UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE
POLITEHNICA BUCUREȘTI
FACULTATEA ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR
ŞCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR

TEZĂ DE DOCTORAT

Doctorand:
FOCȘĂNEANU SERGIU-CIPRIAN

Coordonatori de doctorat:
Prof.Dr.Ing. CIUCĂ ION
Prof.Dr.Ing. EARAR KAMEL

București 2025

UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE
POLITEHNICA BUCUREȘTI
FACULTATEA ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR
ȘCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA BIOMATERIALELOR CERAMICE INERTE ȘI A TEHNOLOGIILOR MODERNE DE PROCESARE LA REALIZAREA PROTEZELOR DENTARE

Doctorand: FOCȘĂNEANU SERGIU-CIPRIAN

Coordonatori de doctorat:
Prof.Dr.Ing. CIUCĂ ION
Prof.Dr.Ing. EARAR KAMEL

București 2025

Cuprins

PARTEA TEORETICĂ 1

CAPITOLUL 1. Actualități în domeniul protezelor dentare executate din biomateriale ceramice inerte 1

1.1. Aspecte clinice și tehnice privind protezele dentare 1

1.2. Biomateriale ceramice inerte utilizate în protetica dentară 1

PARTEA EXPERIMENTALĂ 2

CAPITOLUL 2. Obiectivul tezei. Planul de lucru experimental. Materiale, metode și echipamente utilizate 2

2.1. Obiectivul tezei 2

2.2. Materialele experimentale și planul de lucru experimental în studiul I 3

2.3. Materialele experimentale și planul de lucru experimental în studiul II 3

2.4. Materialele experimentale și planul de lucru experimental în studiul III 5

2.5. Metode și echipamente utilizate 5

CAPITOLUL 3. Cercetări experimentale privind utilizarea clinică a protezelor dentare fixe executate din diferite biomateriale ceramice inerte 6

3.1. Cercetări experimentale privind utilizarea clinică a protezelor dentare fixe 6

3.2. Rezultate și discuții studiul I 7

CAPITOLUL 4. Cercetări experimentale privind proprietățile funcționale ale protezelor dentare fixe executate din diferite biomateriale ceramice inerte 8

4.1. Rezultate și discuții studiul II 8

4.1.1. Rezultate de microscopie electronică de baleiaj cuplată cu spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDS) pe lucrările protetice obținute 8

4.1.2. Rezultate de tomografie computerizată (CT) 10

4.1.3. Evaluarea rugozității protezelor dentare 10

4.1.4. Evaluarea umectabilității protezelor dentare 11

4.2. Rezultate și discuții studiul III 13

4.2.1. Rezultatele experimentale de microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDS) pe protezele dentare obținute 13

4.2.2. Rezultatele experimentale de spectroscopie de fotoelectroni de raze X (XPS) 17

4.2.3. Rezultatele experimentale după testarea mecanică pe protezele dentare obținute 17

4.2.4. Rezultatele de tomografie computerizată (CT) pe protezele dentare obținute 18

4.2.5. Rezultate analizei fractografice pe protezele dentare obținute dupa testarea mecanică 18

CAPITOLUL 5. Concluzii și contribuții personale 20

5.1. Concluzii generale 20

5.2. Contribuții personale 23

5.3. Perspective de dezvoltare ulterioară 24

VALORIFICAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE 24
Bibliografie selectivă 25

PARTEA TEORETICĂ

CAPITOLUL 1. Actualități în domeniul protezelor dentare executate din biomateriale ceramice inerte

1.1. Aspecte clinice și tehnice privind protezele dentare

Obiectivul fundamental al stomatologiei constă în menținerea și, atunci când se impune, în ameliorarea calității vieții pacientului. Acest deziderat se realizează prin prevenirea patologiilor orale, reducerea simptomatologiei dureroase, optimizarea funcției masticatorii, îmbunătățirea capacității de vorbire și corectarea aspectului estetic dento-facial. Întrucât atingerea acestor obiective implică frecvent înlocuirea sau modificarea structurilor dentare, principala provocare a evoluției domeniului a constat în identificarea și utilizarea unor materiale restaurative biocompatibile și durabile, aplicabile atât în restaurări directe, cât și în proteze realizate indirect, capabile să reziste condițiilor biomecanice și biochimice complexe ale mediului oral [1]. Protetica dentară reprezintă o ramură specializată a stomatologiei, axată pe conceperea, realizarea și adaptarea substituenților artificiali pentru dinți, precum și pe reabilitarea funcțională și estetică a dinților naturali. Importanța acestui domeniu este majoră, întrucât succesul tratamentului implică un grad ridicat de precizie, iar percepția pacientului poate varia semnificativ între satisfacție și nemulțumire. În general, principalele dificultăți raportate de pacienți sunt asociate cu patru aspecte esențiale: confort, funcționalitate, integrare socială și estetică. Selecția materialului adecvat pentru restaurările dentare trebuie să aibă în vedere capacitatea acestuia de a reproduce cât mai fidel proprietățile mecanice ale dinților naturali. Printre caracteristicile esențiale se numără duritatea, elasticitatea, vâscoelasticitatea și rezistența la fractură. Termenul „proteză” desemnează, în sens general, substituirea organelor sau a țesuturilor pierdute prin intermediul unor materiale artificiale, având atât rol funcțional, cât și estetic. În stomatologie, înlocuirea dinților absenți și/sau a țesuturilor de susținere se realizează prin intermediul protezelor dentare. Din punct de vedere clinic, acestea se clasifică în două mari categorii: proteze fixe și proteze mobile, diferențierea fiind realizată în funcție de posibilitatea aplicării și îndepărtării lor exclusiv de către medicul dentist sau și de către pacient.

1.2. Biomateriale ceramice inerte utilizate în protetica dentară

Materialele utilizate pentru refacerea dinților și redarea esteticii acestora ocupă un rol central în domeniul biomaterialelor. În acest context cele mai frecvent folosite sunt metalele (precum aliajele de titan și oțelul inoxidabil), bioceramicile (bioinerte sau bioactive) și polimerii biodegradabili, cum ar fi acidul polilactic sau copolimerul acidului acetic cu acidul glicolic

[8,9]. Din punct de vedere microstructural, ceramica poate fi caracterizată în funcție de raportul dintre faza vitroasă și cea cristalină. Deși microstructurile materialelor ceramice prezintă o mare variabilitate, acestea pot fi clasificate în patru grupe compoziționale principale, fiecare cu anumite subcategorii. Cele patru grupe de compoziționale sunt prezentate în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 Clasificarea materialelor ceramice în funcție de raportul dintre faza vitroasă și cea cristalină [19]

Grupa	Compoziția
1	Sisteme predominant vitroase, bazate pe silice (SiO_2);
2	Sisteme vitroase pe bază de silice, care conțin însă faze cristaline dispersate (precum leucitul - $KAlSi_2O_6$ sau, mai recent, disilicatul de litiu – $Li_2Si_2O_5$);
3	Sisteme cu matrice cristalină (în special pe bază de alumină – Al_2O_3) în care este integrată o fază vitroasă;
4	Materiale policristaline compacte, precum alumina (Al_2O_3) și zirconia (ZrO_2).

Ceramica inertă ca material utilizat în cazul restaurărilor dentare are multiple avantaje demonstrate în literatura de specialitate, incluzând: proprietăți optice apropiate de cele ale dinților naturali, biocompatibilitate, stabilitate dimensională, rezistență la uzură și posibilitatea de a fi gravată pentru realizarea adeziunii. Totuși, în aplicarea lor clinică se confruntă și cu două limitări majore: susceptibilitatea la fracturi bruște și catastrofale, datorată fragilității materialului, precum și tendința de a produce uzură abrazivă pe dinții opuși.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

CAPITOLUL 2. Obiectivul tezei. Planul de lucru experimental. Materiale, metode și echipamente utilizate

2.1. Obiectivul tezei

În cadrul prezentei teze de doctorat au fost realizate trei studii de cercetare, având ca prim obiectiv evaluarea utilizării clinice a unor proteze dentare fixe realizate din diferite biomateriale ceramice inerte. Primul studiu al părții experimentale a constat în efectuarea unei examinări clinice detaliate asupra unui lot de pacienți, incluzând atât analiza statusului dento-parodontal, cât și identificarea particularităților funcționale și estetice ale aparatului dento-maxilar. Această etapă inițială a oferit o imagine comprehensivă asupra necesităților de reabilitare orală și a limitărilor clinice specifice fiecărui caz investigat. Al doilea studiu experimental realizat în cadrul acestei teze de doctorat a avut ca obiectiv investigarea efectului

tehnologiei CAD/CAM asupra proprietăților de suprafață a 3 coroane dentare fixe fabricate din blocuri ceramice prefabricate. Scopul a fost evaluarea comparativă a proprietăților de suprafață în vederea identificării materialului restaurativ cu cele mai bune performanțe clinice, adecvat utilizării în cavitatea bucală. Cel de-al treilea studiu a avut ca obiectiv evaluarea comparativă a patru tipuri de proteze dentare fixe, punând în evidență modul în care compoziția chimică a materialului și tehnologia de prelucrare influențează performanțele finale ale restaurărilor protetice. În acest context, au fost investigate următoarele aspecte: morfologia suprafeței și a secțiunii transversale, compoziția elementală, compoziția chimică a suprafeței, comportamentul mecanic în condițiile unor solicitări specifice mediului oral. De asemenea, s-a urmărit corelarea proprietăților mecanice cu performanțele clinice, cu accent pe durabilitate și rezistență la solicitări funcționale, în vederea identificării materialelor optime pentru realizarea unor restaurări protetice de înaltă calitate.

