

Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka
REVERZIBILNO INŽENJERSTVO I BRZA IZRADA PROTOTIPA
U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

PRIMENA REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

predavanje 6

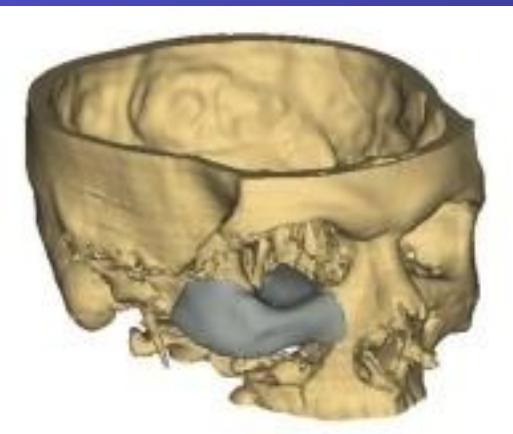
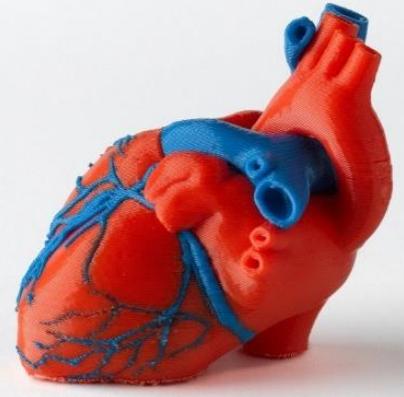
Prof. dr Igor Budak

OBLASTI PRIMENE REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

- Medicinski modeli
- Rekonstruktivna pomoćna sredstva
- Digitalni hirurški planovi
- Kustomizovane hirurške vođice
- Kustomizovani implanti
- Proteze i modeli za vežbanje/treniranje

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN MEDICINSKIH MODELA

Medicinski modeli su kustomizovane (odgovaraju konkretnoj nameni) fizičke ili digitalne reprodukcije anatomije, kreirane na bazi 3D digitalizovanih podataka sa CT, CBCT, MRI, fotogrametrijskih ili drugih sistema.

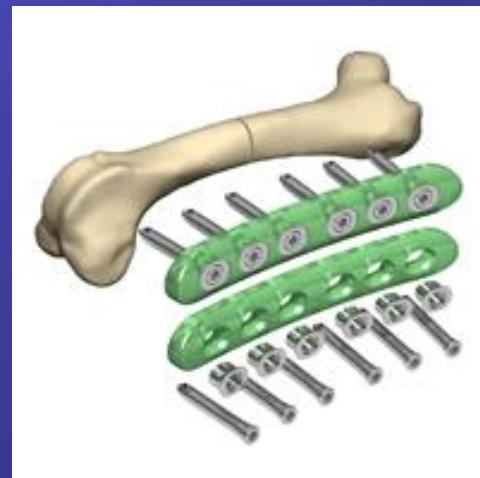
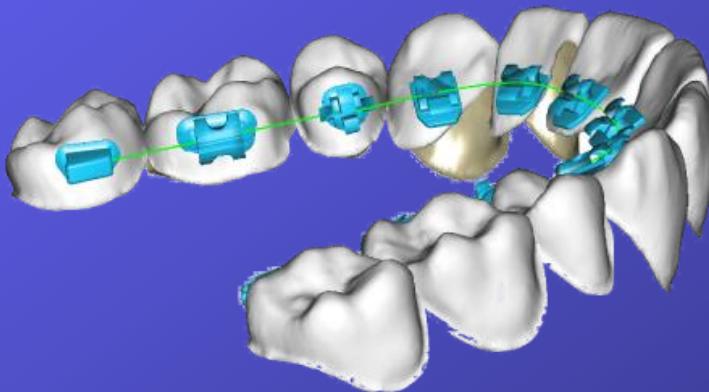
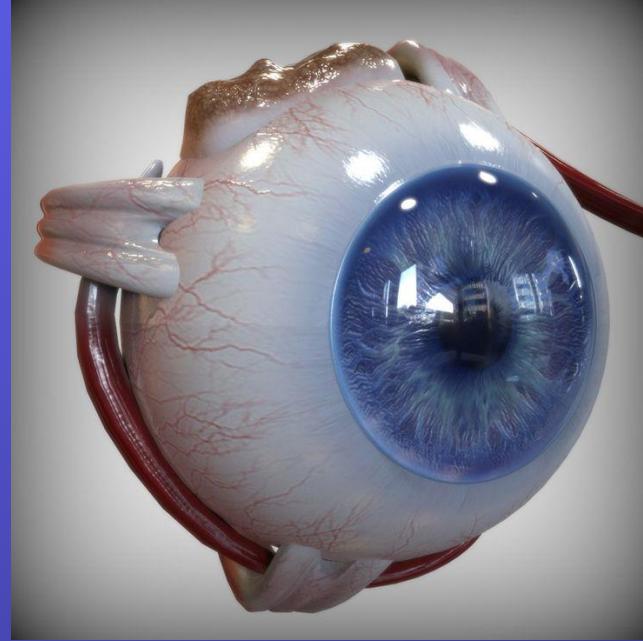
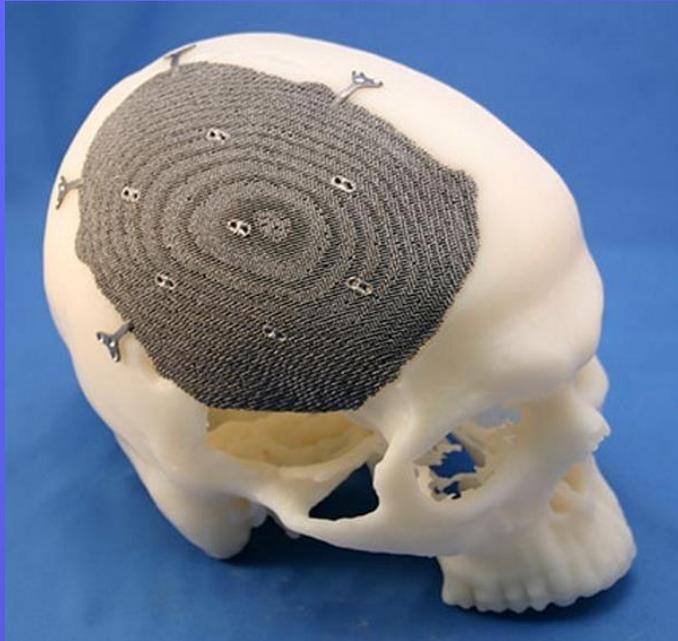


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN MEDICINSKIH MODELA

Medicinski modeli su namenjeni za:

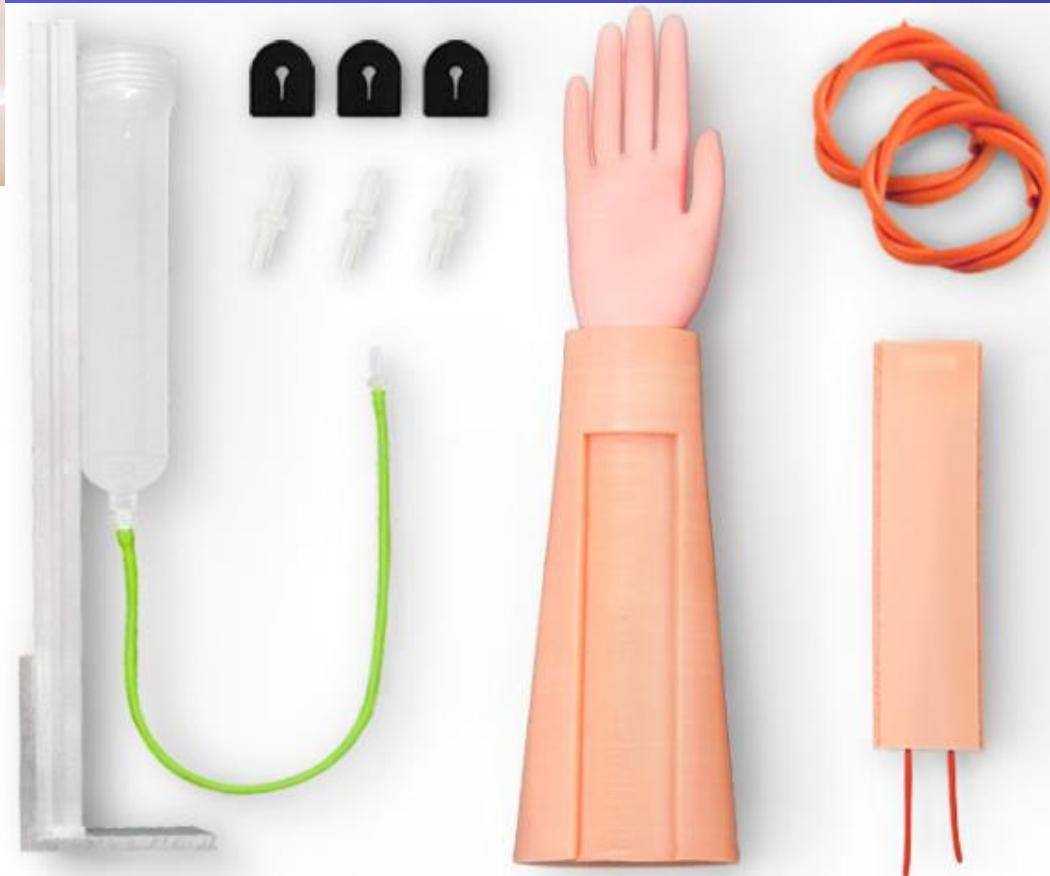
- ✓ hirurške probe/pripreme,
- ✓ komuniciranje procedura sa pacijentima,
- ✓ vizuelizaciju na predavanjima,
- ✓ kao šabloni za pomoć kod oblikovanja tipskih implantata.

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN MEDICINSKIH MODELA



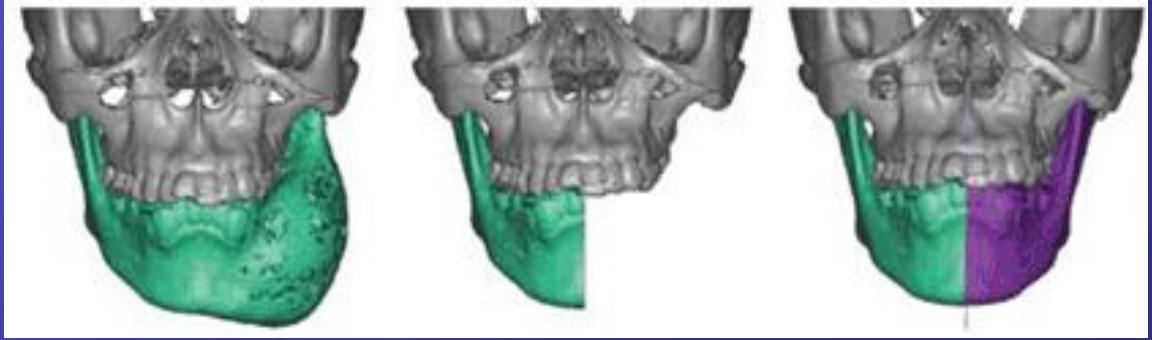
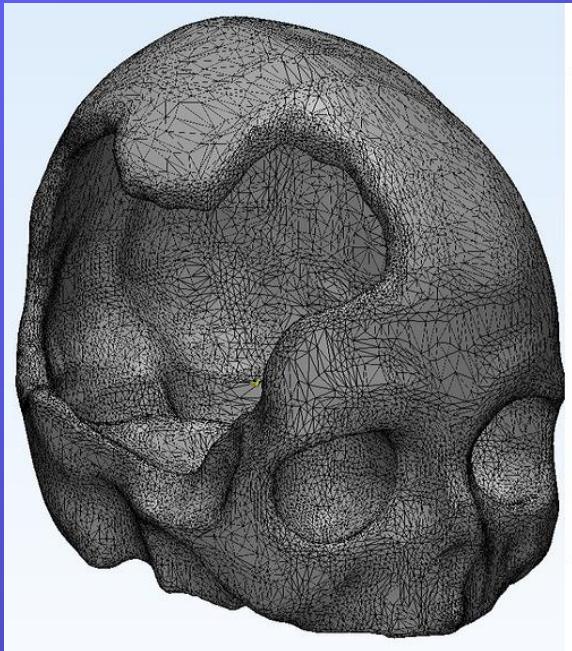


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN MEDICINSKIH MODELA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN REKONSTRUKTIVNIH POMOĆNIH SREDSTAVA

Rekonstruktivna pomoćna sredstva predstavljaju medicinske modele modifikovane (u virtualnom CAD okruženju) pre fabrikacije. Tipičan primer je kopiranje "u ogledalu" zdrave anatomije ili rekonturisanje defekata.



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN REKONSTRUKTIVNIH POMOĆNIH SREDSTAVA

Rekonstruktivna pomoćna sredstva se primenjuju sa ciljem:

- uštede vremena kod (vremenski zahtevnih) rekonstrukcija koje zahtevaju manuelno oblikovanje (tzv. rezbarenjem),
- povećanja tačnosti laboratorijski kreiranih modela ili implantata,
- za redukovanje potrebe za ponavljanjem operacija kroz povećanje predvidljivosti.

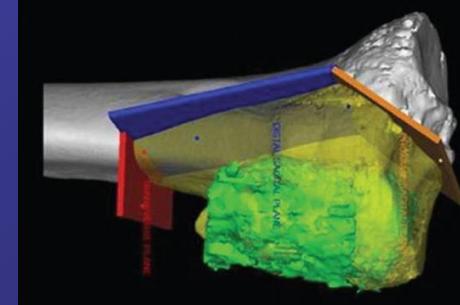
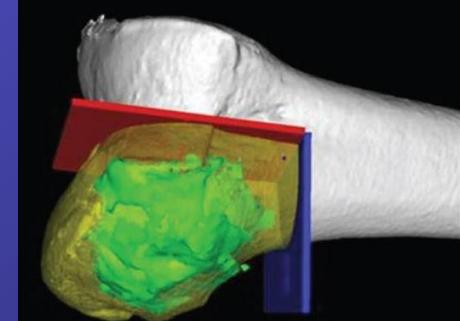
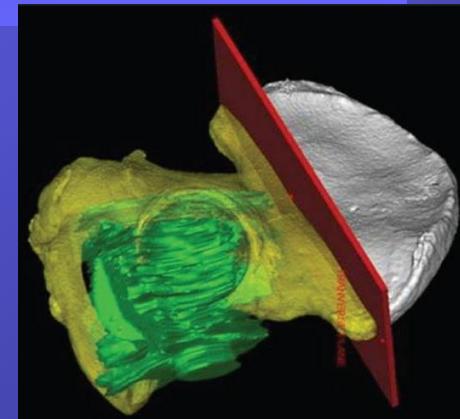
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN DIGITALNIH HIRURŠKIH PLANOVA

Digitalni hirurški planovi su na računaru zasnovane probe i finalni dizajni za sečenja i/ili pomeranja kostiju, koje se sprovode pre hirurških zahvata.

Kompletiraju se putem online sastanaka ili konferencijskih poziva.

DHP mogu da:

- povećaju predvidljivost i tačnost izlaznih rezultata,
- smanje vreme trajanja operacija, ali i
- da budu priprema za primenu kastomizovanih hirurških vođica i implantata.



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN DIGITALNIH HIRURŠKIH PLANOVA

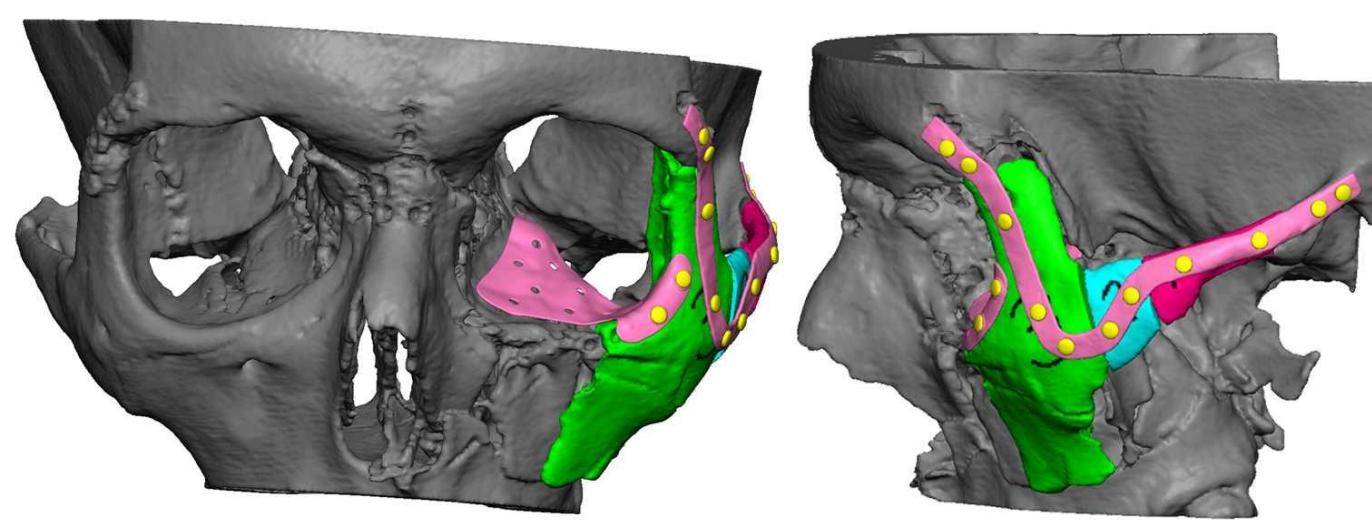
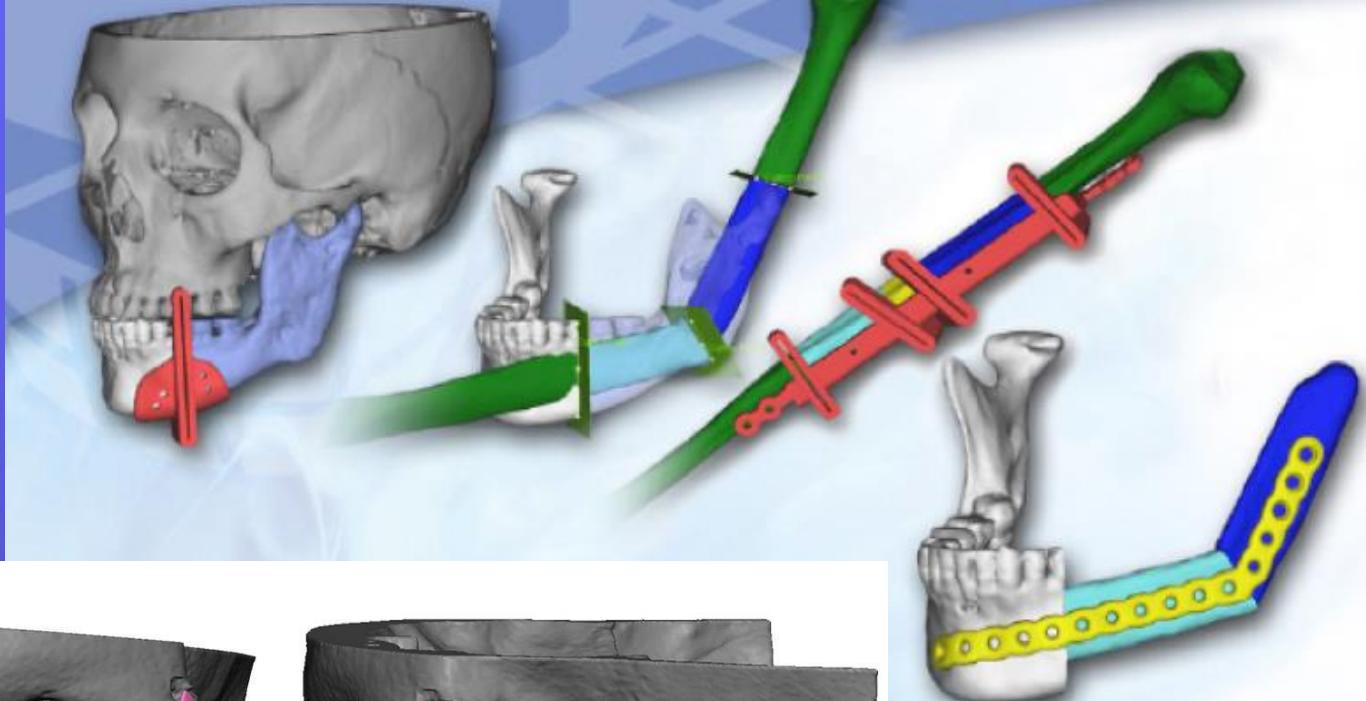
Digitalni hirurški planovi su korisni, pre svega, kod kompleksnijih procedura, kao što su:

- ✓ planiranje osteotomije (sečenje kosti),
- ✓ ekscizija (izrezivanje) i resekacija tumora,
- ✓ postavljanje implantata za retenciju (zadržavanje) proteze,
- ✓ selekcije dela kosti za graftovanje.

