

---

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

# Evaluarea comparativă a unor sisteme de scanare/frezare computerizată utilizate în medicina dentară

---

Doctorand: **Burde Alexandru-Victor**

---

Conducător de doctorat: **Prof. Dr. Cîmpian Radu Septimiu**

---



**UMF**  
UNIVERSITATEA DE  
MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
IULIU HAȚIEGANU  
CLUJ-NAPOCA

# CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b>	13
<b>STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII</b>	
<b>1. Manufacturarea digitală directă</b>	18
<b>2. Sisteme de manufacturare substractivă</b>	21
2.1. Istoricul sistemelor de manufacturare substractivă	22
2.2. Structura sistemelor de manufacturare substractivă	25
2.2.1. Dispozitivul de digitalizare a datelor	26
2.2.2. Componenta software de proiectare asistată de calculator	27
2.2.3. Dispozitivul de frezare asistată de calculator	28
<b>3. Tehnici de manufacturare aditivă utilizate în medicina dentară</b>	31
3.1. Procedee de manufacturare aditivă	32
3.2. Aplicațiile manufacturării aditive în medicina dentară	34
<b>CONTRIBUȚIA PERSONALĂ</b>	
<b>1. Ipoteza de lucru/obiective</b>	44
<b>2. Studiul 1 - Aplicațiile imprimantelor tridimensionale RepRap în medicina dentară- studiu de literatură</b>	45
2.1. Introducere	45
2.2. Ipoteza de lucru/obiective	46
2.3. Material și metodă	46
2.4. Rezultate	47
2.5. Discuții	49
2.6. Concluzii	50
<b>3. Studiul 2 - Evidențierea cunoștințelor și a atitudinii medicilor stomatologi și a tehnicienilor dentari în ceea ce privește tehnologia CAD/CAM</b>	52
3.1. Introducere	52
3.2. Ipoteza de lucru/obiective	53
3.3. Material și metodă	53
3.4. Rezultate	55
3.5. Discuții	69
3.6. Concluzii	70
<b>4. Studiul 3 - Evaluarea tridimensională a grosimii stratului pulverizat de două spray-uri de scanare</b>	71
4.1. Introducere	71
4.2. Ipoteza de lucru/obiective	72
4.3. Material și metodă	72

4.4. Rezultate	78
4.5. Discuții	81
4.6. Concluzii	82
<b>5. Studiul 4 - Comparația in vitro a acurateții unor scannere utilizate în medicina dentară</b>	<b>83</b>
5.1. Introducere	83
5.2. Ipoteza de lucru/obiective	85
5.3. Material și metodă	85
5.4. Rezultate	92
5.5. Discuții	98
5.6. Concluzii	99
<b>6. Studiul 5 - Evaluarea tridimensională cantitativă a unor modele dentare obținute prin 3 metode de manufacturare aditivă</b>	<b>100</b>
5.1. Introducere	100
5.2. Ipoteza de lucru/obiective	101
5.3. Material și metodă	101
5.4. Rezultate	105
5.5. Discuții	109
5.6. Concluzii	111
<b>7. Concluzii generale</b>	<b>113</b>
<b>8. Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei</b>	<b>116</b>
<b>9. Referințe</b>	<b>118</b>
<b>10. Anexe</b>	<b>128</b>

**Cuvinte cheie:** CAD/CAM, manufacturare substractivă, manufacturare aditivă, model dentar, RepRap

## INTRODUCERE

Printre numeroasele provocări mai recente aduse practicienilor din domeniul medicinei dentare se află și realizarea restaurărilor de înaltă calitate, într-un interval scurt de timp.

Procedul care scurtează în mod sesizabil timpii tehnici de manufacturare a restaurărilor protetice este manufacturarea asistată de calculator. Acest procedeu implică scanarea câmpului protetic prin intermediul unui scanner intraoral sau extraoral, realizarea designului restaurării și manufacturarea acesteia prin procedee substructive sau aditive. Când se utilizează sisteme de scanare extraorale sau de laborator, modelul dentar convențional este digitalizat pentru obținerea modelului digital. Dacă se optează pentru procedul de scanare intraorală, modelul convențional nu mai este necesar, modelul digital fiind obținut direct prin digitalizarea câmpului

protetic. Totuși, majoritatea etapelor tehnice de confecționare a unei restaurări necesită existența modelelor dentare fizice, reale, în pofida celor digitale.