2.2. Materialele experimentale și planul de lucru experimental în studiul I

Realizarea restaurărilor dentare ceramice utilizate în cadrul studiului – coroane, punți sau proteze – a presupus parcurgerea unor etape tehnologice standardizate. Succesiunea procesului tehnologic a fost identică, diferențele fiind determinate exclusiv de tipul de material utilizat și de specificul restaurării protetice. Etapele principale au fost următoarele: *1. Amprentarea; 2. Scanarea digitală* a modelelor obținute; *3. Montarea modelelor de gips în articulator* pe baza înregistrărilor intermaxilare a permis reproducerea mișcărilor mandibulare și analiza rapoartelor ocluzale; *4. Digitalizarea modelului tridimensional și delimitarea dintelui pregătit; 5. Planificarea CAM* a implicat stabilirea poziționării restaurărilor în blocul sau discul de material destinat frezării, optimizând consumul de material și reducând timpul de procesare. *6. Definirea parametrilor funcționali* (ghidaj, traiectorii mandibulare) în mediul digital a permis simularea dinamicii reale a ocluziei și verificarea adaptării funcționale a restaurării; *7. Analiza contactelor ocluzale* a fost efectuată în software-ul CAD iar ajustările corespunzătoare au asigurat eliminarea interferențelor și obținerea unei funcționalități ocluzale optime; *8. Configurarea morfologiei coroanei; 9. Frezarea CAD/CAM* a blocurilor de zirconia sau a altor materiale selectate a transpus designul restaurării în formă fizică; *10. Etapa intermediară post-frezare*; *11. Sinterizarea* restaurărilor; *12. Verificarea finală pe modelul de lucru.*

2.3. Materialele experimentale și planul de lucru experimental în studiul II

Materialele utilizate în cadrul acestui studiu au fost sub formă de blocuri prefabricate din: Silicat de litiu armat cu zirconia (Celtra Duo), Ceramică feldspatică (CEREC Blocs), și Disilicat de litiu (CEREC Tessera). Investigațiile au fost realizate atât pe lucrările dentare obținute, cât și pe blocurile ceramice supuse procesului de frezare. Interesul pentru utilizarea

tehnologiei CAD/CAM în stomatologie este justificat prin precizia ridicată a acestei metode, reproductibilitatea restaurărilor obținute și reducerea timpului operator. Această tehnologie facilitează realizarea unor coroane dentare personalizate, adaptate particularităților clinice ale fiecărui pacient. Planul de lucru experimental a inclus următoarele etape: Selecția materialelor; Obținerea restaurărilore prin frezare CAD/CAM; Analiza compoziției elementale prin spectroscopie EDS; Investigații nedistructive prin tomografie computerizată (CT); Analiza morfologică prin microscopie electronică de baleiaj (SEM); Evaluarea proprietăților de suprafață: determinarea rugozității prin metoda profilometriei, respectiv a umectabilității prin măsurarea unghiului de contact și determinarea energiei libere de suprafață.

Probele experimentale utilizate în primul studiu

Lucrările dentare obținute din blocurile Celtra Duo, CEREC Blocs și CEREC Tessera au fost codificate cu A1, A2 și, respectiv, A3. Compoziția chimică a acestor blocuri, conform datelor furnizate de producător, precum și aspectul macroscopic al coroanelor dentare obținute din blocurile prefabricate sunt prezentate în Tabelul 2.1. și Figura 2.12.

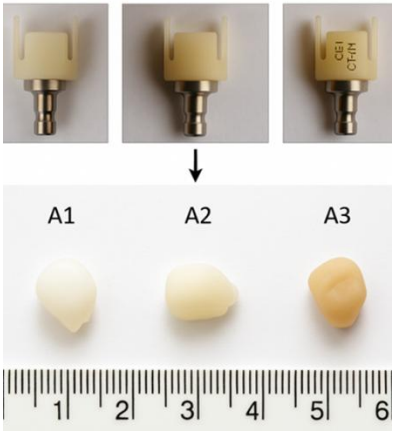


Figura 2.12 Imaginile macroscopice ale eșantioanelor experimentale obținute

Tabel 2.1 Compoziția chimică a blocurilor CEREC utilizate în cadrul tehnologiei CAD/CAM

Material ceramic	**Denumirea comercială a produsului CEREC**	**Codificare**	**Compoziția chimică a blocului CEREC [% de masă]**
Silicat de litiu armat cu zirconia	Celtra Duo	A1	58% SiO_2; 18,5% Li_2O; 5% P_2O_5; 10,1% ZrO_2; 1,9% Al_2O_3; 2% CeO_2; 1% Tb_4O_7
Ceramică feldspatică	Blocuri CEREC	A2	56 - 64% SiO_2; 20 - 23% Al_2O_3; 6 - 9% Na_2O; 0,3 - 0,8% CaO; 0,0 - 0,1% TiO_2 6-8% K_2
Disilicat de litiu	Cardul CEREC	A3	90% $Li_2Si_2O_5$ 5% Li_3PO_4 5% $Li_{0,5}Al_{0,5}Si_{2,5O6}$

2.4. Materialele experimentale și planul de lucru experimental în studiul III

Materialele experimentale utilizate în cadrul acestui studiu au fost selectate pentru a acoperi un spectru cât mai larg de soluții aplicabile în protezele protetice fixe: zirconia stabilizată cu ytriu (Y-TZP), disilicatul de litiu ($Li_2Si_2O_5$ – LiS_2) și porțelanul feldspatic ranforsat cu leucit care a fost depus pe suport de zirconia și pe suport metalic (aliaj Co-Cr). Planul de lucru experimental a inclus următoarele etape: Selecția materialelor experimentale; Obținerea restaurărilor protetice prin metode variate de procesare, respectiv tehnologia CAD/CAM, sinterizarea, presarea termică și glazurarea; Caracterizarea suprafețelor prin microscopie electronică de baleiaj (SEM); Analiza compoziției chimice elementale prin spectroscopia de raze X cu dispersie de energie (EDS) și spectroscopia de fotoelectroni de raze X (XPS); Testarea mecanică pentru a evidenția performanțele în condiții similare solicitărilor din cavitatea orală.

Probele experimentale utilizate în studiu II

În cel de-al doilea studiu experimental au fost investigate patru tipuri de restaurări dentare fixe, respectiv proteze dentare realizate din materiale diferite, utilizate curent și în practica clinică. Materialele selectate prezintă diferențe semnificative din punct de vedere structural și chimic, ceea ce a permis o evaluare comparativă riguroasă a performanțelor lor funcționale și mecanice. Codificarea acestora este prezentată în Tabelul 2.3.

Tabel 2.3 Codificarea probelor experimentale

Cod	Materialul utilizat pentru proteza dentară
P1	Aliaj Co-Cr/ porțelan feldspatic (metalo-ceramică)
P2	ZrO_2 /porțelan feldspatic (ceramică-ceramică)
P3	Zirconia
P4	Disilicat de litiu

2.5. Metode și echipamente utilizate

Metodele de investigare și echipamentele utilizate în cadrul acestei teze de doctorat sunt prezentate succint în Tabelul 2.4.

Tabel 2.4 Tehnicile de investigare și echipamentele utilizate

SCOP	METODĂ	ECHIPAMENT
Morfologia suprafeței și a secțiunii transversale	Microscopie electronică de baleiaj (SEM)	Microscop electronic de baleiaj ESEM Quattro S (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)
Compoziția elementală	Spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDS)	Spectrometru EDS Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)
Compoziția chimică a suprafeței	Spectroscopia de fotoelectroni de raze X (XPS)	Spectrometru K-Alpha (Thermo Fischer Scientific, Waltham, SUA)
Proprietăți mecanice	Testare mecanică universală	Mașină de testare universală (Instron 34TM-10)
Morfologia suprafeței după testarea mecanică	Microscopie electronică de baleiaj (SEM)	Microscop electronic de baleiaj ESEM Quattro S (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, SUA)
Identificarea defectelor interne, inițierea fisurilor după testare	Tomografie computerizată (CT)	Computer tomograf Nikon XT H 225 (Nikon Metrology, California, SUA)
Analiză macroscopică după testarea mecanică	Stereomicroscopie	Stereomicroscop (Nikon SMZ 1270, Nikon, Amstelveen, Olanda)
Umectabilitate	Unghi de contact (θ)	Echipament Krüss Drop Shape Analyzer DSA100 (A. Krüss Optronic GmbH, Hamburg, Germania)
Rugozitatea suprafeței	Profilometrie	Profilometru Form Talysurf I-Series PRO Range (Taylor Hobson Ametek, Illinois, SUA)

CAPITOLUL 3. Cercetări experimentale privind utilizarea clinică a protezelor dentare fixe executate din diferite biomateriale ceramice inerte

3.1. Cercetări experimentale privind utilizarea clinică a protezelor dentare fixe

Pe baza datelor clinice obținute, selecția tipului de restaurare protetică a fost fundamentată pe criterii funcționale, biomecanice și estetice. În acest context, s-a urmărit corelarea condițiilor clinice individuale cu performanțele materialelor protetice și cu tehnicile de fabricație disponibile, cu scopul de a identifica soluția terapeutică optimă pentru fiecare situație.

Astfel, evaluarea clinică și alegerea tipului de tratament pentru reabilitarea dentară au constituit etape esențiale ale cercetării experimentale, reprezentând baza pe care au fost ulterior proiectate și analizate restaurările dentare investigate în cadrul acestei lucrări.

3.2. Rezultate și discuții studiul I

CAZ CLINIC 1. În cadrul primului caz clinic a fost examinată o pacientă în vârstă de 47 de ani, care s-a prezentat cu edentații parțiale extinse, atât la nivelul maxilarului superior, cât și la nivelul mandibulei, asociate cu semne clinice și radiologice de parodontită avansată. A fost realizată o reabilitare orală complexă, care a inclus extracția dinților compromiși, efectuarea de adiții osoase cu Bio-Oss, inserarea implanturilor dentare și aplicarea unor restaurări protetice fixe. Prin acest plan terapeutic s-a obținut o restaurare funcțională și estetică stabilă și durabilă, net superioară situației clinice inițiale.

CAZ CLINIC 2. În cadrul celui de-al doilea caz clinic a fost examinat un pacient în vârstă de 68 de ani, care prezenta multiple restaurări protetice fixe sub formă de coroane și punți dentare, localizate atât la nivelul maxilarului, cât și al mandibulei, pe ambele semiarcade. Dinții naturali rămași, în special cei situați între 17 și 25, au fost reabilitați prin lucrări protetice fixe. De asemenea, au fost realizate protezări pe implanturi, utilizând o combinație de tehnici moderne: prin înșurubare, aplicată la nivelul unităților 26 și 41–46; prin cimentare, implementată pentru regiunea 31–36. Această combinație terapeutică evidențiază integrarea unor metode protetice variate și contemporane, adaptate particularităților clinice ale pacientului și menite să asigure o reabilitare orală complexă, stabilă și funcțională.

