

**Academia
Oamenilor de Știință
din România**



**Academy
of Romanian
Scientists**

Add: Splaiul Independenței nr. 54 sector 5, 050094, București, ROMANIA, Cod Fiscal: 5091859
Tel. 00-4021/314.74.91; Fax. 00-4021/314.75.39, Web-site: www.aos.ro, E-mail: aosromania@yahoo.com

**Materiale compozite pentru aplicații în medicină și inginerie, obținute prin
fabricație aditivă**

**Etapa 1
Metode, aparatură și materiale pentru fabricația aditivă - Stadiu actual**

Autor:

Conf. dr. ing. Daniel VLĂSCEANU

Coordonator:

Prof. dr. ing. Anton HADĂR

CUPRINS

1. Introducere	2
2. Tehnologii de imprimare 3D	3
2.1 SLM – Sinterizare (Topire) Laser a Metalelor (Selective Laser Melting / Direct Metal Laser Sintering)	3
2.2 3DP – Printare inkjet tridimensională	5
2.3 LOM – Fabricare Stratificată prin Laminare (Laminated Object Manufacturing)	7
2.4 PJP – Printare PolyJet cu Fotopolimeri (PolyJet Printing)	9
3. Obținerea de piese prin procedee de fabricație aditivă	12
3.1 Modelarea unei vertebre lombare umane pornind de la date de scanare CT	12
Bibliografie	29

1. Introducere

Imprimarea 3D este cunoscută și sub alte denumiri, mai mult sau mai puțin similare, precum fabricație aditivă - AM (additive manufacturing), fabricare rapidă - RM (rapid manufacturing) sau prototipare rapidă - RP (rapid prototyping). Alte denumiri mai puțin uzuale sunt: producție digitală (digital manufacturing), fabricare digitală (digital fabrication), fabricare în straturi (layered manufacturing) sau fabricare DMF (desktop manufacturing).

Unul dintre avantajele imprimării 3D îl constituie utilizarea imprimantelor 3D, care permit designerilor să producă, într-un timp foarte scurt, un prototip. În consecință, prototipul poate fi testat și remodelat rapid. Spre exemplu, constructorii de autoturisme pot obține, cu ajutorul aparatelor de imprimare, componente cu forme extrem de complexe. Realizarea acestor piese prin metode clasice durează câteva săptămâni, însă folosirea noilor tehnologii de imprimare reduce acest interval de timp la nivel de ore. Astfel, timpul câștigat oferă posibilitatea testării mai multor variante ale componentelor cu scopul dezvoltării cât mai rapide a soluției necesare.

2. Tehnologii de imprimare 3D

Clasificarea tehnologiilor de imprimare 3D

- **SLM – Sinterizare (Topire) Laser a Metalelor** (Selective Laser Melting / Direct Metal Laser Sintering);
- **3DP – Printare inkjet tridimensională**;
- **LOM – Fabricare Stratificată prin Laminare** (Laminated Object Manufacturing);
- **PJP – Printare PolyJet cu Fotopolimeri** (PolyJet Printing).

2.1 SLM – Sinterizare (Topire) Laser a Metalelor (Selective Laser Melting / Direct Metal Laser Sintering)

Tehnologia SLM (Selective Laser Melting) sau Sinterizarea (Topirea) Laser a Metalelor, este o subramură a tehnologiei SLS, cu un procedeu de fabricație aditivă similar. Tehnologia mai poartă numele de DMLS (Direct Metal Laser Sintering) sau LaserCusing.

Spre deosebire de Sinterizarea Laser Selectivă, tehnologia SLM utilizează pulberi metalice drept material de construcție, care sunt topite și sudate împreună cu ajutorul unui laser de mare putere. Straturile subțiri de pulbere metalică atomizată sunt succesiv topite și solidificate la nivel microscopic în interiorul unei camere de construcție închisă, care conține gaz inert (argon sau azot) în cantități controlate strict, la un anumit nivel de oxigen. După terminare, piesa 3D este scoasă din camera de construcție și este supusă unui tratament termic și de finisare, în funcție de aplicație. Principiul tehnologic al acestor imprimante este prezentat în figura 1.

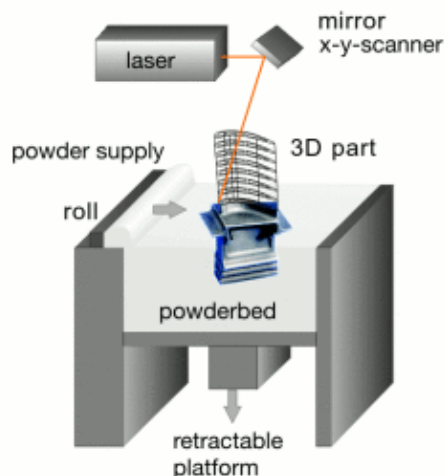


Fig. 1 Principiul tehnologic SLM

Cu o utilizare industrială specializată, tehnologia SLM poate fi încadrată, mai degrabă, în domeniul prototipării rapide, decât în cel al printării 3D. Echipamentele sunt extrem de scumpe, depășind, în general, 100000 EUR.

O tehnologie similară este EBM (Electron Beam Melting), care utilizează un fascicul de electroni ca sursă de energie.

Materiale utilizate:

Pulberi metalice din oțel inoxidabil, oțel de scule, aliaj cobalt-crom, titan și aluminiu.

Avantaje tehnologie SLM/DMLS:

Acuratețe bună a modelului 3D, paleta de materiale speciale metalice, piese fabricate rezistente, posibilitatea construcției unor geometrii organice sau extrem de complexe, piese ușoare (industria aerospațială, medicină), flexibilitate a modelelor printate (pot fi utilizate ca modele finale sau ca modele de testare).

Dezavantaje tehnologie SLM/DMLS:

Tehnologie scumpă, care se traduce în cost mare și în dimensiuni mai mari ale imprimantelor, materiale de printare speciale și scumpe, prototipuri care pot necesita operații adiționale de întărire. Timp de răcire mare după printare pentru obiecte mari

Aplicații SLM/ DMLS:

Prototipuri rezistente pentru testare funcțională, piese de geometrii organice, complexe și structuri cu pereți subțiri și goluri sau canale ascunse, piese metalice complexe din materiale speciale produse în serie mică. Forme hibride în care geometrii solide/parțiale/tip zăbrele pot fi realizate împreună pentru crearea unui singur obiect (ex. implanturi ortopedice, în care integrarea osoasă este sporită de geometria suprafeței).

2.2 3DP – Printare inkjet tridimensională

Tehnologia de printare tridimensională 3DP (Three-Dimensional Printing) mai poartă și numele de 3D inkjet printing sau Plaster-based 3D printing (PP). Printarea tridimensională a fost printre primele tehnologii 3D pătrunse în România și reprezintă încă tehnologia favorită în domenii precum: arhitectură și designul. Până la apariția tehnologiei LOM cu hârtie, 3DP era singura tehnologie care permitea printarea 3D color.

Printarea tridimensională 3DP implică utilizarea tehnologiei de printare inkjet pentru solidificarea unei pulberi introdusă în camera de construcție (fabricare) a imprimantei, prin lipirea particulelor cu ajutorul unui material liant. Principiul tehnologic al unei astfel de imprimante este prezentat în figura 2.

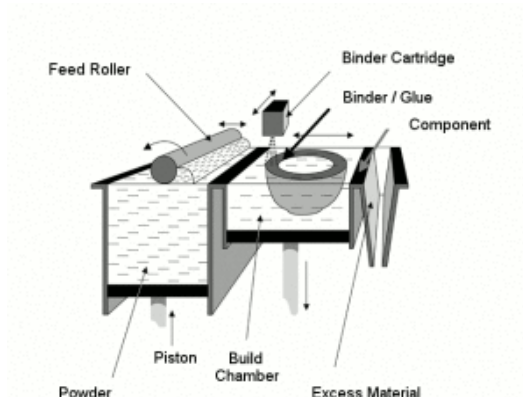


Fig. 2 Principiul tehnologic 3DP

Inițial, modelul 3D CAD este convertit în secțiuni transversale (felii) ale obiectului, trimise apoi imprimantei. Un strat subțire de pulbere este introdus în platforma de construcție, după care este întins, distribuit și comprimat uniform cu ajutorul unei role speciale. Capul de printare aplică apoi jetul de material liant urmând structura (felia)

proiectată a modelului 3D și rezultând astfel un layer (strat) al obiectului 3D din pulbere solidificată cu liant. Odată ce un strat este finalizat, platforma de construcție coboară cu exact grosimea unui strat, după care procesul de printare este reluat.

Prin repetarea acestor operații se vor construi straturi succesive, unul deasupra celuilalt, până la realizarea piesei finale. Pe măsură ce procesul avansează, piesa este cufundată în pulbere, ceea ce constituie un suport natural pentru geometriile mai complexe.

După finalizare și după scoatere din camera de construcție, piesa finală se introduce într-o cuvă, pentru îndepărtarea prin suflare a pulberii rămasă în diversele cavități și în goluri. În cursul printării liantului pot fi adăugate și culori, rezultând obiecte 3D color cu aplicabilitate în multe domenii.

În cazul pulberilor de amidon sau ipsos, piesele 3D printate sunt, de obicei, infiltrate cu material de etanșare sau cu întăritori pentru îmbunătățirea durității și calității suprafeței. Pulberea rămasă în camera de construcție poate fi reutilizată la printările ulterioare.

Costul echipamentelor bazate pe tehnologia 3DP/3D inkjet printing începe de la aproximativ 20000 EUR, însă, pentru echipamentele industriale (pulberi PMMA și volume mari de construcție) poate depăși 150000 EUR.

O altă tehnologie nouă, numită 3D paper printing, îmbină printarea inkjet cu tehnologia LOM. Straturi succesive de hârtie sunt decupate în forma secțiunii transversale, formând straturile modelului 3D, iar acestea sunt lipite unul peste altul, cu ajutorul unui cap de printare, care aplică un jet de material adeziv. Tehnologia permite, de asemenea, printarea color a modelului 3D dorit, utilizând cerneala inkjet obișnuită.

Materiale utilizate:

Pulberi (amidon, ipsos, pulberi plastice PMMA, alte tipuri).

Avantaje tehnologie 3DP/3D inkjet printing:

Viteza mare de printare, materiale nu foarte scumpe, prototipuri 3D printate full color, cu impact vizual maxim. Funcționare silențioasă a imprimantelor 3D, echipamentele pretabile în mediul office.

