

Magnezij u sastavu zubne cakline; uloga i analiza

Kučera - Čavara, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:217:889957>

Rights / Prava: [In copyright/Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
Kemijski odsjek

David Kučera-Čavara

Student 3. godine Preddiplomskog sveučilišnog studija KEMIJA

MAGNEZIJ U SASTAVU ZUBNE CAKLINE; ULOGA I ANALIZA

Završni rad

Rad je izrađen u Zavodu za analitičku kemiju

Mentor rada: doc. dr. sc. Nevenka Poje

Zagreb, 2022.

Datum predaje prve verzije Završnog rada: 20. rujna 2022.
Datum ocjenjivanja Završnog rada i polaganja Završnog ispita: 28. rujna 2022.

Mentor rada: doc. dr. sc. Nevenka Poje Potpis:

Sadržaj

§ SAŽETAK.....	VII
§ 1. UVOD.....	1
§ 2. MAGNEZIJ U SASTAVU ZUBNE CAKLINE	II
2.1. Struktura i sastav zuba.....	ii
2.1.1. Vanjski izgled zuba.....	ii
2.1.2. Struktura i sastav zubne cakline.....	iii
2.1.3. Mikroarhitektura enamela	iv
2.2. Analiza zubne cakline	vii
2.2.1. Određivanje koncentracije magnezija u ovisnosti o dubini sloja enamela	vii
2.2.2. Međuovisnost koncentracija magnezija i kalcija u zubnom enamelu	ix
2.2.3. Testovi čvrstoće mikrostruktura s povećanom koncentracijom magnezija	ix
2.3. Važnost magnezija u sastavu enamela	xi
2.3.1. Testovi čvrstoće mikrostruktura s povećanom koncentracijom magnezija	xi
2.3.2. Zdravi enamel i mesodens.....	xi
§ 3. LITERATURNI IZVORI.....	XIII