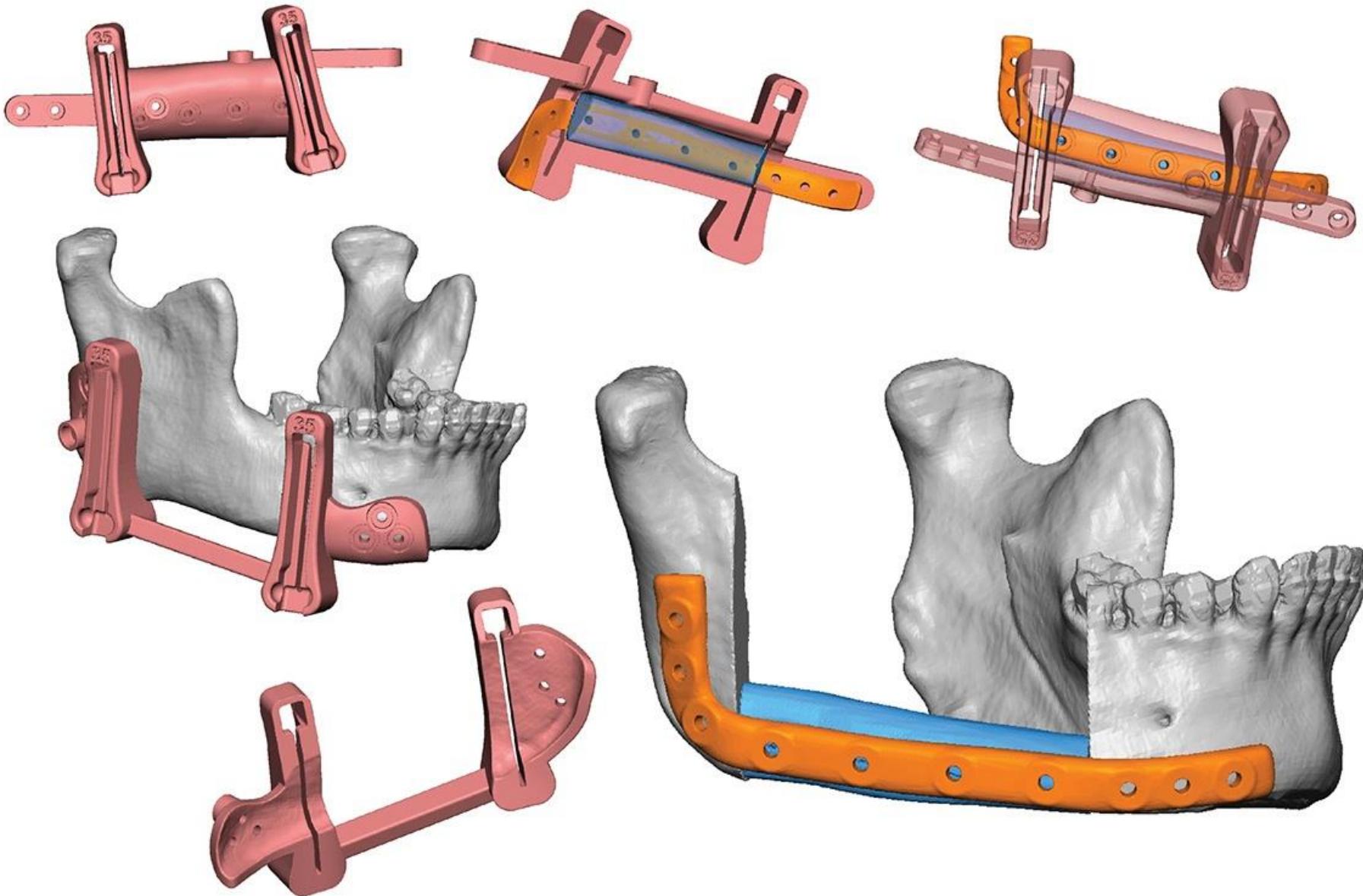
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN DIGITALNIH HIRURŠKIH PLANOVA



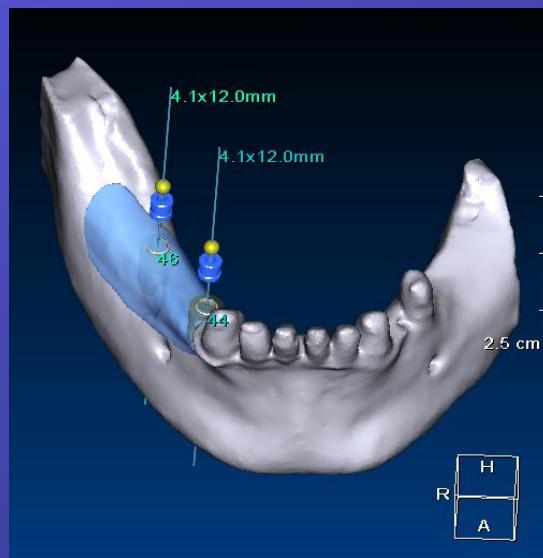
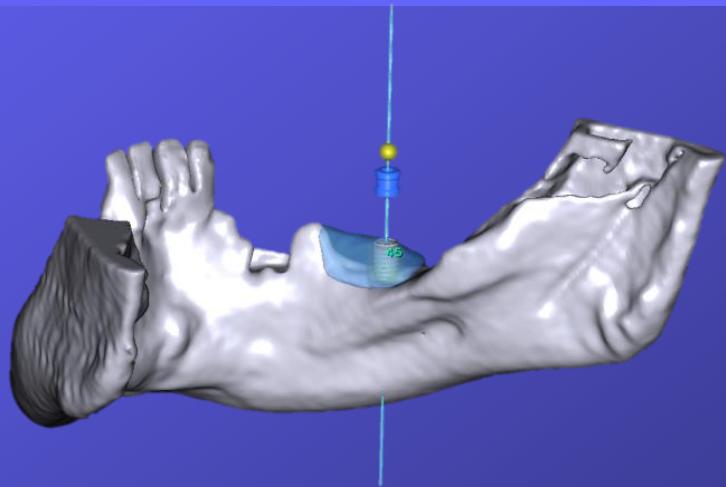
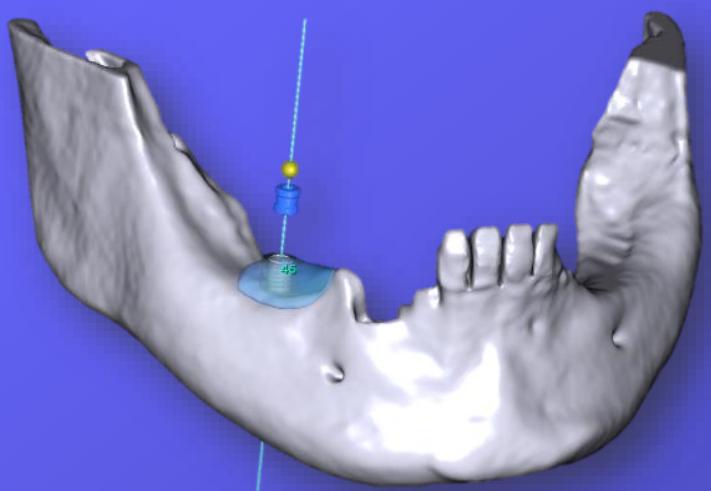
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN DIGITALNIH HIRURŠKIH PLANOVA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN DIGITALNIH HIRURŠKIH PLANOVA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN DIGITALNIH HIRURŠKIH PLANOVA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VODICA

Kastomizovane hirurške vodice su sprave, proizvedene aditivnim tehnologijama (3D štampa) od metala ili polimera, kojima se digitalni hirurški planovi precizno i predvidljivo prenose u operacione sale.

Često se primenjuju u kombinaciji sa kastomizovanim implantatima. Dizajnirani su da idealno naležu na anatomska obeležja (repere) i da usmeravaju:

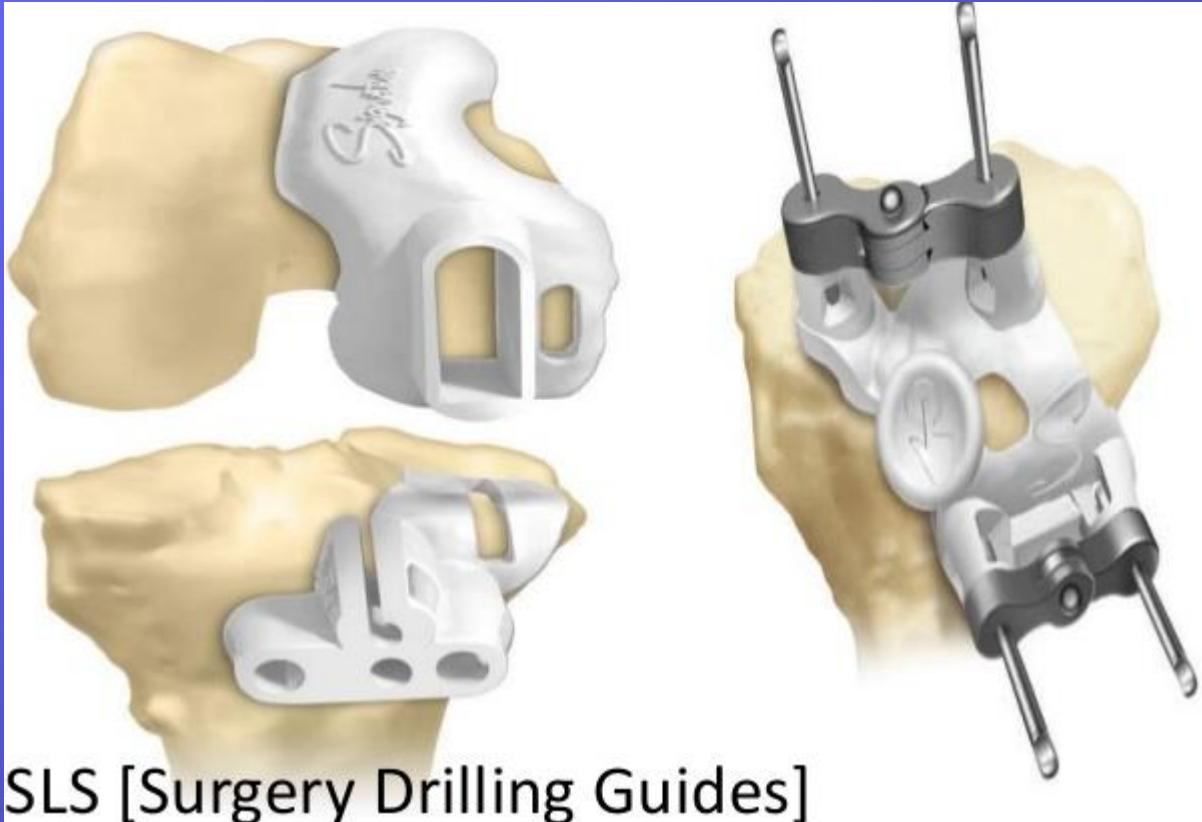
- pravce sečenja,
- pozicije i uglove bušenja i
- re-pozicioniranje kosti.

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VODICA

Tipični primeri primene **kastomizovanih hirurških vodica** obuhvataju:

- ✓ kontrolisanje rezova kod osteotomije i re-pozicioniranja kosti,
- ✓ ekscizije (izrezivanja) i resekcije tumora,
- ✓ postavljanje implantata za retenciju (zadržavanje) proteze i
- ✓ tačno isecanje dela kosti kod autolognog graftovanja (najčešće fibule kod facijalnih rekonstrukcija).

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VODICA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VODICA



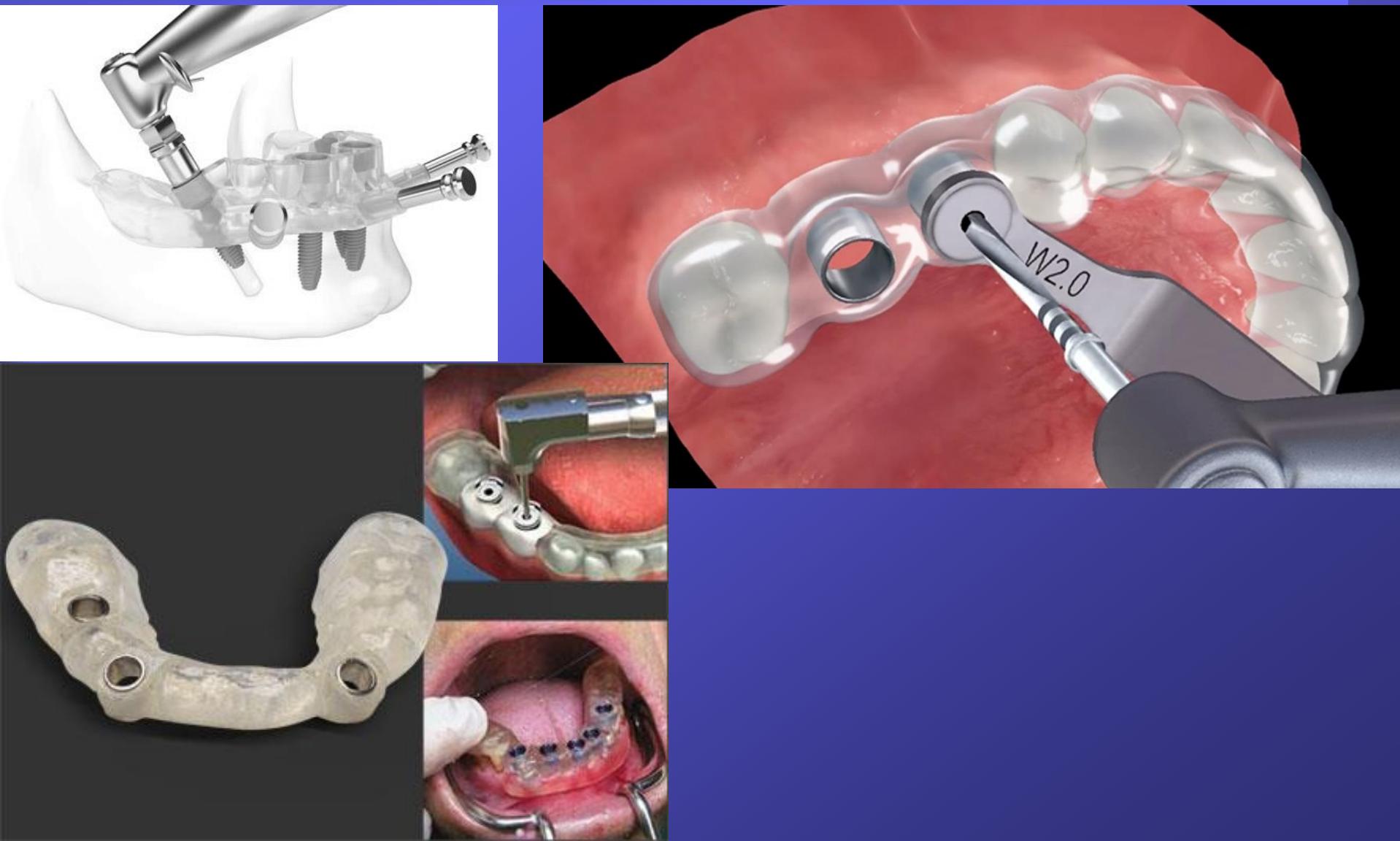
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VOĐICA



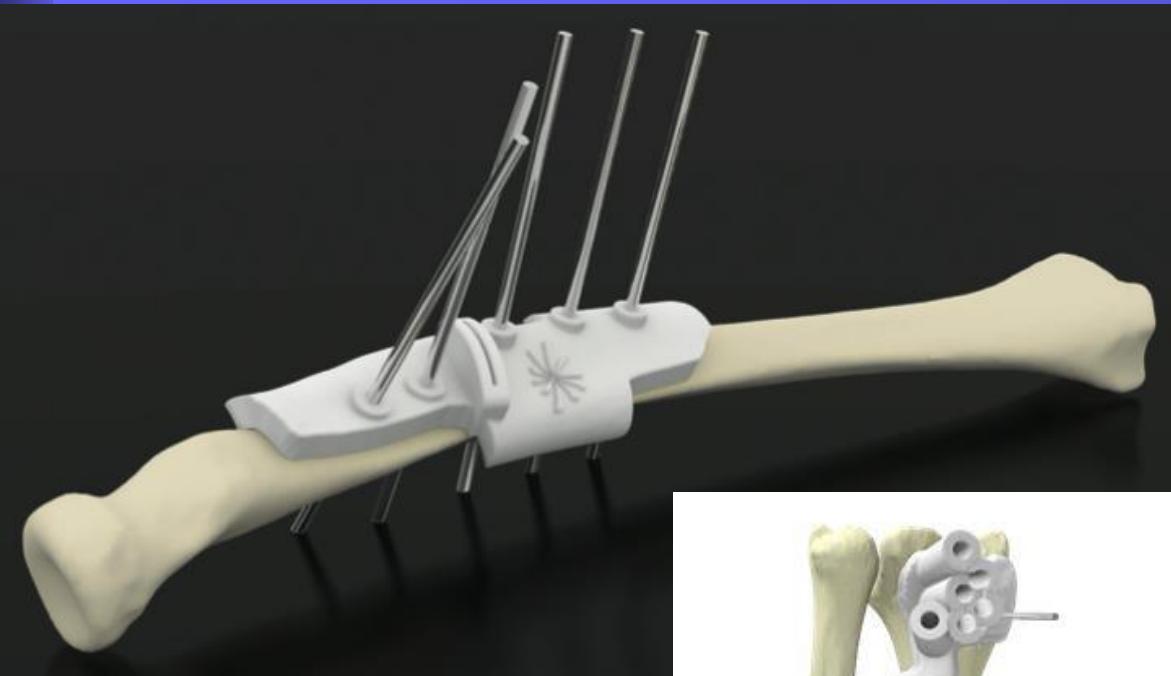
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VOĐICA



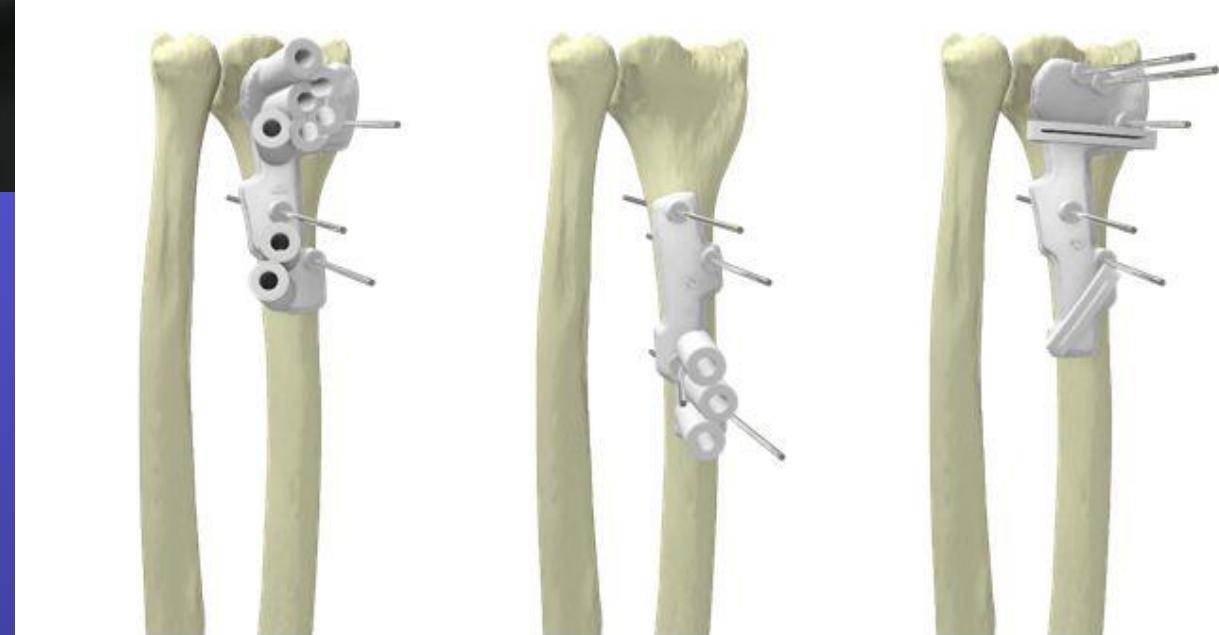
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VODICA



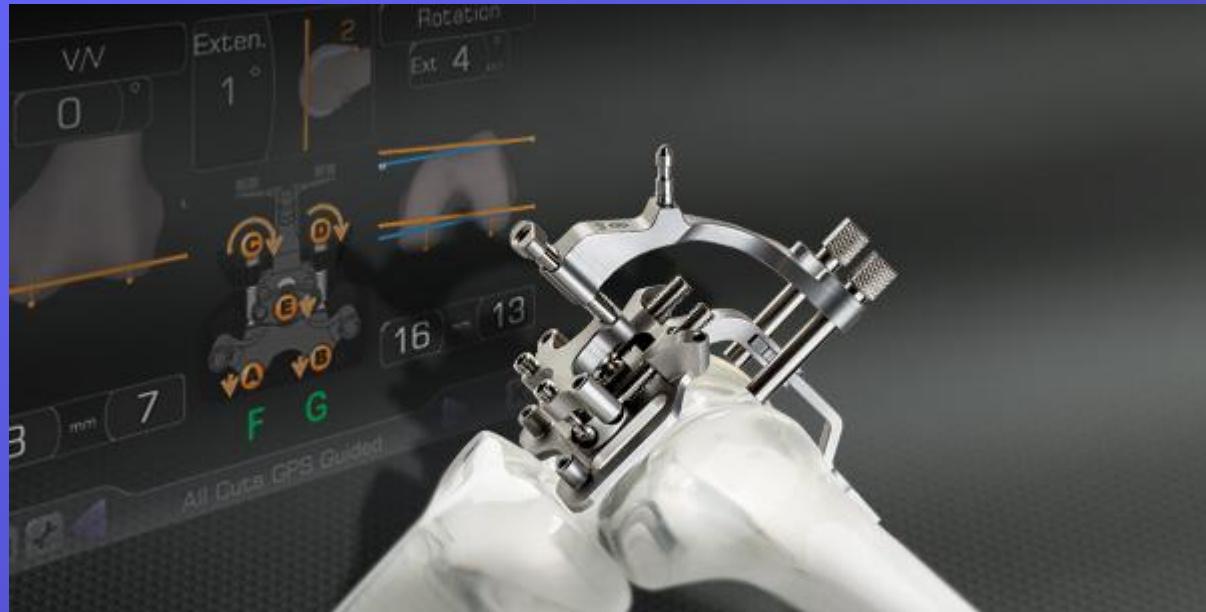
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH HIRURŠKIH VODICA



re-pozicioniranje
kosti



REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DIZAJN KASTOMİZOVANIH HIRURŠKIH VODICA



ExactechGPS® Guided Personalized Surgery is a real-time

OBLASTI PRIMENE REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

- Medicinski modeli
- Rekonstruktivna pomoćna sredstva
- Digitalni hirurški planovi
- Kastomizovane hirurške vodice
- Kastomizovani implantati
- Proteze i modeli za vežbanje/treniranje

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Kastomizovani implantati su dizajnirani tako da idealno odgovaraju anatomiji individualnog pacijenta sa ciljem obnavljanja mehaničkih i estetskih funkcija.

Danas se najčešće proizvode aditivnim tehnologijama (3D štampa) od Ti i CoCr legura, ali i tehnologijama skidanjem materijala kad je reč o veštačkim koštanim graftovima, odnosno kalupovanjem u slučaju manuelno modelovanih akrilnih (PMMA) implantata od koštanog cementa.

Dizajniraju se na osnovu digitalnih hirurških planova i kastomizovanih hirurških vodica.

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Kastomizovani
implantati
proizvedeni
aditivnim
tehnologijama
(3D štampa)
od Ti legura



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Kastomizovani implantati proizvedeni aditivnim tehnologijama (3D štampa) od CoCr legura



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Tipični primeri primene **kastomizovanih implantata** obuhvataju:

- ✓ zigomatične ostetomske implantate,
- ✓ rekonstrukcije orbitalnih podnožnih/medijalnih zidova,
- ✓ kranijalne implantate,
- ✓ privremene/orbitalne tumorske rekonstrukcije i
- ✓ maksilarne rekonstruktivne ploče (panele).