Dezavantaje tehnologie 3DP/3D inkjet printing:

Modele 3D destul de fragile, necesită întărire prin infiltrare pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice. Rezoluție și suprafațe medii ca nivel de finisare. Gama de materiale este limitată. Manipularea pulberilor, curățarea piesei și infiltrarea pentru întărire pot genera praf și deranj în mediul office.

Aplicatii tehnologie 3DP/3D inkjet printing:

Printarea color are aplicabilitate în multe domenii unde aspectul vizual are importanță maximă: arhitectură, design conceptual, modele marketing, vizualizare științifică, educație.

2.3 LOM – Fabricare Stratificata prin Laminare (Laminated Object Manufacturing)

Tehnologia LOM (Laminated Object Manufacturing) sau Fabricarea Stratificată prin Laminare este o tehnologie mai puțin cunoscută, cu toate că, primul sistem de fabricare LOM a fost dezvoltat încă din 1991, de către compania Helisys Inc.

Tehnologia LOM permite fabricarea stratificată a obiectului 3D din straturi de hârtie sau plastic, care sunt lipite împreună, unul peste altul iar apoi sunt decupate cu ajutorul unui cuțit sau al unui laser. Materialul de printare folosit poate fi furnizat atât în rola (plastic), cât și în foi sau coli (hârtie).

Inițial, modelul 3D CAD este convertit în secțiuni transversale (felii) ale obiectului, trimise apoi imprimantei. Cu ajutorul unei surse laser sau al unui cuțit, imprimanta decupează din foaia de material solid straturile care vor compune piesa 3D. Restul de materialul nefolosit în urma decupării este caroiat mărunț de cuțit (sau sursa laser) pentru ca, la sfârșitul procesului, să poată fi îndepărtat manual. Stratul finalizat este lipit de stratul anterior cu ajutorul unui adeziv aplicat pe partea inferioară a foii.

Tot timpul construcției, piesa 3D este încadrată (împachetată) în materialul de construcție, ceea ce permite printarea unor geometrii complicate, fără material suport. La finalul procesului, piesa 3D apare împachetată în materialul aflat în exces, care va fi

îndepărtat manual. Restul de material este aruncat, neputând fi utilizat la printări ulterioare. Principiul tehnologic al unei astfel de imprimante este prezentat în figura 3.

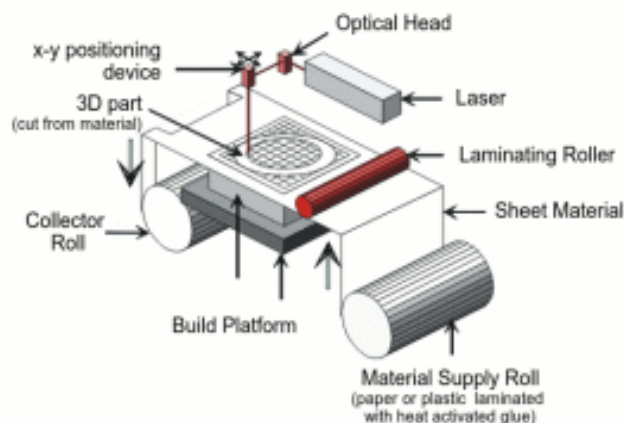


Fig. 3 Principiul tehnologic LOM

O tehnologie nouă, denumită 3D paper printing, îmbină printarea inkjet cu tehnologia LOM. Secțiunile transversale din hârtie sunt întâi printate color, utilizând tehnologia inkjet obișnuită iar apoi sunt decupate în straturi, rezultând un model 3D cu rezoluție full-color.

Costul echipamentelor care utilizează această tehnologie este de 10000-25000 EUR, fără TVA, însă prezintă marele avantaj al utilizării unor consumabilele extrem de ieftine (hârtia obișnuită).

Materiale utilizate: hârtie (foi obișnuite), plastic (role)

Avantaje tehnologie LOM:

Materiale de printare foarte ieftine (hârtie A4 obișnuită), acuratețe și precizie destul de bună, permite printarea modelelor mai mari care nu au detalii complicate. Prototipuri 3D printate full color, cu impact vizual maxim. Echipamentele pretabile în mediul office (fără praf, substanțe chimice, operații periculoase de post-procesare).

Dezavantaje tehnologie LOM:

Gamă limitată de materiale, proprietăți slabe ale materialelor, materialul nefolosit trebuie îndepărtat manual, pierderi de material destul de mari (restul neutilizat al colii se aruncă). Volume de printare limitate.

Aplicații tehnologie LOM:

Testare fizică a formei, modele 3D voluminoase (al căror cost de producție trebuie să fie mic), piese nu extrem de detaliate. Printarea color are aplicabilitate în multe domenii unde aspectul vizual are importanță maximă: arhitectură, design conceptual, modele marketing, vizualizare științifică, educație. Servicii tip pay-per-print (datorită costurilor mici de printare).

2.4 PJP – Printare PolyJet cu Fotopolimeri (PolyJet Printing).

Tehnologia de printare 3D PJP (PolyJet Printing), întâlnită și sub numele de Jetted Photopolymer, sau sub denumirea de MultiJet Printing (MJP), este o altă tehnologie de fabricare aditivă, similară, oarecum, cu stereolitografia (SLA), deoarece, utilizează tot foto-solidificarea unui fotopolimer lichid. Tehnologia PolyJet este însă similară și cu tehnologia de printare inkjet obișnuită. Spre deosebire de imprimantele de birou, care spreiază un jet de cerneală, imprimantele 3D PolyJet emit un jet de fotopolimeri lichizi, care sunt ulterior întăriți la lumină UV.

Modelul 3D CAD este inițial convertit în secțiuni transversale (felii) ale obiectului, transmise apoi imprimantei. Capul de printare spreiază un jet de fotopolimeri lichizi, cu care proiectează o secțiune transversală extrem de subțire, pe platforma de construcție. Această secțiune este apoi întărită cu ajutorul luminii UV, după care, procesul se repetă strat după strat, creând modelul 3D final. Modelele complet întărite pot fi manipulate și utilizate imediat, fără operații suplimentare de post-procesare. Principiul tehnologic al unei astfel de imprimante este prezentat în figura 4.

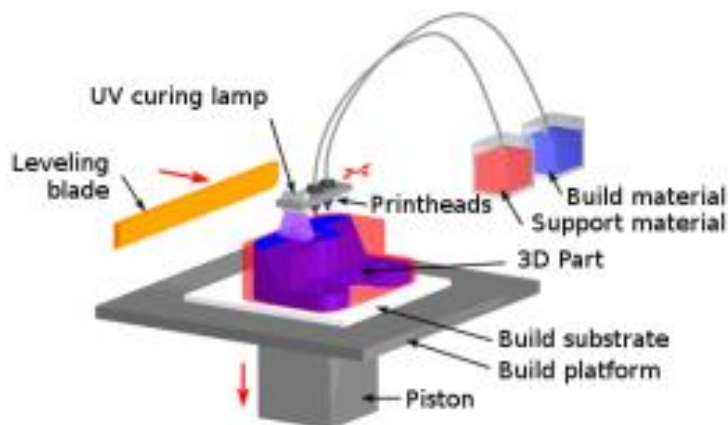


Fig. 4 Principiul tehnologic PJP

În cazul geometriilor complicate sau al consolelor, imprimanta utilizează un material suport de consistență similară gelului, ca susținere a geometriei. Acesta poate fi ulterior îndepărtat manual, cu ajutorul unui jet de apă.

Imprimantele pot avea două sau mai multe capete de printare, unul pentru fotopolimerul de construcție și celălalt pentru materialul solubil (gel). Utilizând capete multiple, tehnologia PolyJet permite inclusiv printarea cu două materiale diferite în cadrul aceluiași proces de construcție. Se pot astfel obține prototipuri printate din diverse materiale, cu diverse proprietăți fizice.

Costul echipamentelor care utilizează această tehnologie PolyJet pornește de la circa 18000 EUR, fără TVA, pentru modelele desktop, însă, pentru imprimantele profesionale costurile pot ajunge la 100000 EUR.

Materiale utilizate:

Fotopolimeri de diverse tipuri (rigizi, maleabili, transparenti, opaci, bio-compatibili, elastomeri).

Avantaje tehnologie PolyJet:

Acuratețe și precizie extrem de bună, suprafețe printate fine și precise, care nu mai necesită prelucrare ulterioară, modele 3D cu detalii complexe, prototipuri 3D printate din materiale multiple, cu proprietăți fizico-mecanice variate. Gama variată de materiale

de printare cu proprietăți mecanice diferite. Echipamentele pretabile în mediul office (fără praf, fără substanțe chimice, fără operații periculoase de post-procesare). Tehnologie eficientă din punct de vedere al costurilor pentru piese mici.

Nu necesită operații ulterioare de întărire a modelului 3D printat. Operații ușoare de post-procesare (îndepărtarea materialului suport).

Dezavantaje tehnologie PolyJet:

Piese nu rezistă bine la temperatură, cost destul de mare al materialului de construcție, neeficient economic pentru piese de dimensiuni mai mari. Operațiile ulterioare de îndepărtare a materialului suport nu sunt atât de curate și nu se pretează în mediul office.

Aplicații tehnologie PolyJet:

Piese și subansamble rezistente pentru testare funcțională, design conceptual, modele de prezentare și marketing, piese de detaliu pentru diverse aplicații, producții de serie foarte mică. Forme de turnare. Prototiparea rapidă a pieselor și sculelor de mici dimensiuni cu caracteristici complexe, matrițe master pentru piese turnate din uretan.

3. Obținerea de piese prin procedee de fabricație aditivă

3.1 Modelarea unei vertebre lombare umane pornind de la date de scanare CT

Modelarea în Mimics 10 se face pornind de la fișierele CT, care sunt importate cu File→Import Images (fig. 5). Importul se poate realiza manual, alegând din lista fișierelor dicom (extensie .dcm) imaginile dorite, sau, automat, toate fișierele din directorul ales fiind convertite cu specificațiile implicite din scanare (dimensiune pixeli, rezoluție etc.).