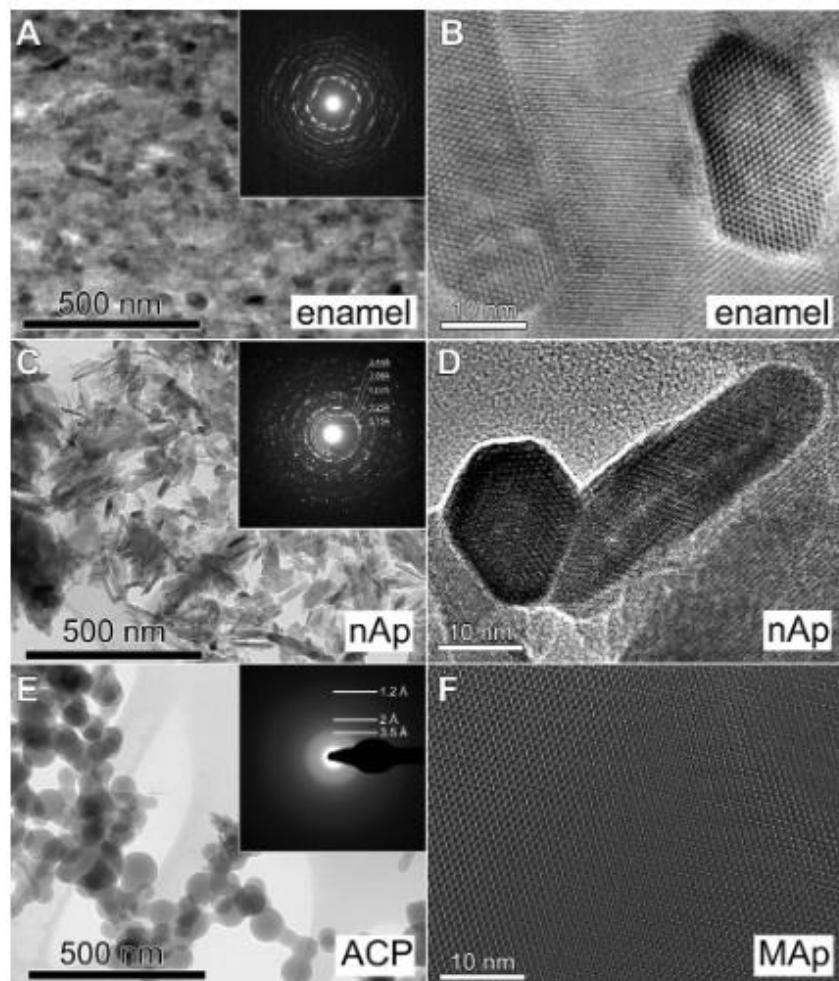
§ Sažetak

Zubna caklina (enamel) zaštitna je struktura krune zuba, koja se sastoji od jednostavnih građevnih jedinica. U najvećem dijelu, zubnu caklinu čine kristali hidroksipatita. Iako se u toj strukturi ističe kalcij kao glavni metal, za stabilnost i kristalizaciju čvrstog i otpornog enamela ključan element je magnezij.

Magnezij inhibira rast kalcijevog hidroksipatita¹, pri čemu nastaju nanokristali i time bolje prekrivaju površinu enamela. Većina magnezija nalazi se u dubljim slojevima enamela, gdje je u amorfnoj formi fosfata. Približavanjem prema površini enamela, koncentracija magnezija se smanjuje dok se simultano koncentracija kalcija povećava². O međuvisnosti ova dva elementa te o ulozi magnezija u zubnoj caklini bit će detaljnije objašnjeno u ovom radu.

§ 1. UVOD

Četvrti najrasprostranjeniji metalni kation u biološkim sustavima, odmah iza natrija, kalija i kalcija je magnezij¹. Magnezij obnaša mnoge esencijalne uloge u organizmu: kofaktor za enzime, među ostalima u glikolizi, biosintezi i prijenosu fosfatne grupe, potreban je u metabolizmima masnih kiselina i vitamina. Veliku važnost ima u sintezi proteina i aktivaciji enzimskih sustava. Centralni je metal u porfirinskom prstenu u klorofilu II. Ipak, najviše magnezija u organizmu sadržano je u anorganskim komponentama kosti, u obliku nanokristalnog apatita. Magnezij je važan u regulaciji kristalizacije biološkog kalcijevog fosfata tako što inhibira kristalni rast hidroksipatita (slika 1).



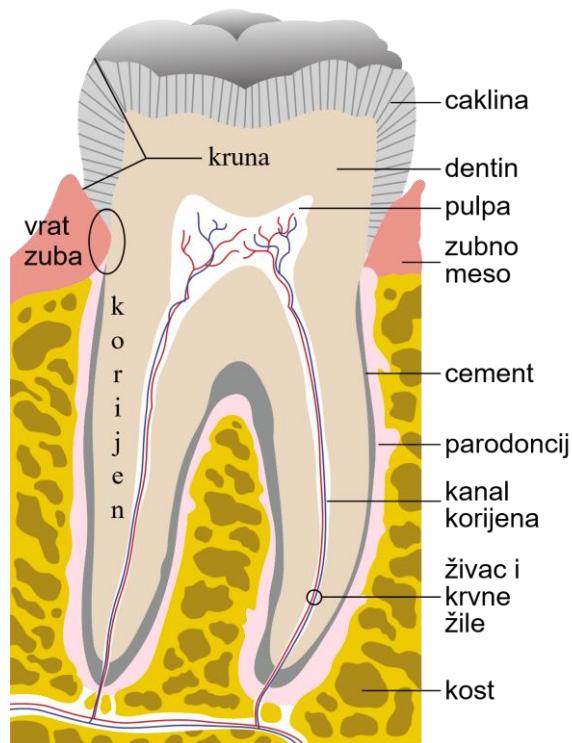
Slika 1. Kristali hidroksipatita u sastavu zubnog enamela, dobiveni SEM mikroskopijom,
preuzeto iz izvora 2.

§ 2. MAGNEZIJ U SASTAVU ZUBNE CAKLINE

2.1. Struktura i sastav zuba

2.1.1. Vanjski izgled zuba

Zubi su mineralizirani organi probavnog trakta, koji se nalaze u usnoj šupljini, a služe za mehaničko usitnjavanje hrane unesene u organizam. Oblik pojedine vrste zuba prilagođen je funkciji koju obavlja, a podijeljeni su na; sjekutiće, očnjake, pretkutnjake i kutnjake³. Smješteni su u zubne čašice usađene u gornju i donju vilicu. Strukturno, svaki zdravi zub sastoji se od tri ključna dijela; krune, vrata i korijena (slika 2).