CAZ CLINIC 3. În cadrul celui de-al treilea caz clinic, a fost examinat un pacient în vârstă de 74 de ani, iar analiza radiografică a evidențiat o serie de modificări clinico-patologice la nivelul maxilarului și mandibulei. Planul terapeutic stabilit pentru acest caz a presupus, în prima etapă, extracția dinților 32–42 și 16, întrucât prezentau un grad avansat de mobilitate, incompatibil cu menținerea lor pe arcadă, precum și a restului radicular 17. Ulterior, s-a efectuat tratamentul endodontic complet al tuturor dinților restanți de pe ambele arcade, urmat de realizarea unor reconstrucții corono-radiculare (RCR) cu pivoți din fibră de sticlă, menite să asigure stabilitatea și funcționalitatea structurilor dentare conservate. În faza finală a reabilitării, pacientul a beneficiat de lucrări protetice complexe, respectiv: o lucrare protetică pe schelet de zirconia, alcătuită din 12 elemente, și o lucrare protetică pe suport de zirconia acoperit cu ceramică, alcătuită din 10 elemente.

CAZ CLINIC 4. În cadrul celui de-al patrulea caz clinic, a fost examinat un pacient în vârstă de 40 de ani, care s-a prezentat cu multiple restaurări protetice sub formă de coroane și punți metalo-ceramice, aplicate la nivelul ambelor arcade. Planul terapeutic stabilit a presupus

inserarea bilaterală a câte două implanturi dentare pe fiecare parte, extracția dinților 23 și 26, proceduri de augmentare osoasă, reconstrucția corono-radiculară a dinților 21 și 22 cu ajutorul unor pivoți de tip IOS.

CAZ CLINIC 5. În cadrul celui de-al cincilea caz clinic, a fost examinată o pacientă în vârstă de 58 de ani, care prezenta edentații extinse la nivelul ambelor arcade. S-a recurs la inserarea mai multor implanturi de titan, atât la nivelul maxilarului, cât și la nivelul mandibulei. Lucrarea protetică finală a prezentat o integrare corespunzătoare, cu mențiunea că se observă o ușoară inflamație gingivală.

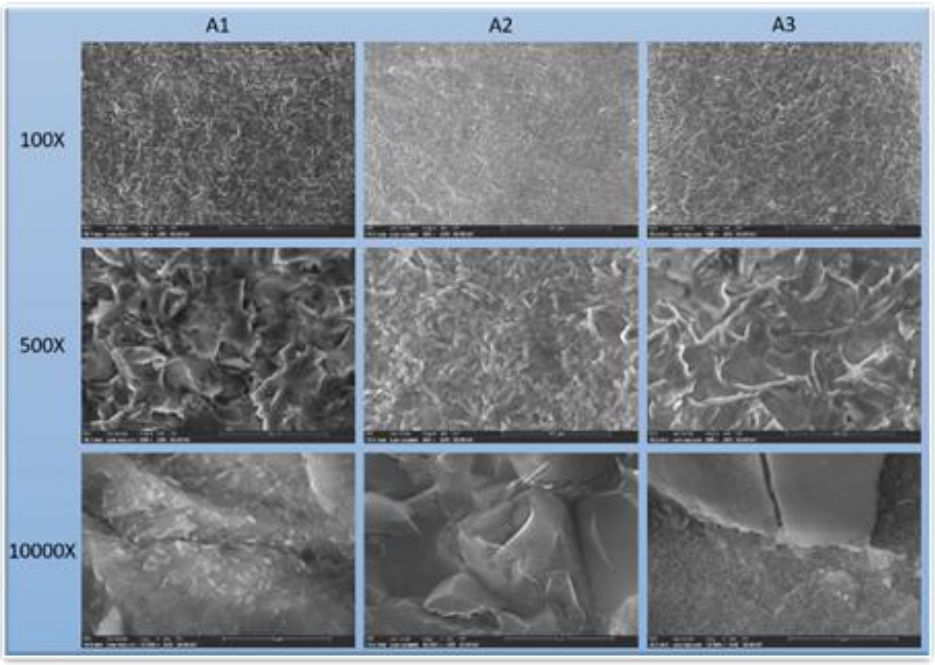
CAZ CLINIC 6. În cadrul celui de-al șaselea caz clinic, a fost evaluată o pacientă în vârstă de 24 de ani, care s-a prezentat la cabinetul stomatologic acuzând probleme estetice și funcționale determinate de prezența unor demineralizări accentuate la nivelul grupului frontal superior (13–23). În cadrul planului terapeutic, s-a optat pentru înlocuirea obturațiilor fizionomice compromise și efectuarea retratărilor endodontice la nivelul dinților 13 și 21, urmate de reconstrucții corono-radiculare prin utilizarea pivoților din fibră de sticlă. Ulterior, s-au realizat preparații minim invazive, menite să conserve cât mai mult din structura dentară sănătoasă, în vederea aplicării unor coroane din ceramică presată (K-K). Aceste restaurări au avut rolul de a reda atât estetica, cât și funcționalitatea grupului frontal superior (dinții 13–22). La nivelul dintelui 23, tratamentul a constat în aplicarea unui strat vestibular de material compozit fotopolimerizabil, cu scopul de a îmbunătăți aspectul estetic și de a restabili continuitatea arcadei.

CAPITOLUL 4. Cercetări experimentale privind proprietățile funcționale ale protezelor dentare fixe executate din diferite biomateriale ceramice inerte

4.1. Rezultate și discuții studiul II

4.1.1. Rezultate de microscopie electronică de baleiaj cuplată cu spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDS) pe lucrările protetice obținute

Imaginile obținute prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) pentru cele trei lucrări protetice investigate (probele A1, A2, A3), la puteri de mărire de 100X, 500X și 10.000X, sunt prezentate în Figurile 4.1-4.3. Analiza SEM a evidențiat că toate probele prezintă morfologii caracteristice procesului de frezare CAD/CAM, cu o rugozitate moderată a suprafeței, fără prezența porozităților vizibile sau a microfisurilor. Acest aspect confirmă o prelucrare uniformă și o integritate structurală corespunzătoare, condiții favorabile pentru integrarea în practica clinică.



Figurile 4.1-4.3 Imaginile SEM pe lucrările protetice experimentale analizate la diferite mărimi

Spectrele EDS obținute pentru toate eșantioanele investigate au evidențiat că oxigenul și siliciul reprezintă elementele majore din compoziția probelor (Tabel 4.1-4.3).

Tabel 4.1 Compoziția elementală EDS a probei A1

Element	Procente de masă, %	Eroarea	Procente atomice, %	Eroarea
O	53,84	± 0,62	71,04	± 0,81
Na	0,75	± 0,07	0,69	± 0,07
Mg	0,22	± 0,06	0,19	± 0,05
Al	1,59	± 0,10	1,24	± 0,08
Si	30,54	± 0,22	22,96	± 0,17
Cl	0,32	± 0,04	0,19	± 0,03
K	2,42	± 0,06	1,31	± 0,03
Zr	10,33	± 1,30	2,39	± 0,30
Total	100,00		100,00	

Tabel 4.2 Compoziția elementală EDS a probei A2

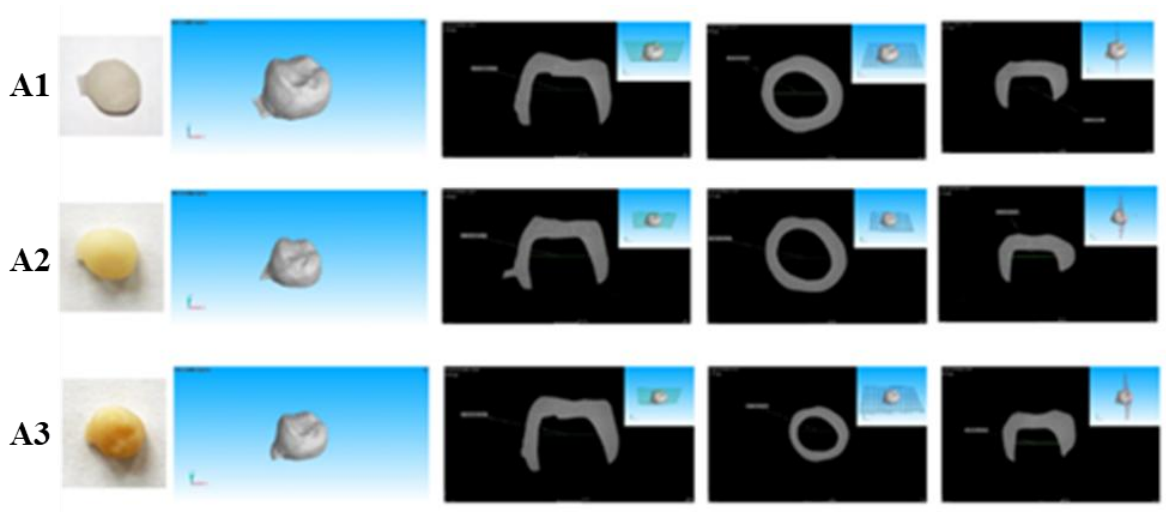
Element	Procente de masă, %	Eroarea	Procente atomice, %	Eroarea
O	48,11	± 0,45	61.68	± 0,58
Na	7,30	± 0,12	6.51	± 0,11
Al	12,40	± 0,14	9.43	± 0,10
Si	26,70	± 0,20	19.50	± 0,14
K	5,49	± 0,10	2.88	± 0,05
Total	100,00		100.00	

Tabel 4.3 Compoziția elementală EDS a probei A3

Element	Procente de masă, %	Eroarea	Procente atomice, %	Eroarea
O	58,52	± 0,49	73,64	± 0,61
Na	0,58	± 0,10	0,51	± 0,09
Mg	0,36	± 0,05	0,30	± 0,04
Al	1,73	± 0,08	1,29	± 0,06
Si	30,91	± 0,19	22,16	± 0,13
K	1,22	± 0,04	0,63	± 0,02
Zr	6,66	± 0,80	1,47	± 0,18
Total	100,00		100,00	

4.1.2. Rezultate de tomografie computerizată (CT)

Analiza CT a fost realizată pentru a evalua dacă procesul de obținere prin tehnologia CAD/CAM a celor trei probe a indus modificări interne sau defecte structurale cu impact asupra performanțelor clinice. Rezultatele au evidențiat absența porilor și a altor imperfecțiuni majore, confirmând că integritatea mecanică și funcționalitatea restaurărilor nu au fost compromise. Configurația anatomică a lucrărilor dentare a prezentat un grad ridicat de precizie geometrică, cu păstrarea fidelă a morfologiei ocluzale, în concordanță cu modelul de referință obținut prin scanare digitală.