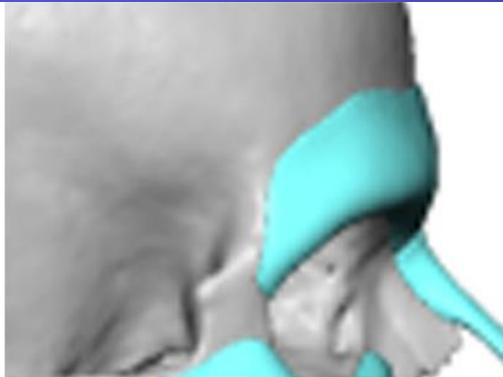
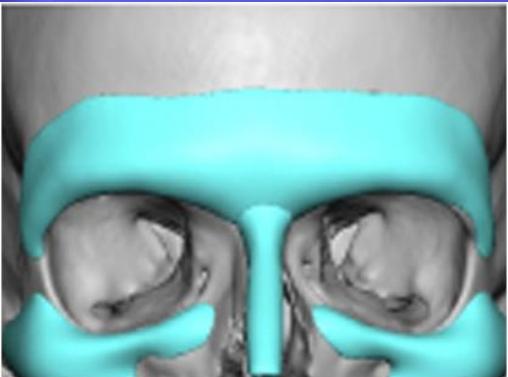
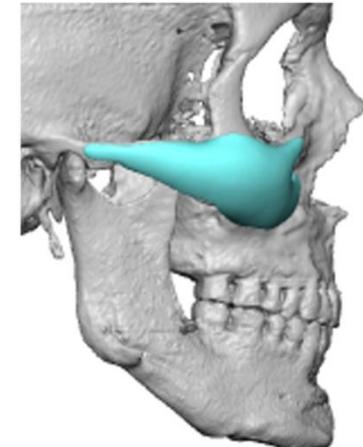
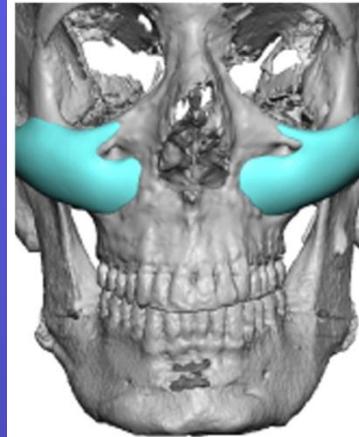
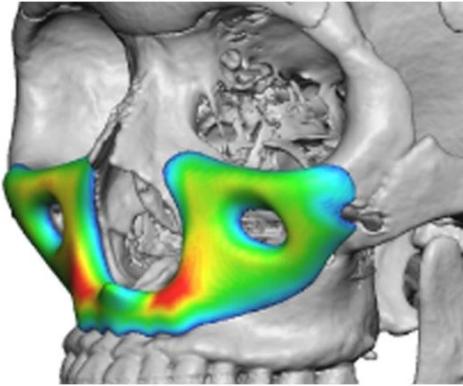
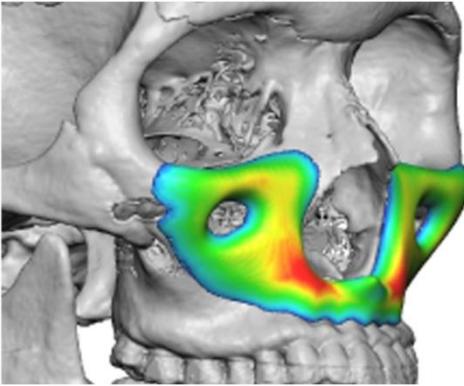
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Zahvaljujući aditivnim tehnologijama, moguća je kastomizacija kvaliteta površinske završne obrade i poroznosti - sa ciljem: pospešivanja oseointegracije u ciljanim područjima, redukcije mase implantata uz održanje mehaničkih karakteristika ili postizanja odgovarajućeg nivoa refleksivnosti.

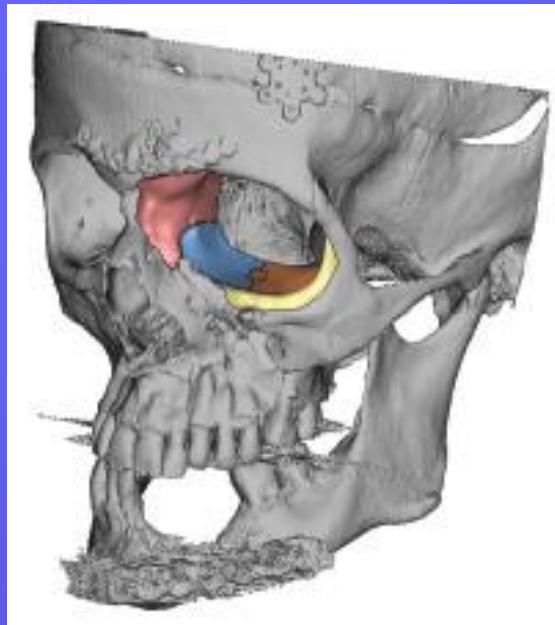


REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DIZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA

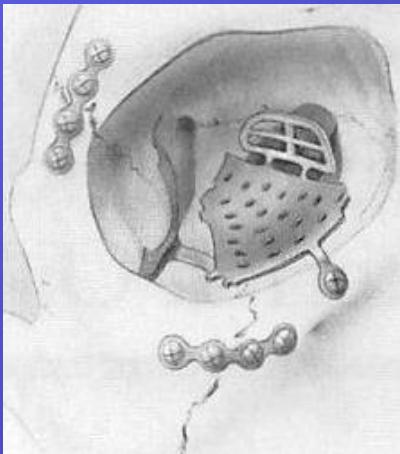
Maksilofacijalni implantati



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

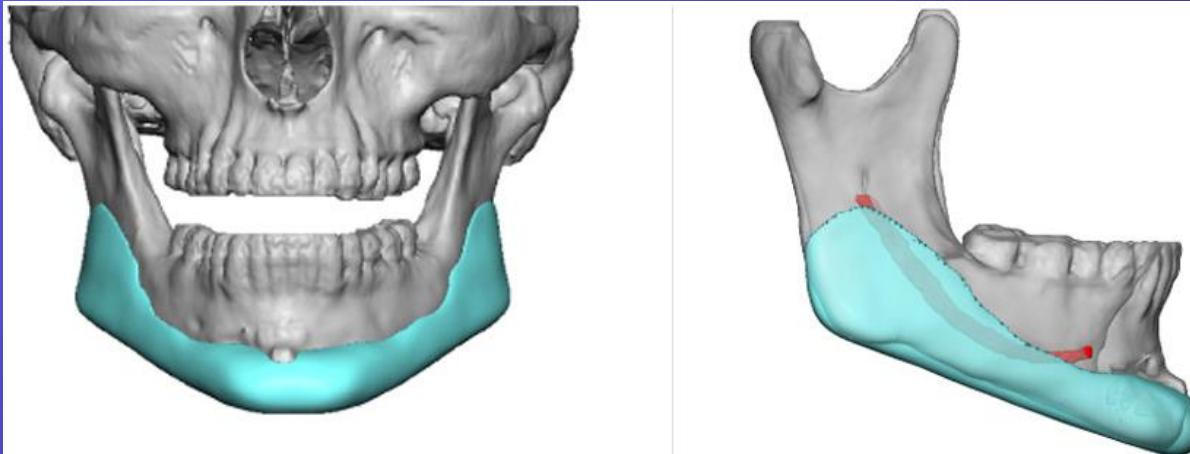
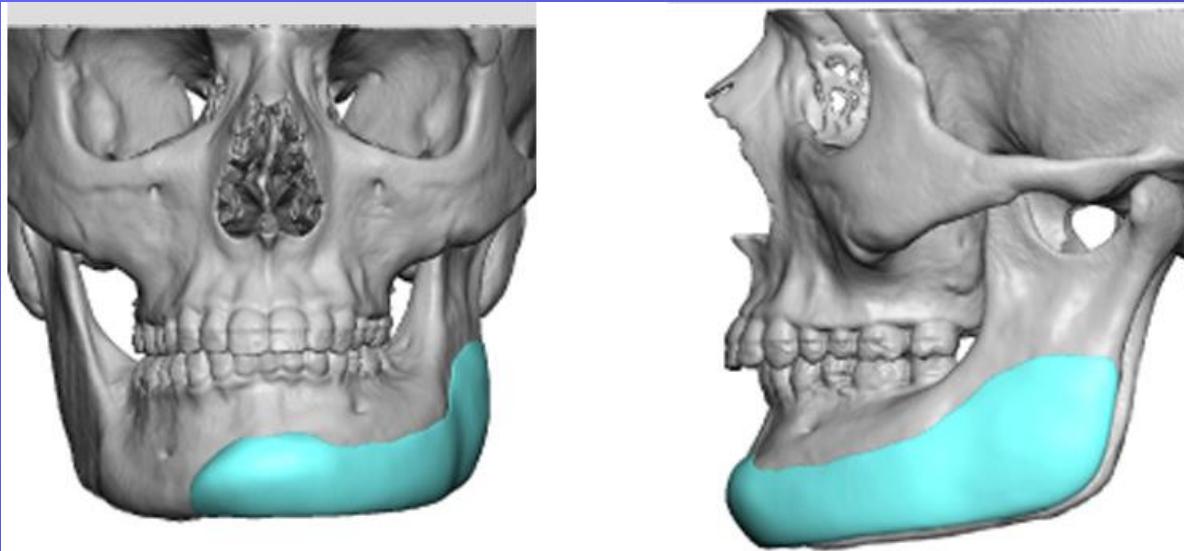


Orbitalni implantati



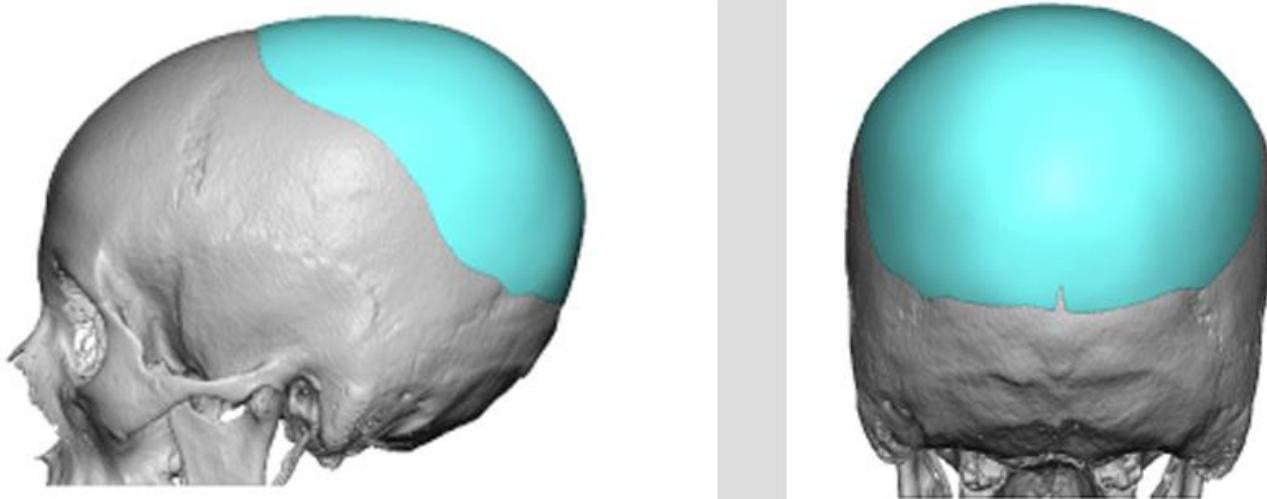
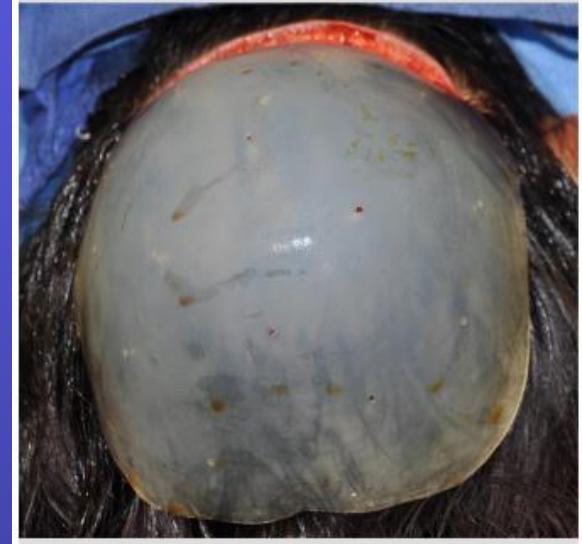
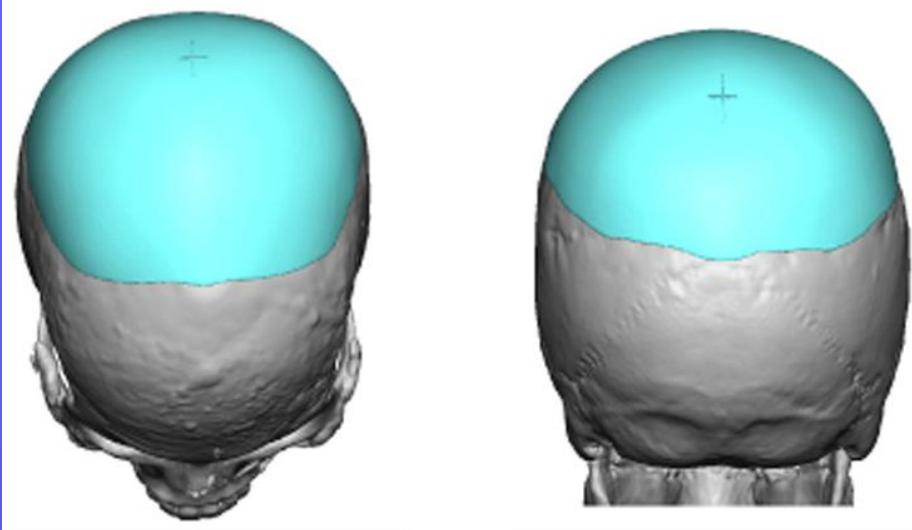
REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DIZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA

Mandibularni implantati



REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DIZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA

Kranijalni implantati



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

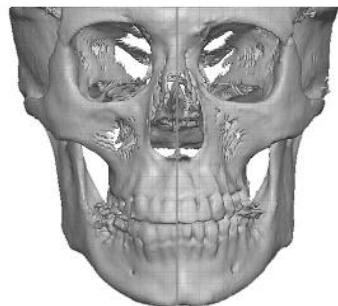
Plastična i estetska hirurgija



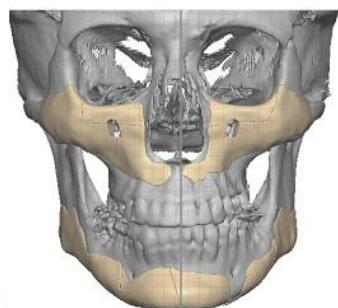
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA



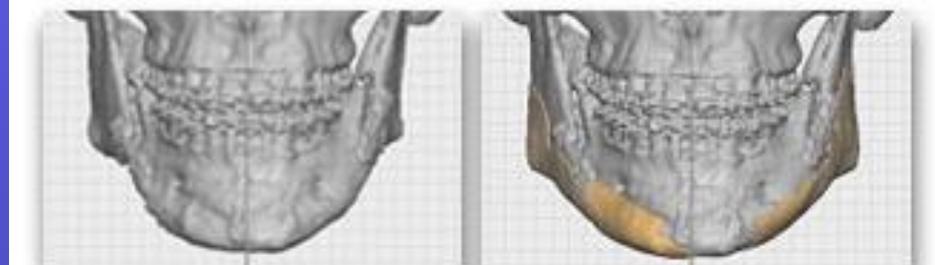
Pre-operative



Post-operative



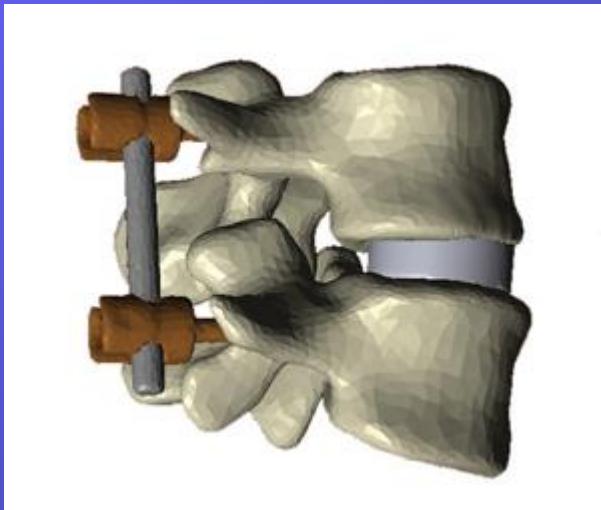
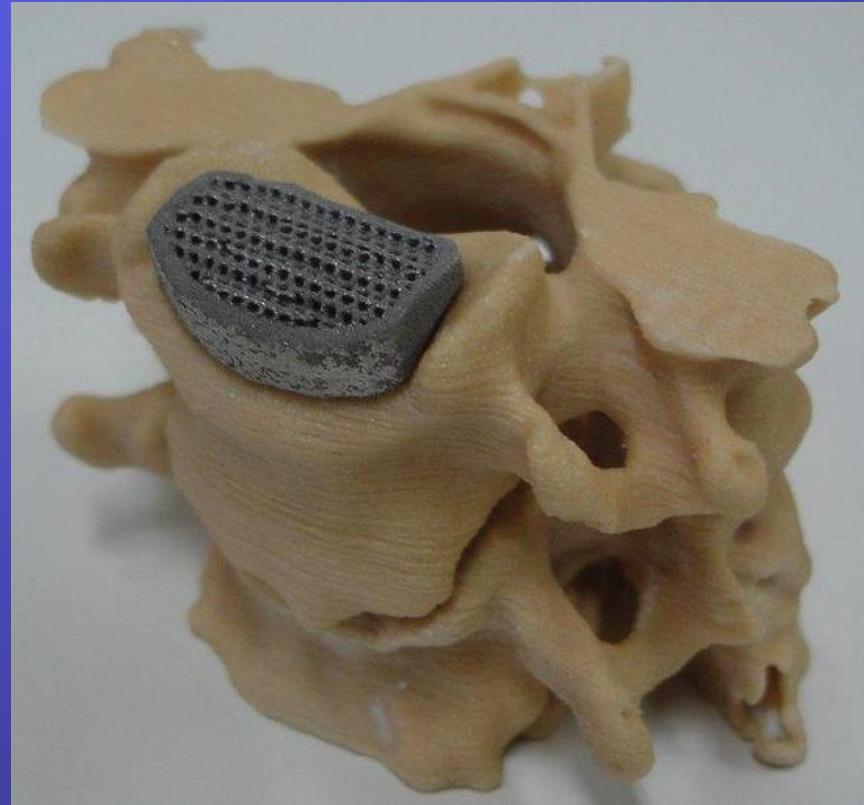
Plastična i estetska hirurgija



REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DİZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA