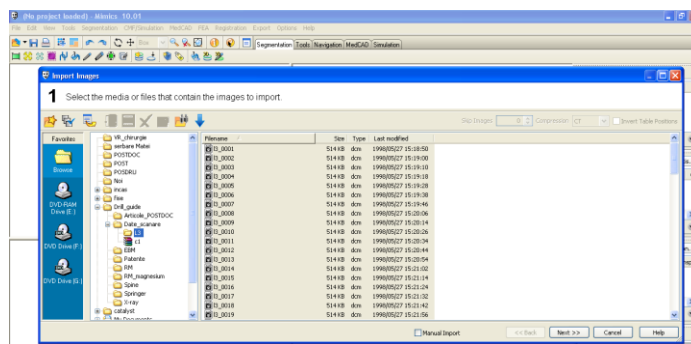


Fig. 5 Importul în Mimics al fișierelor .dicom

După realizarea importului, se orientează imaginea așa cum se prezintă în figura 6.

Pe ecran sunt prezentate secțiuni ale vertebrei în cele trei plane: frontal, transversal și sagital, plus o fereastră, în care se afișează modelul 3D (fig. 7).

Secțiunile CT afișate conțin pixeli, cărora le este asociată o anumită valoare de gri. Acești pixeli pot fi grupați după o anumită valoare de prag (denumită thresholding, fig. 8), operația fiind cunoscută sub denumirea de segmentare (obiectul este vizualizat printr-o „mască” de o anumită culoare). Astfel, obiectul segmentat conține pixelii din imagine, care au o valoare mai mare sau egală cu valoarea de prag (fig. 9).

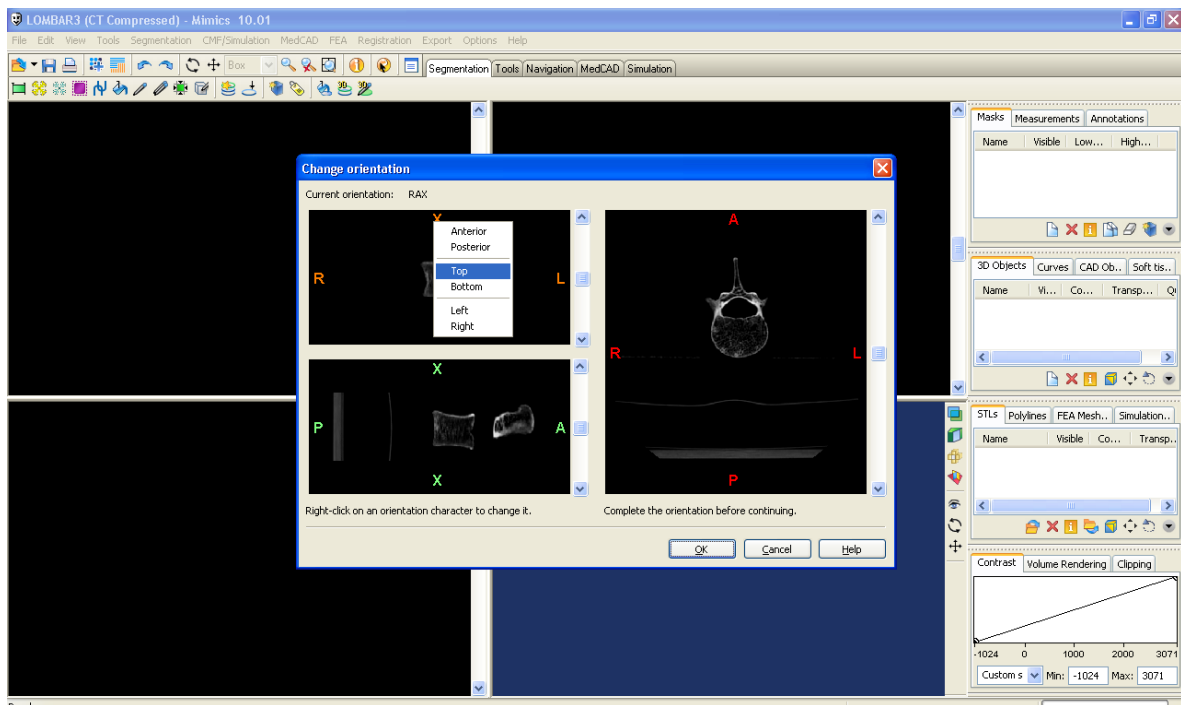


Fig.6 Secțiuni CT ale vertebrei L3 în cele trei vederi

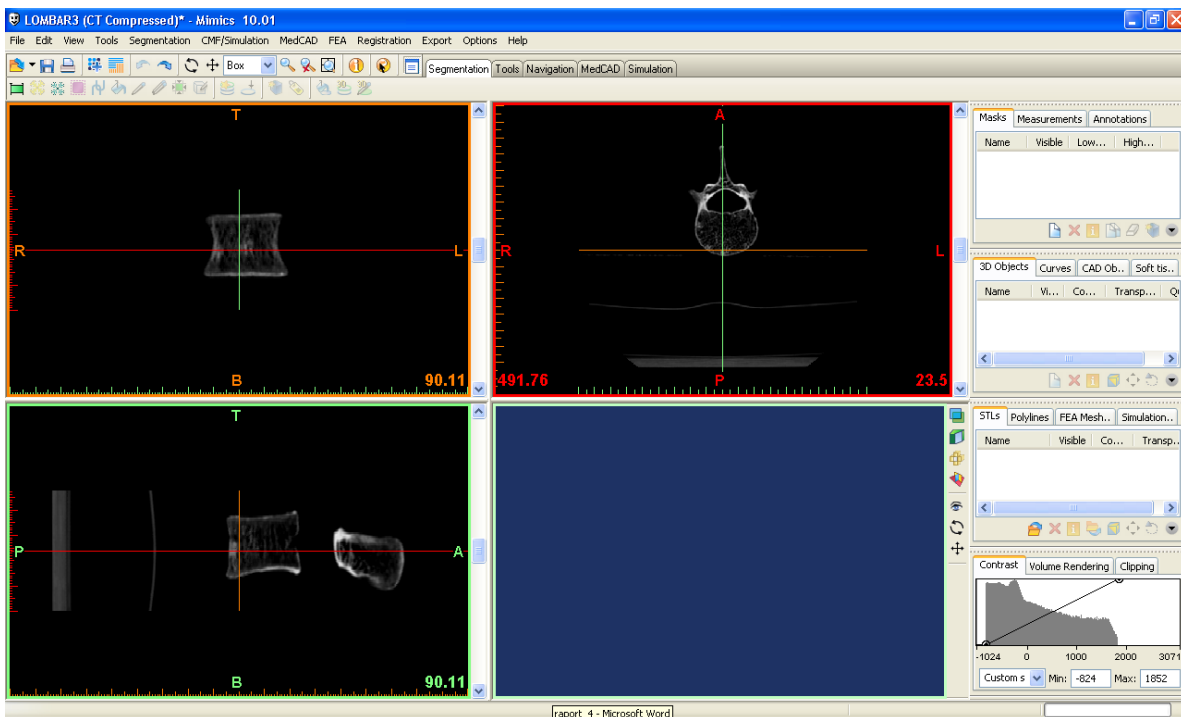


Fig. 7 Poziționarea secțiunilor vertebrei

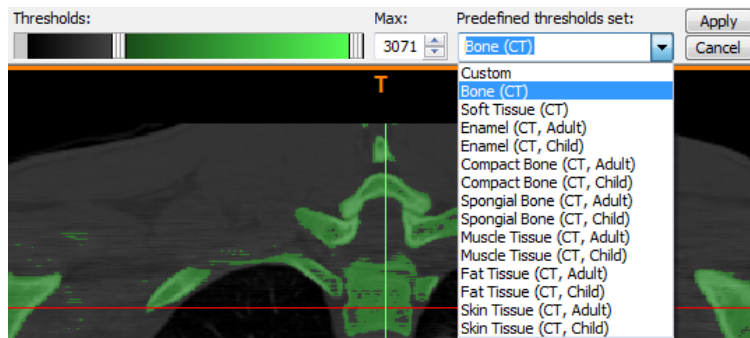


Fig. 8 Segmentarea imaginii – alegerea unei valori de prag (thresholding)

