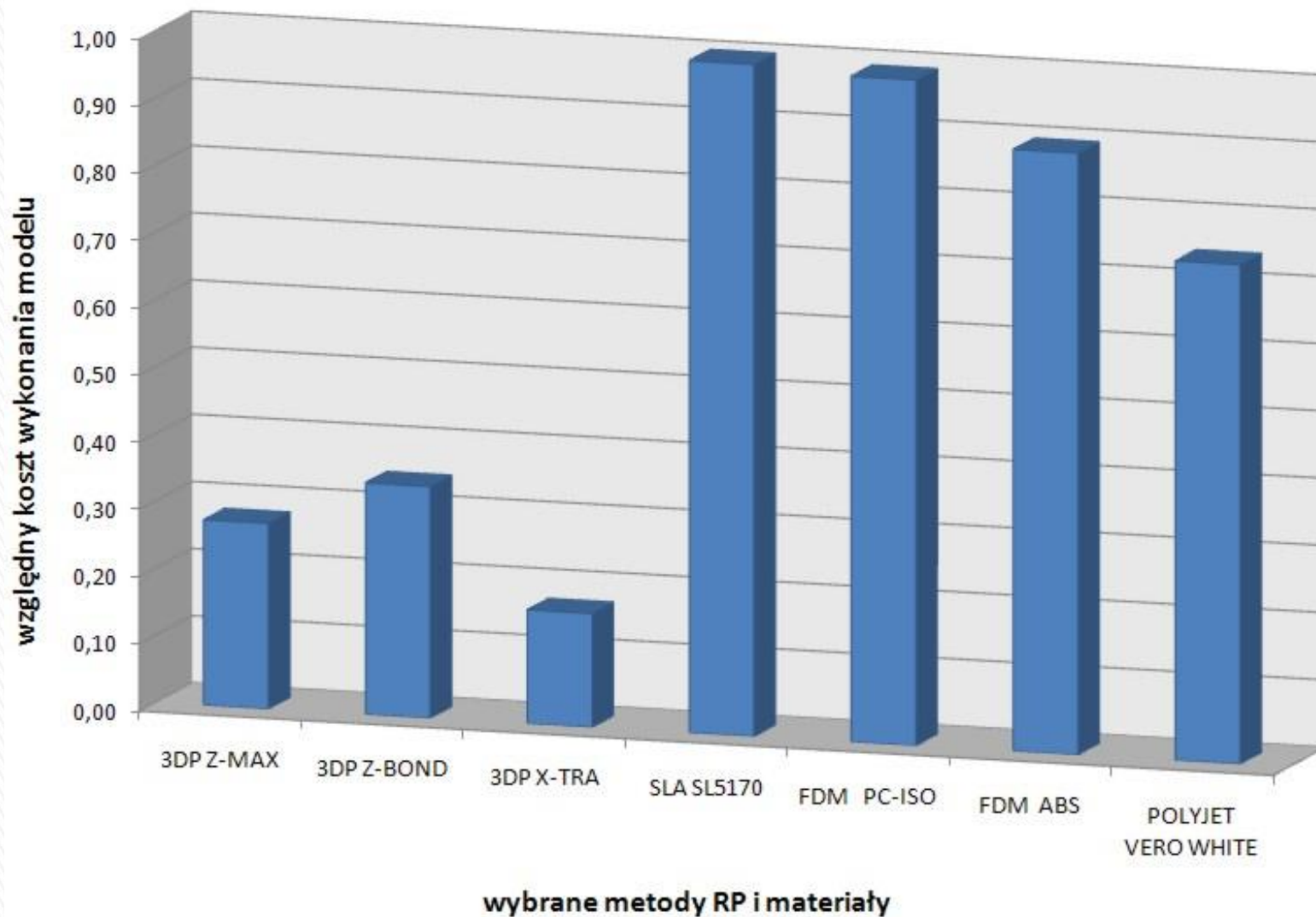
Technologią najnowszą z prezentowanych jest POLYJET firmy OBJET. Zasada działania jest podobna do Stereolitografii, jednak nie występuje konieczność dodatkowego utwardzania modelu. W przeciwieństwie do Stereolitografii ciekły fotopolimer jest nakładany, a następnie utwardzany za pomocą światła UV. Taki sposób podawania materiału umożliwia uzyskanie cienkiej (0,016mm) warstwy, co znacząco wpływa na gładkość powierzchni modelu. Po zakończeniu procesu materiał pomocniczy jest usuwany całkowicie za pomocą urządzenia WaterJet (woda pod wysokim ciśnieniem).