Figurile 4.5-4.7 Imagini CT pe probele experimentale analizate

4.1.3. Evaluarea rugozității protezelor dentare

În cadrul prezentei teze de doctorat, pentru a permite o analiză comparativă riguroasă, determinarea rugozității a fost efectuată atât pe probele obținute (A1, A2, A3), cât și pe blocurile ceramice supuse procesului de frezare.

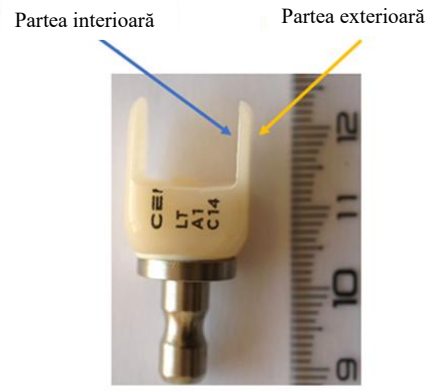


Figura 4.8 Zona interioară, cu aspect rugos, și zona exterioară, cu un aspect neted și lucios, ale blocului ceramic rămas după procesul de frezare CAD/CAM

Analiza rezultatelor obținute prin profilometrie (Tabelul 4.4) a evidențiat existența unor diferențe semnificative între cele trei tipuri de materiale investigate, în ceea ce privește rugozitatea suprafeței. Au fost determinati parametrii Ra (rugozitatea medie aritmetică), rugozitatea pătratică medie (Rq) și asimetria profilului prin Rsk. Compararea zonelor analizate a evidențiat că, în toate cazurile, coroana dentară finală a prezentat cele mai ridicate valori ale rugozității de suprafață, urmată de suprafața internă a blocului ceramic, în timp ce cele mai reduse valori au fost înregistrate pentru suprafața externă a blocului.

Tabel 4.4 Parametrii de rugozitate ai probelor analizate și ale laturilor interioare și exterioare ale materialului bloc rămas

	Ra [µm]	**Rq [µm]**	**Rsk**
A1	**Lucrare protetică**		
	1,9715	2,7405	-1,1601
	Partea interioară		
	1,8038	2,2854	-0,1891
	Partea exterioară		
	0,2013	0,8079	-11,9274
A2	**Lucrare protetică**		
	1,9148	2,8214	-2,2669
	Partea interioară		
	1,7077	2,1848	-0,2938
	Partea exterioară		
	0,4326	0,6799	-1,8274
A3	**Lucrare protetică**		
	2,8647	4,3593	-2,8007
	Partea interioară		
	1,8304	2,3576	-0,0663
	Partea exterioară		
	0,0766	0,1940	-10,4699

4.1.4. Evaluarea umectabilității protezelor dentare

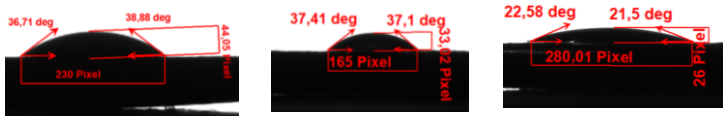
Umectabilitatea și energia liberă de suprafață constituie parametri esențiali în evaluarea performanței materialelor bioceramice utilizate pentru restaurările dentare, întrucât influențează

atât susceptibilitatea la colonizarea bacteriană, cât și compatibilitatea cu agenții de adeziune folosiți în practica clinică. Conform literaturii de specialitate, materialele cu caracter hidrofil accentuat și cu valori ridicate ale energiei libere de suprafață prezintă o tendință crescută de atragere a bacteriilor, fenomen corelat cu prezența ionilor activi la nivelul suprafeței [134]. În urma analizei valorilor obținute pentru unghiul de contact corespunzător celor trei tipuri de lichide testate (apă-W, diiodometan-DIM și etilenglicol), s-a constatat că materialele investigate au prezentat, în ansamblu, un comportament comparabil. Totuși, diferențe notabile au fost observate între suprafețele analizate.



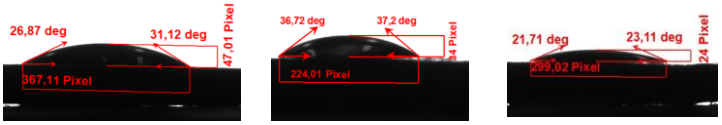
(a) (b) (c)

Bloc cetramic Celtra Duo utilizat pentru obținerea coroanei protetice A1



(a) (b) (c)

Bloc ceramic CEREC Blocs utilizat pentru obținerea coroanei protetice A2



(a) (b) (c)

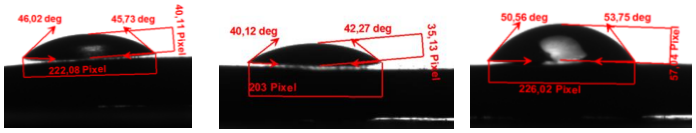
Bloc ceramic CEREC Tessera utilizat pentru obținerea coroanei protetice A3

Figura 4.10 Valorile unghiului de contact, determinate pe suprafața interioară a blocurilor ceramice, utilizând trei lichide: (a) apă, (b) diiodometan, (c) etilenglicol



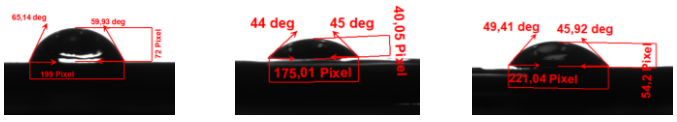
(a) (b) (c)

Bloc cetramic Celtra Duo utilizat pentru obținerea coroanei protetice A1



(a) (b) (c)

Bloc ceramic CEREC Blocs utilizat pentru obținerea coroanei protetice A2



(a) (b) (c)

Bloc ceramic CEREC Tessera utilizat pentru obținerea coroanei protetice A3

Figura 4.11 Valorile unghiului de contact, determinate pe suprafața exterioară a blocurilor ceramice, utilizând trei lichide: (a) apă, (b) diiodometan, (c) etilenglicol

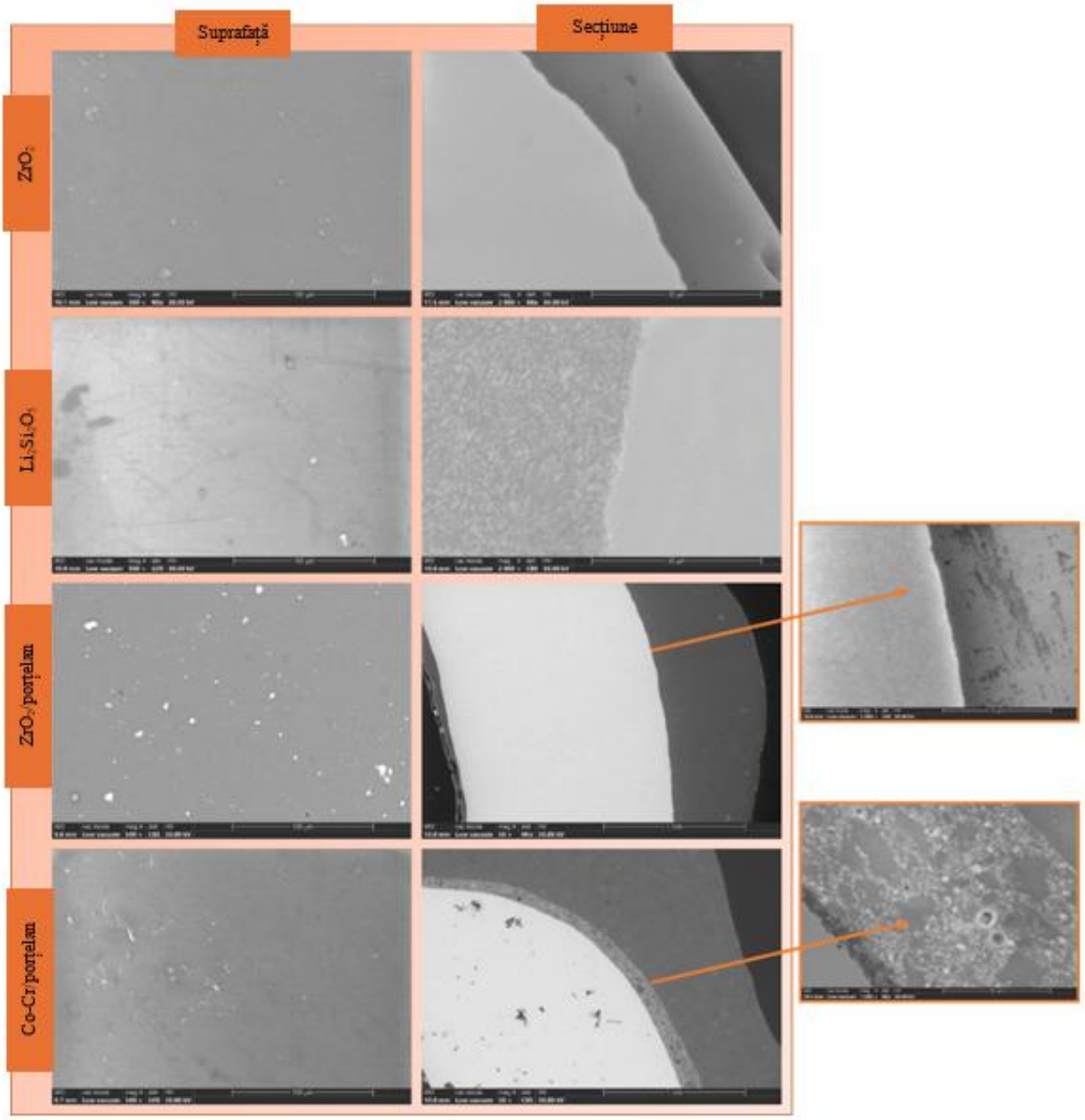
Tabel 4.5 Valorile medii ale unghiului de contact, respectiv ale energiei libere de suprafața pentru partea exterioară și partea interioară a blocurilor ceramice investigate

Probă	Unghiul mediu de contact [º]			Energie liberă de suprafață [mN/m]		
	W	DIM	Etilen glicol	W	DIM	Etilen glicol
Partea exterioară						
A1	43,28 ± 7,0831	50,23 ± 8,0253	50,23 ± 5,4351	128,64	95,97	101,56
A2	46,30 ± 4,81	45,13 ± 4,83	42,31 ± 7,17	23,27	68,60	45,95
A3	64,73 ± 4,18	45,35 ± 2,59	45,65 ± 4,90	48,83	58,15	46,14
Partea interioară						
A1	42,48 ± 4,97	35,68 ± 5,74	39,10 ± 10,52	78,32	26,06	58,81
A2	38,30 ±4,36	37,05 ± 3,45	23,74± 7,98	132,47	88,73	59,67
A3	31,41 ± 4,47	37,49 ± 3,21	23,24 ± 3,21	145,59	97,71	35,95