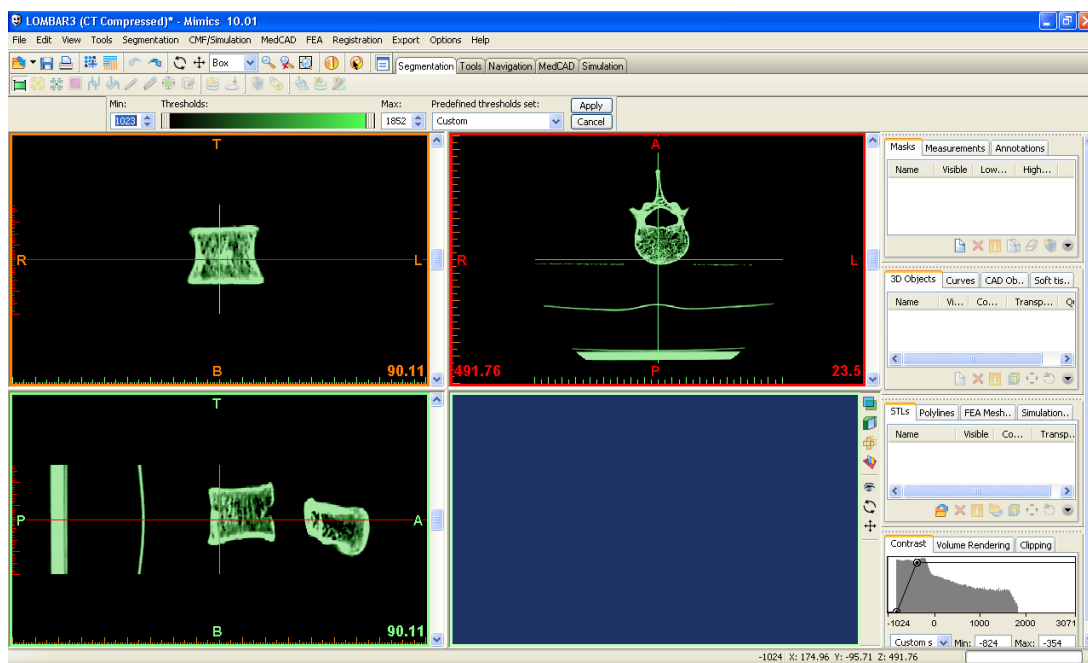


Fig. 9 Aplicarea unei valori de prag pentru segmentarea vertebrei

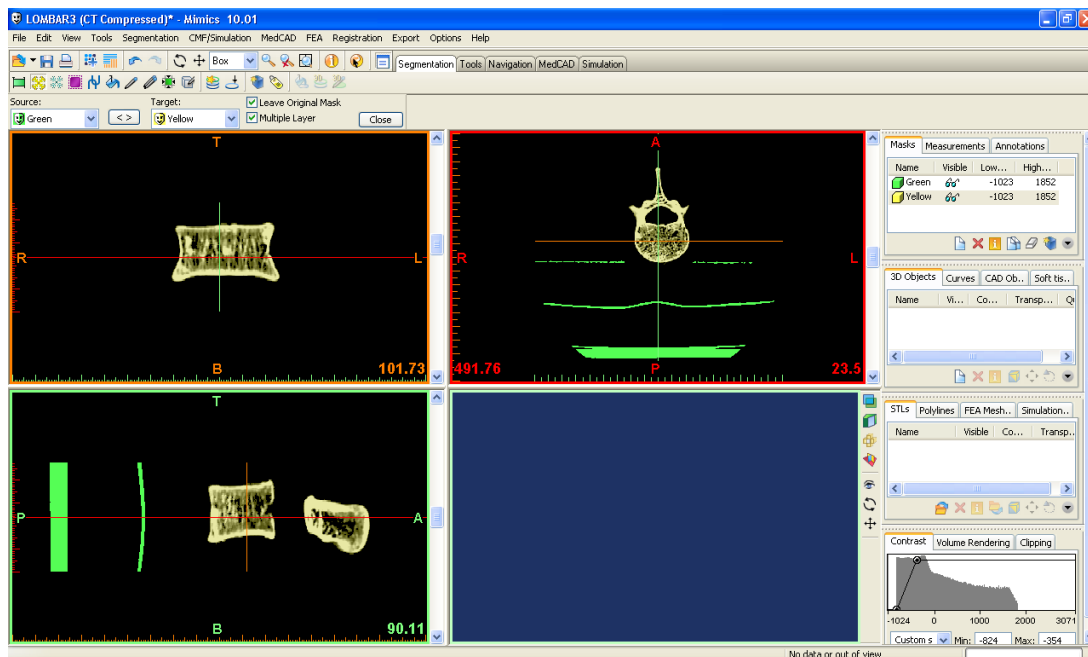


Fig. 10 Aplicarea operației de creștere pentru selectarea din imagini doar a vertebrei

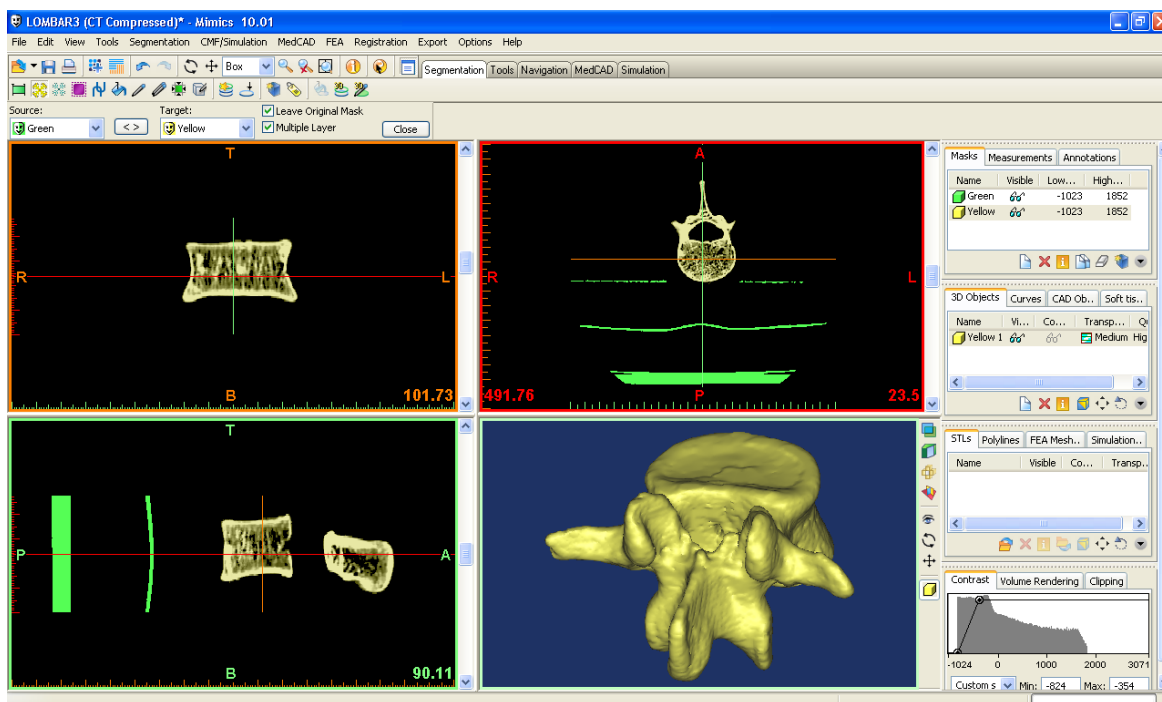


Fig. 11 Crearea unei reprezentări 3D din masca galbenă

În cazul în care se dorește obținerea mai multor obiecte din aceeași segmentare, atunci, este necesară crearea unei alte măști prin utilizarea opțiunii Growing tool.

Pentru cazul studiat al vertebrei L3 se alege o valoare de prag, care să permită obținerea unui model 3D cât mai complet. De asemenea, se aplică operații specifice de curățire a pixelilor nedoriți sau eronați.

În figurile 10-15 sunt prezentate etapele succesive care au condus la obținerea modelului 3D. Secțiunile au fost editate pentru eliminarea anumitor pixeli și pentru îmbunătățirea calității suprafețelor modelului (fig. 16).

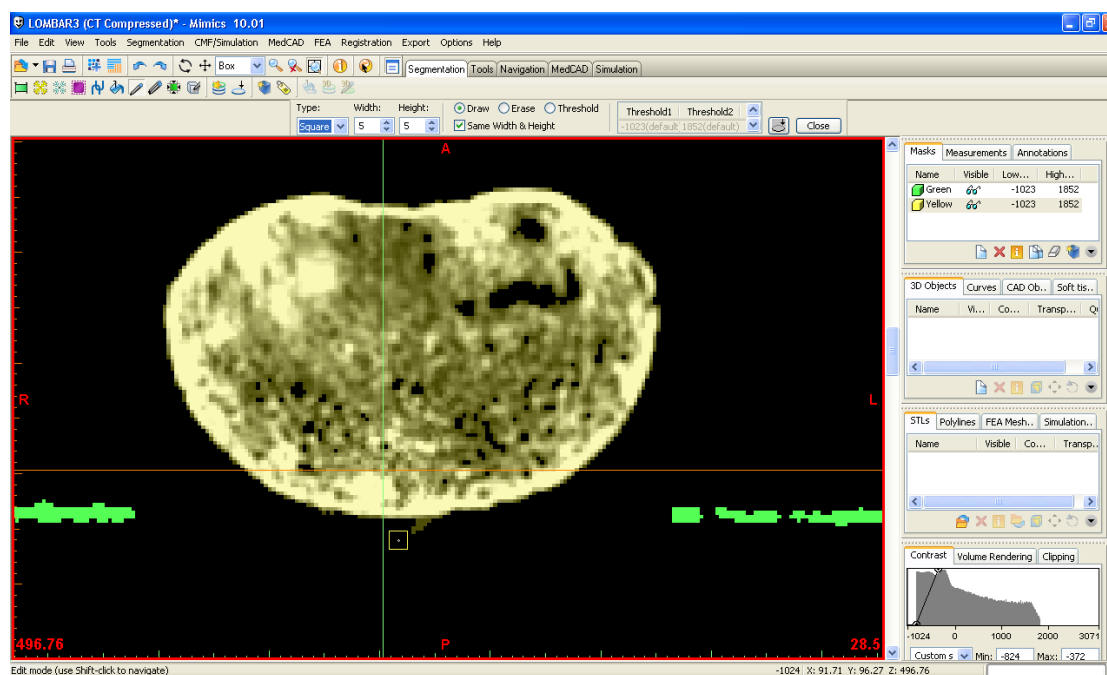


Fig. 12 Editarea secțiunilor pentru eliminarea pixelilor de pe exteriorul corpului vertebral