Spinalni implantati

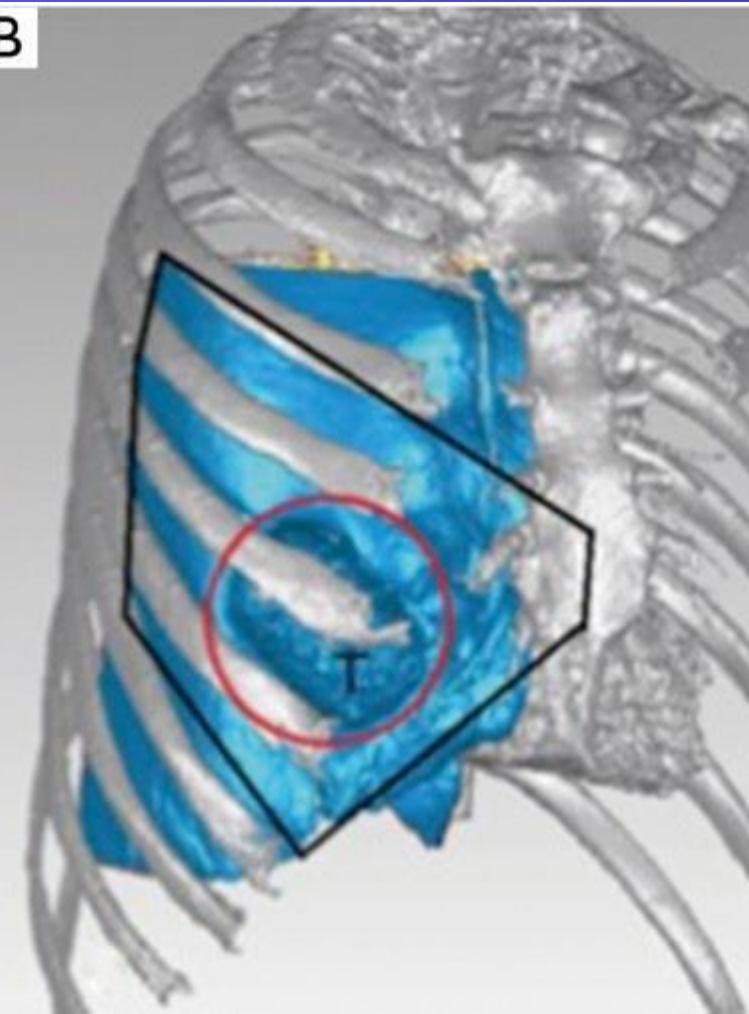


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

A



B



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

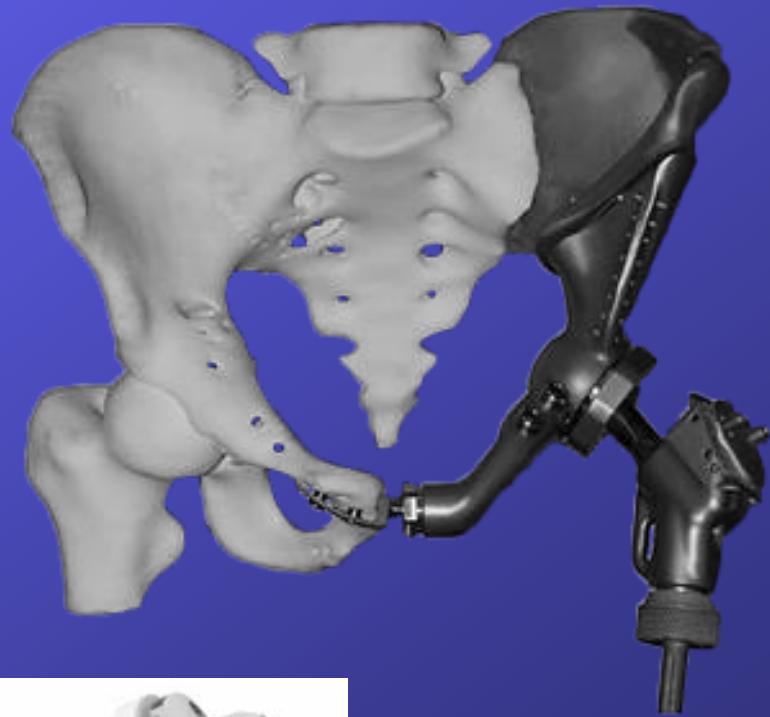
Ortopedski implantati



Ortopedsko koleno



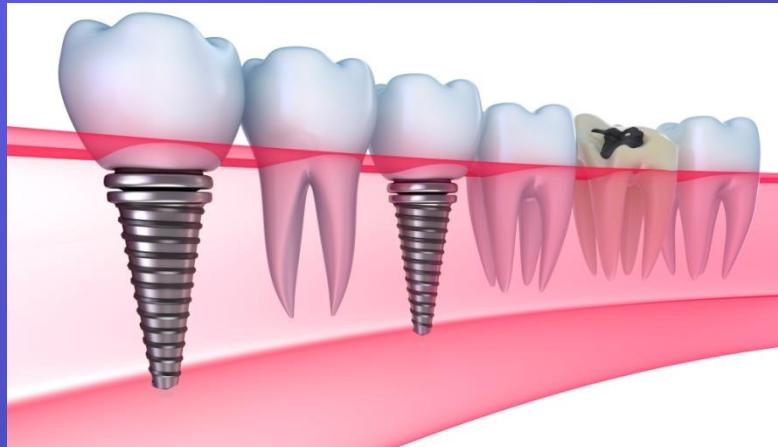
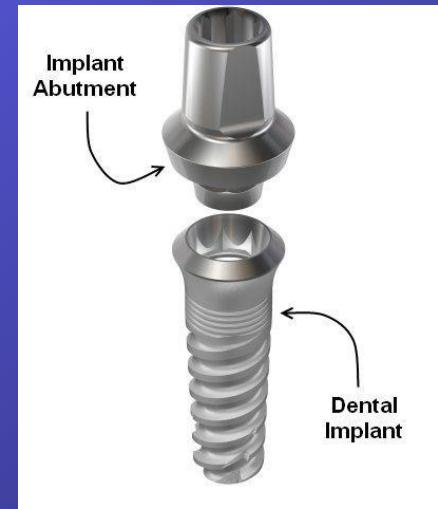
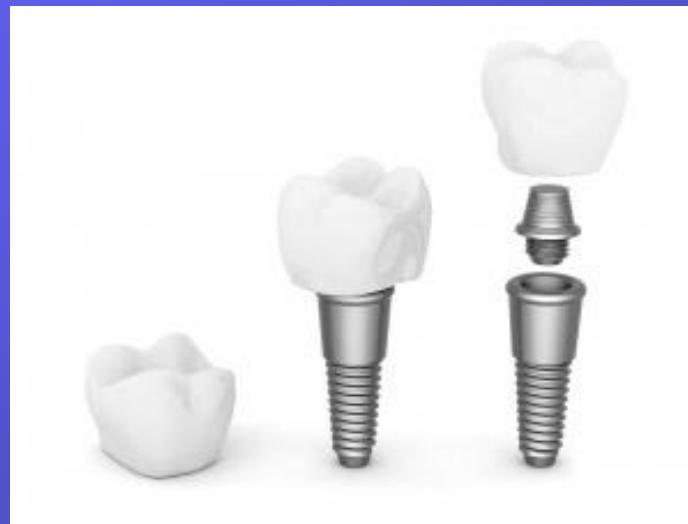
Keramičko koleno



Ortopedsko rame

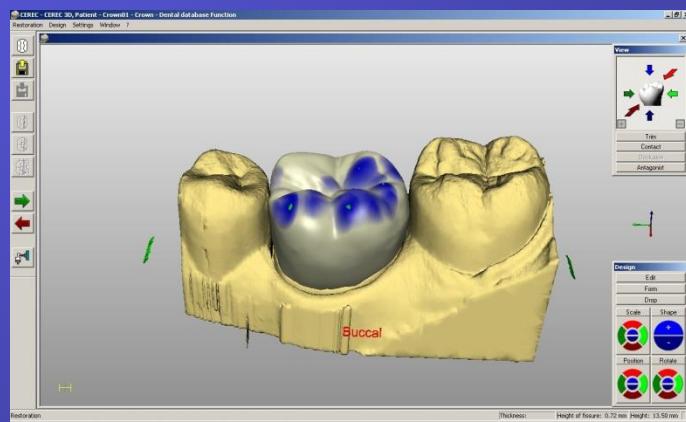
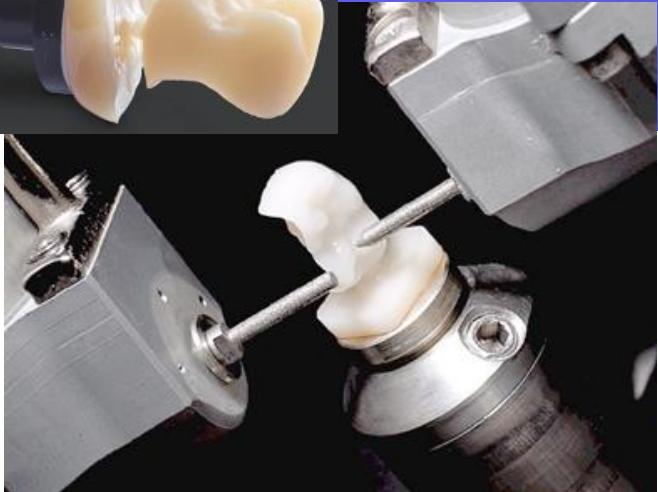
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Dentalni implantati



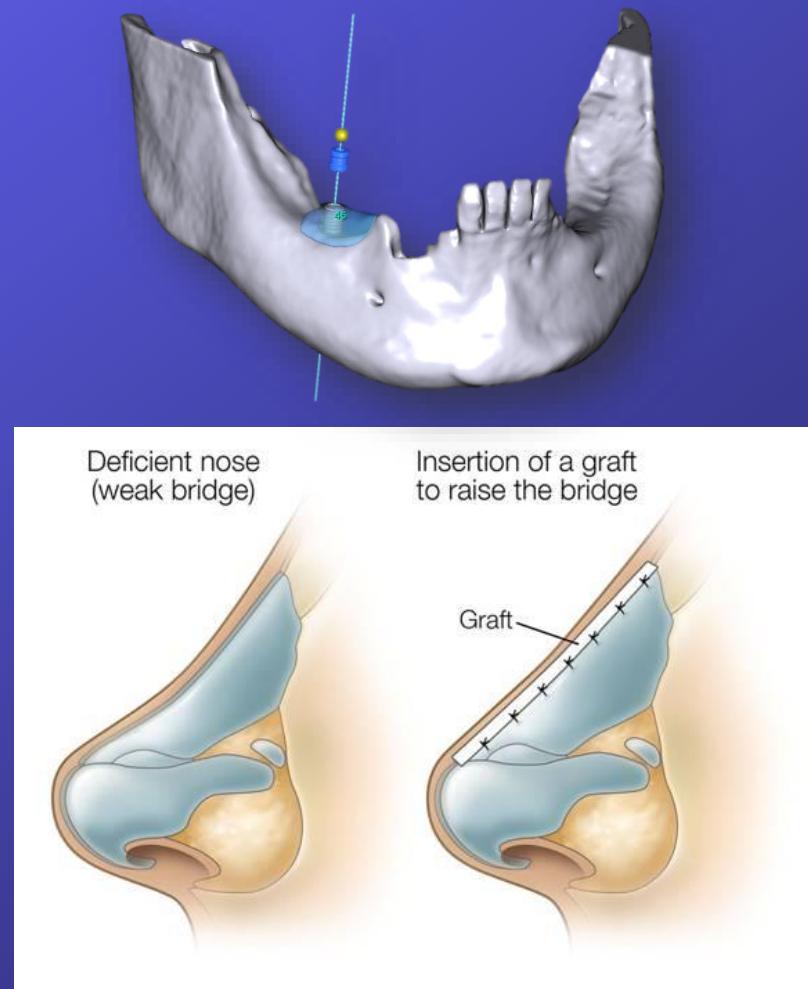
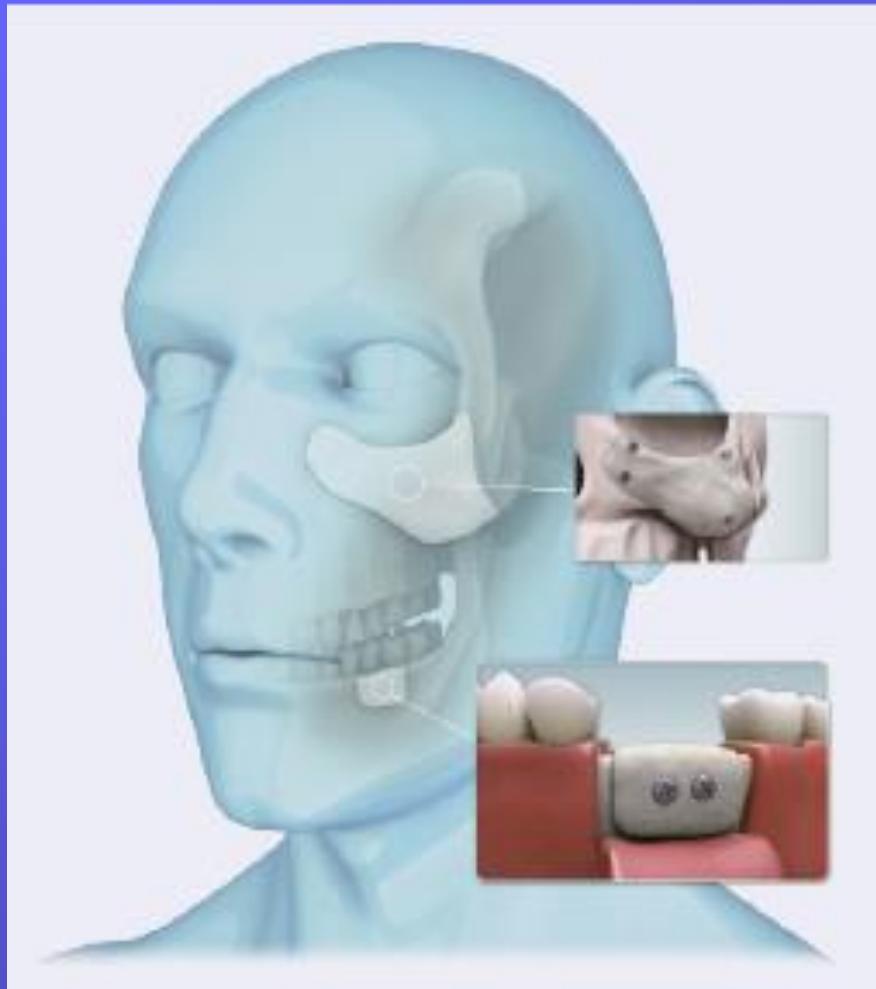
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Dentalni implantati



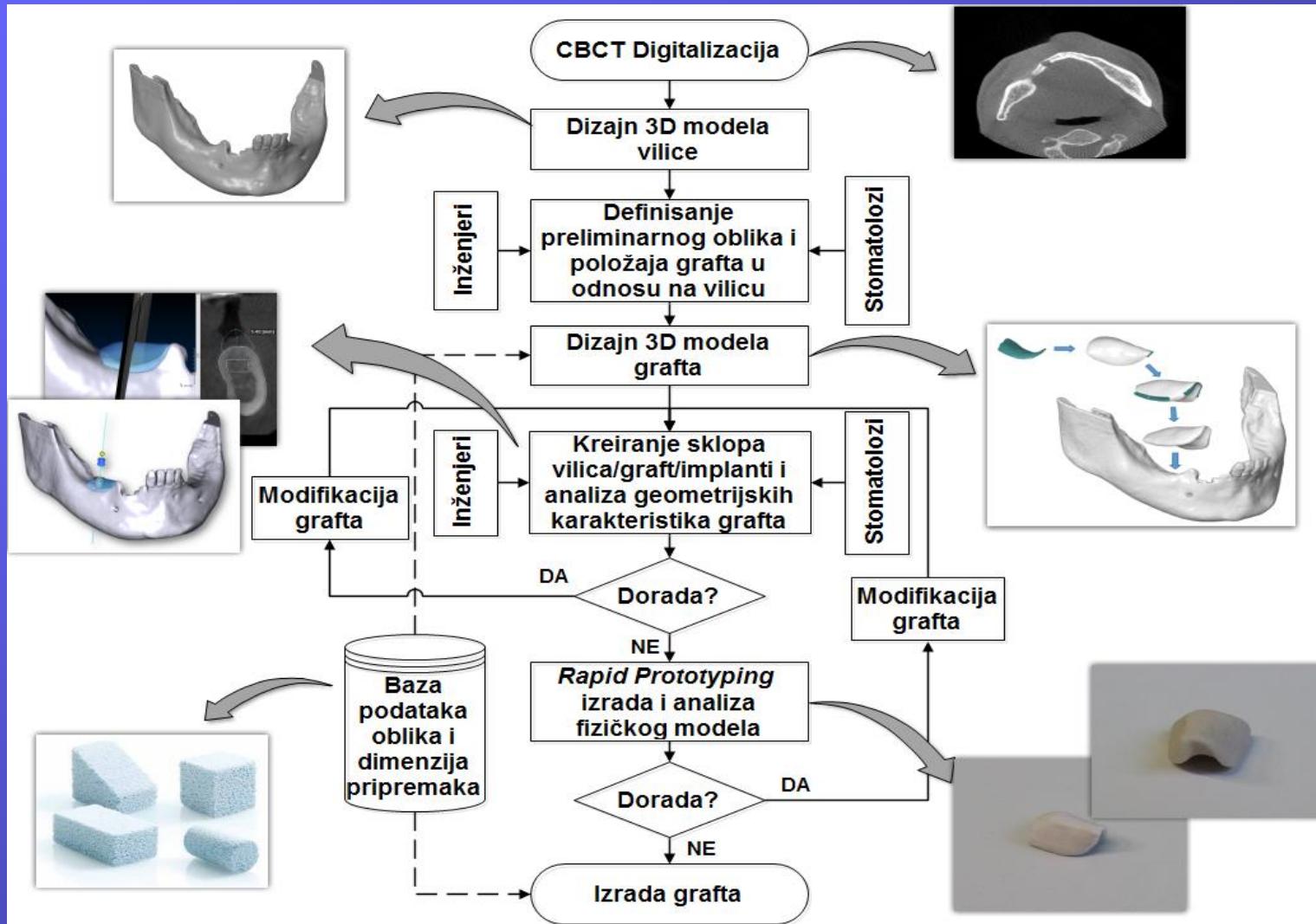
REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DIZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA

Kastomizovani graftovi



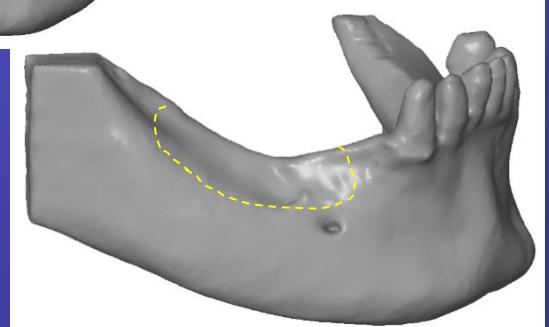
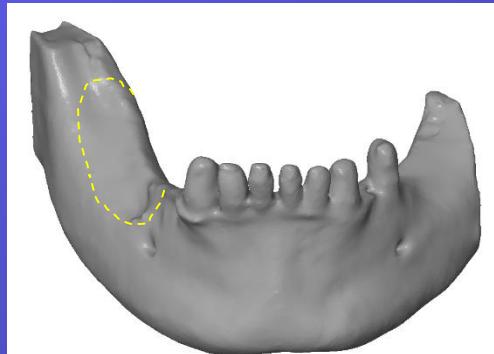
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

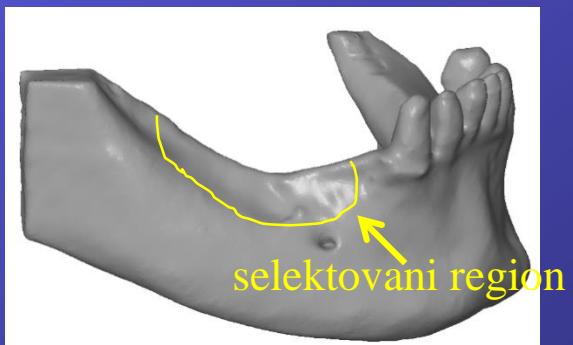


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

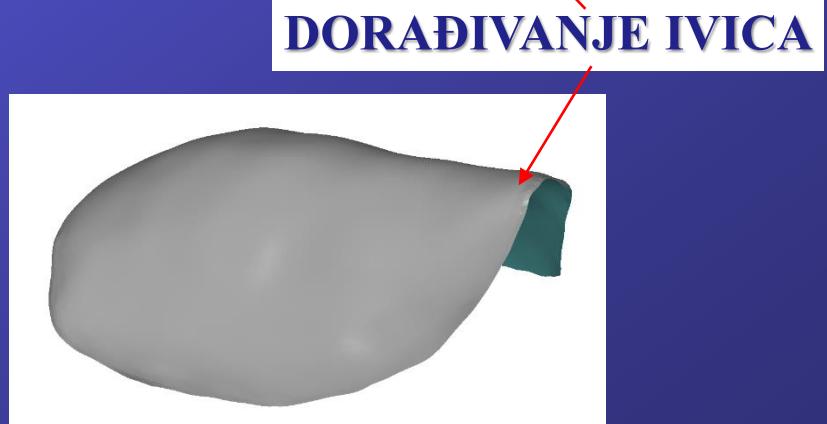
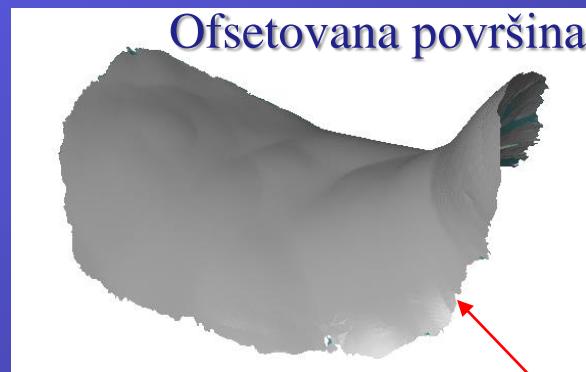


Dizajniranje bazne
površine grafta



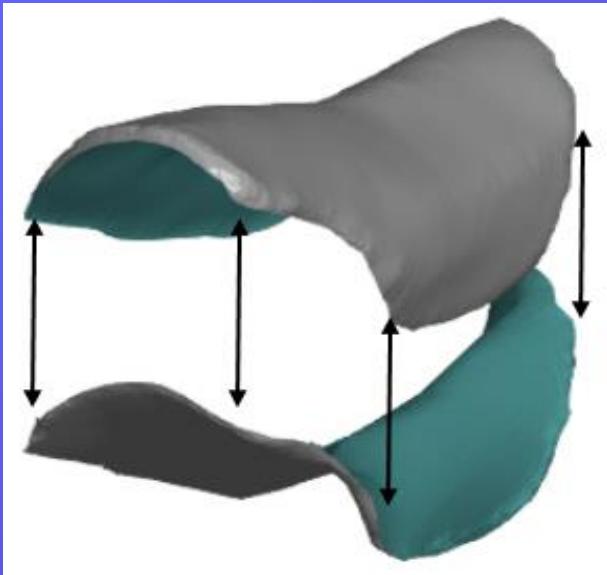
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



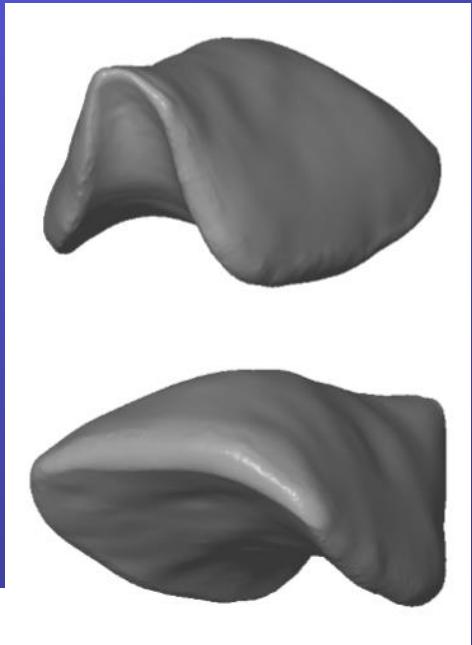
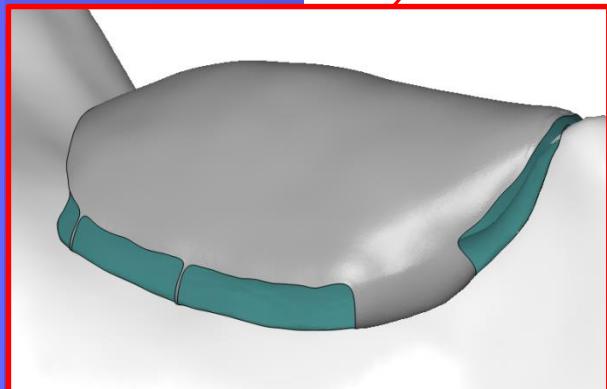
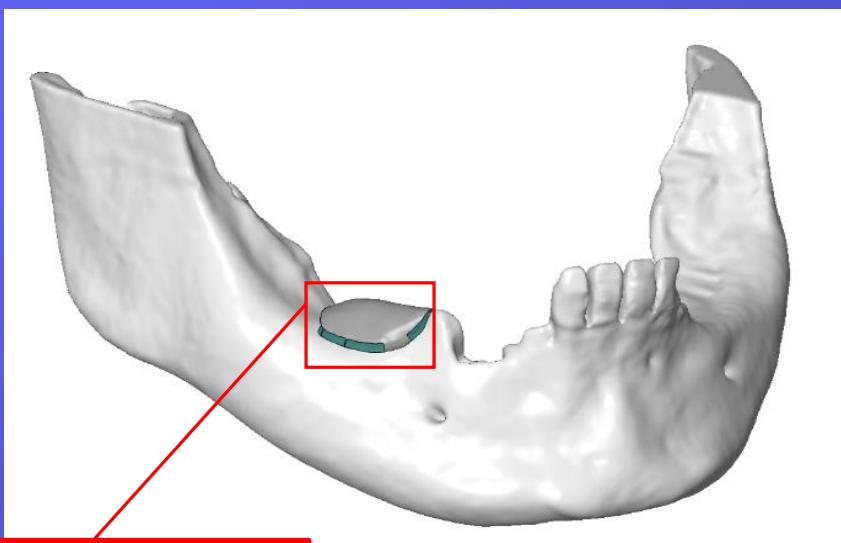
Dizajniranje gornje površine