4.2. Rezultate și discuții studiul III

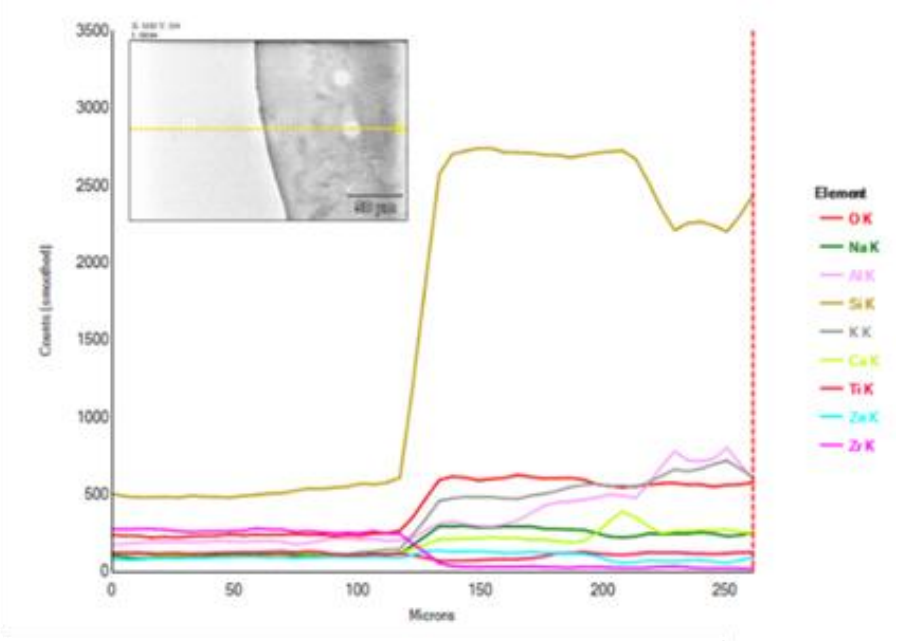
4.2.1. Rezultatele experimentale de microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDS) pe protezele dentare obținute

Rezultatele SEM pentru eșantioanele experimentale investigate sunt prezentate în figura următoare. Atât imaginile de suprafață, cât și cele în secțiune transversală ale protezei din ZrO_2 stabilizate cu ytriu au evidențiat morfologia caracteristică materialelor prelucrate prin tehnologia CAD/CAM, definită de o topografie relativ uniformă, cu asperități distribuite aleatoriu, având dimensiuni cuprinse între aproximativ 1 și 5 µm. În cazul protezei dentare din $Li_2Si_2O_5$ (disilicat de litiu, proba P4) obținute prin presare termică, analiza suprafeței a relevat o rugozitate comparabilă cu cea a probei P3 (proteza din ZrO_2 stabilizată cu ytriu), însă fragilitatea mai ridicată a acestui material a determinat apariția microfisurilor vizibile în imaginile SEM. Pentru probele stratificate (P1, P2) analiza SEM a evidențiat diferențe notabile între cele două tipuri de restaurări: porțelan feldspatic/Co-Cr și porțelan feldspatic/zirconia. Analiza EDS a fost realizată pentru a identifica și cuantifica elementele chimice constituente ale probelor investigate. Rezultatele obținute au confirmat compoziția elementală, în concordanță atât cu datele din literatura de specialitate, cât și cu specificațiile producătorilor materialelor utilizate.

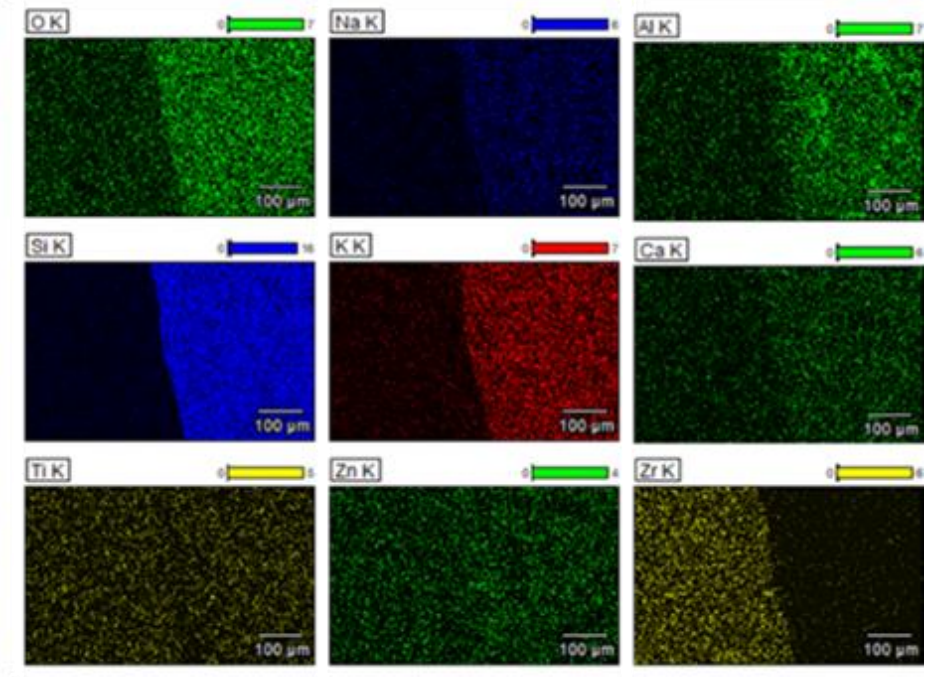


Figurile 4.12-4.13 Morfologia suprafeței și a secțiunii transversale pe protezele dentare analizate

Pentru o înțelegere mai detaliată a distribuției elementelor chimice la nivelul interfeței dintre suport și stratul ceramic de acoperire (P1, P2), au fost realizate analize suplimentare de tip scanări liniare EDS și mapări elementale. Aceste metode au permis nu doar identificarea elementelor chimice prezente, ci și reprezentarea vizuală a modului de distribuție spațială a acestora în cadrul structurii analizate.

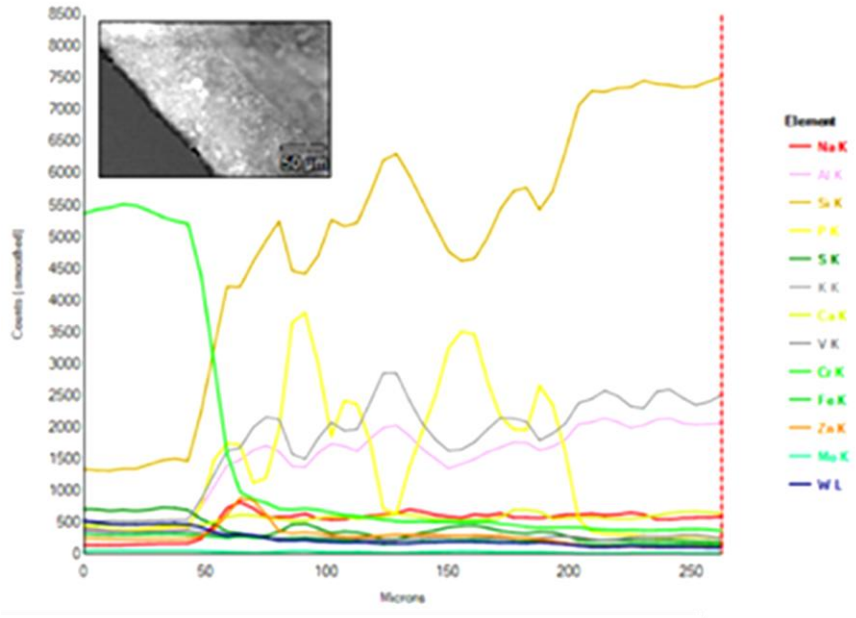


a)

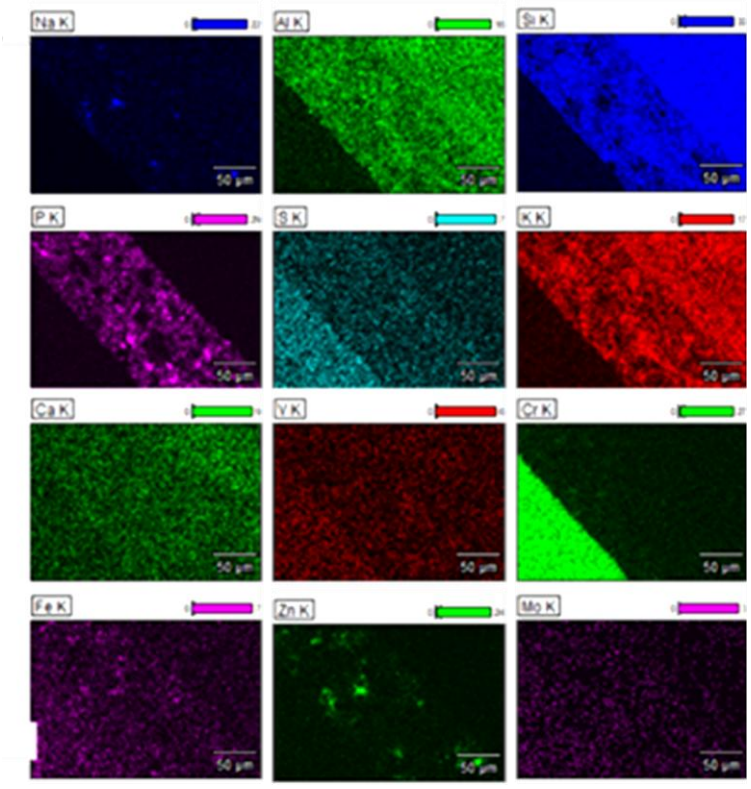


b)

Figura 4.15 Scanarea liniară EDS (a) și distribuția elementală (b) a restaurărilor stratificate porțelan feldspatic/ZrO_2



a)



b)

Figura 4.16 Scanarea liniară EDS (a) și distribuția elementală (b) a restaurărilor stratificate porțelan feldspatic/ Co-Cr