Modelowanie technikami szybkiego prototypowania: – POLYJET



Rys. 13. Modele wykonane techniką POLYJET, zalety: dobra przezroczystość materiału – umożliwia obrazowanie struktur wewnętrznych i zewnętrznych, możliwość nawiercania otworów przy symulacji zabiegu, niska cena wykonania modelu.

Porównanie kosztów wytworzenia modelu wybranymi metodami



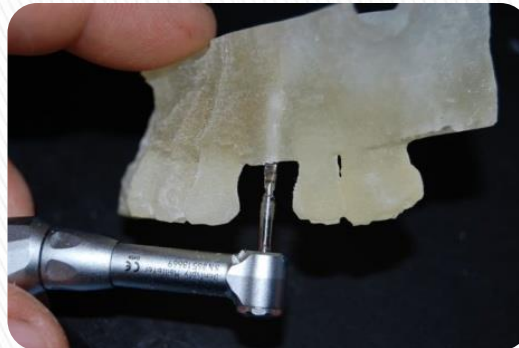
Rys. 14. Porównanie kosztów wykonania modelu wycinka żuchwy różnymi metodami RP w odniesieniu do Stereolitografii (1- 100% kosztów),

- Wybrane obszary zastosowań modeli medycznych w Implantoprotetyce:

1. Wizualizacja problemu,
2. Planowanie zabiegu,
3. Przygotowanie szablonu z materiału biokompatybilnego na bazie modelu medycznego.



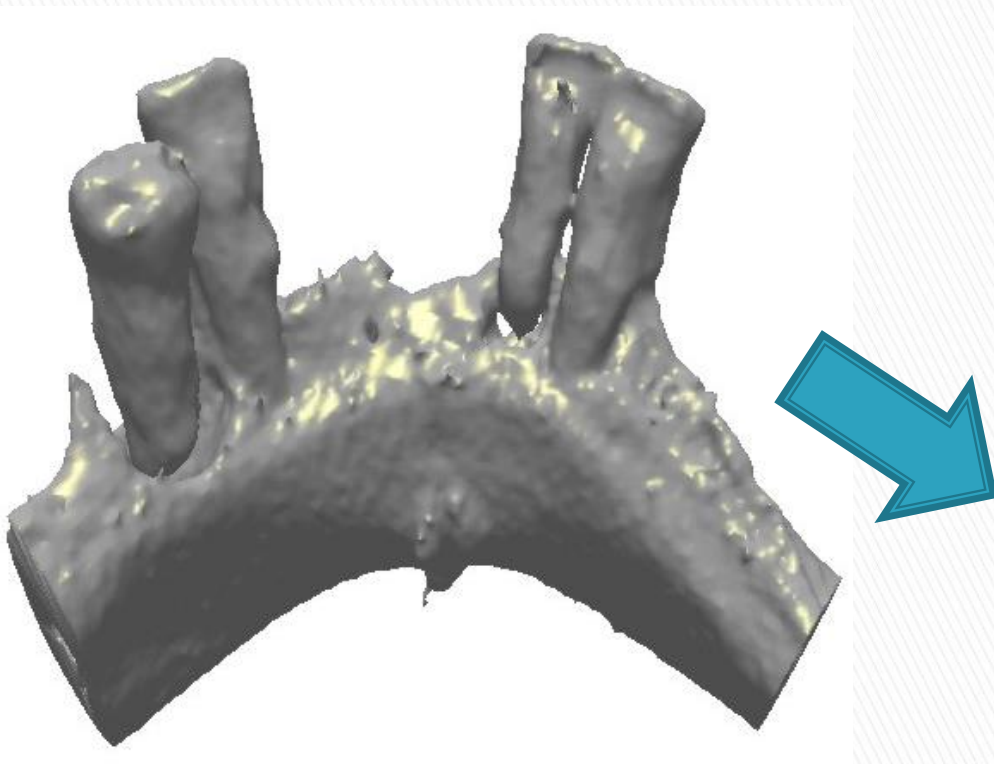
Rys. 15. Model (FDM - ABS) - wizualizacja