O soluție pentru această problemă o reprezintă imprimarea tridimensională a modelelor digitale. Imprimantele tridimensionale profesionale, specifice procesului de fabricație aditivă a modelelor dentare au un preț de achiziție și producție relativ ridicat. Astfel, această teză dorește să contribuie la soluționarea acestei deficiențe prin introducerea unor sisteme de imprimare 3D, accesibile ca preț în realizarea reconstrucției modelelor dentare.

## **Studiul 1. Aplicațiile imprimantelor tridimensionale RepRap în medicina dentară- studiu de literatură**

### **Obiective**

Analiza literaturii de specialitate propusă în această capitol are ca scop identificarea aplicațiilor actuale ale imprimantelor 3D RepRap în domeniul medicinei dentare.

### **Material și metodă**

În vederea realizării obiectivului acestui studiu, s-a realizat o căutare electronică a publicațiilor relevante din perioada ianuarie 2004 până în august 2014 în două baze de date electronice: Medline (PubMed) și EMBASE. Lipsa de termeni MeSH specifici pentru a aborda subiectul analizat a generat necesitatea de utilizare a termenilor nedefiniți, care descriu caracteristicile tehnologiei studiate, precum și combinații ale acestor termeni. Procesul de verificare a rezultatelor a fost realizată în trei etape distincte: titluri, rezumate și texte complete.

### **Rezultate**

Căutarea electronică efectuată a evidențiat un număr de 1225 de studii în literatura de specialitate, din care 234 de publicații științifice au fost selectate dintre acestea pe baza titlurilor. Din cele 234 de rezumate revizuite, 186 nu au îndeplinit criteriile de includere și au fost excluse. Textele integrale ale celor 48 de articole rămase au fost citite și comparate în raport cu criteriile de includere și excludere predefinite, ceea ce a dus la eliminarea a 46 de articole. Cele două articole rămase au fost revizuite în profunzime pentru a studia modul de utilizare a imprimantelor 3D RepRap în domeniul medicinei dentare.

Astfel, primul articol realizat de Ivo Klepáček *et al* , prezintă reconstrucția 3D a unui craniu ce prezintă o patologie severă de adeziune maxilomandibulară bilaterală. Craniul a fost scanat cu un CT, iar porțiunea de viscerocraniu a fost imprimată din acid polilactic cu o imprimanta RepRap.

Studiul efectuat de Kasparova *et al* . a evaluat posibilitatea de a utiliza modele imprimate 3D obținute prin intermediul imprimantelor RepRap. Pentru a valida această aplicație, a fost realizată o comparație prin măsurători repetate cu șublerul între modelele de gips realizate în urma amprentării convenționale a 10 pacienți și versiunea reconstruită 3D a acestor modele, care au fost imprimate din filament de ABS, folosind o imprimantă RepRap.

## **Concluzii**

Literatura în domeniul imprimării 3D este vastă și acoperă domenii largi ale științei și tehnologiei. Cu toate acestea, studiile care au ca obiect strict posibilitatea de utilizare a imprimantelor RepRap în medicina dentară sunt reduse ca număr; ca urmare, acest domeniu constituie o sursă viitoare de noi cercetări.

## **Studiul 2- Evidențierea cunoștințelor și a atitudinii medicilor stomatologi și a tehnicienilor dentari în ceea ce privește tehnologia CAD/CAM**

### **Obiective**

Acest studiu, de tip prospectiv, are ca scop evaluarea impactului pe care îl are tehnologia de manufacturare substractivă asupra furnizorilor de servicii de sănătate orală prin determinarea nivelului de familiarizare cu tehnologia, a avantajelor și dezavantajelor percepute și a impactului acestei tehnologii asupra profesiei de medic dentist și tehnician dentar.