Tabel 4.6 Compoziția procentuală elementală obținută prin EDS pentru restaurările stratificate ZrO_2/porțelan feldspatic și Co-Cr/porțelan feldspatic

Compoziția procentuală elementală [%]										
ZrO_2 /porțelan feldspatic	**O**	**Na**	**Al**	**Si**	**K**	**Ca**	**Ti**	**Zn**	**Y**	**Zr**
	32,44	<0,1	0,05	1,20	0,43	<0,1	<0,1	<0,1	6,10	59,78
CoCr/ porțelan feldspatic	**O**	**Na**	**Mg**	**Al**	**Si**	**K**	**Ca**	**Cr**	**Fe**	**Zn**
	51,82	6,80	<0,1	2,03	18,96	2,06	0,53	6,53	4,64	6,63

Tabel 4.7 Compoziția procentuală elementală obținută prin EDS pentru restaurările din ZrO_2 și $Li_2Si_2O_5$

Compoziția procentuală elementală [%]								
ZrO_2	**O**	**Na**	**Al**	**Si**	**K**	**Y**	**Zr**	
	72,23	0,1	0,06	1,52	0,30	2,44	23,35	
$Li_2Si_2O_5$	**O**	**Na**	**Mg**	**Al**	**Si**	**K**	**Ca**	**Zn**
	65,99	5,47	0,26	2,16	22,84	2,01	0,56	0,71

4.2.2. Rezultatele experimentale de spectroscopie de fotoelectroni de raze X (XPS)

Analiza prin spectroscopie de fotoelectroni de raze X (XPS) a furnizat informații detaliate privind compoziția chimică a stratului superficial al protezelor, completând și confirmând rezultatele obținute anterior prin spectroscopia de raze X cu dispersie de energie (EDS).

4.2.3. Rezultatele experimentale după testarea mecanică pe protezele dentare obținute

În Figura 4.18 sunt prezentate curbele caracteristice forță–deplasare corespunzătoare celor patru tipuri de proteze dentare fixe (FDP), care evidențiază particularitățile mecanice specifice fiecărui material pe parcursul testării la compresiune. Complementar, Tabelul 4.8 sintetizează valorile parametrilor mecanici esențiali determinați experimental

Tabelul 4.8 Rezultatele experimentale obținute în urma testelor mecanice efectuate asupra celor patru proteze dentare fixe (FDP)

Probă	**F_1 [kN]**	**DF_1 [mm]**	**Fmax [kN]**	**DFmax [mm]**	**Rigiditatea R [kN/mm]**
P1	0,8909	0,282	1,9121	0,5441	3,098 – 6,989
P2	0,5690	0,2148	0,7200	0,2795	1,451 – 4,489
P3	0,3779	0,2395	0,6825	0,2966	0,907 – 6,483
P4	0,5467	0,1646	0,9379	0,2273	1,202 – 6,673

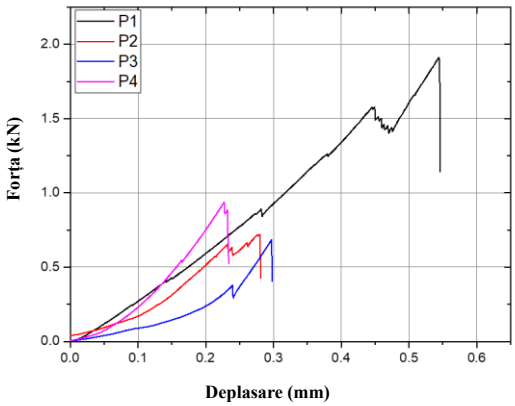


Figura 4.18 Curbele forță - deplasare corespunzătoare celor patru tipuri de punți dentare fixe (P1- P4)

4.2.4. Rezultatele de tomografie computerizată (CT) pe protezele dentare obținute

În Figura 4.20 sunt prezentate imaginile obținute prin tomografie computerizată (CT) ale probelor analizate după testarea mecanică. Analiza CT a fost efectuată cu scopul de a evidenția caracteristicile interne ale fracturii și tiparele de propagare a fisurilor.

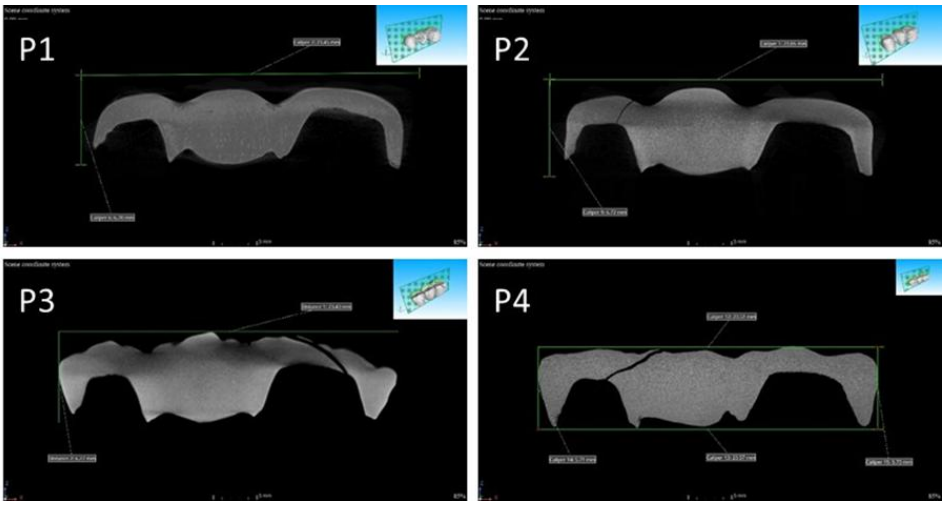


Figura 4.20 Imaginile CT efectuate în urma testelor mecanice pentru cele patru tipuri de proteze dentare fixe

4.2.5. Rezultate analizei fractografice pe protezele dentare obținute dupa testarea mecanică

În vederea identificării mecanismelor de propagare a fisurilor în urma testării mecanice, probele au fost supuse unei examinări fractografice amănunțite. Această etapă analitică a permis examinarea detaliată a caracteristicilor post-ruptură, contribuind la înțelegerea modului de propagare a fisurilor și a naturii ruperii (fragilă sau ductilă). Astfel, analiza fractografică a oferit informații esențiale pentru corelarea comportamentului mecanic observat în cazul solicitării la îndoire.

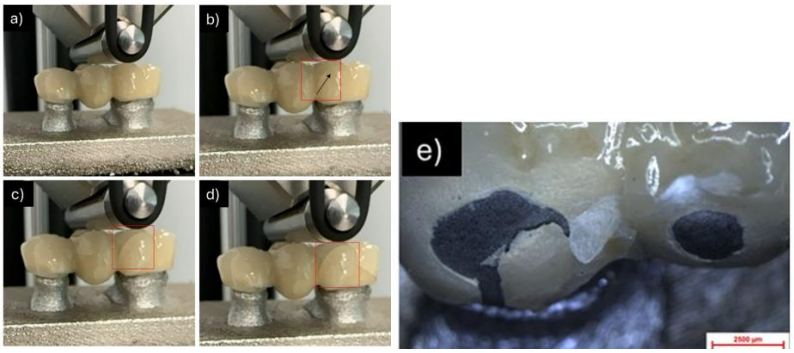


Figura 4.21 Modul de propagare al fisuriilor în cazul protezei dentare tip metalo-ceramică în timpul testării mecanice

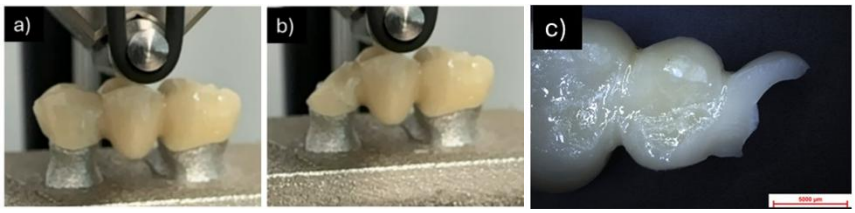


Figura 4.22 Modul de propagare al fisuriilor în cazul protezei dentare P2 în timpul testării mecanice

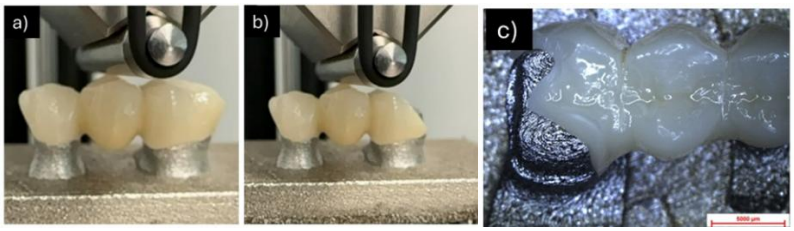


Figura 4.23 Modul de propagare al fisuriilor în cazul protezei dentare P3

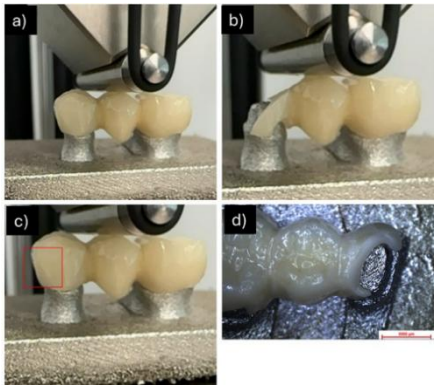


Figura 4.24 Modul de propagare al fisuriilor în cazul protezei dentare P4

Imaginile obținute prin microscopie electronică de baleiaj (SEM), prezentate în Figura 4.25 oferă informații asupra morfologiei suprafețelor de fractură ale restaurărilor dentare fixe (FDP) testate, oferind informații complementare celor obținute prin examinarea stereomicroscopică și prin reconstrucția CT. Rezultatele au evidențiat prezența unor tipare distincte de rupere pentru fiecare tip de materiale, confirmând inportanța compoziției chimice și a structurii asupra modului de cedare.