3D model grafta

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

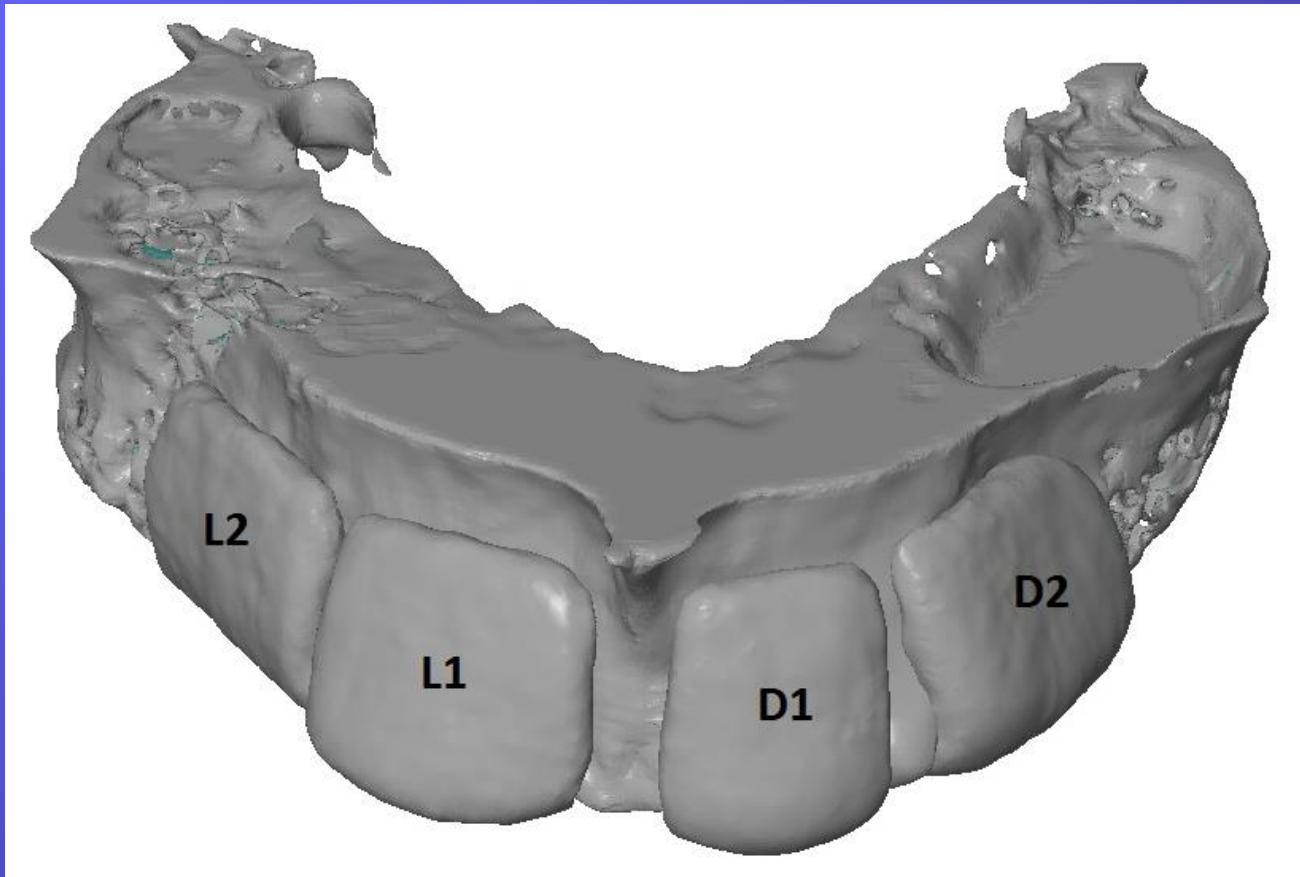
DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

- Alternativni pristupi:
 - Manuelno modelovanje na RP modelu vilice;
 - Viruelno modelovanje primenom haptičke ruke.



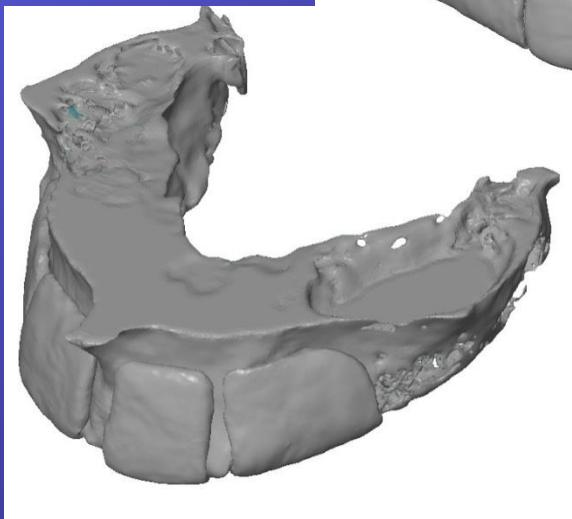
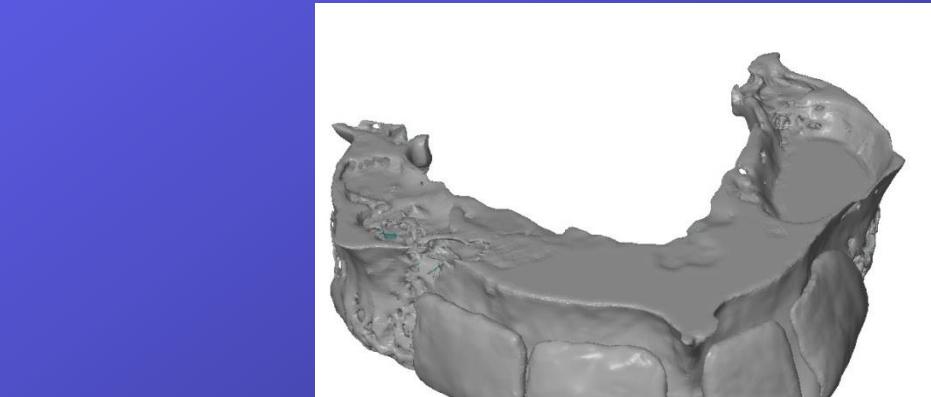
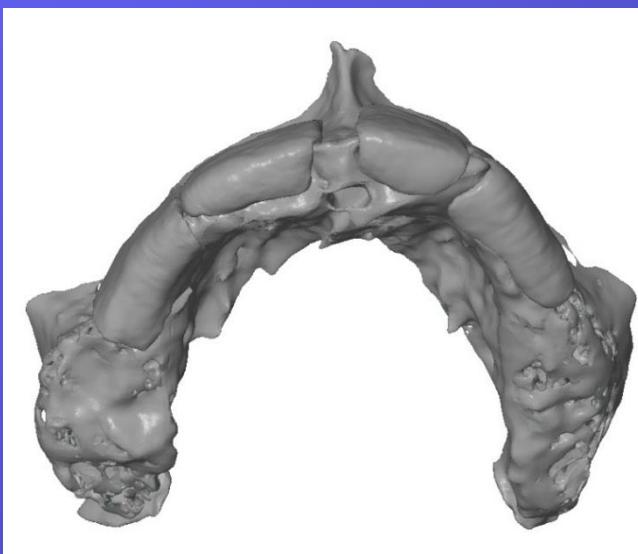
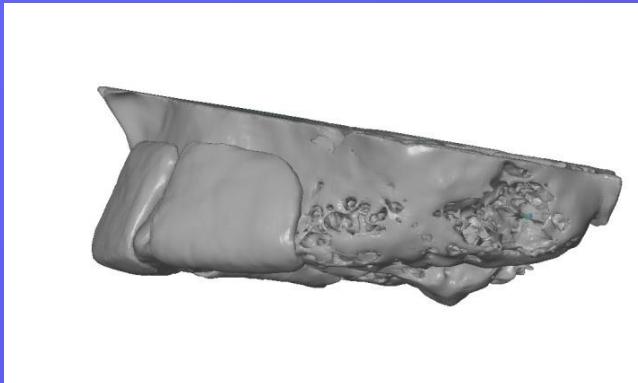
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



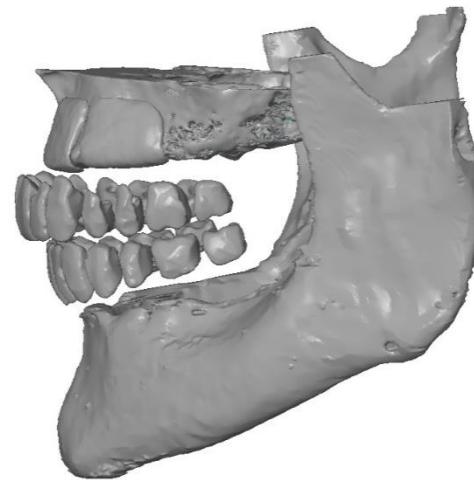
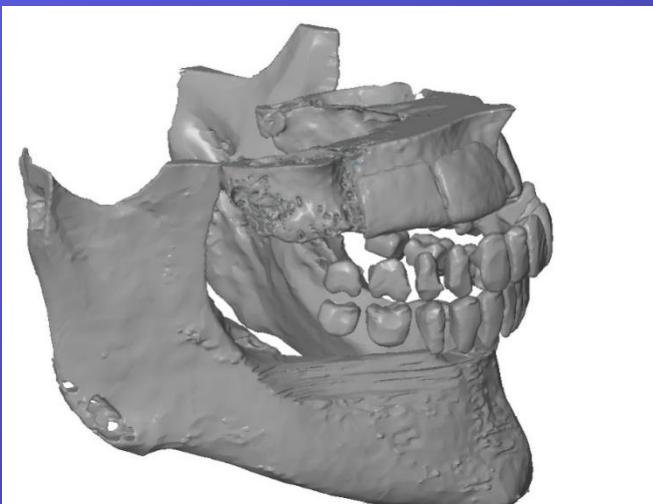
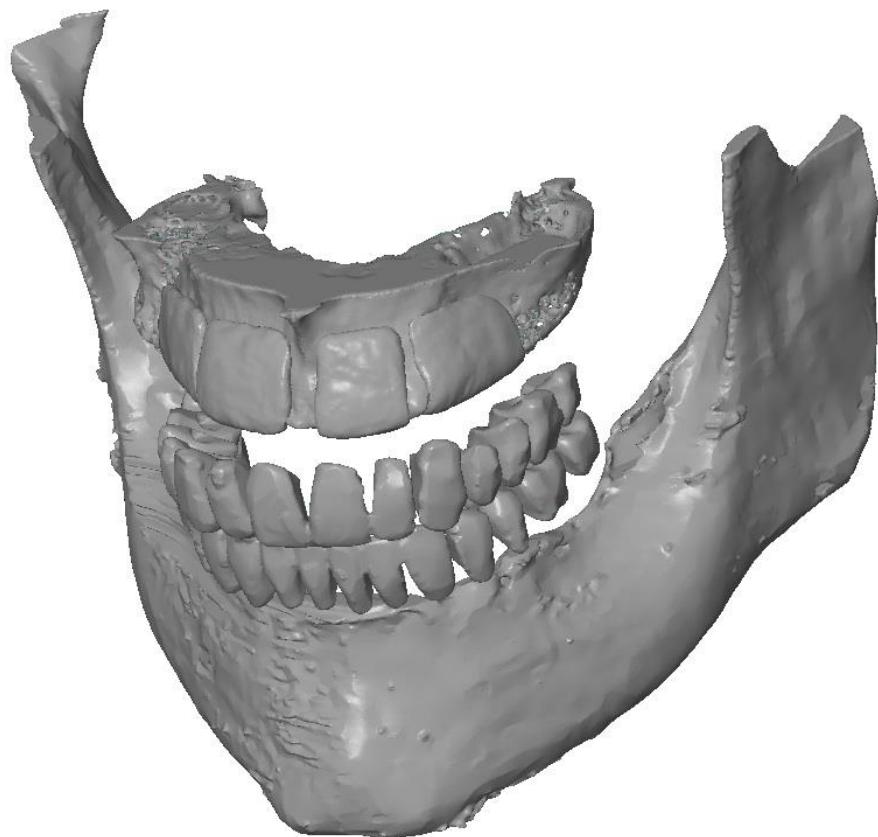
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

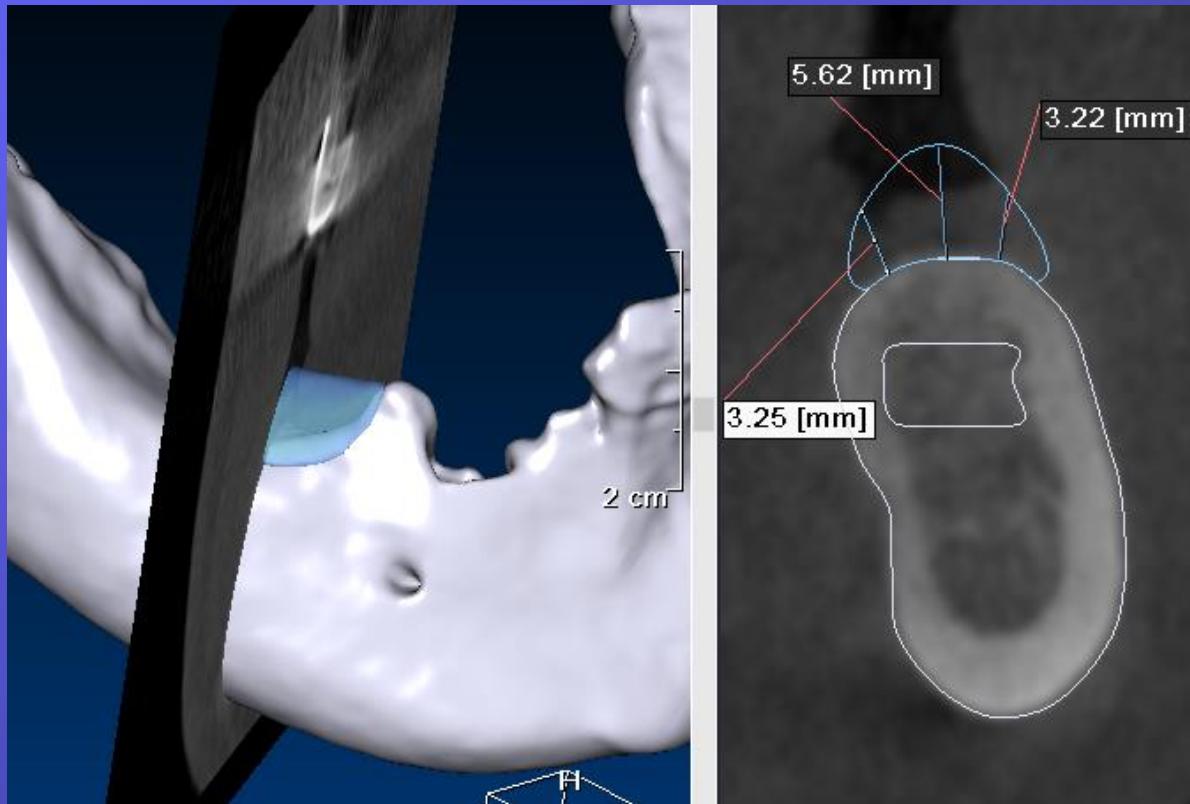
DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



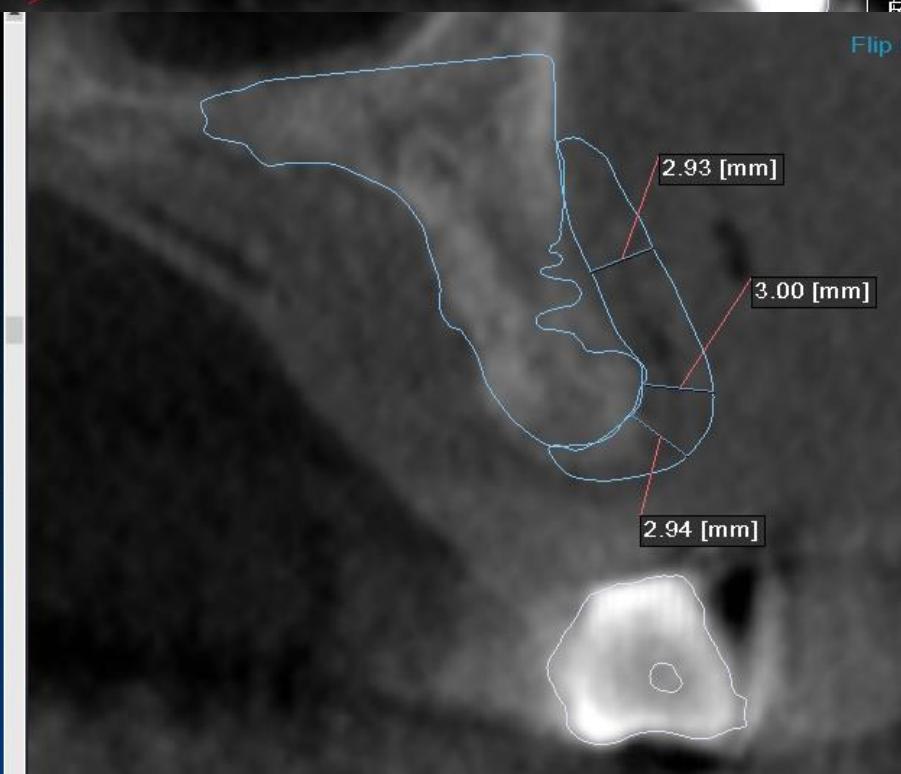
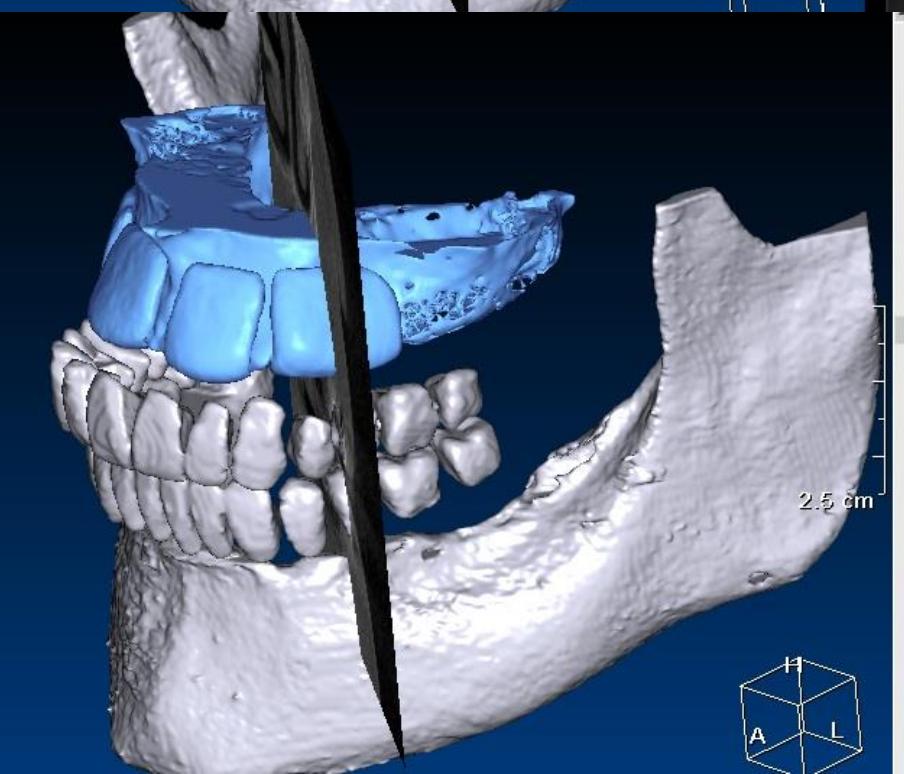
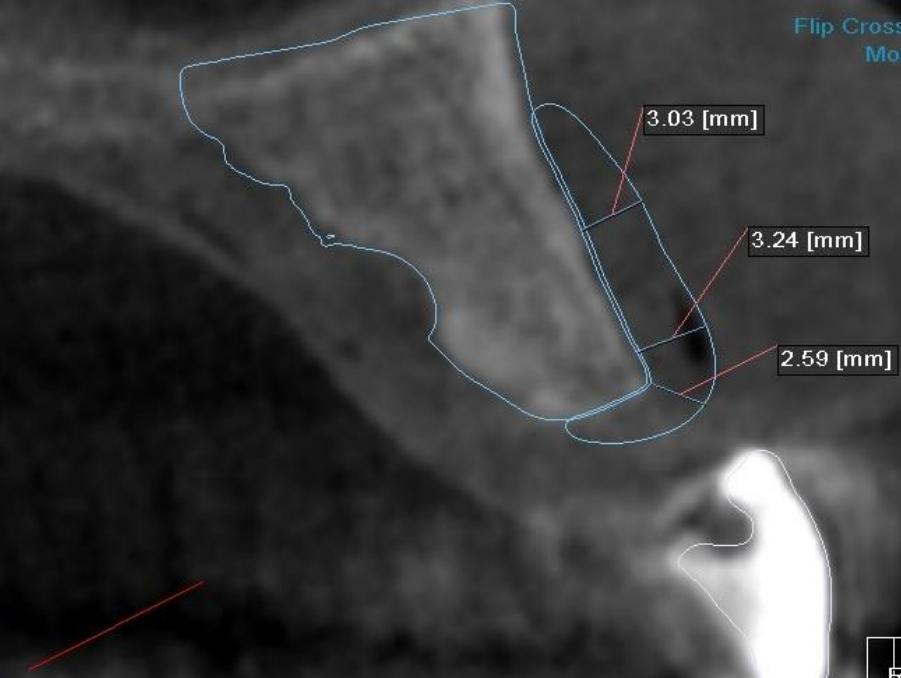
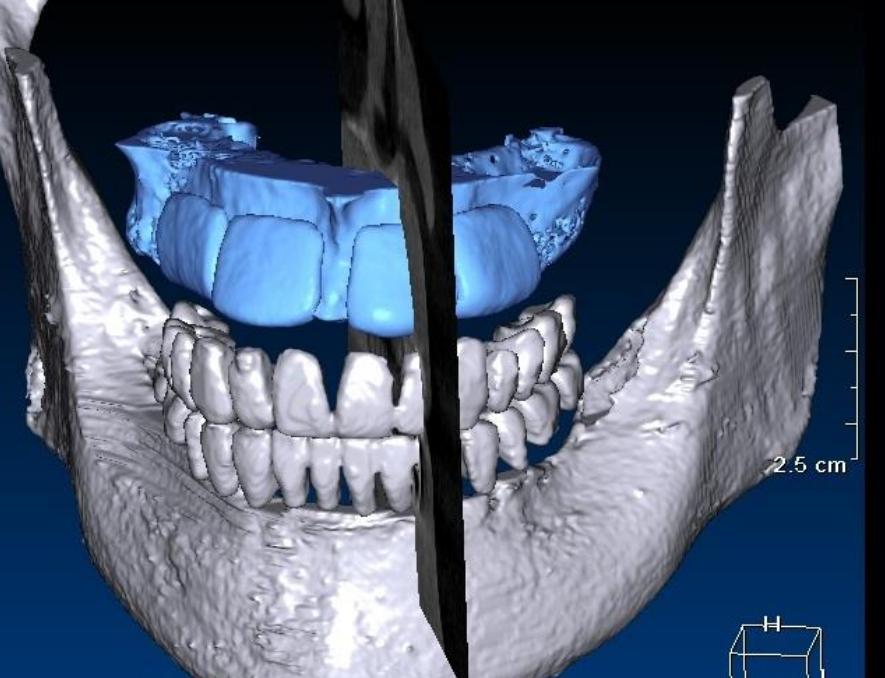
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