Rys. 16. Planowanie na modelu fizycznym, (PolyJet)



Etapy wykonania zabiegu implantoprotetycznego:

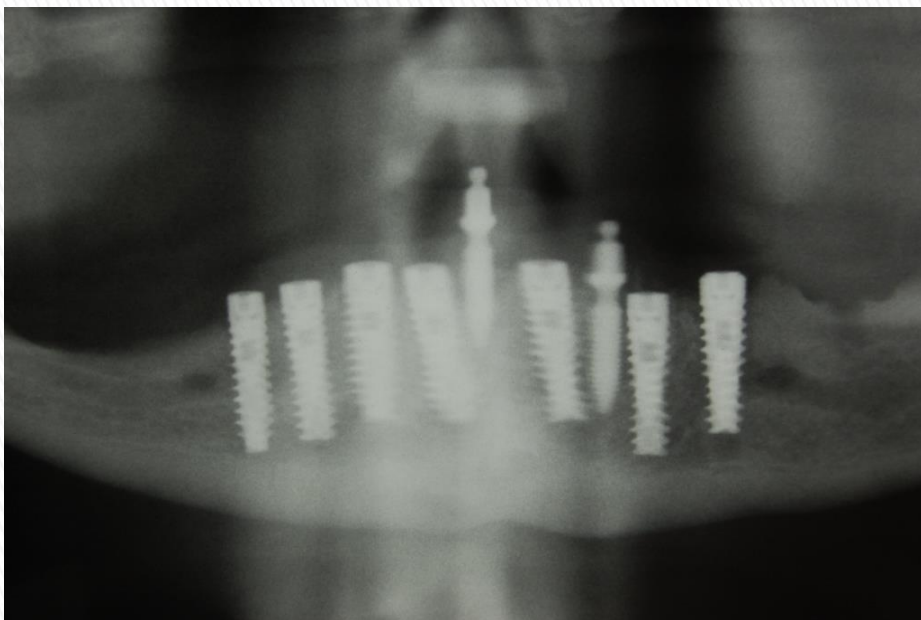


Rys. 17. Przygotowanie modelu STL

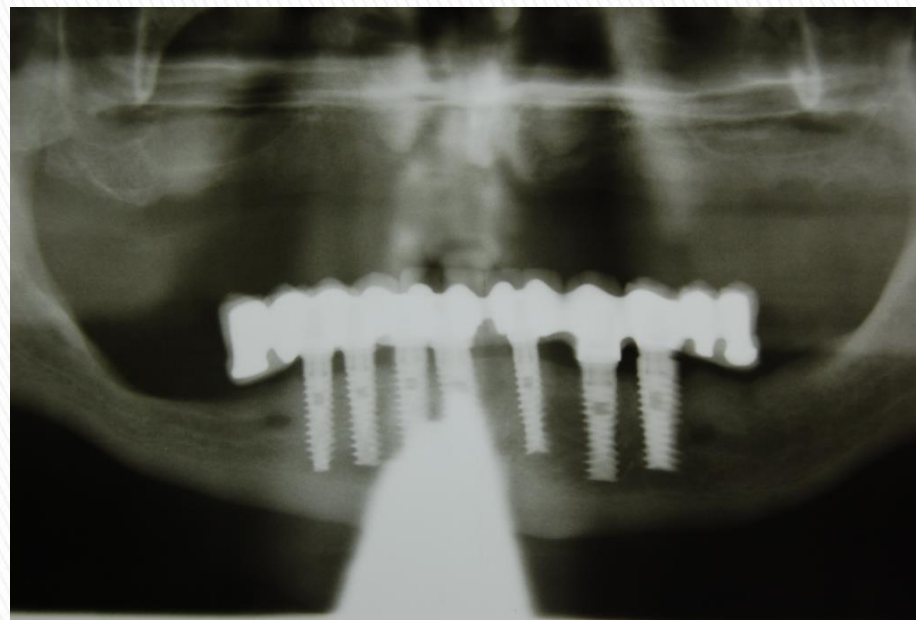


Rys. 18. Wykonanie modelu medycznego metodą PolyJet

Etapy wykonania zabiegu implantoprotetycznego:



Rys. 19. Etap wszczepienia dwóch implantów tymczasowych i siedmiu implantów Alpha Bio w odcinku między otworami bródkowymi i odroczonym ich obciążeniem protezą stałą.