Slika 2. shematski prikaz strukture zuba s naznačenim dijelovima, preuzeto iz izvora 4.

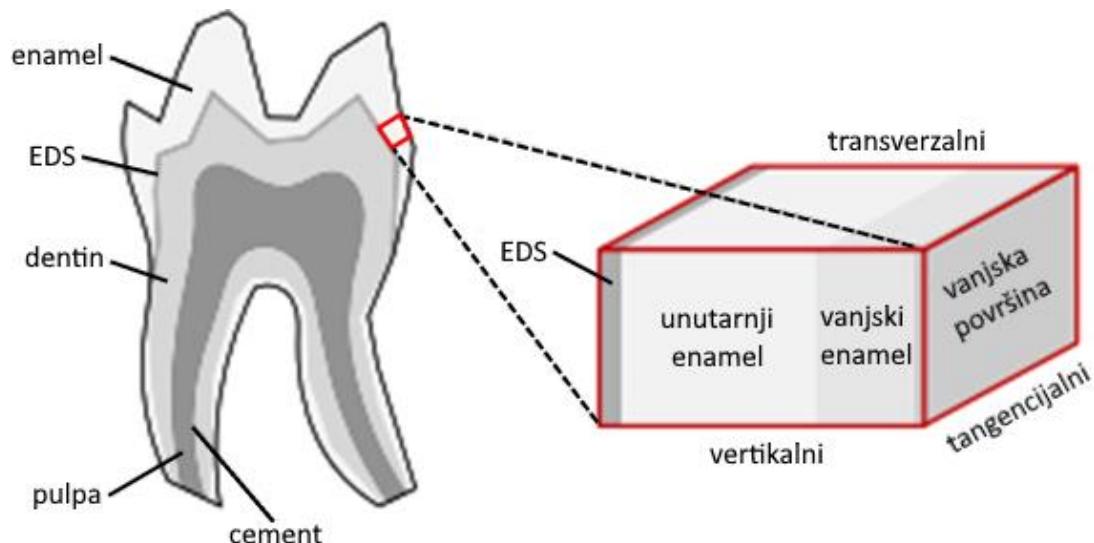
Korijen zuba služi učvršćenju zuba, a usađen je direktno u zubnu jamicu. Povezan je s kosti vilice, a u njemu se nalaze krvne žile i živci. Prekriva ga sloj zubnog cementa. Vrat zuba je naziv za suženje zuba koje se nalazi na granici zubne cakline i cementa. prekriven je zubnim mesom^{1,3}. Izvana vidljivi dio zuba je krupa zuba, koja je prekrivena caklinom.

2.1.2. Struktura i sastav zubne cakline

Zubi su izgrađeni od tvrdih i mekih tkiva. Tvrda čine cement dentin i caklina (enamel), a primjer mekog je pulpa zuba. Dentin čini najveći dio zuba, a cijelom vanjskom površinom ga prekriva zubna caklina. Sastavom, dentin je uglavnom nitasti protein kolagen no sadrži određenu količinu anorganskog apatita. Takav sastav ga čini izdržljivijim na pritisak i manje lomljivim od enamela.

Za razliku od dentina, enamel ne sadrži organsku tvar već se sastoji od anorganskih spojeva kao što su; kalcijev hidroksipatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) (89%), kalcijev karbonat (4%), kalcijev fluorid (2%) i magnezijev fosfat (1.5%). Sastav enamela upućuje da se radi o neživom tkivu, koje se ne može obnavljati bez zamjene cijelog zuba. Njegova uloga je zaštita dentina i živog tkiva u zubu od vanjskih utjecaja kemijske i abrazivne prirode koji se javljaju tijekom mehaničkog usitnjavanja hrane.