### **Material și metodă**

Pentru realizarea acestui studiu s-au realizat două chestionare- unul dedicat medicilor dentiști ce conține 21 itemi originali și nevalidați și un chestionar dedicat tehnicienilor dentari ce conține 24 itemi originali și nevalidați . Chestionarele au fost distribuite online și prin distribuire directă, în variantă listată medicilor dentiști și tehnicienilor din Cluj-Napoca.

### **Rezultate**

Dintr-un total de 135 respondenți, dintre care 103 au fost medici dentiști și 32 tehnicieni dentari. Majoritatea respondeților (94%) declară că această tehnologie le este cunoscută ca principiu, însă doar 15 declară că dețin un sistem propriu pe care îl folosesc în prezent în practică. Mai mult de 75% dintre respondenți s-au arătat interesați să utilizeze o formă de sistem CAD/CAM în următorii 5 ani.

Întrebați dacă deținerea unui sistem CAD/CAM, le-ar oferi un avantaj competitiv față de competitori lor care nu dețin un astfel de sistem, majoritatea covârșitoare (85.2%) a respondenților au răspuns pozitiv.

Majoritatea respondenților (77.8%) consideră că sistemele CAD/CAM nu au nici un impact asupra profesiei de medic dentist, în timp ce mai mult de jumătate (51.1%) din respondenți consideră că această tehnologie are un impact asupra profesiei de tehnician dentar.

### **Concluzii**

În prezent, la nivelul municipiului Cluj-Napoca, avem un număr relativ mic de utilizatori de sisteme CAD/CAM, dar majoritatea furnizorilor de servicii de sănătate orală cunosc și intenționează să folosească aceste sisteme în viitorul apropiat.

### **Studiul 3- Evaluarea tridimensională a grosimii stratului pulverizat de două spray-uri de scanare**

#### **Obiective**

Scopul acestui studiu este de a determina grosimea stratului de acoperire a două spray-uri de scanare, utilizate în scanarea de laborator și evidențierea diferențelor de grosime dintre sprayurile incluse în studiu.

#### **Material și metodă**

În acest studiu au fost incluse 2 spray-uri de condiționare optică a suprafețelor utilizate în procedeul de scanare indirectă. Analiza peliculelor celor două spray-uri s-a realizat în 3 etape distincte:

1. evaluare macroscopică- pentru a determina câte straturi din fiecare spray sunt necesare pentru a matiza o suprafață metalică- s-au utilizat 10 bonturi metalice, împărțite în 2 loturi, pe care s-au aplicat maxim 4 straturi succesive de spray. Bonturile au fost scanate cu un scanner de laborator și s-a determinat subiectiv aspectul rețelei poligonale
2. evaluarea macroscopică obiectivă- pentru a evidenția abaterea dimensională indusă de spray- s-a confectionat un model experimental, care a fost duplicat de 20 ori din gips. Modelele de gips au fost scanate și au constituit modele digitale de referință. Peste modele s-a aplicat 3 straturi de spray A și acestea au fost din nou scanate, apoi au fost curățate și s-a repetat același proces și pentru spray-ul B. Modelele digitale de referință au fost suprapuse și comparate cu modele digitale testate prin intermediul unui software de metrologie.
3. evaluarea microscopică SEM- pentru a evidenția eventualele diferențe de mărime a particulelor de  $TiO_2$  dintre cele 2 spray-uri- s-a realizat pe staburi metalice acoperite cu bandă de carbon,

#### **Rezultate**

Rezultatele evaluării macroscopice obiective indică o abatere medie de 16 micrometri pentru spray A și de 13.5 micrometri pentru sprayul B. Datele au avut o distribuție normală și s-a optat pentru utilizarea testului t care a fost asociat cu diferențe statistice semnificative. Imaginile SEM arată că dimensiunea particulelor din sprayul B este mai mică decât cea din sprayul A, dar peliculele de spray nu au un aspect omogen pe întreaga suprafață.

#### **Concluzii**

Studiul confirmă ipoteza conform căreia aplicarea spray-urilor de condiționare optică afectează precizia finală, însă spray-urile testate au o grosime a peliculei de acoperire acceptabilă din punct de vedere clinic.