Verifikacija na virtuelnim modelima



Prikaz poprečnog preseka i debljine grafta



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

Verifikacija na fizičkim (3D printanim) modelima



Fizički model grafta izrađen RP tehnologijom

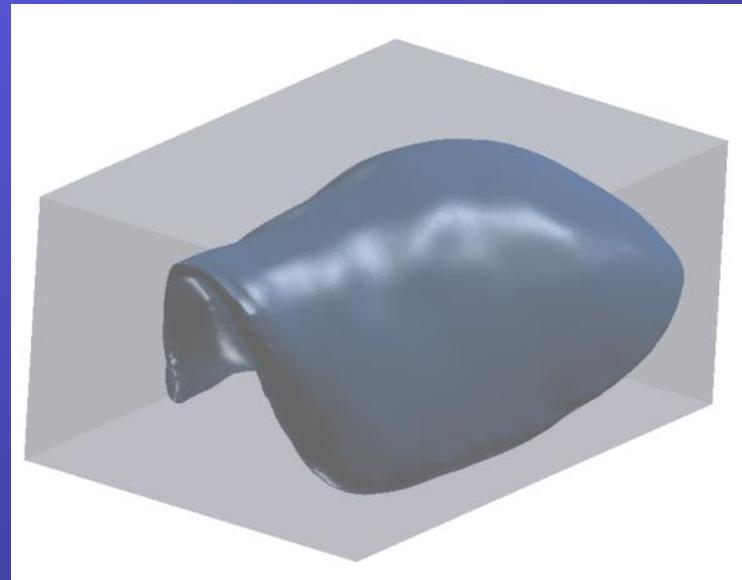
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

Priprema za izradu



Pripremci iz kojih se izrađuju
graftovi

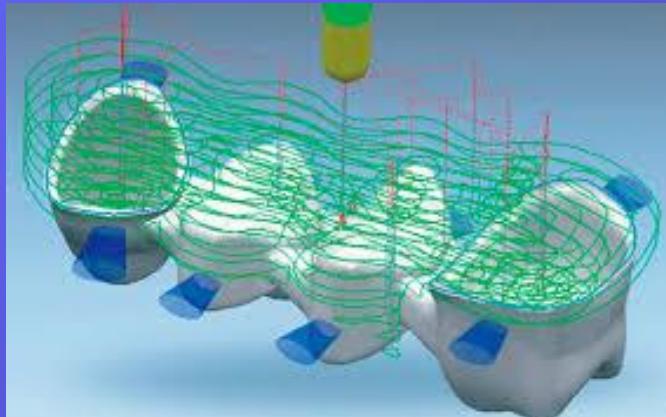


Virtuelni pripremak iz kojeg se izrađuje
graft na CNC obradnom centru

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI

Izrada



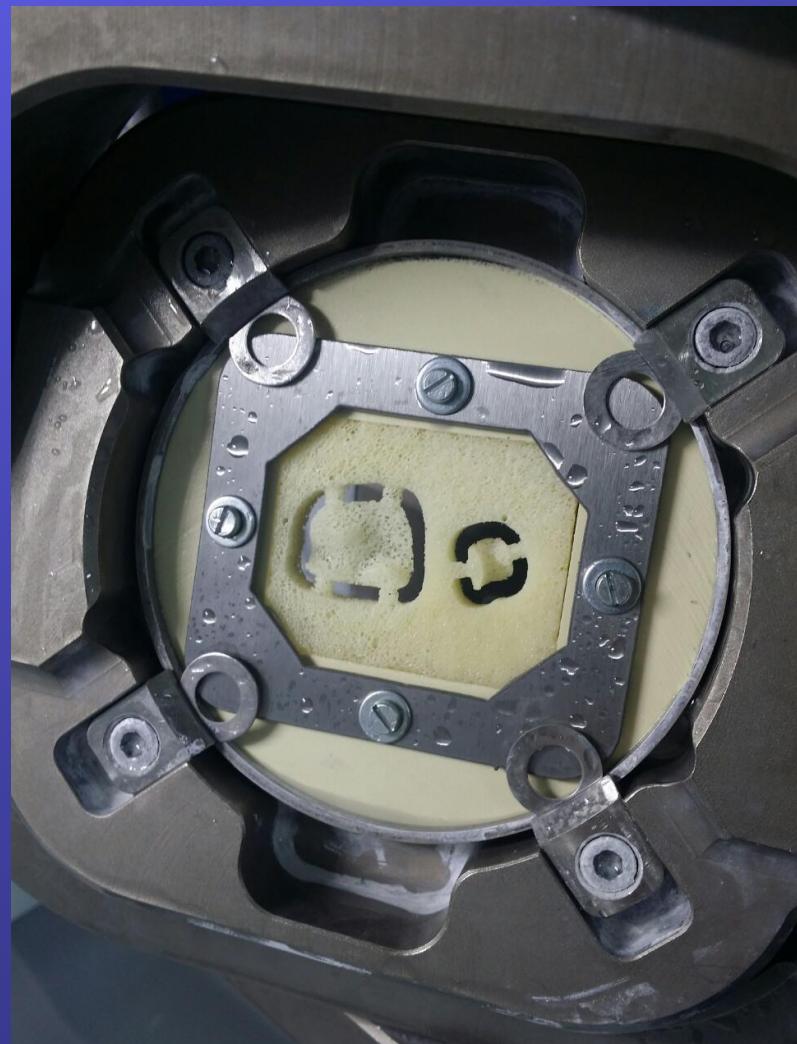
CAM



5-osna CNC mašina alatka

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

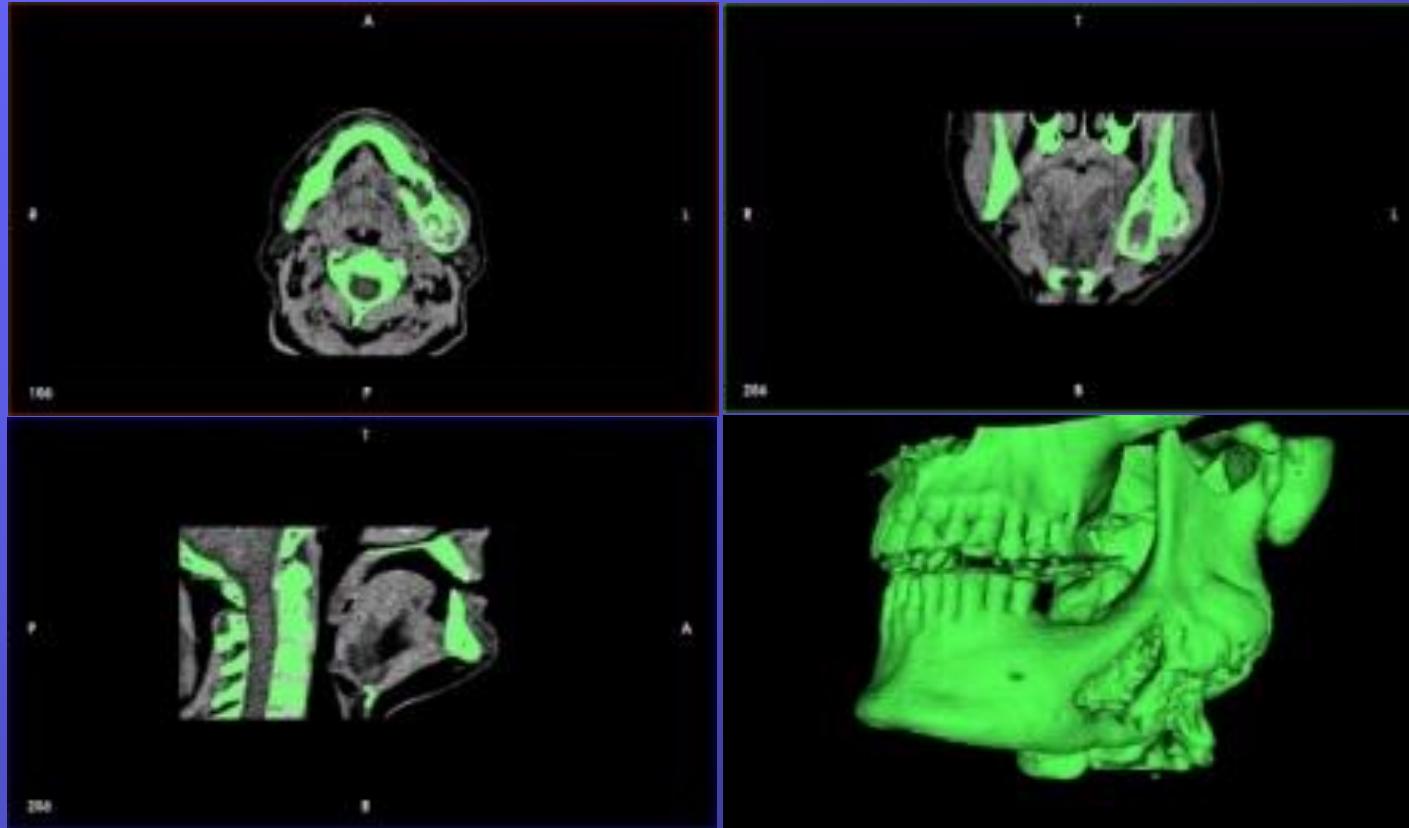
DIZAJN KASTOMIZOVANIH GRAFTOVA U STOMATOLOGIJI



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

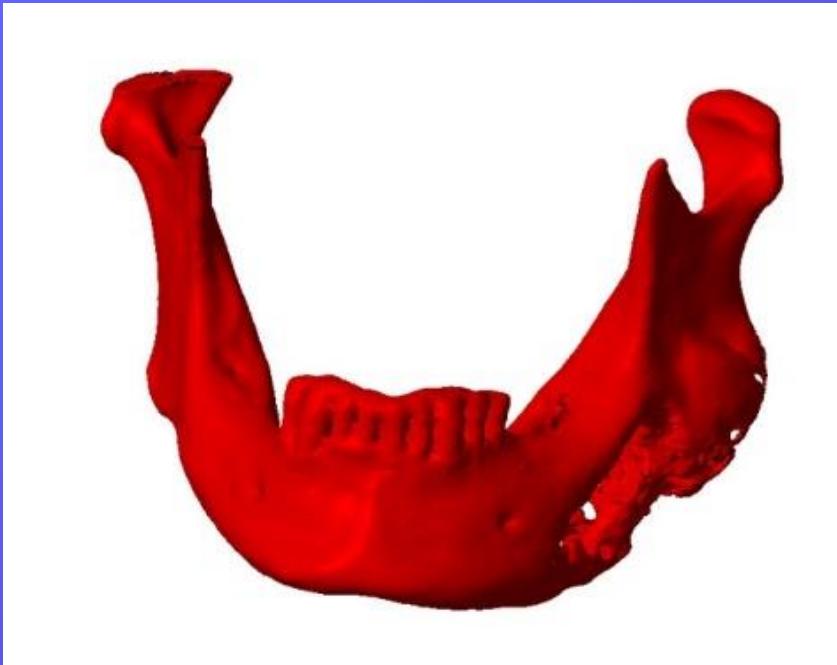
**Akrilna mandibula od koštanog cementa (Polymethylmethacrylate - PMMA)
oblikovana u 3D printanom kalupu (PolyJet Matrix)**

Clinic of Maxillofacial Surgery, Clinical Hospital Centre Rijeka and CaTeh, FSB Zagreb

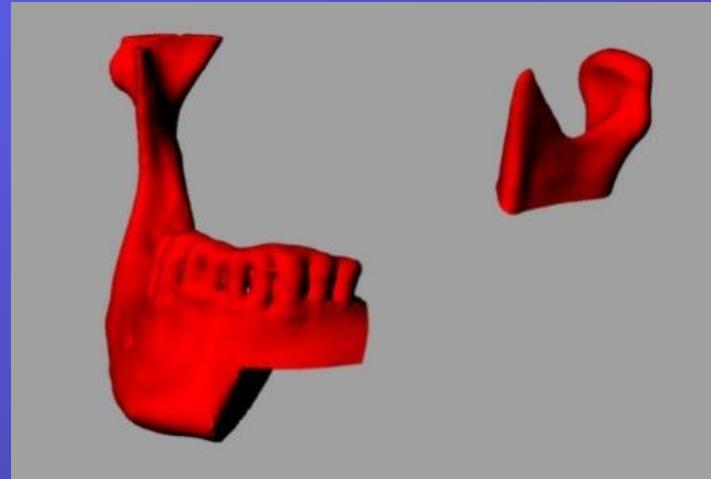


Konverzija pacijentovog CT snimka (DICOM format) u solid 3D STL model

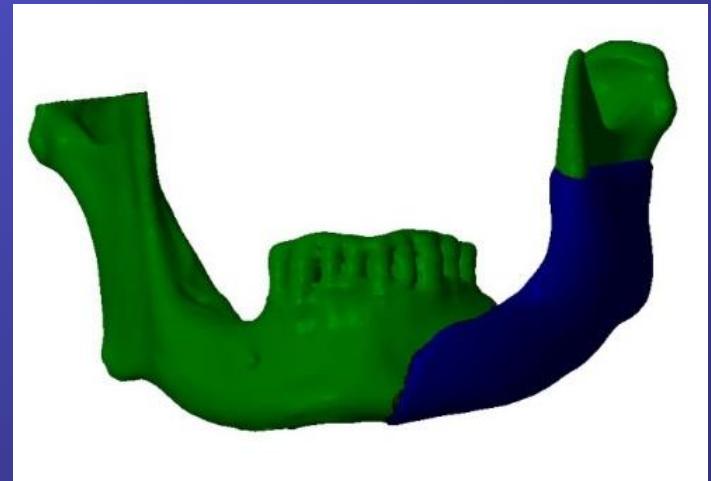
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA



Solid 3D STL model

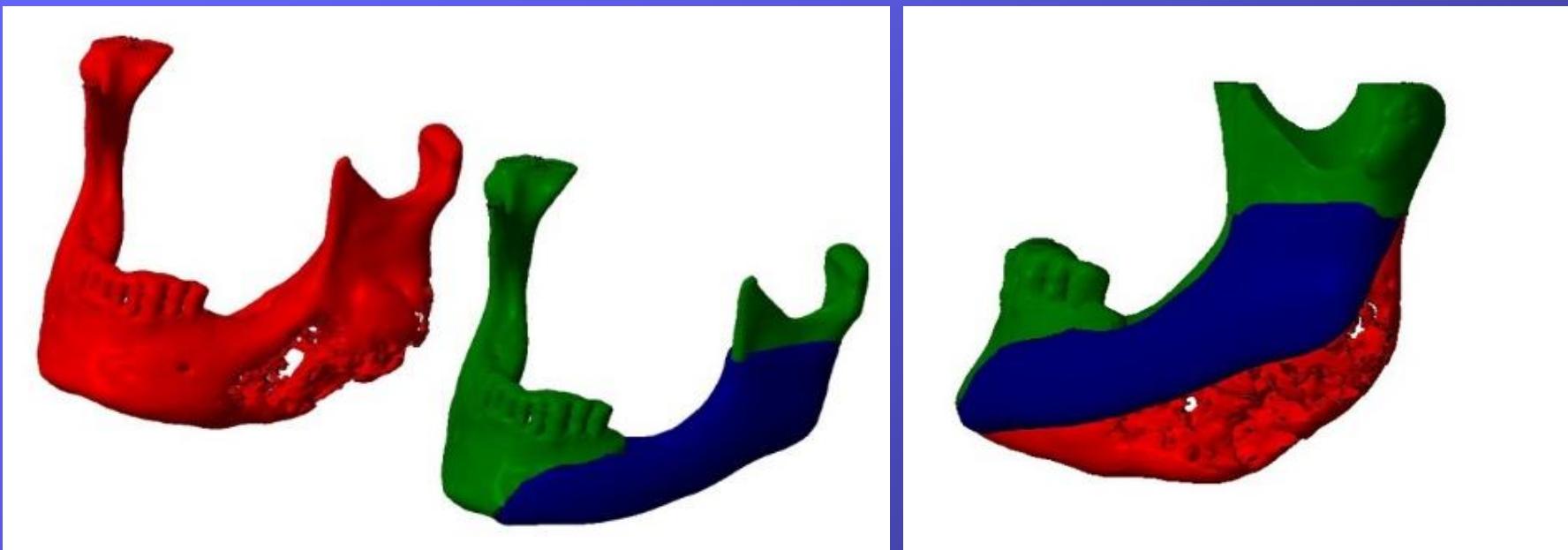


Odstranjivanje deformisanog dela kosti



Modelovanje implantata

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

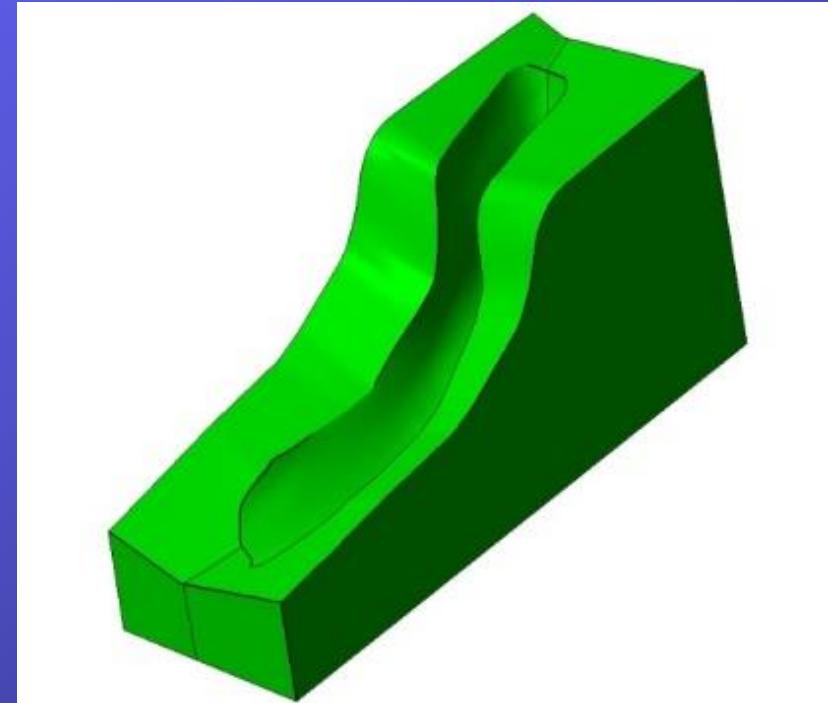


Upoređenje prethodnog stanja mandibule i rekonstruisanog oblika

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA



Model finalnog implantata



Model kalupa za oblikovanje
implantata

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA



Delovi kalupa i modeli izrađeni
na 3D printeru



Testiranje kalupa

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

Prof. dr.sc. Robert Cerović and his team, KBC Rijeka , January 2016

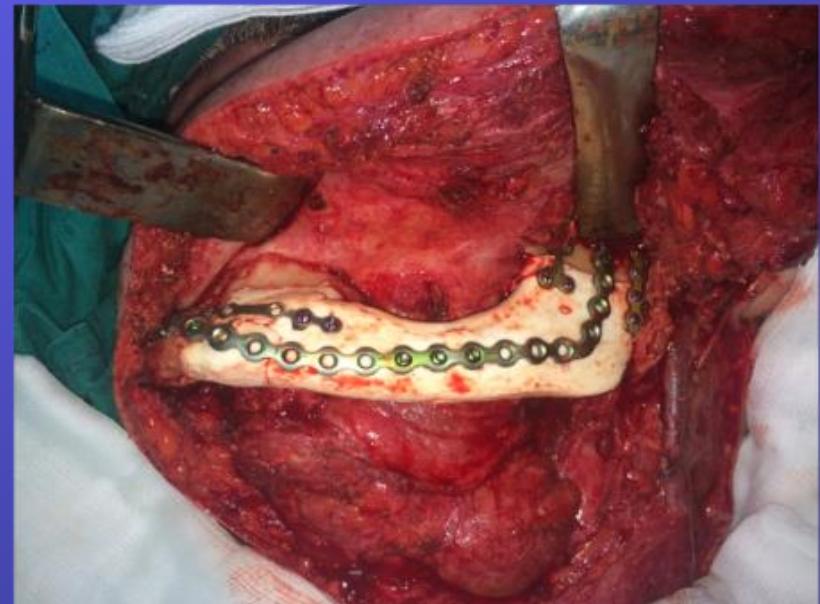
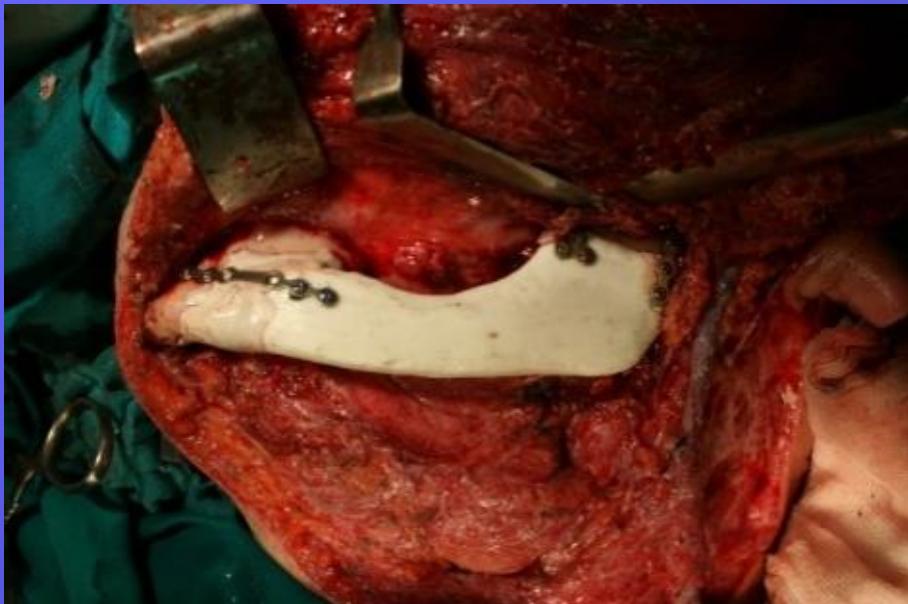