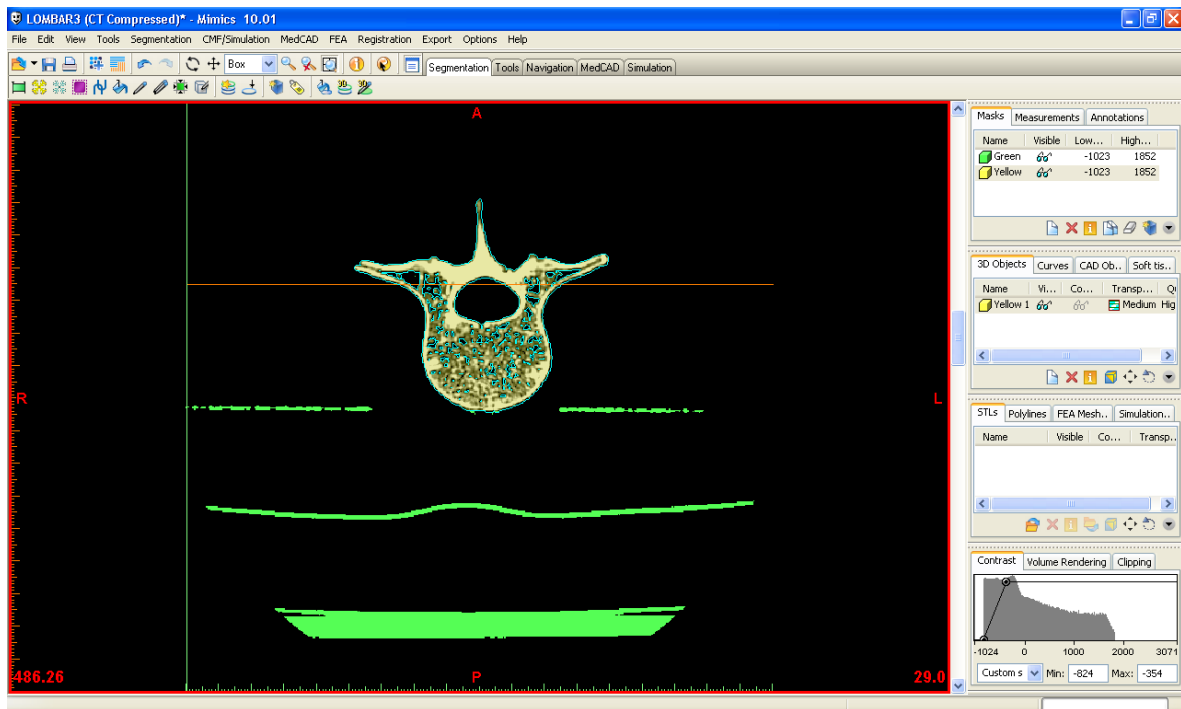


Fig. 13 Crearea de polilinii 3D

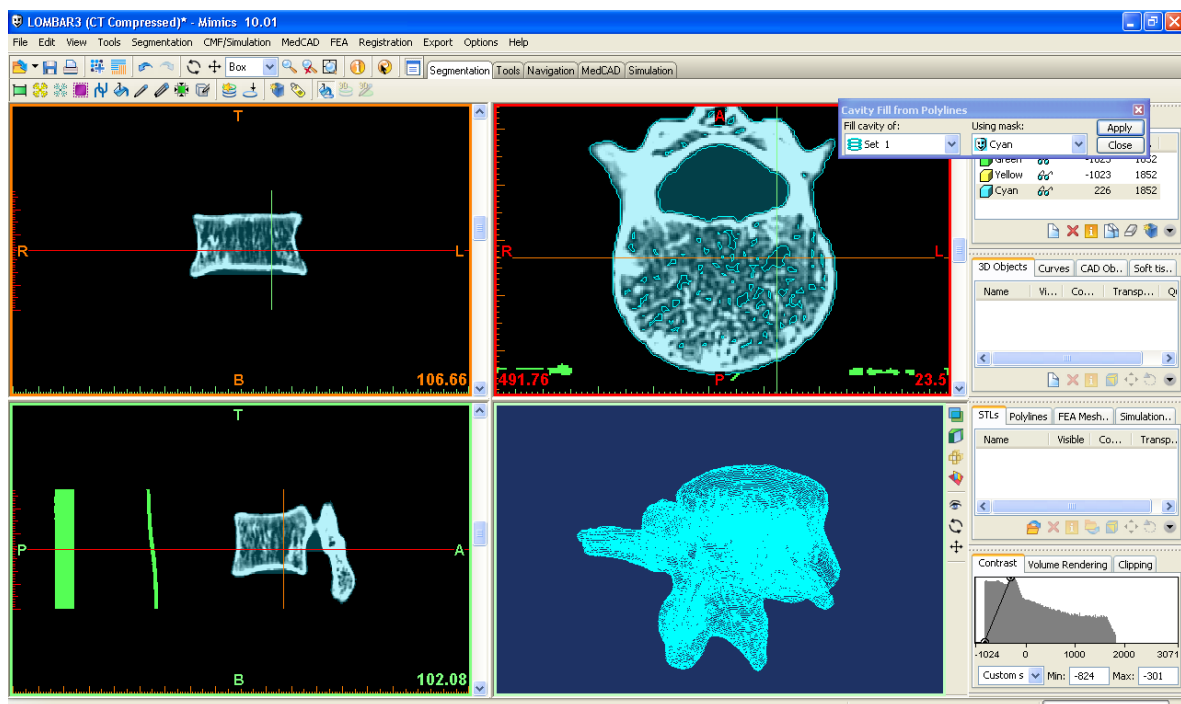


Fig. 14 Umplerea cavitaților din interiorul poli-liniilor

Pentru masca galbenă se generează polilini, care indică spații închise (găuri) în interiorul modelului (fig. 13). Se aplică opțiuni de editare prin umplerea găurilor din interiorul fiecărei secțiuni (fig. 14). Se creează astfel o nouă mască, din care, apoi, se generează corpul 3D.

În figura 15 este prezentat modelul 3D al măștii albastre. Modelul obținut poate fi supus unor operații de reducere a numărului de triunghiuri sau de netezire a suprafeței, în scopul îmbunătățirii aspectului.

Netezirea, de exemplu, se realizează prin indicarea unui factor de netezire (cuprins între 0 și 1) și a unui număr de iterații (cuprins între 1 și 500).

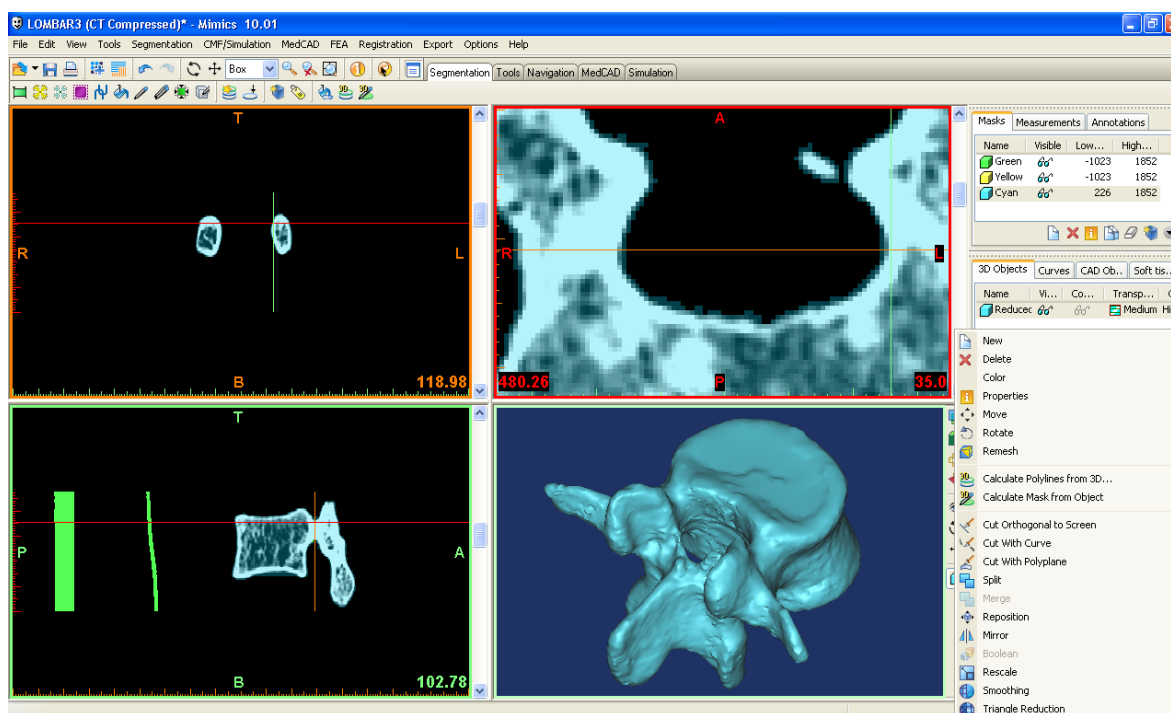


Fig. 15 Crearea modelului 3D pentru masca “albastră”

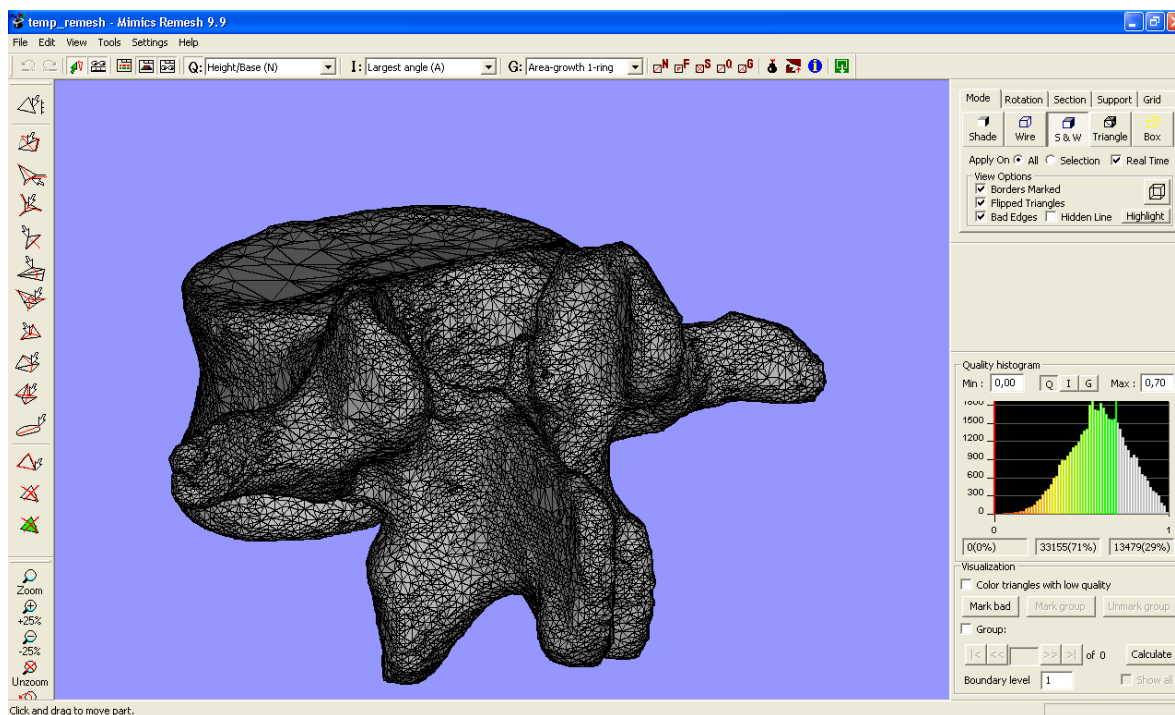


Fig. 16 Discretizarea modelului 3D (masca albastră)

Mimics 10 conține și un modul FEA, care conține instrumente pentru a realiza o re-discretizare (remesh) a modelului, utilă atât pentru analiza cu elemente finite, cât și pentru eliminarea anumitor defecte ale modelului. Practic, re-discretizarea are în vedere crearea unei rețele mai uniforme de triunghiuri.