### **Studiul 4- Comparația in vitro a acurateții unor scannere utilizate în medicina dentară**

#### **Obiective**

Acest studiu experimental are ca scop evidențierea și comparația rezoluției și acurateții (justețea și fidelitatea) a 2 scannere intraorale și 3 scannere de laborator.

## **Material și metodă**

Pentru realizarea acestui studiu s-au conceput și utilizat 2 modele experimentale: un bont din polimetilmetacrilat fizionomic și o arcada maxilară din rășină poliuretanică cu bonturi ce prezintă preparații standard pentru coroane mixte metalo-ceramice. Modelele de referință au fost scanate cu un CT industrial pentru a obține modele virtuale de referință. Iar mai apoi, modelele au fost scanate cu toate cele 5 scannere. Modelul A-a fost scanat de 15 ori cu fiecare scanner, iar modelul B de 5 ori cu fiecare scanner. Pentru evaluarea justeții, s-au realizat comparații cu modelele de referință, iar pentru fidelitate s-a comparat prima scanare din serie cu următoarele scanări.

## **Rezultate**

Pentru scanarea modelului experimental A cea mai mică deviație înregistrată este de 6  $\mu\text{m}$  pentru scanerul de laborator și 20  $\mu\text{m}$  pentru cele de cabinet. Când comparăm scanările înseriate ale aceluiași bont, cea mai mică deviație înregistrată este de 4  $\mu\text{m}$  pentru scanerul de laborator și 17  $\mu\text{m}$  pentru cele de cabinet. Când scanarea s-a efectuat pentru modelul B, cea mai mică deviație este de 13  $\mu\text{m}$  pentru scanerul de laborator și 82  $\mu\text{m}$  pentru cele de cabinet.

Testul Shapiro-Wilk indică o anormalitate a distribuției datelor, astfel încât s-a utilizat un test Kruskal-Wallis pentru a evidenția existența diferențelor statistice care sunt prezente pentru toate tipurile de măsurători. Testul Mann-Whitney U indică diferențe semnificative la comparația în perechi cu câteva excepții.

## **Concluzii**

Acuratețea scanerelor este influențată de lungimea segmentului scanat. Chiar dacă la scanarea unui singur bont toate rezultatele erau în limitele acceptate clinic, la scanarea unei arcade întregi, abaterea s-a dublat pentru scanerul de laborator și a crescut de 4 ori pentru scanerul de cabinet.

## **Studiul 5- Evaluarea tridimensională cantitativă a unor modele dentare obținute prin 3 metode de manufacturare aditivă**

### **Obiective**

Ultimul studiu are ca scop investigarea acurateții modelelor imprimate prin 3 tehnici de manufacturare aditivă.

### **Material și metodă**

În vederea realizării obiectivului acestui studiu, au fost selectate 10 perechi de modele, de la pacienți cu diverse patologii, care au fost le-am digitalizate utilizând un scanner cu lumina structurată. Modelele digitale obținute în urma scanării au fost pregătite pentru imprimarea 3D, iar apoi au fost fabricate cu 4 imprimante: o imprimantă pe bază de stereolitografie, două imprimante pe bază de extruzie de material și o imprimantă profesională pe bază de depunere de material, în total 80 modele, câte 20 pentru fiecare imprimantă. După imprimare, modelele au fost scanate

utilizand aceiași scanner si au fost comparate dimensional prin utilizarea unui software de metrologie.

### **Rezultate**

Imprimanta profesională are cea mai mică medie a abaterilor, înregistrând o deviație medie de 97  $\mu\text{m}$ , în timp ce imprimanta pe baza de stereolitografie înregistrează cea mai mare medie a deviațiilor de 207  $\mu\text{m}$ . Valorile erorilor dimensionale au fost testate pentru normalitatea distribuției utilizând testul Shapiro-Wilk care confirmă această normalitate. Testul parametric Anova indică existența unor diferențe semnificative statistice între cele 4 grupuri

### **Concluzie**

Cea mai mare acuratețe în printarea modelelor o oferă imprimantele profesionale, urmate de imprimantele cu extruzie de materiale termoplastice manufacturate artisanal. Chiar dacă imprimantele pe baza de stereolitografie prezintă cea mai netedă suprafață, acestea au un grad înalt de contracție și delaminare, cu modele care nu sunt stabile în timp.