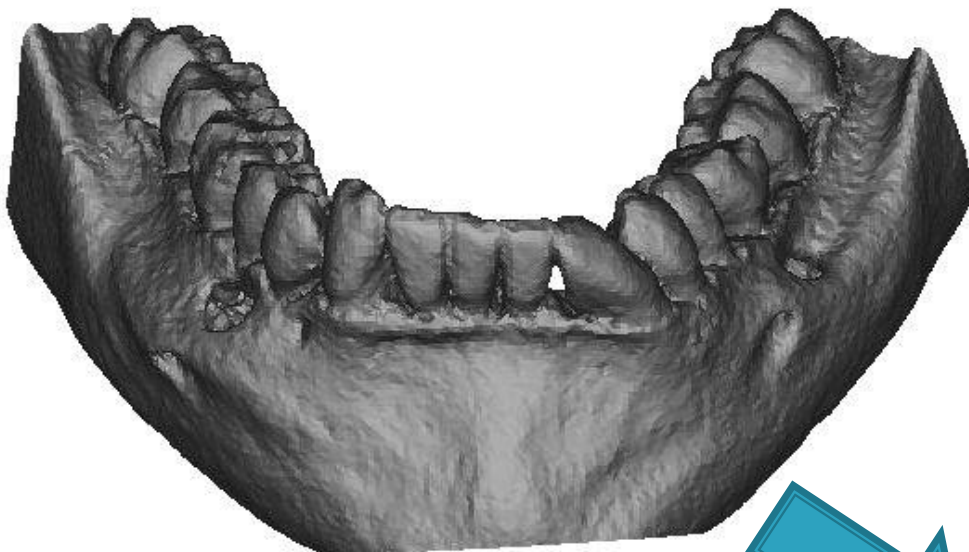


Rys. 20. Wykonana i osadzona proteza stała-most wielopunktowy metalowo-ceramiczny na siedmiu filarach implantologicznych

Etapy wykonania zabiegu implantoprotetycznego:



Rys. 21. Końcowy etap implantoprotetyki - most osadzony na implantach. (Planowanie na modelu medycznym oraz wykonanie implantoprotetyki przez lek. stom. Roberta Suchorowskiego ze Słupska)



Przypadek kliniczny z rozległymi torbielami żuchwy:

Rys. 22. Model STL oraz model medyczny wykonany metodą PolyJet umożliwia planowanie zabiegu implantacyjnego. Na modelu dokładnie widoczne lokalizacja i granice zmian patologicznych. Wizualizacja modelu jest pomocnym narzędziem dla chirurga szczękowego do poprawnego przeprowadzenia zabiegu.



Rys. 23. Planowanie na modelu
fizycznym żuchwy, (PolyJet)

► Wnioski:

1. Nie istnieje jedna i najlepsza technika RP do wykonywania modeli medycznych dla celów implantologii stomatologicznej.
2. Ze względu na kryterium dokładności modelu, Stereolitografia – SL jest metodą najbardziej odpowiednią dla modelowania medycznego. Koszt wykonania modelu tą metodą jest jednak największy. Wadą metody jest również podatność na obciążenia mechaniczne i termiczne.
3. Ze względu na koszty wykonania modelu, metoda 3DP jest najbardziej odpowiednia. Wadą metody jest brak możliwości odwzorowania struktur wewnętrznych oraz bardzo złożonych zewnętrznych.
4. Ze względu na rodzaj materiału najbardziej odpowiednia dla zastosowań medycznych jest metoda FDM. Wadą tej metody są duże koszty wykonania modelu jednak znacznie mniejsze niż w przypadku metody SL.
5. Ze względu na koszty oraz funkcjonalność modelu POLYJET może być odpowiednią metodą w zastosowaniach medycznych (w implantoprotetyce). Należy jednak zwrócić uwagę na wymagania wymiarowe modelu oraz parametry wykonania.



Dziękuję za uwagę...