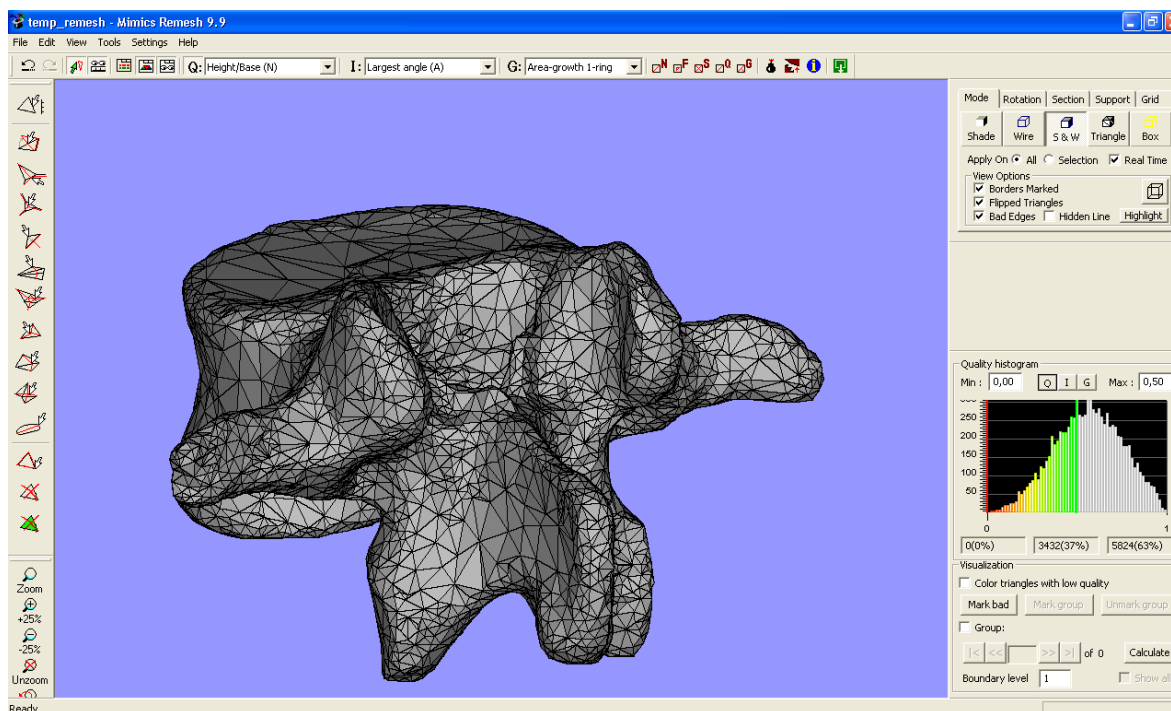


Fig. 17 Re-discretizare

Protocolul pentru re-discretizare conține în general următorii pași:

- Reducerea numărului de triunghiuri;
- Re-discretizare de tip split-based automatic;
- Reducerea numărului de triunghiuri cu păstrarea calității;

Se realizează o analiză a modelului (auto-intersecări, normale incorect orientate etc.) și se poate realiza corecția manuală și locală a acestuia.

În cazul prezentat s-au aplicat cei trei pași anterior menționați, obținându-se discretizarea din figura 17.

Mimics poate exporta date ale modelului medical în formatele din figura 18. Dintre acestea, în sistemele 3D CAD comerciale, inclusiv CATIA V5, pot fi utilizate: STL, dxf, Point Cloud și IGES. Informații despre aceste formate vor fi detaliate în continuare.

Formatele stl și txt conțin coordonatele vârfurilor triunghiurilor și normalele la acestea și pot fi utilizate în aplicații software de inginerie inversă, de tipul RapidForm sau, pentru CATIA V5, în workbench-ul Digitized Shape Editor.

Aceeași metodologie aplicată și pentru formatul txt (Export - Point Cloud) dă rezultate eronate la importul în CV5 (fig. 19).

Formatul vrml exportat de Mimics poate fi utilizat în CV5, dar doar pentru vizualizarea modelului (fig. 20).

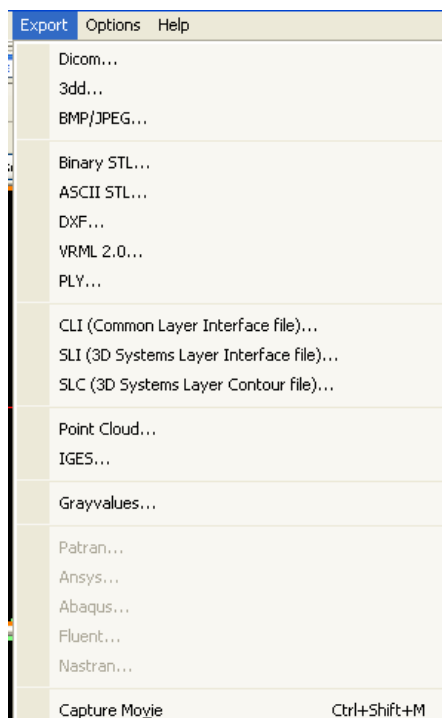


Fig. 18 Formate de export de date din Mimics 10

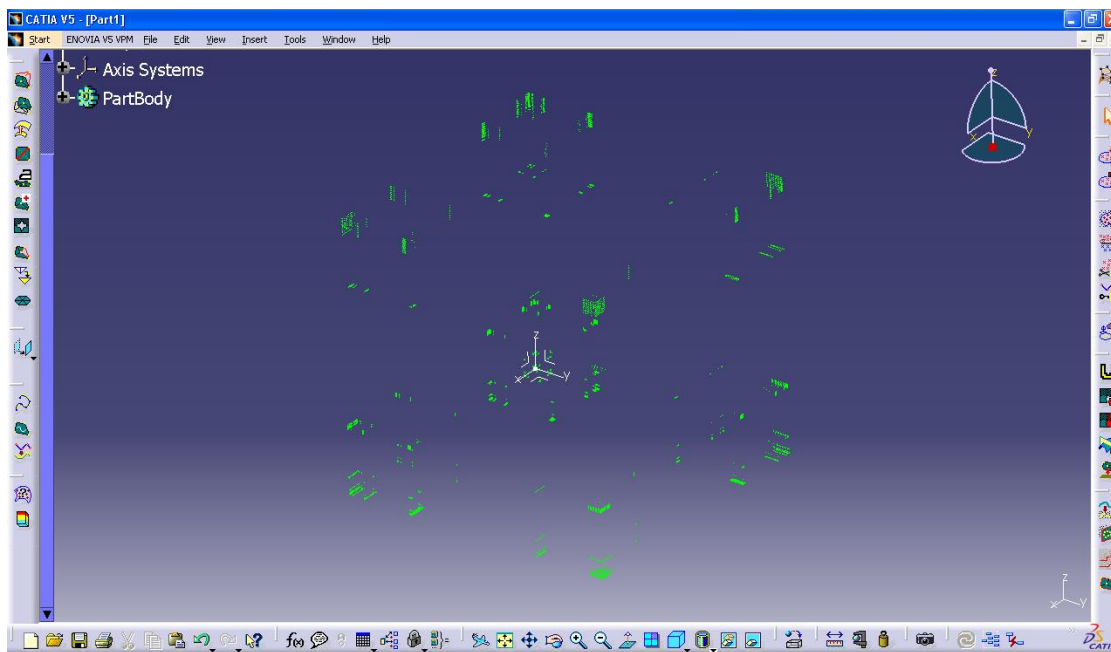


Fig. 19 Importul unui fișier .txt din Mimics în Digitized Shape Editor

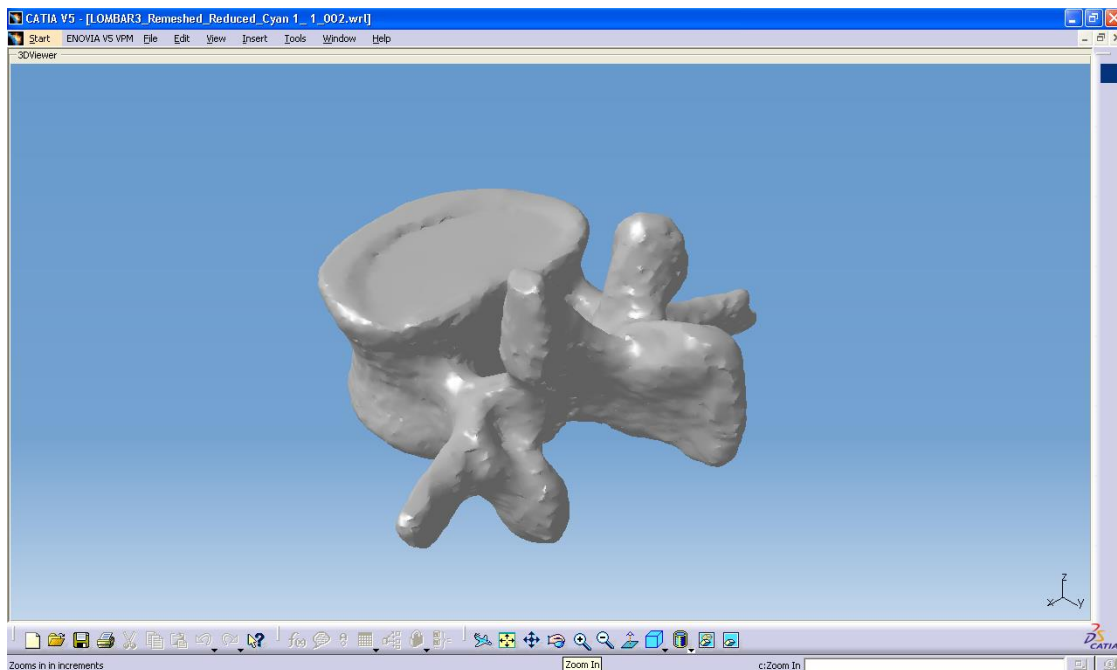


Fig. 20 Importul în CV5 a fișierului vrml exportat din Mimics 10

Exportul fișierelor de format iges se observă în figura 21. Parametri de calcul pentru format sunt prezentați în figura 22.

Figura 23 prezintă modelul iges importat în CV5. Obținerea modelului de suprafață este foarte complicat și consumator de timp, secțiunile trebuind să fie unite treptat prin opțiunea Multi-sections. Concluzia este că, acest model din curbe poate fi utilizat doar dacă se intenționează proiectarea dispozitivului de ghidare direct pe model, așa cum este prezentat în: Bibb (2009), Lu (2011), Ma (2012), Porada (2001), van Brussel (1997).