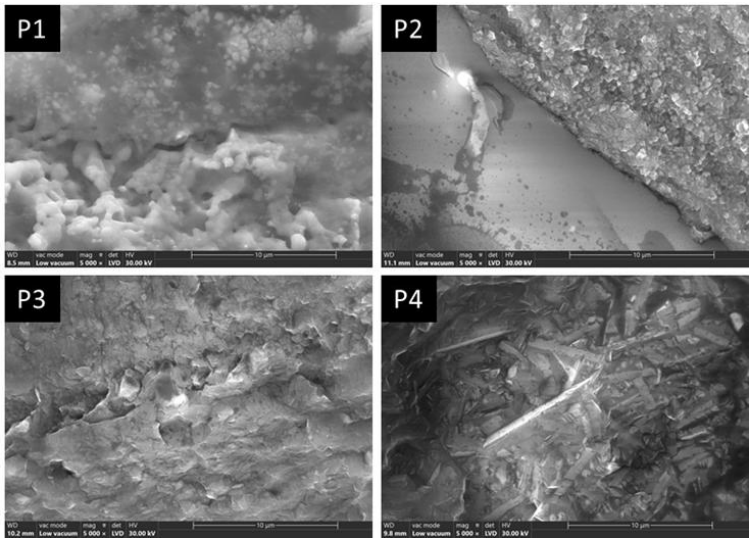


Figura 4.25 Imaginile fractografice obținute prin SEM ale protezelor fracturate

CAPITOLUL 5. Concluzii și contribuții personale

5.1. Concluzii generale

Pe baza studiilor teoretice și a cercetărilor experimentale efectuate în prezenta teză de doctorat, se pot desprinde următoarele concluzii și aprecieri cu caracter general:

- În ultimele decenii, diferite biomateriale au fost utilizate în diferite aplicații dentare, respectiv biomateriale metalice, ceramice, polimerice și compozite. Mai multe studii au arătat că eficacitatea performanței biomaterialelor în protetica dentară depinde de diverși parametri, demonstrându-se că evaluarea proprietăților biofuncționale nu poate fi făcută doar pe baza proprietăților individuale ale unui material, deoarece diferiți factori se combină pentru a produce un răspuns complex.
- Pe baza studiului de literatură efectuat, au fost identificați o serie de parametri care influențează performanța protezelor dentare: proprietățile biomaterialelor utilizate și structura acestora, mediul cavității bucale, solicitările mecanice, tehnologiile de prelucrare a biomaterialelor în vederea obținerii lucrărilor protetice dentare, proprietățile de suprafață, proprietățile estetice.
- Biomaterialele ceramice inerte sunt preferate pentru execuția lucrarilor protetice dentare în comparație cu celelalte tipuri de biomateriale.
- Dezvoltarea și caracterizarea lucrărilor protetice dentare implică de obicei un volum semnificativ de experimentare, ceea ce necesită configurații și echipamente complexe și costisitoare. Utilizarea studiilor și simulărilor numerice oferă numeroase avantaje, cum ar fi investigarea performanței biomecanice în funcție de diferite combinații ale parametrilor

relevanți, ceea ce duce la optimizare. Metoda elementelor finite s-a dovedit a fi un instrument util pentru astfel de studii parametrice, ceea ce a dus la o reducere drastică a numărului de teste experimentale.

- Necesitatea de a îmbunătăți interacțiunea lucrărilor protetice dentare cu țesuturile dentare, precum și cerința de a face față unei combinații de solicitari clinice, a condus la numeroase studii și cercetări privind dezvoltarea unor tehnologii moderne de prelucrare a biomaterialelor ceramice inerte, în special tehnologia CAD-CAM, a unor noi biomateriale ceramice inerte sau a unor tratamente pentru modificarea proprietăților de suprafață.
- Există o mare varietate de tehnologii de procesare a biomaterialelor ceramice inerte pentru protetica dentară. O analiză consistentă a literaturii de specialitate a relevat faptul că tehnologiile de prelucrare CAD-CAM a diferitelor biomateriale ceramice inerte oferă rezultate superiore altor metode de procesare. De asemenea, s-a remarcat absența din literatura de specialitate a unor studii comparative experimentale între diferite biomateriale procesate cu ajutorul acelorași tehnologii, existând doar aspecte comparative pe baza variației biomaterialelor utilizate, a esteticii și a performanțelor clinice ale protezelor dentare.
- Ca urmare a studiului de literatură complex efectuat, biomaterialele ceramice inerte de tip disilicat de litiu, ceramica feldspatică, zirconia, pot fi considerate biomateriale optime pentru execuția protezelor dentare, conferind un compromis optim în ceea ce privește cerințele de biocompatibilitate, esteticș, rezistență ridicată, biofuncționalitate.
- Se poate spune că studiile și cercetările privind evaluarea lucrarilor protetice dentare executate din biomateriale ceramice inerte reprezintă un subiect de mare actualitate în domeniul ingineria materialelor, mai ales ca sunt evaluate corelații complexe între aspectele structurale, tehnologiile de prelucrare și proprietățile functionale care stau la baza domeniului. Se remarcă utilizarea tehnologiei de prelucrare CAD-CAM. Multitudinea de metode utilizate pentru evaluarea lucrărilor protetice dentare, precum și faptul că fenomenele care au loc nu sunt pe deplin elucidate, susțin faptul că fiecare contribuție în acest domeniu va aduce un plus la dezvoltarea acestei direcții de cercetare.
- Obiectivul prezentei teze de doctorat a fost evaluarea comparativă a unor restaurări dentare fixe obținute din materiale diferite și prin procedee tehnologice diferite. Analiza a vizat atât o componentă privind performanța clinică a diferitelor lucrări protetice dentare, cât și o componentă privitoare la biomaterialele ceramice inerte utilizate la execuția protezelor dentare, care a vizat influența compoziției chimice a materialelor utilizate pentru obținerea protezelor

dentare, și influența metodelor de prelucrare a biomaterialelor ceramice inerte asupra performanțelor funcționale și clinice.

- În cadrul prezentei teze de doctorat a fost realizat mai întai un studiu de cercetare care a vizat evaluarea performanței clinice a diferitelor lucrări protetice dentare executate din biomateriale ceramice inerte.
- Ulterior, au fost efectuate două studii de cercetare focusate pe biomaterialele ceramice inerte și tehnologiile de prelucrare a acestora în vederea obținerii de lucrări protetice dentare, ce au avut ca obiectiv evaluarea comparativă a unor restaurări dentare dentare fixe obținute din materiale diferite și prin procedee tehnologice diferite. Analiza a vizat atât influența compoziției chimice a materialelor utilizate pentru obținerea protezelor dentare, cât și influența metodelor de obținere asupra performanțelor funcționale și clinice. Primul studiu realizat a avut ca obiectiv investigarea modului în care tehnologia CAD/CAM influențează proprietățile de suprafață ale coroane dentare fixe obținute din blocuri ceramice prefabricate. Principalele aspecte avute în vedere au fost morfologia suprafeței, rugozitatea, umectabilitatea și compoziție chimică. S-a urmărit evaluarea proprietăților acestora în contextul alegerii materialului restaurativ cu cele mai bune performanțe privind utilizarea sa în cavitatea bucală. Cel de-al doilea studiu realizat a avut ca obiectiv evaluarea comparativă a patru tipuri de restaurări dentare fixe, evidențiind modul în care compoziția chimică a materialului și tehnologia de prelucrare influențează performanțele finale ale restaurărilor, prin analiza proprietăților de suprafață și a proprietăților mecanice.
- În cadrul prezentei teze de doctorat s-au utilizat doar biomateriale ceramice inerte comerciale, care sunt avizate din punct de vedere al proprietăților de biocompatibilitate, astfel încât nu a mai fost necesară efectuarea unor teste costisitoare care sa urmărească biocompatibilitatea *in vivo* și *in vitro* a biomaterialelor experimentale.
- Corelarea rezultatelor experimentale obținute în ceea ce priveste caracteristicile structurale ale biomaterialelor ceramice, testarea mecanică urmată de o complexă analiza fractografică, a confirmat existența unor diferențe dependente de biomaterialul ceramic inert utilizat în ceea ce privește comportamentul la rupere. Aceste constatări oferă o bază solidă pentru interpretarea variabilă a tenacității și rezistenței la fractură între grupurile de restaurări protetice dentare evaluate, contribuind astfel la o înțelegere mai profundă a performanței clinice a acestora.

- Cercetările expérimentale au demonstrat o legătură clară între tipul de biomaterial ceramic, tehnologia de prelucrare, rezistența mecanică și comportamentul la fractură al probelor investigate.
- Investigarea proprietăților mecanice și analiza fractografică ulterioară apar ca o componentă obligatorie în evaluarea corectă a performanței lucrarilor protetice dentare.
- Evaluarea proprietăților de suprafață este o componentă importantă, dar în cazul lucrărilor protetice dentare are un caracter complementar deoarece biofuncționalitatea și performanța clinică a acestora se bazează pe fiabilitatea biomecanică și pe estetica funcțională a lucrărilor dentare. S-a demonstrat în cadrul prezentei teze de doctorat faptul că lucrările protetice executate din biomateriale ceramice inerte diferite pot avea proprietăți de suprafață similare dar costuri diferite și performanțe clinice diferite, care se datorează unor proprietăți mecanice diferite.
- În concluzie, utilizarea biomaterialelor ceramice inerte s-a dovedit optima pentru executia lucrarilor protetice dentare, care necesită un echilibru între rezistență mecanică, biocompatibilitate si estetica dentara.

5.2. Contribuții personale

Cercetările efectuate au adus o serie de contribuții cu titlu de noutate prin rezultatele originale obținute și prin interpretarea lor teoretică. Contribuțiile originale vor fi prezentate în cele ce urmează împreună cu cele mai importante rezultate obținute.

1. Ca urmare a studiului de literatură complex efectuat, au fost stabilite criterii de proiectare și parametri de lucru a unor metode de procesare CAD-CAM pentru biomateriale ceramice inerte utilizate la execuția protezelor dentare. Au fost obținute mai multe lucrări protetice dentare din biomateriale ceramice inerte.
2. A fost efectuată o testare complexă pentru demonstrarea proprietăților funcționale ale diferitelor proteze dentare în practica clinică.
3. A fost efectuată o caracterizare complexă a structurii biomaterialelor ceramice inerte cu ajutorul unor metode și echipamente moderne, prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectrometrie EDS.
4. A fost efectuată o caracterizare complexă a lucrărilor dentare executate din biomateriale ceramice inerte, atât din punct de vedere al proprietaților de suprafață cât și al caracteristicilor mecanice.