Operation – removing the deformed part of mandible



Production of the implant

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

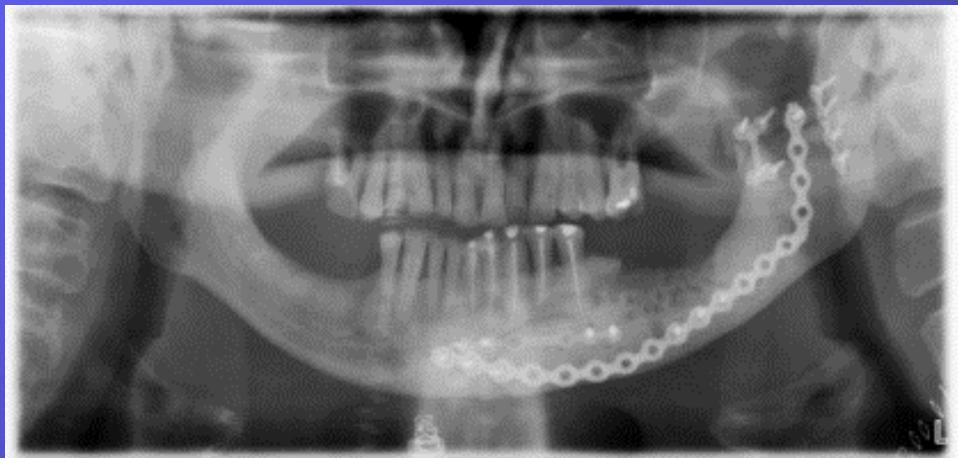


Postavljanje akrilne mandibule

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

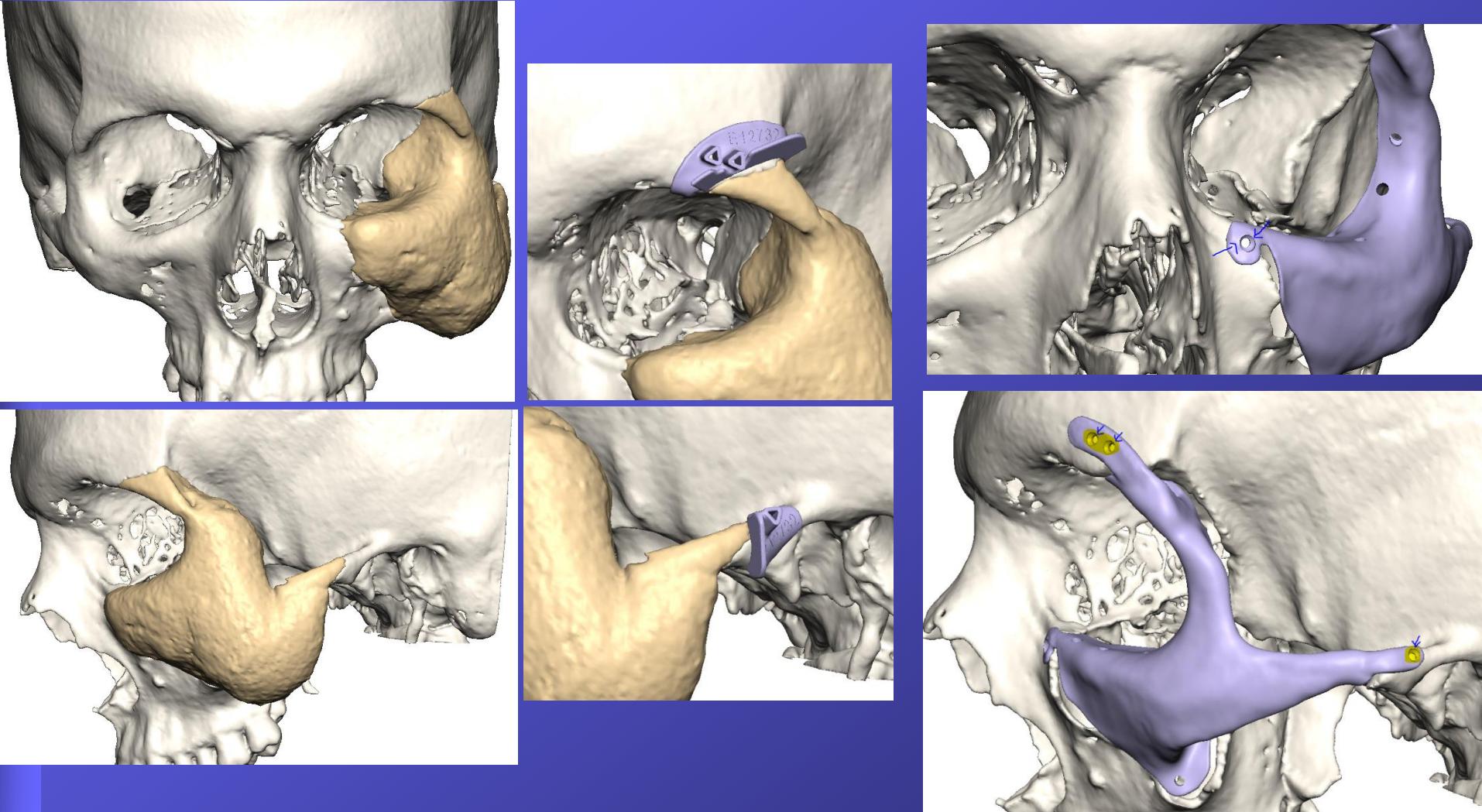


Prethodno i sadašnje stanje

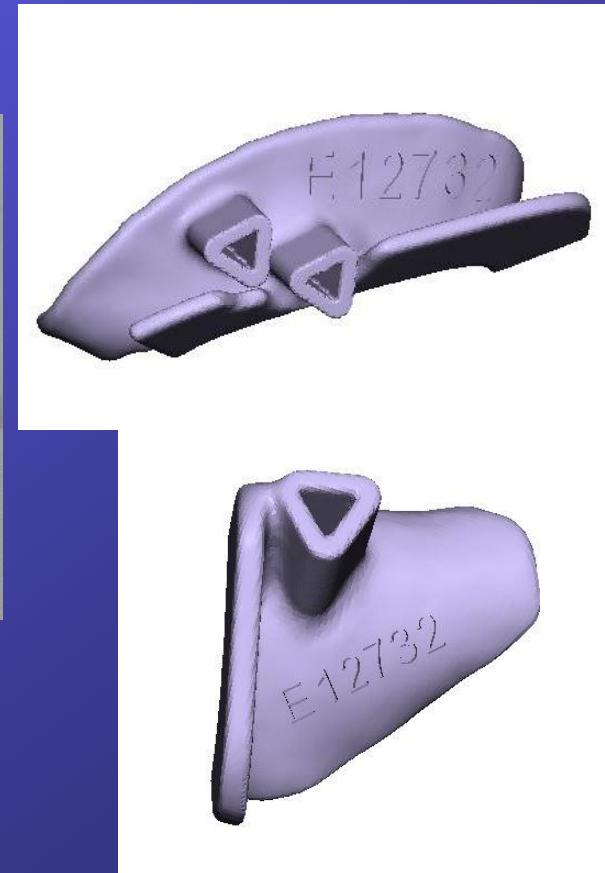
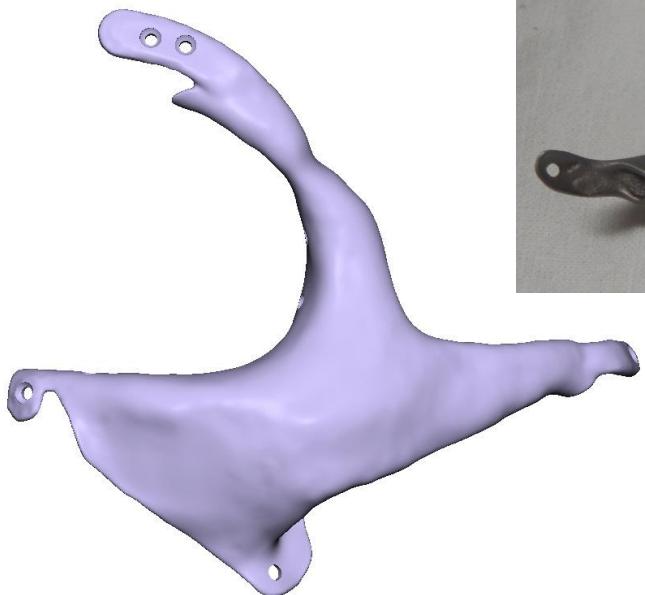


Pacijent nakon 2 nedelje

REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DİZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA



REVERZİBİLNI İNŽENJERSKİ DİZAJN KASTOMİZOVANIH IMPLANTATA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN KASTOMIZOVANIH IMPLANTATA

PAMETNI IMPLANTI

Kastomizovani smart implanti su opremljeni različitim senzorima pomoću kojih je moguće vršiti monitoring



OBLASTI PRIMENE REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG DIZAJNA U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

- Medicinski modeli
- Rekonstruktivna pomoćna sredstva
- Digitalni hirurški planovi
- Kastomizovane hirurške vodice
- Kastomizovani implantati
- Proteze i modeli za vežbanje/treniranje

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA

Digitalne proteze su kustomizovani alati proizvedeni aditivnim tehnologijama (tj. 3D štampom) visoke vernosti originalu, a namenjeni su proizvodnji proteza od mekog tkiva.

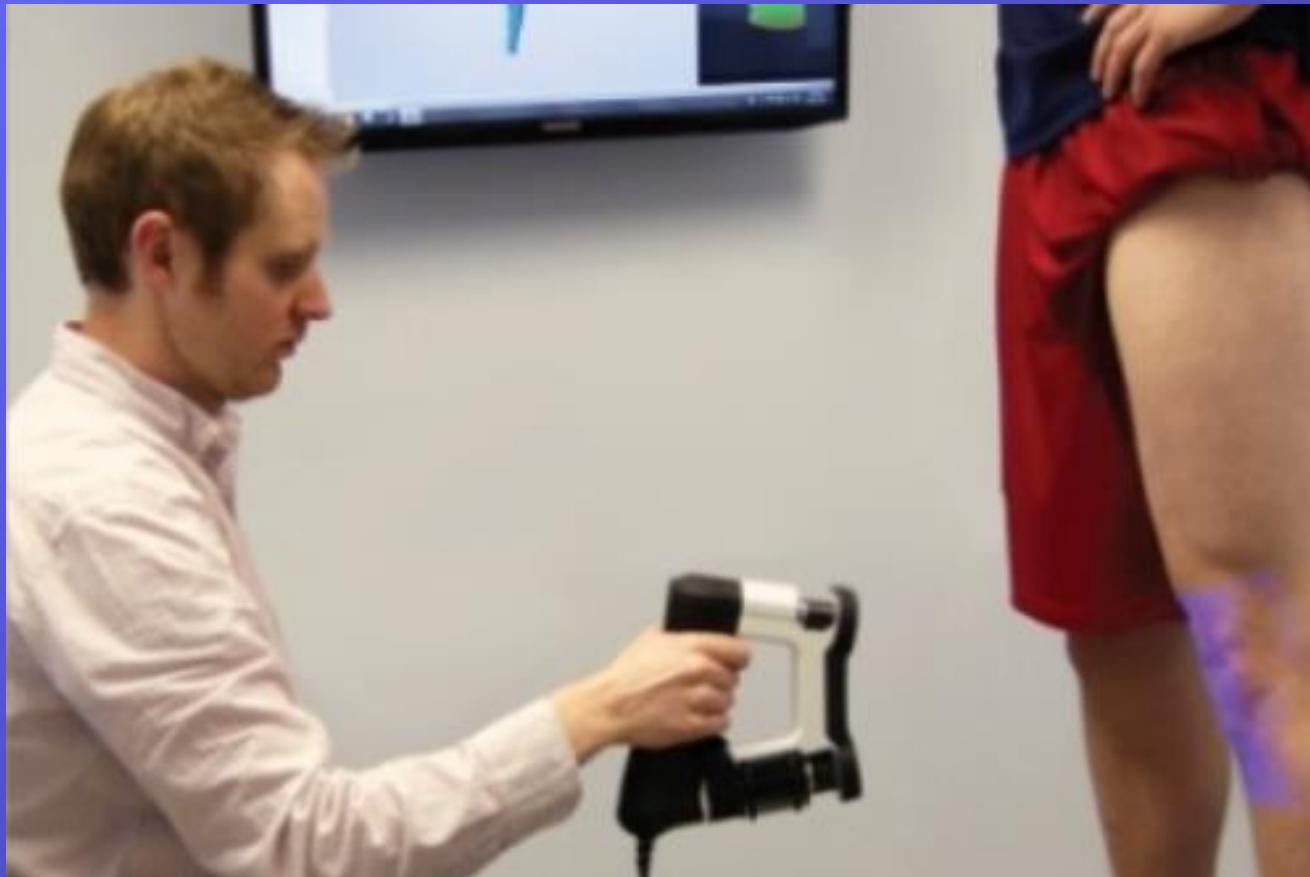
Savremeni pristup (RE + 3D štampa) štedi vreme (i kod oblikovanja i kod izrade kalupa), smanjuje troškove, poboljšava tačnost i efikasnost kod ponovne fabrikacije proteze.

Tipični slučajevi primene obuhvataju: aurikularne, nazalne i orbitalne proteze, kao i proteze za dojke.

Proces je najčešće baziran na skeniranim podacima površina ili CT snimcima originalnih anatomske referenci (kada postoji) pre povreda ili odstranjivanja.

U ovu oblast spada i kreiranje višeslojnih hirurških ili kliničkih trening modela – npr. za bandažiranje pacijenata sa lymphedema-om ili probe traumatoloških operacija bez pristupa kadaveričkim uzorcima.

REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA

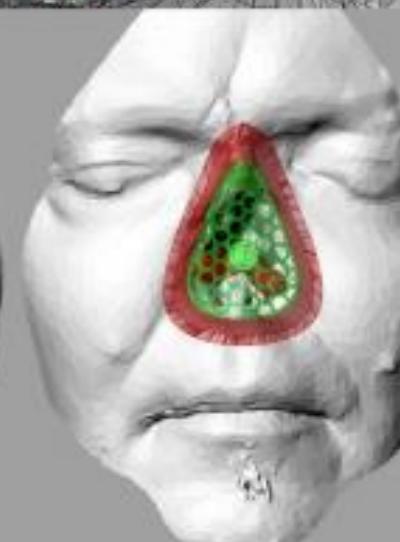
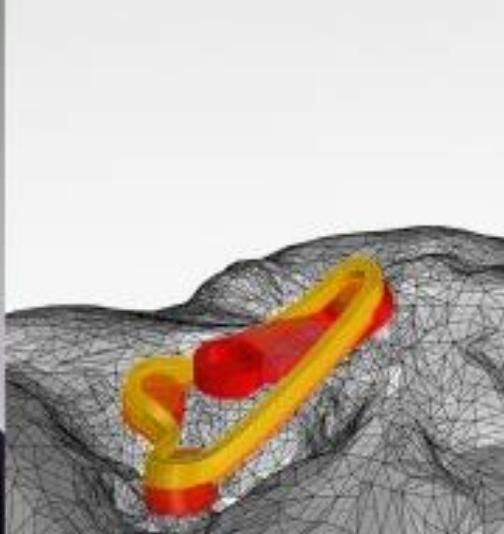


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA

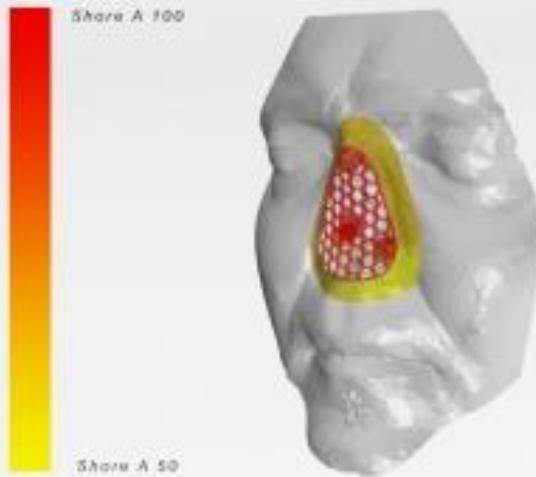
soft tissue prostheses



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



The shore hardness of the Multi-property 3d printed prototypes inhabit the same shore hardness range as much of the soft and medium tissues of the human body. This allows us to build dynamic prototypes that adapt to the human body.

MULTI-MATERIAL PROTOTYPES

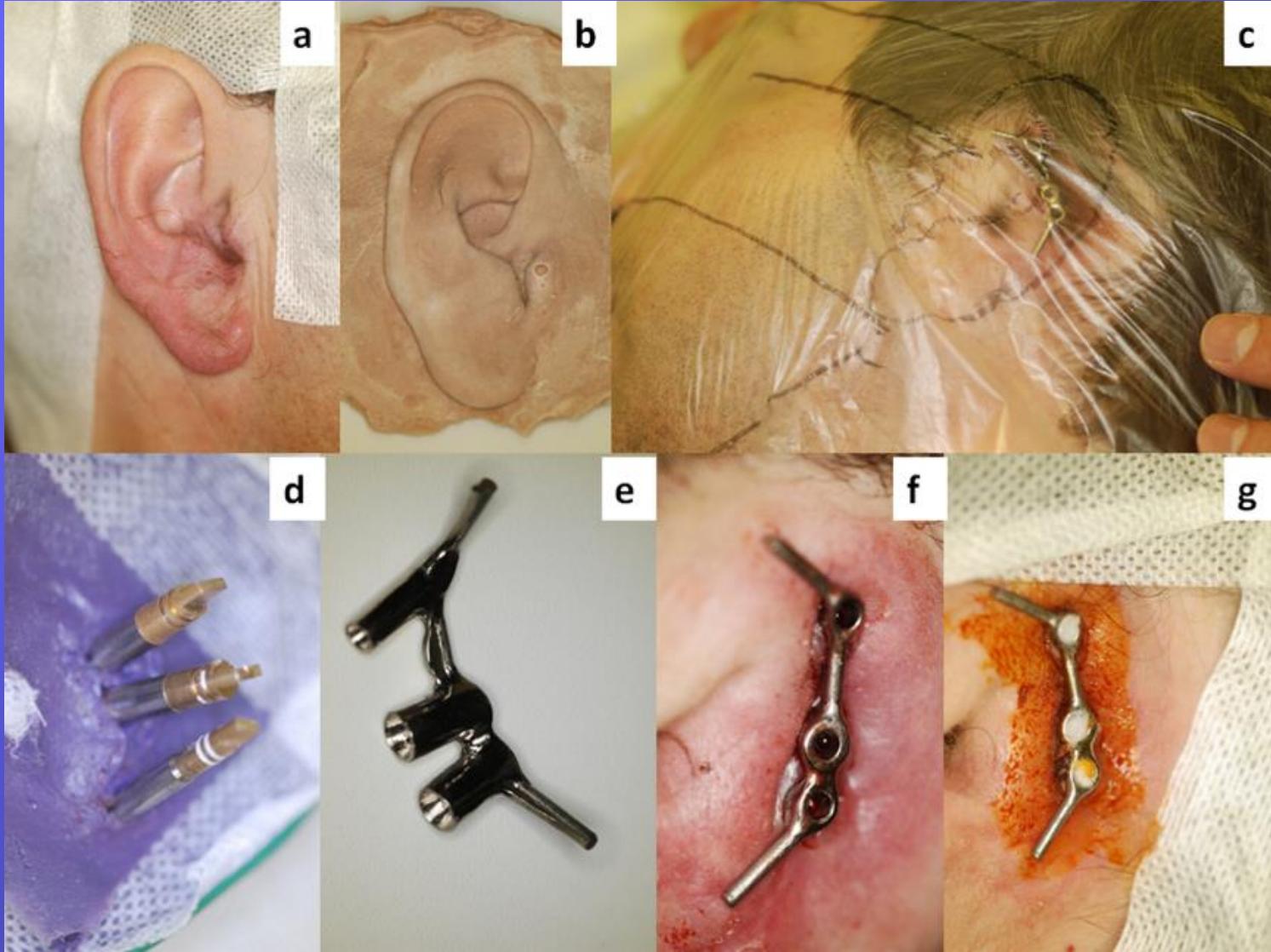


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



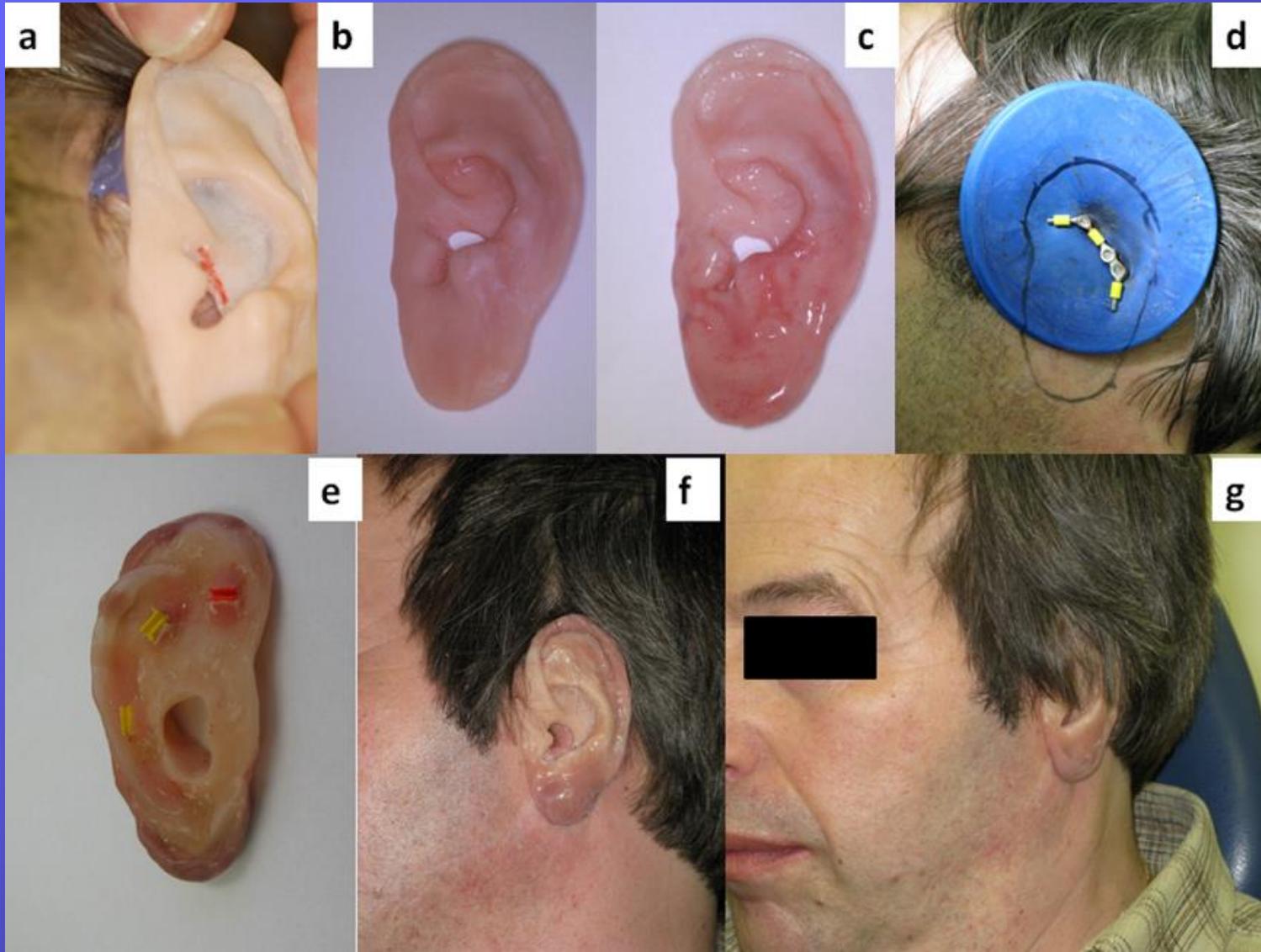
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA