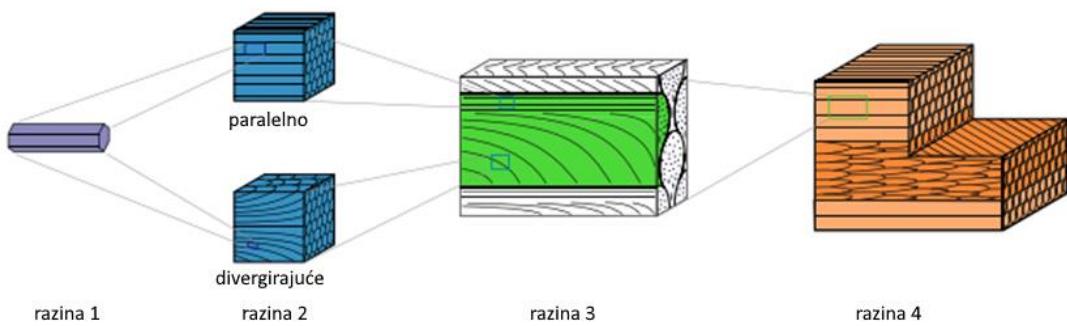
Zubni enamel može se podijeliti u tri sloja; vanjski sloj, unutarnji i spojnica enamel-dentin^{1, 3, 5} (slika 3). Slojevi se razlikuju prema sastavu i mikrostrukturi, koja je više simetrije u vanjskom sloju dok je u unutarnjem sloju enamela amorfnijsa.



Slika 3. Shematski prikaz presjeka zuba i detaljnija podjela zubnog enamela, preuzeto iz izvora 5.

Osnovne strukturalne jedinice enamela su štapići izgrađeni od heksagonskih kristala hidroksipatita^{1,2}. Zreli enamel sadrži anorganske komponente u obliku visoko organiziranih i

gusto složenih kristala (slika 4), koji grade 87% volumena enamela i 95% njegove mase. Udio hidroksipatitnih kristala u enamelu varira i smanjuje se od površine prema granici enamel-dentin. Kvaliteta, razmještaj i količina hidroksipatitnih kristala imaju utjecaj na odgovarajuća mehanička svojstva enamela.



Slika 4. Načini slaganja kristalnih štapića hidroksipatita u kompleksne trodimenzionalne strukture, preuzeto iz izvora 5.

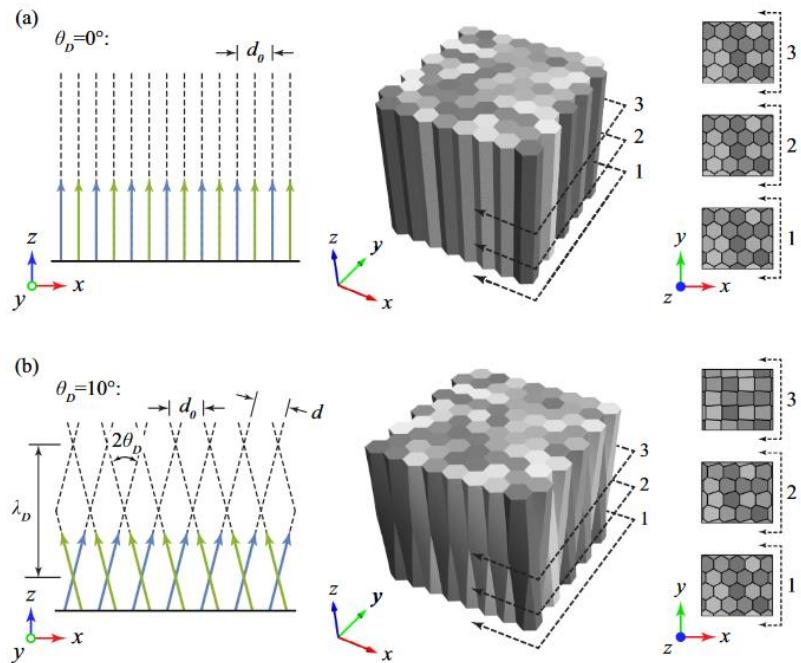
Magnezij je u enamelu uglavnom prisutan u obliku magnezijevog fosfata.¹⁻⁵ Magnezijev fosfat ima utjecaj na kvalitetu i anatomiju zuba. Magnezijevi ioni ključni su za reguliranje rasta kristala hidroksipatita. Oni inhibiraju kristalni rast hidroksipatita tako što zamjenjuju kalcijeve ione i određuju fizikalnu i kemijsku stabilnost kristala kako bi nadomjestili organske inhibitore. Magnezij utječe na aktivnost alkalnih fosfata, koji kataliziraju formiranje odgovarajućih kristala hidroksipatita i mogu inhibirati transformaciju amorfног kalcijevog fosfata u kristalnu formu. Magnezij se nalazi i u organskom matriksu enamela.