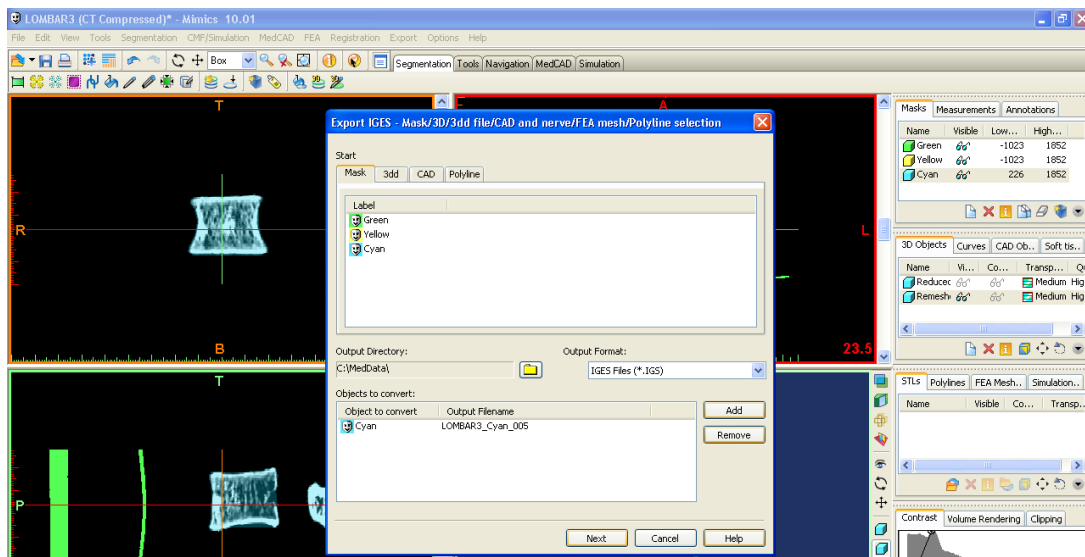


Fig. 21 Exportul fișierului .igs din Mimics 10

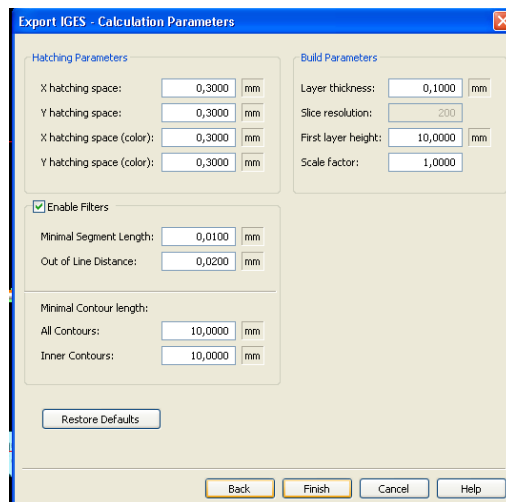


Fig. 22 Parametri pentru fișierul igs

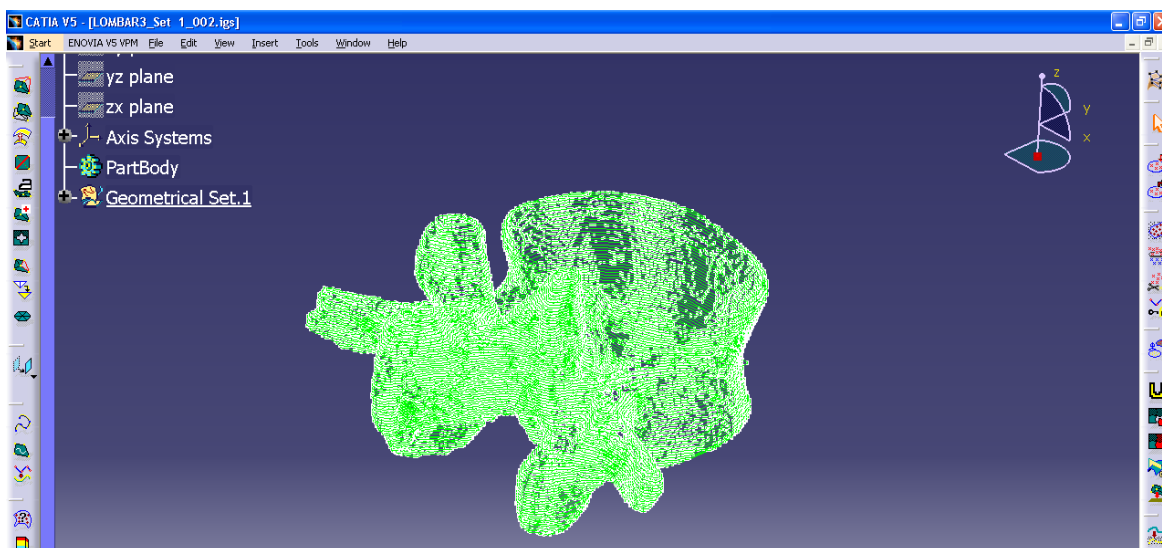


Fig. 23 Importul fișierului igs în CV5

Modelul 3D obținut din FEA este exportat în format Binary STL în CV5, mai precis în modulul de inginerie inversă Digitized Shape Editor (DSE). După operații specifice destinate analizei și, dacă este cazul, eliminării erorilor (fig. 24), se trece la etapa de creare a suprafețelor din rețeaua (mesh) poligonală, obținută în DSE. Acest lucru se face în aplicația Quick Surface Reconstruction cu opțiunea Automatic Surfaces (fig. 25).

Modelul solid este generat în Part Design folosind opțiunea Thickness cu 0,5 mm grosime (fig. 26). Această valoare este considerată în literatură ca medie a grosimii pereților corticali ai vertebrelor lombare.

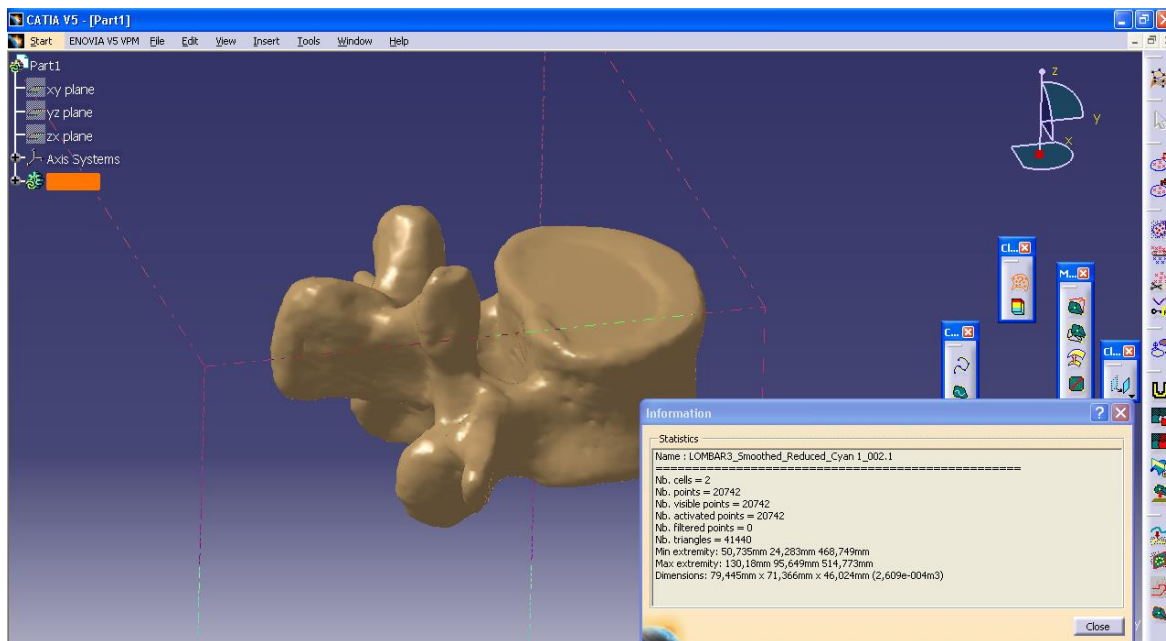


Fig. 24 Importul fișierului STL în modulul Digitised Shape Editor și analiza acestuia

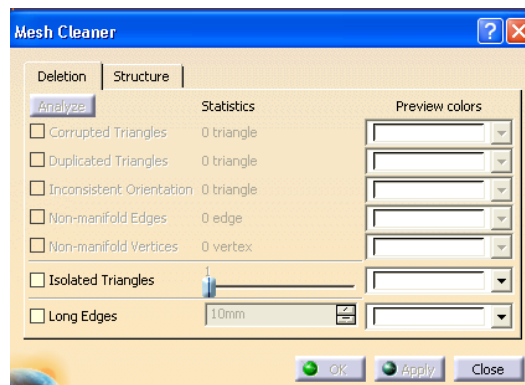


Fig. 25 Eliminarea elementelor eronate (triunghi duplicat, corupt, orientări inconsistente etc.)