## **Concluzii generale**

1. Imprimantele 3D RepRap prezintă avantajul că sunt open-source, fapt ce distribuie costul de dezvoltare în rândul tuturor utilizatorilor; având astfel un cost accesibil, este mai facilă utilizarea acestor și în laboratoarele sau cabinetele de mici dimensiuni.
2. La nivelul municipiului Cluj-Napoca, un număr relativ mic de furnizori de servicii de sănătate orală utilizează sisteme CAD/CAM, însă această tehnologie este cunoscută de practicieni și majoritatea intenționează să o utilizeze în următorii 5 ani.
3. Factorul principal care descurajează utilizarea sistemelor CAD/CAM în practica curentă este prețul de achiziție ridicat.
4. Acuratețea finală a restaurărilor protetice realizate prin sisteme de manufacturare substractivă sau aditivă este afectată de aplicarea spray-urilor de condiționare optică a suprafețelor.
5. Chiar dacă spray-urile de condiționare optică a suprafețelor sunt aplicate de același operator, utilizând aceeași tehnică de pulverizare, dimensiunea particulelor de dioxidul de titan din componența spray-urilor, cauzează diferențe ale grosimii straturilor aplicate.
6. Aplicarea spray-urilor de condiționare optică prin intermediul unor pompe injectoare convenționale poate distorsiona geometria și dimensiunile suprafețelor scanate.



7. Zonele de relief negativ de la nivelul suprafețelor ocluzale, precum și zonele concave de la nivelul pragului preparației, sunt predispuse la acumulări excesive de spray de scanare.
8. Acuratețea sistemelor de scanare intraorale și de laborator este influențată de lungimea segmentelor scanate - dacă segmentul scanat are dimensiuni mari, acuratețea scanării este mai scăzută.
9. Scannerele de laborator prezintă o acuratețe mai ridicată a scanării, în comparație cu sistemele intraorale de scanare.
10. Imprimantele profesionale care utilizează procesul de depunere de material demonstrează cea mai mică abatere dimensională în procesul de realizare a modelelor dentare.
11. Imprimantele 3D entry-level bazate pe procesul extruziei de material reprezintă o alternativă accesibilă la imprimantele profesionale, în procesul de manufacture aditivă a modelelor dentare.
12. Deși modelele imprimate prin stereolitografie inversă prezintă cea mai netedă și aparent detaliată suprafață, acestea prezintă modificări volumetrice importante.
13. În vederea imprimării 3D a modelelor dentare globale, de studiu sau lucru, indiferent de procedeul de fabricație aditivă utilizat, este necesară realizarea unui element de armare orizontală pentru a preveni distorsionarea orizontală a modelelor.

---

Summary of the PhD Thesis

# Comparative assessment of digital scanning /milling systems used in dental medicine

---

Ph.D. Student: **Burde Alexandru-Victor**

---

PhD Coordinator: **Prof. Dr. Cîmpian Radu Septimiu**

---



**UMF**  
UNIVERSITATEA DE  
MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
IULIU HAȚIEGANU  
CLUJ-NAPOCA

# TABLE OF CONTENTS

<b>INTRODUCTION</b>	13
<b>CURRENT STATE OF KNOWLEDGE</b>	
<b>1. Direct digital manufacturing</b>	18
<b>2. Subtractive manufacturing systems</b>	21
2.1. History of subtractive manufacturing systems	22
2.2. Components of subtractive manufacturing systems	25
2.2.1. Data capturing device	26
2.2.2. Computer assisted design software	27
2.2.3. Computer assisted milling unit	28
<b>3. Additive manufacturing techniques used in dental medicine</b>	31
3.1. Additive manufacturing technologies	32
3.2. Applications of additive manufacturing in dentistry	34
<b>PERSONAL CONTRIBUTION</b>	
<b>1. Aim/objectives</b>	44
<b>2. Study 1 – Applications of three-dimensional RepRap printers in Dental Medicine</b>	45
2.1. Introduction	45
2.2. Aims	46
2.3. Material and method	46
2.4. Results	47
2.5. Discussions	49
2.6. Conclusions	50
<b>3. Study 2 - Highlighting the knowledge and attitude of dentists and dental technicians regarding CAD / CAM technology</b>	52
3.1. Introduction	52
3.2. Aims	53
3.3. Material and method	53
3.4. Results	55
3.5. Discussions	69
3.6. Conclusions	70
<b>4. Study 3 – Three-dimensional evaluation of spray layer thickness of two scanning sprays</b>	71
4.1. Introduction	71
4.2. Aims	72
4.3. Material and method	72
4.4. Results	78
4.5. Discussions	81