2.1.3. Mikroarhitektura enamela

Mikroarhitektura enamela uvelike ovisi o biološkoj vrsti i njenim hranidbenim navikama. Ljudski enamel sastoji se od štapića hidroksipatita koji se zbog čvrstoće križaju među slojevima (slika 5), dajući kompleksnu trodimenzionalnu mikroarhitekturu. Takvo križanje onemogućuje proširenje površinskih napuknuća enamela i prodiranje u dublje slojeve zuba^{1,6,7}.

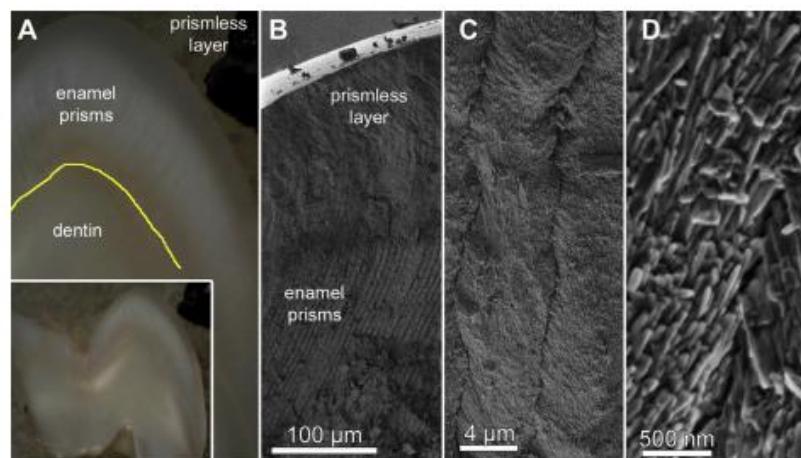
Periodično zadebljanje linija na štapićima enamela koje su vidljive na svakih 4-8 μm zove se poprečna ispruganost. Udaljenost između tih linija odgovara dnevnom prirastu enamela i varira u rasponu od 4–8 μm do 150 μm .² Lokacija tih linija prikazuje periodično smanjenje u

lučenju matriksa enamela tijekom faze lučenja u amelogenezi što se odvija svakih 5 do 10 dana i odražava se na periodičnu stanku u aktivnosti ameloblasta.



Slika 5. Trodimenzionalna mikrostruktura enamela (a) bez križanja kristalnih slojeva i (b) s križanjem, preuzeto iz izvora 6.

Vanjski slojevi primarnog enamela imaju mikrostrukturu u kojoj nisu prisutne prizme (slika 6), čija debljina varira 50–100 μm . U zreloj enamelu je taj sloj manji, te iznosi 5 μm ili je potpuno odsutan. Posebna mikrostrukturalna organizacija nanokristala u vanjskom sloju primarnog enamela ukazuje na drugačija mehanička svojstva; mehanizam loma i čvrstoća, te mehanizam i brzinu otapanja.