soft tissue prostheses

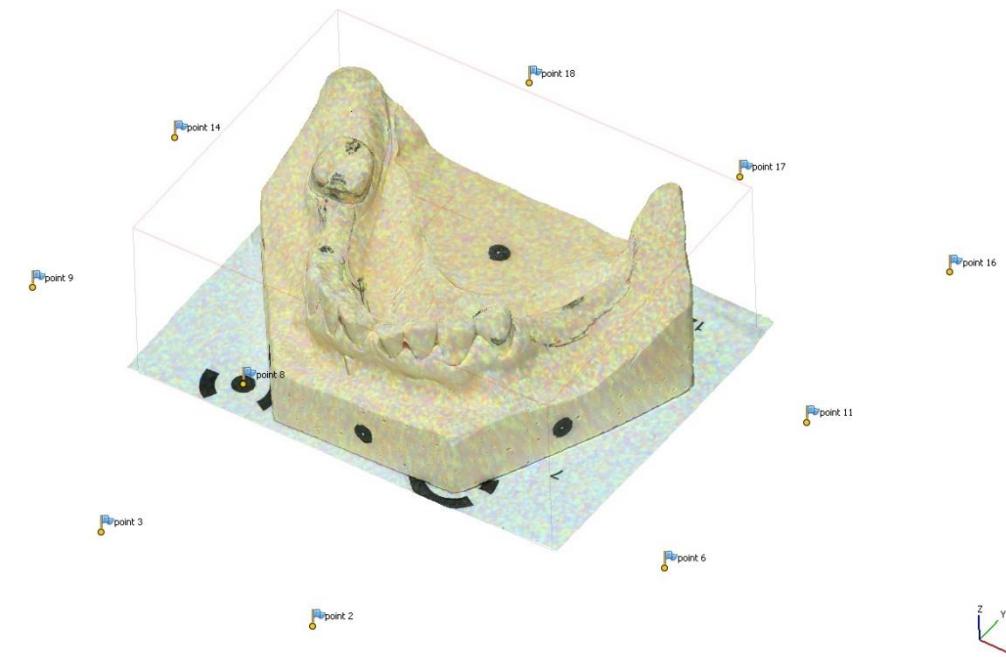
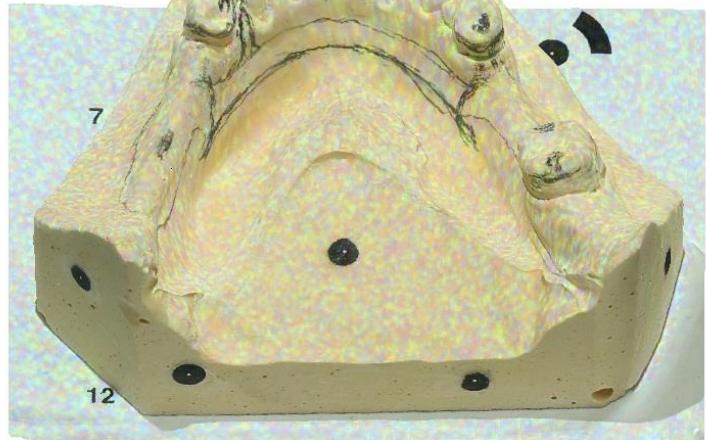


REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA

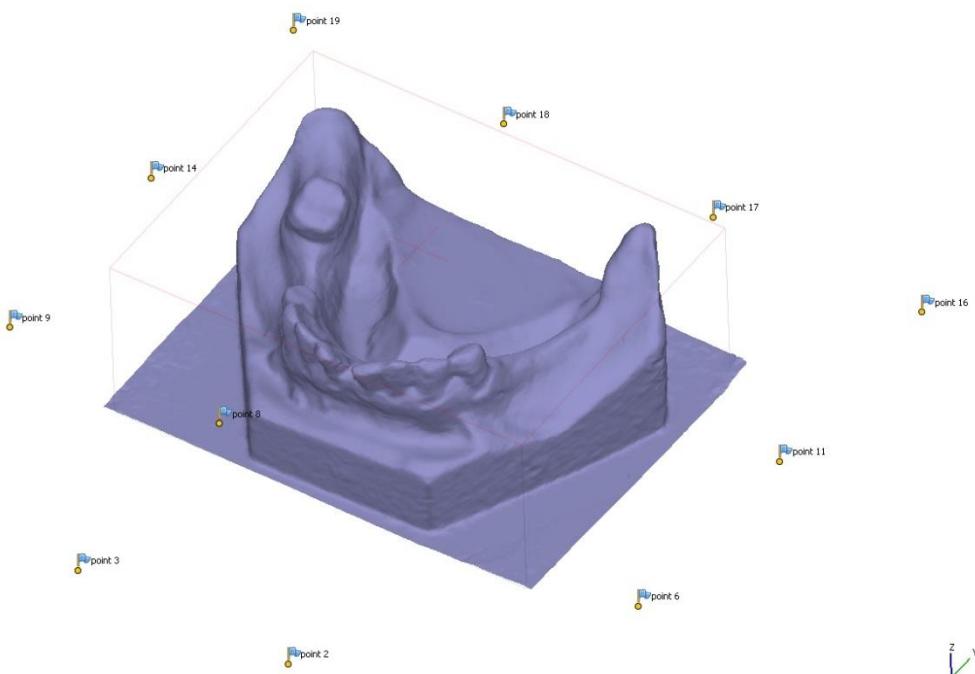
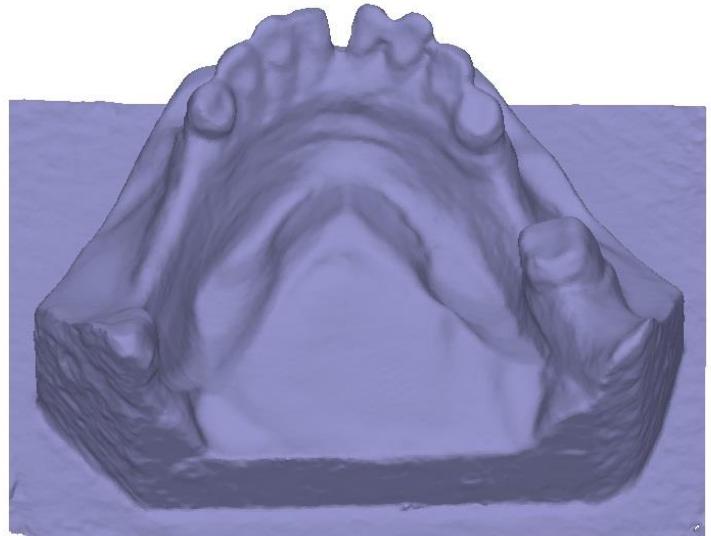
soft tissue prostheses



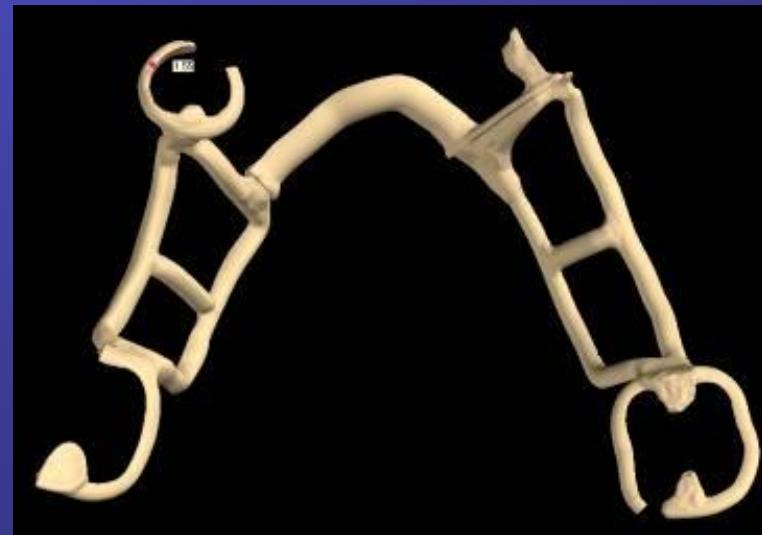
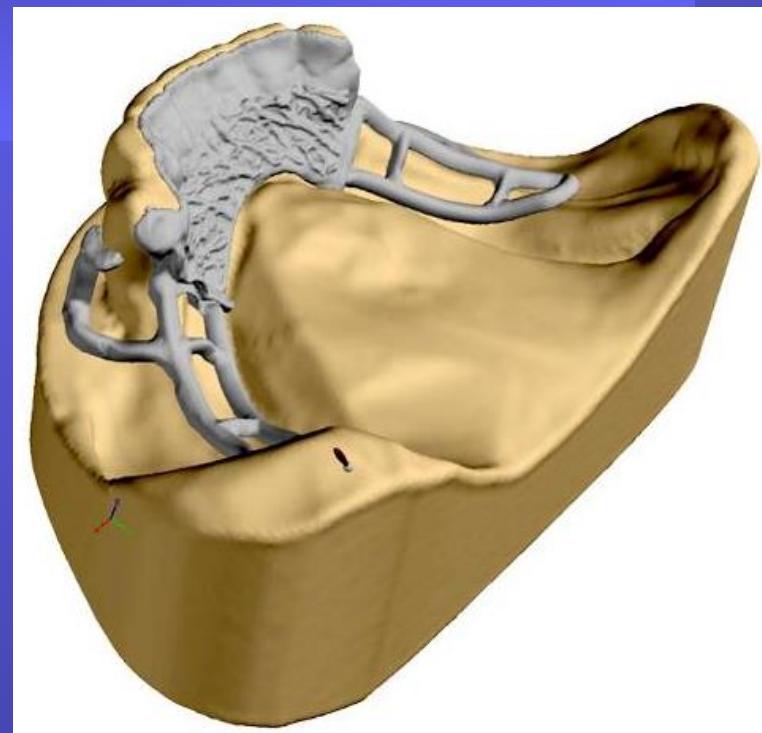
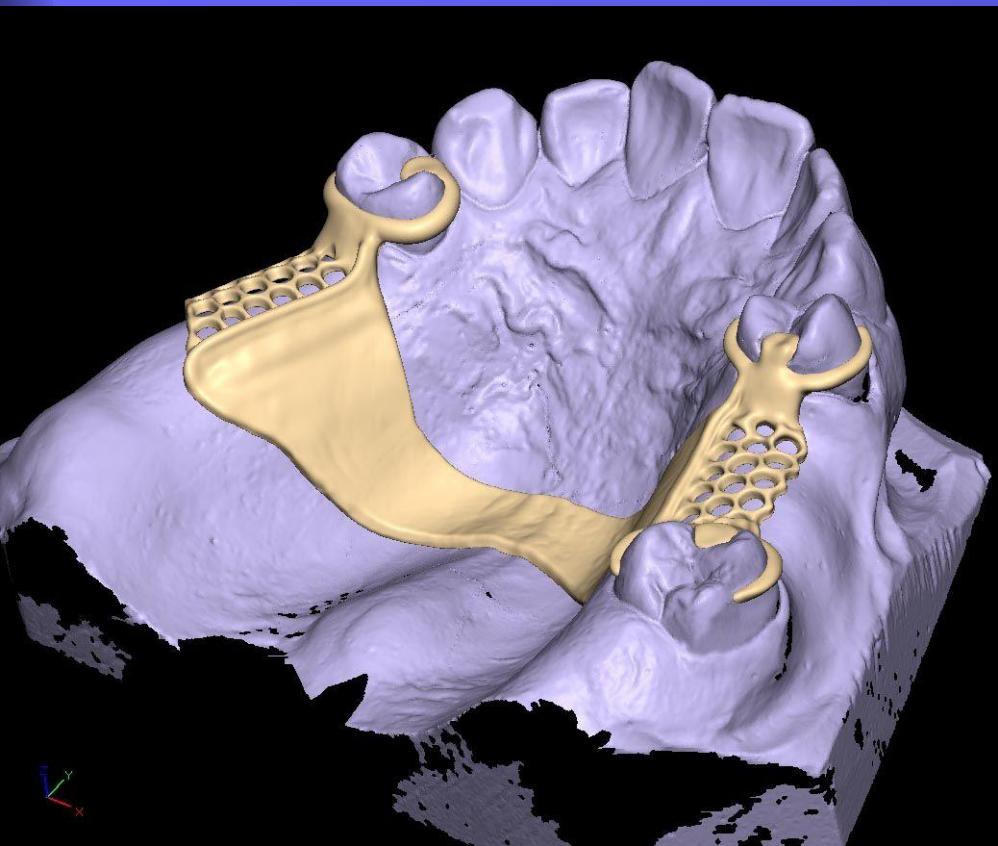
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



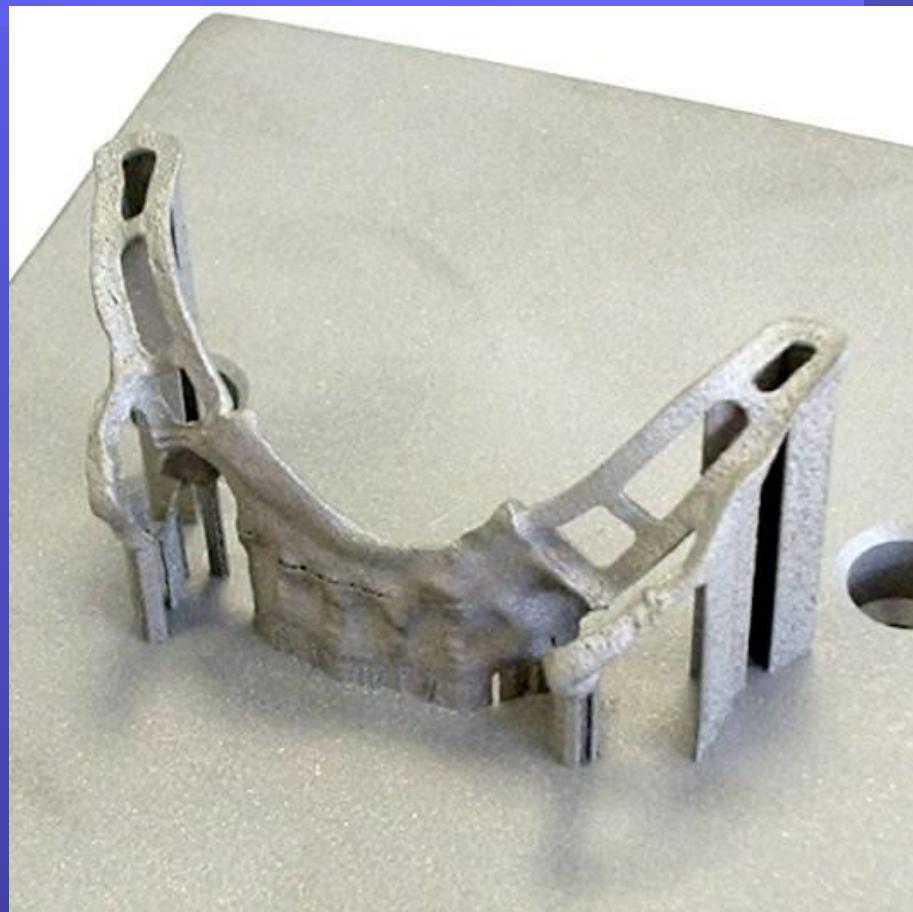
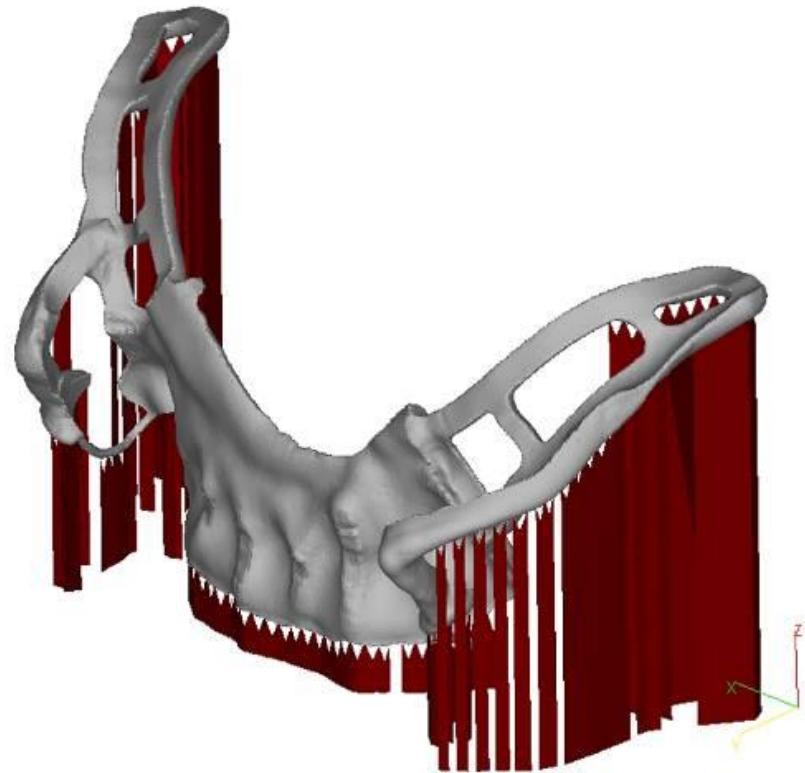
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



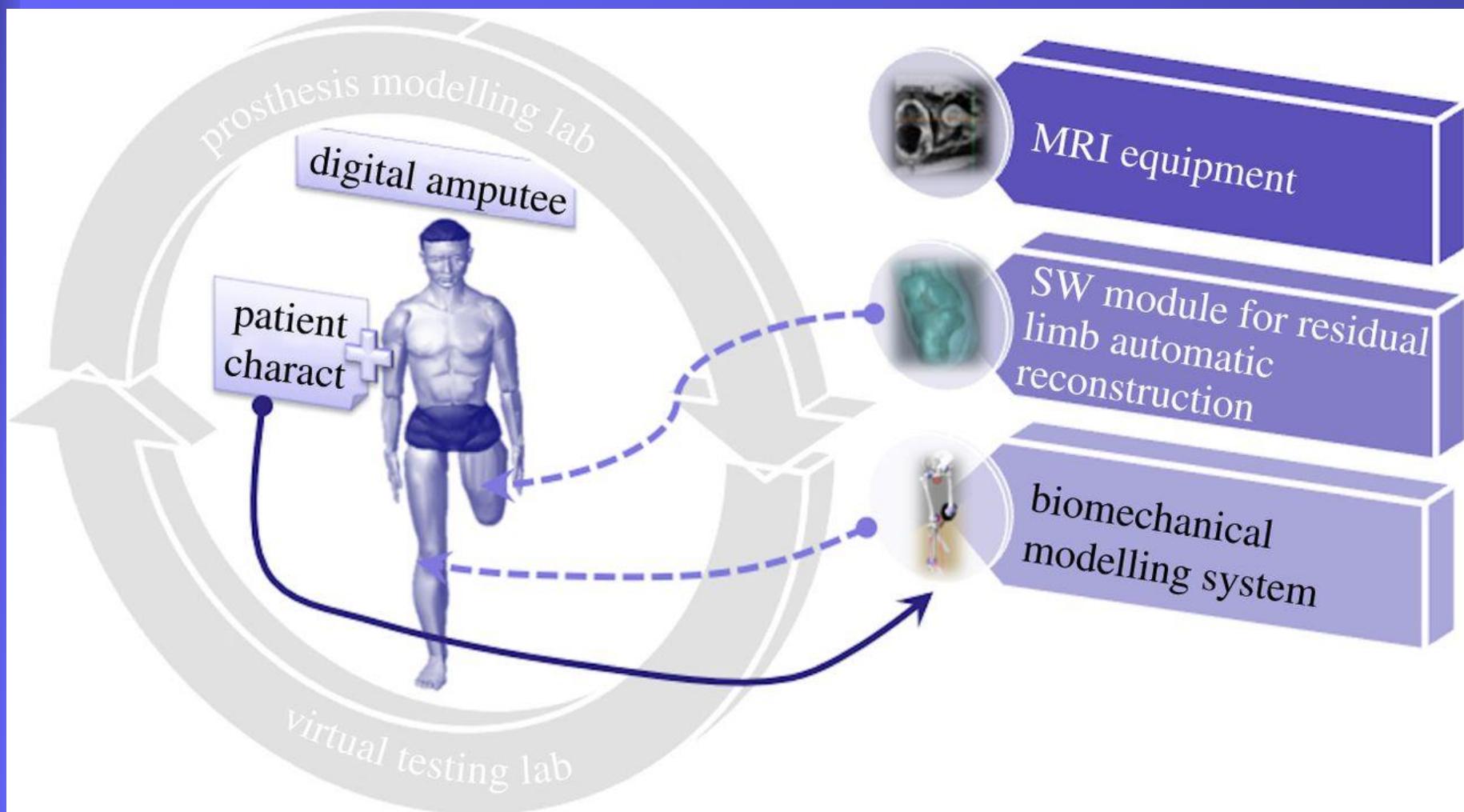
REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA



REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN PROTEZA