6. A fost efectuată o analiză fractografică complexă, prin stereomicroscopie, microscopie electronică de baleiaj și tomografie computerizată. Se impune remarcat faptul că în cadrul prezentei teze de doctorat s-a utilizat tomografia computerizată pentru analiza fractografică.
7. Ansamblul studiilor efectuate ne permite să concluzionăm că obiectivul principal al tezei de doctorat a fost îndeplinit, respectiv au fost evaluate comparativ o serie de restaurări dentare fixe obținute din materiale diferite și prin procedee tehnologice diferite. Analiza a vizat atât o componentă privind performanța clinică a diferitelor lucrări protetice dentare, cât și o componentă privitoare la biomaterialele ceramice inerte utilizate la execuția protezelor dentare, care a vizat influența compoziției chimice a materialelor utilizate pentru obținerea protezelor dentare, și influența metodelor de prelucrare a biomaterialelor ceramice inerte asupra performanțelor funcționale și clinice.
Se menționează faptul că partea experimentală a fost efectuată preponderent în laboratoarele din Departamentul Știința Materialelor Metalice și Metalurgie Fizică, Facultatea Știința și Ingineria Materialelor, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București, dar au fost efectuate determinări experimentale și în alte laboratoare.
Departe de a pretinde că epuizează cercetările teoretice și experimentale în domeniul biomaterialelor utilizate pentru protetica dentară, lucrarea aduce o utilă contribuție teoretică și practică, oferind o bază solidă pentru selecția de biomateriale și tehnologii de prelucrarea a acestora în vederea obținerii protezelor dentare, deschizând în același timp noi orizonturi pentru cercetările viitoare în acest domeniu.

5.3. Perspective de dezvoltare ulterioară

Prezenta teză de doctorat are perspective de dezvoltare ulterioară în mai multe direcții:

- Este posibilă extinderea studiilor efectuate prin utilizarea unor metode diferite de modificare a proprietăților de suprafață pentru biomaterialele ceramice inerte.
- Este posibilă extinderea studiilor efectuate prin utilizarea unor configurații diferite de biomateriale ceramice inerte, de tip zirconia.
- Pot fi extinse cercetările prin evaluarea comparativă a unor lucrări protetice fixate pe implante dentare, în configurații diferite.
- Cercetările experimentale pot fi extinse și prin testarea biofuncționalității în cazuri clinice specifice.

VALORIFICAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE

Articole publicate în reviste indexate și cotate BDI pe domeniul tezei de doctorat

1. **FOCȘĂNEANU Sergiu-Ciprian,** Antoniac Iulian, Ciuca Ion, Kamel Earar, *CAD/CAM CERAMICS IN MODERN PROSTHODONTICS: EVALUATION OF SURFACE TOPOGRAPHY, ROUGHNESS, AND CLINICAL IMPLICATIONS,* Romanian Journal of Medical and Dental Education, Vol. 14, No. 4, 2025.

2. **FOCȘĂNEANU Sergiu-Ciprian**, Ciuca Ion, Antoniac Iulian, Kamel Earar, *COMPARATIVE INSIGHTS INTO SURFACE PROPERTIES OF CAD/CAM-PROCESSED CERAMIC MATERIALS: A REVIEW,* Romanian Journal of Medical and Dental Education, Vol. 14, No. 4, 2025.

Articole cotate ISI

3. Nazem DAWOD, Dan Ioan STOIA, **Sergiu FOCȘĂNEANU**, Aurora ANTONIAC, Alina ROBU, Horațiu DURA, Ioana Dana CÂRSTOC, Bogdan Radu DRAGOMIR, *SHEAR STRESS ANALYSIS BY FINITE ELEMENTS OF A METAL-CERAMIC DENTAL BRIDGE ON A CoCr ALLOY SUPPORT*, UNIVERSITY POLITEHNICA OF BUCHAREST SCIENTIFIC BULLETIN SERIES B-CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE, Volume 85, Issue 3, 2023 (Q4, IF = 0,3).

Articole cotate ISI ce vizează subiectului prezentei teze de doctorat

1. Dorin Ioan Cocos, Alina-Ramona Dimofte, Gabriel Valeriu Popa, Mariana Pacurar, Doriana Agop Forna, Cristina Iordache, **Sergiu FOCȘĂNEANU**, Kamel Earar, *MANAGEMENT OF INCLUDED WISDOM TEETH: THERAPEUTIC APPROACHES AND PREVENTION OF TMJ DYSFUNCTIONS,* Romanian Journal of Oral Rehabilitation, Volume 17, Nomber 1, 2025 (Q, IF = 1,1)

2. Kamel Earar, Mariana Jian, Norina Consuela Forna, **Sergiu FOCȘĂNEANU,** Alina Ramona Dimofte, Nicolae Sârbu, Ovidiu Sebastian Nicolaiciuc*, BENEFITS AND LIMITATIONS OF USING SURGICAL GUIDES IN IMPLANTOLOGY,* Romanian Journal of Oral Rehabilitation, Volume 17, 2025 (IF = 1,1)

Bibliografie selectivă

1. Anusavice, K.J..; Phillips, R.W..; Shen, Chiayi.; Rawls, H.Ralph. *Phillips' Science of Dental Materials*; Elsevier/Saunders, **2013**; ISBN 9780323242059.
2. Grech, J.; Antunes, E. Zirconia in Dental Prosthetics: A Literature Review. *Journal of Materials Research and Technology* **2019**, *8*, 4956–4964, doi:10.1016/j.jmrt.2019.06.043.
3. TURGUT, M.D.; GENÇ, G.A.; BAŞAR, F.; TEKÇİÇEK, M.U. The Effect of Early Loss of Anterior Primary Tooth on Speech Production in Preschool Children. *Turk J Med Sci* **2012**, doi:10.3906/sag-1104-41.
4. Rosenberg, M. Bad Breath and Periodontal Disease: How Related Are They? *J Clin Periodontol* **2006**, *33*, 29–30, doi:10.1111/j.1600-051X.2005.00874.x.

6. Zhang, Y.-R.; Du, W.; Zhou, X.-D.; Yu, H.-Y. Review of Research on the Mechanical Properties of the Human Tooth. *Int J Oral Sci* **2014**, *6*, 61–69, doi:10.1038/ijos.2014.21.
7. Yoshimura, H.N.; Gonzaga, C.C.; Cesar, P.F.; Miranda, W.G. Relationship between Elastic and Mechanical Properties of Dental Ceramics and Their Index of Brittleness. *Ceram Int* **2012**, *38*, 4715–4722, doi:10.1016/j.ceramint.2012.02.056.
8. Elgali, I.; Omar, O.; Dahlin, C.; Thomsen, P. Guided Bone Regeneration: Materials and Biological Mechanisms Revisited. *Eur J Oral Sci* **2017**, *125*, 315–337, doi:10.1111/eos.12364.
9. Xing, Y.; Zhong, X.; Chen, Z.; Liu, Q. Optimized Osteogenesis of Biological Hydroxyapatite-Based Bone Grafting Materials by Ion Doping and Osteoimmunomodulation. *Biomed Mater Eng* **2023**, *34*, 195–213, doi:10.3233/BME-221437.
19. Shenoy, A.; Shenoy, N. Dental Ceramics: An Update. *Journal of Conservative Dentistry* **2010**, *13*, 195, doi:10.4103/0972-0707.73379.
30. Chavan, A.; Avula, I.; Sahoo, S.N.; Biswal, S.; Mandal, S.; Musthafa, M.; Roy, S.; Nandi, S.K.; Mukherjee, S.; Roy, M. Functional Medium Entropy Alloys for Joint Replacement: An Atomistic Perspective of Material Deformation and a Correlation to Wear, Corrosion, and Biocompatibility. *Acta Biomater* **2024**, *187*, 451–470, doi:10.1016/j.actbio.2024.08.031.
32. Choudhary, A.; Paul, S. Surface Generation in High-Speed Grinding of Brittle and Tough Ceramics. *Ceram Int* **2021**, *47*, 30546–30562, doi:10.1016/j.ceramint.2021.07.233.
36. Liu, Y.; Lv, S.; Sun, X.; Yang, H.; Dong, Z.; Mu, S.; Zhang, W.; Gong, Y. Comparative Study of Tool Wear Mechanisms in Drilling ZrO2 Ceramics Using Various Tool Types. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* **2024**, *46*, 635, doi:10.1007/s40430-024-05220-2.
46. Cheng, Q.; Dai, C.; Miao, Q.; Yin, Z.; Chen, J.; Yang, S. Axial and Composite Ultrasonic Vibration-Assisted Face Grinding of Silicon Carbide Ceramics: Grinding Force and Surface Quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **2024**, *131*, 2597–2614, doi:10.1007/s00170-023-12034-4.
48. An, Q.; Yang, J.; Li, J.; Liu, G.; Chen, M.; Li, C. A State-of-the-Art Review on the Intelligent Tool Holders in Machining. *Intelligent and Sustainable Manufacturing* **2024**, *1*, 10002–10002, doi:10.35534/ism.2024.10002.
49. Irazu, E.; Alonso, U.; Izquierdo, B.; Godino, L. Grinding of C/SiC Ceramic Matrix Composites: Influence of Grinding Parameters on Tool Wear. *Wear* **2024**, *558–559*, 205582, doi:10.1016/j.wear.2024.205582.
66. Yang, M.; Ma, H.; Hao, J.; Li, Z.; Li, R.; Zhou, Z.; Gao, T.; Liu, M.; Cui, X.; Wang, X.; et al. Droplet Size Distribution Model of Needle Electrode Electrostatic Atomization and Milling Nickel-Based Alloy Performance Evaluation. *J Manuf Process* **2024**, *119*, 682–698, doi:10.1016/j.jmapro.2024.04.011.
67. Jiang, X.; Wei, Y.; Zhou, J.; Zhan, K.; Ding, Z.; Liang, S.Y. Residual Stress Generation and Evaluation in Milling: A Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **2023**, *126*, 3783–3812, doi:10.1007/s00170-023-11394-1.
134. Kreve, S.; dos Reis, A.C. Effect of Surface Properties of Ceramic Materials on Bacterial Adhesion: A Systematic Review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* **2022**, *34*, 461–472, doi:10.1111/jerd.12799.
140. Fu, W.; Liu, S.; Jiao, J.; Xie, Z.; Huang, X.; Lu, Y.; Liu, H.; Hu, S.; Zuo, E.; Kou, N.; et al. Wear Resistance and Biocompatibility of Co-Cr Dental Alloys Fabricated with CAST and SLM Techniques. *Materials* **2022**, *15*, 3263, doi:10.3390/ma15093263.