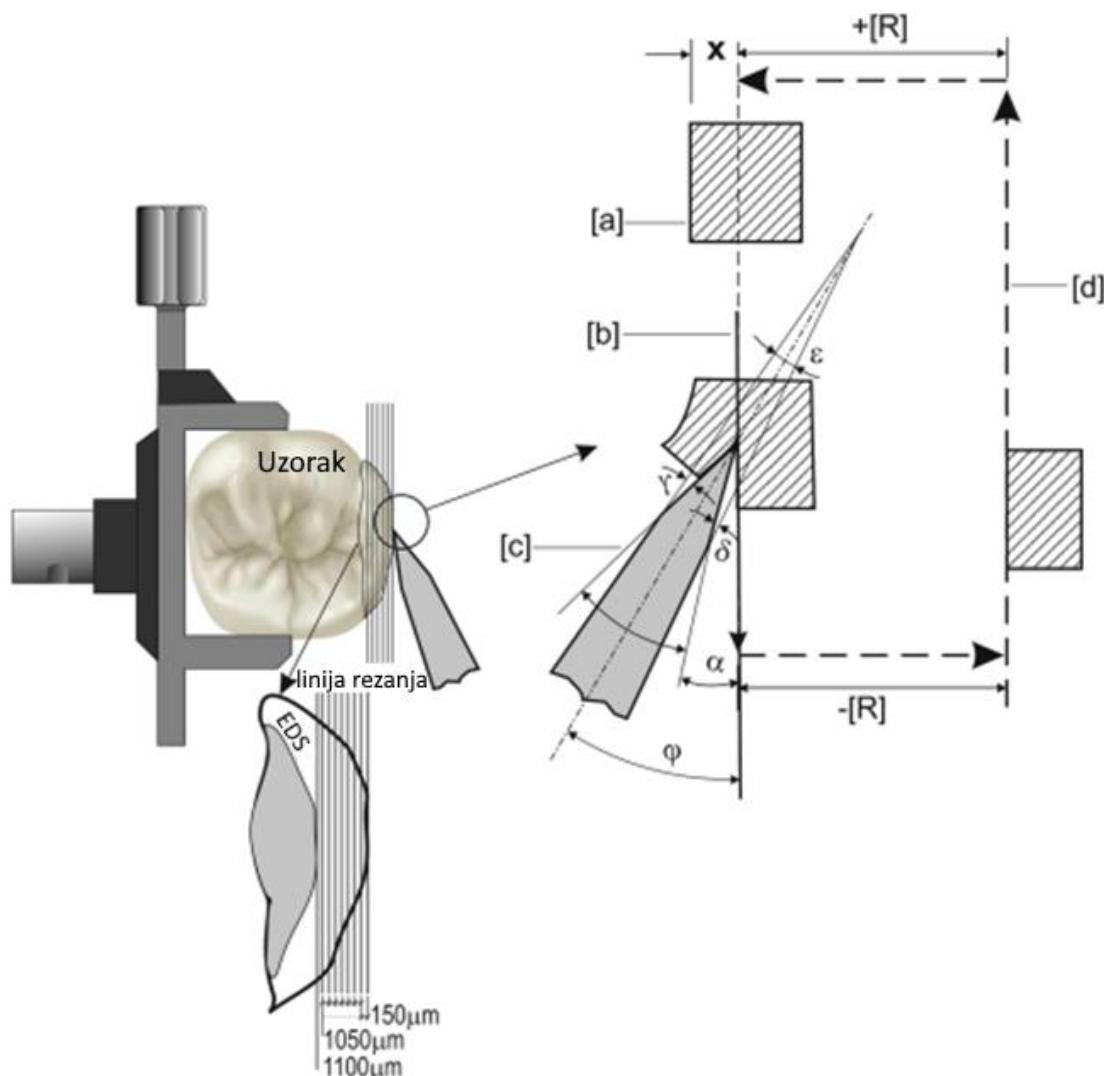


Slika 6. Prikaz presjeka zuba s označenim mikrostrukturnim slojevima (A). SEM prikazi vanjskog sloja enamela (B i C), te hidroksipatita u sastavu prizmi (D), preuzeto iz izvora 2.