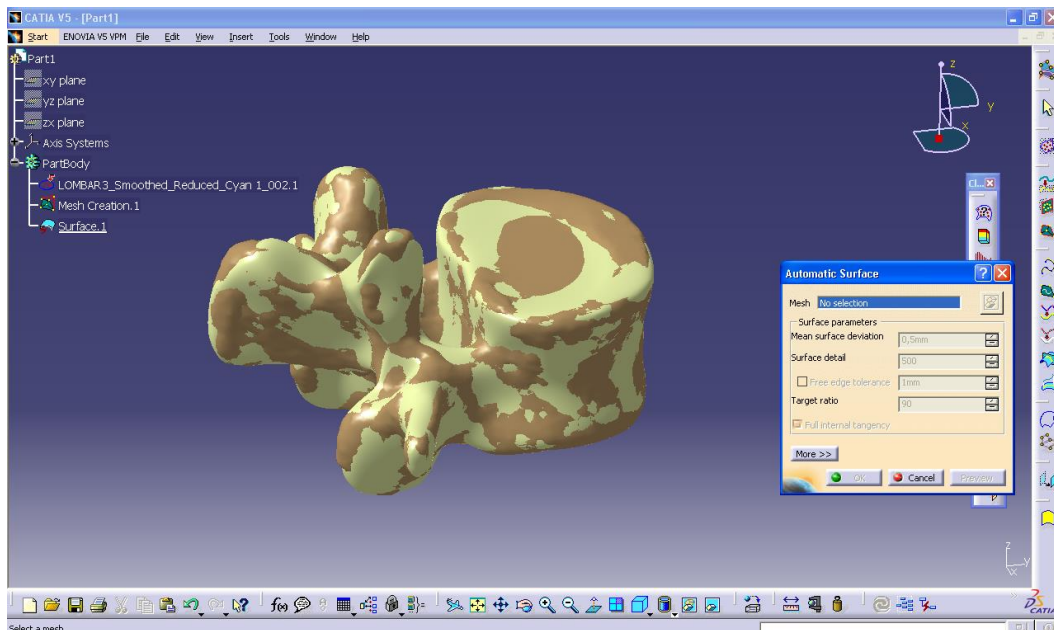


Fig. 26 Generarea modelului de suprafață în aplicația Quick Surface Reconstruction din CV5

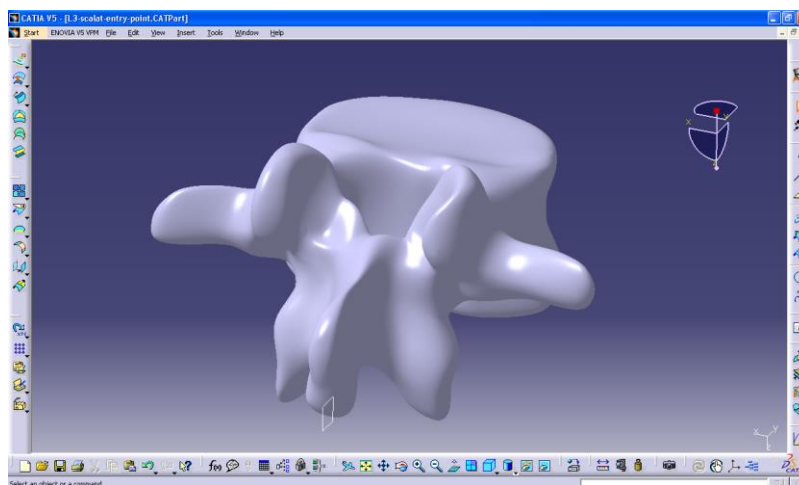


Fig. 27 Obținerea modelului 3D solid

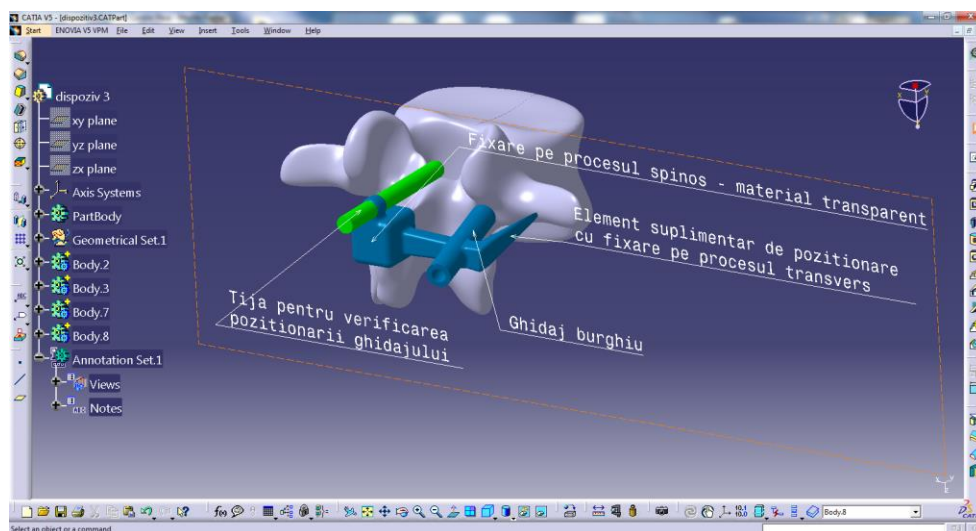


Fig. 28 Varianta 1 de dispozitiv de ghidare a traiectoriilor de găurire

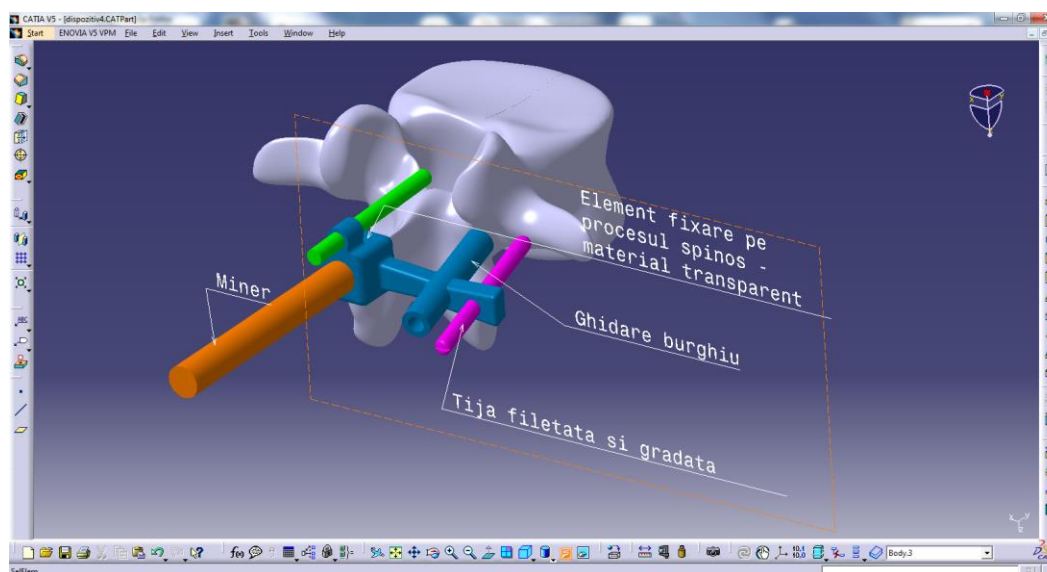


Fig. 29 Varianta 2 de dispozitiv de ghidare a traiectoriilor de găurire

Dispozitivul “îmbracă” partea superioară a procesului spinos și este fabricat prin procedee de fabricație rapidă dintr-un material transparent, care permite sterilizarea (procedeul de stereolitografie). Forma dispozitivului permite fixarea acestuia cu mâna și susținerea în poziție prin apăsare, dar poate fi dotat și cu un mâner (vezi fig. 29). Construcția dispozitivului este modulară. Mânerul și elementul de poziționare de pe procesul transversal pot fi utilizate și la alte dispozitive similare. Tija verde este utilizată

pentru verificarea amplasării corecte a dispozitivului. Dispozitivul are și un element de poziționare, care este fixat pe procesul transversal într-o poziție cât mai apropiată de punctul de intrare, pentru a evita mărirea zonei de intervenție. Fixarea dispozitivului pe procesul spinos se face prin împingere, până când tija de verificare atinge vertebra, iar elementul de poziționare vine în contact cu procesul transvers.

Elementul de poziționare (culoare magenta) este filetat și dispune de o riglă gradată, care îi permite reglarea lungimii în funcție de geometria vertebrei. Materialul pentru dispozitiv este tot transparent, pentru a facilita verificarea amplasării corecte pe procesul spinos.

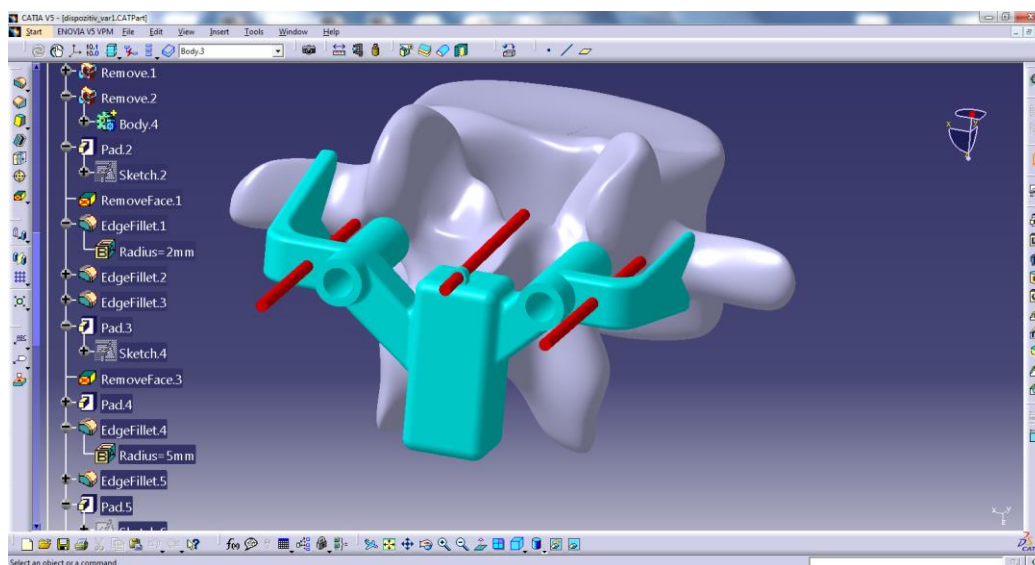


Fig. 30 Varianta 3 de dispozitiv de ghidare a traiectoriilor de găurire

În figura 31 sunt prezentate modele printate 3D prin procedeul FDM, ale componentelor proiectate mai sus.



Fig.31 Modele de obiecte fabricate prin procedeul FDM

BIBLIOGRAFIE

1. J. Richter, P. Jacobs, Accuracy in Rapid Prototyping & Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers, 1992, pp.287-315
2. M. Mahesh, Y. S. Wong, Y. H. Fuh, H. T. Loh, Benchmarking for comparative evaluation of RP systems and processes, Rapid Prototyping Journal, Vol. 10, Number 2, 2004, pp.123-135
4. N. P. Juster, T. H. C. Childs, Linear and geometric accuracies from layer manufacturing, CIRP annals, Vol. 43, Number 1, 1994, pp.163- 166
5. R. Ippolito, L. Iuliano, A. Gatto, Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish, Annals of the CIRP, 44, 1995, pp.157-160
6. J.P. Kruth ș.a., Benchmarking of different sls/slm processes as rapid manufacturing technique, Int. Conf. Polymers & Moulds Innovations (PMI), Gent, Belgia, 2005
7. <https://www.zspotmedia.ro/>