4.6. Conclusions	82
<b>5. Study 4 - In vitro comparison of accuracy of some scanners used in dental medicine</b>	<b>83</b>
5.1. Introduction	83
5.2. Aims	85
5.3. Material and method	85
5.4. Results	92
5.5. Discussions	98
5.6. Conclusions	99
<b>6. Study 5 - Quantitative three-dimensional evaluation of dental models obtained by three additive manufacturing methods</b>	<b>100</b>
6.1. Introduction	100
6.2. Aims	101
6.3. Material and method	101
6.4. Results	105
6.5. Discussions	109
6.6. Conclusions	111
<b>7. General conclusions</b>	<b>113</b>
<b>8. Originality and innovative contributions of the thesis</b>	<b>116</b>
<b>9. References</b>	<b>118</b>
<b>10. Annexes</b>	<b>128</b>

**Keywords:** CAD/CAM, subtractive manufacturing, additive manufacturing, dental models, RepRap

## **INTRODUCTION**

Among the many more recent challenges posed to dental practitioners is the achievement of high-quality restorations within a short period of time.

The process that noticeably shortens the technical manufacturing time of prosthetic restorations is computer-assisted manufacturing. This procedure involves the scanning of the patients arches by an intraoral or extraoral scanner, the planification of the restoration design and its manufacture by subtractive or additive manufacturing processes. When extraoral or laboratory scanning systems are used, the conventional dental model is digitized to obtain the digital model. If the intraoral scanning procedure is chosen, the conventional model is no longer required, the digital model being obtained directly by digitizing the patients dental arches. However, most of the technical steps performed in order to fabricate a restoration still require the existence of physical dental models.

A solution to this problem is three-dimensional printing of digital models. The three-dimensional professional printers, which are specific to dental model manufacturing, have a relatively high purchase and running costs. Thus, this thesis aims to contribute to the solution of this deficiency by introducing affordable 3D printing systems in the reconstruction of dental models.

## **Study 1 – Applications of three-dimensional RepRap printers in Dental Medicine**

### **Aims**

The literature review proposed in this chapter aims to identify the current applications of 3D RepRap printers in the field of dental medicine.

### **Materials and methods**

In order to achieve the objective of this study, an electronic search of the relevant publications from January 2004 to August 2014 was carried out in two electronic databases: Medline (PubMed) and EMBASE. The lack of specific MeSH terms to address the subject under discussion has generated the need to use undefined terms describing the characteristics of the technology studied, as well as combinations of these terms. The process of verification of the results was carried out in three distinct stages: titles, abstracts and complete texts.

### **Results**

The electronic search performed revealed 1225 studies, of which 234 scientific publications were selected based on their title. Of the 234 revised summaries, 186 did not meet the inclusion criteria and were excluded. The full texts of the remaining 48 articles were read and compared against the predefined inclusion and exclusion criteria, which led to the removal of 46 articles. The two remaining articles have been thoroughly reviewed to study how 3D RepRap printers are used in the field of dental medicine.

Thus, the first article by Ivo Klepáček et al., presents the 3D reconstruction of a skull showing a severe pathology of bilateral sygnathia. The skull was scanned with a CT, and the viscerocranium was printed from polylactic acid with a RepRap printer.

The article written by Kasparova et al. has evaluated the possibility of using 3D printed models obtained through RepRap printers. In order to validate this application, a comparison was made by repeated gauge measurements of gypsum models made from the conventional impressions of 10 patients and the 3D reconstructed version of these models, which were printed from an ABS filament using a RepRap printer.

### **Conclusions**

Literature in the field of 3D printing is vast and covers broad areas of science and technology. However, studies that evaluate the use of RepRap printers in dentistry are limited; as a result, this area is a future source of new research.

## **Study 2- Highlighting the knowledge and attitude of dentists and dental technicians regarding CAD / CAM technology**

### **Aims**

This prospective study aims to evaluate the impact of subtractive manufacturing technology on providers of oral health services by determining the level of familiarity with this technology, perceived advantages and disadvantages and the impact of this technology on the profession of dentist and a dental technician.

### **Materials and methods**

Two questionnaires - one dedicated to dentists containing 21 original and non-valid items, and a questionnaire dedicated to dental technicians containing 24 original and non-valid items were created for this study. The questionnaires were distributed online and through direct distribution to dentists and technicians from Cluj-Napoca.

### **Results**

From a total of 135 respondents, 103 were dentists and 32 dental technicians. Most respondents (94%) report that they are familiar with this technology, but only 15 own a proprietary system they are currently using in their clinical practice. More than 75% of respondents were interested in using a CAD/CAM system over the next 5 years.

When questioned if a CAD/CAM system would give them a compelling advantage over their competitors who do not own such a system, the overwhelming majority (85.2%) responded positively.

Most respondents (77.8%) consider that CAD / CAM systems have no impact on the dentist profession, while more than half (51.1%) of respondents believe that this technology has an impact on the profession of dental technician.

### **Conclusions**

Currently, in the city of Cluj-Napoca, there is a relatively small number of CAD/CAM system users, but most providers of oral healthcare services know and intend to use these systems in the near future.

## **Study 3 – Three-dimensional evaluation of spray layer thickness of two scanning sprays**

### **Aims**

The purpose of this study is to determine the coating thickness of two scanning sprays used in laboratory scanning and to highlight the difference in thickness between the sprays included in the study.

### **Materials and methods**

In this study, two surface-conditioning sprays used in the indirect scanning process were included. The analysis of the films of the two sprays was done in three distinct stages:

1. Macroscopic evaluation - to determine how many layers of each spray are required to cover a reflective metal surface - 10 metallic dies, divided into 2 batches, were used for this purpose. Each die was covered with up to 4 successive layers of

spray. The sprayed dies were scanned with a laboratory scanner and the appearance of the polygonal network was subjectively appraised for integrity.

2. Objective macroscopic evaluation – in order to highlight the spray-induced dimensional deviation, an experimental model was produced that was duplicated 20 times in gypsum. The gypsum models were scanned, thus obtaining the digital reference models. Three layers of spray A were applied to the models and they were scanned again, then the models were cleaned and the process was repeated for spray B. References were overlapped and compared to tested digital models through metrology software.

3. SEM microscopic evaluation- in order to highlight eventual differences in the size of TiO<sub>2</sub> particles contained by the two sprays- carbon-bonded tabs were used for this process.

### **Results**

The results of the objective macroscopic evaluation indicate an average deviation of 16 microns for Spray A and 13.5 for Spray B. The data had a normal distribution and the t test performed was associated with significant statistical differences. The SEM images showed that the particle size of Spray B is less than that of Spray A, but the spray films do not have a homogeneous appearance over the entire surface.

### **Conclusions**

The study confirms the hypothesis that the application of optical conditioning sprays affects the final precision, but the tested sprays have a clinically acceptable coating thickness.

## **Study 4 - In vitro comparison of accuracy of some scanners used in dental medicine**

### **Aims**

This experimental study aims to highlight and compare the resolution and accuracy (precision and fidelity) of 2 intraoral scanners and 3 laboratory scanners.

### **Materials and methods**

Two experimental models were designed and used to achieve this purpose: a physiognomic polymethylmethacrylate die and a polyurethane full-arch model with standard preparations of the dies for mixed metal-ceramic crowns. Reference models were scanned with an industrial CT to obtain the virtual reference models. Then the models were scanned with all 5 scanners. Model A has been scanned 15 times with each scanner, and Model B -5 times with each scanner. For the assessment of precision, comparisons were made with virtual reference models, and for fidelity, the first scan from the series was compared with the following scans.

### **Results**

For the scanning of the A experimental model the smallest recorded deviation is 6 µm for the laboratory scanners and 20 µm for the chairside scanners. When the virtual models of the dies are compared among each, the smallest recorded deviation is

4  $\mu\text{m}$  for laboratory scanners and 17  $\mu\text{m}$  for chairside scanners. When the scan was performed for the experimental model B, the smallest deviation is 13  $\mu\text{m}$  for the lab scanners and 82  $\mu\text{m}$  for the chairside scanners.

The Shapiro-Wilk test indicated an abnormality in the data distribution, so a Kruskal-Wallis test was used to highlight the existence of statistical differences that are present for all types of measurements. The Mann-Whitney U test indicates significant differences in pairwise comparison with a few exceptions.

### **Conclusions**

Scanner accuracy is influenced by the length of the scanned segment. Even if the single die scans results were within the clinically acceptable limits, when scanning an entire arch, the deviation doubled for laboratory scanners and increased 4-fold for chairside scanners.

## **Study 5 - Quantitative three-dimensional evaluation of dental models obtained by three additive manufacturing methods**

### **Aims**

The last study aims to investigate the accuracy of dental models produced by 3 additive manufacturing techniques.

### **Materials and methods**

In order to achieve the goal of this study, 10 pairs of models were randomly selected from patients with various pathologies. The models were digitized using a structured light scanner. The resulting digital models were prepared for 3D printing and then manufactured with 4 printers: a stereolithography printer, two extrusion-based printers, and material jetting-based professional printer. In total 80 models were produced, 20 each for each printer. After printing, the patterns were scanned using the same scanner and were dimensionally compared using a metrology software.

### **Results**

The professional printer based on material jetting had the smallest average deviation, averaging 97  $\mu\text{m}$ , while the stereolithography printer records the highest average deviation of 207  $\mu\text{m}$ . Dimensional error values were tested for distribution normality using the Shapiro-Wilk test which confirmed this normality. The Anova test indicates that there are statistically significant differences between the four groups.

### **Conclusion**

The highest accuracy in the printing dental models is obtained by professional printers, followed by extrusion-based RepRap printers. Even if stereolithography-based printers produced the smoothest surface, they resulting models have a high degree of shrinkage and delamination, with patterns that are not stable over time.



## **General conclusions**

1. The 3D RepRap printers have the advantage of being open-source, which distributes the development cost to all users, thus having an affordable cost, which enable the use in small laboratories or dental offices.

2. In the city of Cluj-Napoca, a relatively small number of oral healthcare providers use CAD / CAM systems, but this technology is known by practitioners and most of them intend to use it in the next 5 years.

3. The main factor that discourages the use of CAD/CAM systems in the current practice is the high purchase price.

4. The ultimate accuracy of prosthetic restorations made by subtractive or additive manufacturing systems is affected by the application of surface-conditioning sprays.

5. Even though the scanning sprays are applied by the same operator, using the same technique, the particle size of the titanium dioxide particles in the spray composition causes differences in thickness of the applied coatings.

6. Application of optical conditioning sprays by conventional injection pumps may distort the geometry and dimensions of the scanned surfaces.

7. Negative relief areas from occlusal surfaces as well as concave areas at the preparation margin are prone to excessive accumulation of scanning spray.

8. The accuracy of intraoral and laboratory scanning systems is influenced by the length of the scanned segments. If the scanned segment is large, scanning accuracy is lower.

9. Laboratory scanners have higher scanning accuracy when compared to intraoral scanning systems.

10. Professional printers using the process of material jetting demonstrate the smallest dimensional deviation when producing dental models.

11. The 3D entry-level printers based on the material extrusion process are an accessible alternative to professional printers in the additive manufacturing process of dental models.

12. Although models printed by reverse stereolithography have the smoothest and seemingly detailed surface, they exhibit significant volumetric changes.

13. For the 3D printing of global, analysis or work models, irrespective of the manufacturing process used, a horizontal reinforcement element is required to prevent a horizontal pattern of distorsion.