2.2. Analiza zubne cakline

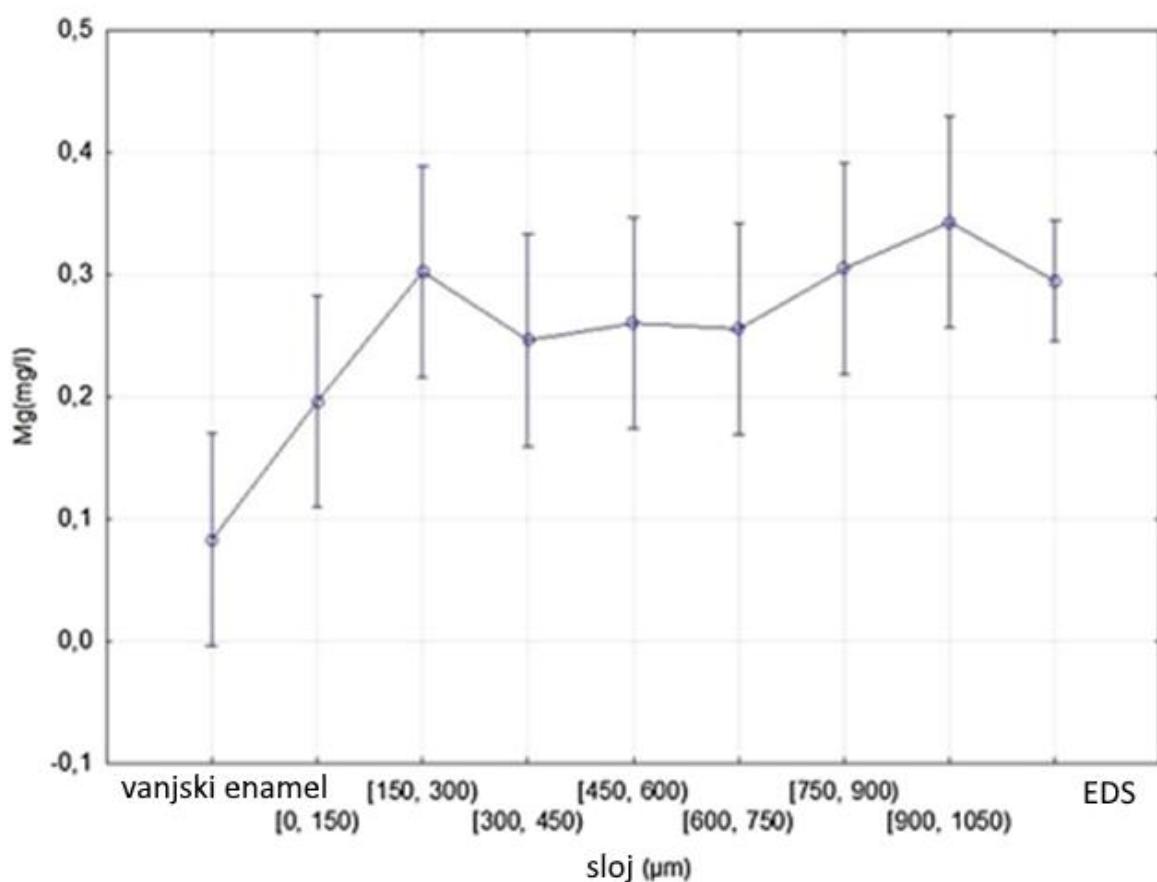
2.2.1. Određivanje koncentracije magnezija u ovisnosti o dubini sloja enamela

Tijekom ispitivanja udjela kalcija i magnezija u pojedinim slojevima enamela, uzorci su izrezani na na slojeve debljine 150 μm (slika 7), što je rezultiralo sa sedam slojeva za ispitivanje. Mjesta rezenja određena su prema udaljenostima među linijama rasta, a dnevna količina nanesenog enamela je uprosječena. Izrezani slojevi su dalje obrađeni biopsijom, čime je dobivena ovisnost količine magnezija i kalcija o dubini sloja enamela.



Slika 7. Način rezanja slojeva enamela debljine 150 μm potrebnih za analizu koncentracija magnezija i kalcija, preuzeto i obrađeno iz izvora 8.

Koncentracije kalcija i magnezija odredene su spektrometrijom atomske apsorpcije, pomoću kalibracijske krivulje za svaki element. Korištena je plamena spektrometrija sa smjesom acetilen-zrak. Najviša dobivena koncentracija magnezija iznosila je 0,34267 mg/L, kao i maksimalna koncentracija 1,42 mg/L, pronađene su u dubljem sloju na 900-1050 μm . Najniža koncentracija magnezija dobivena je u površinskom sloju ispitivanog enamela, a iznosila je 0,08267 mg/L. Srednja vrijednost koncentracije magnezija za cijeli uzorak iznosila je 0,2487 mg/L^{2,8}. Koncentracija magnezija povećava se postupno od površinskog sloja prema unutra, ali na dubini 300-450 μm dolazi do laganog pada u koncentraciji (slika 8).



Slika 8. Ovisnost koncentracije magnezija o sloju enamela dobivena atomskom apsorpcijskom spektrometrijom, preuzeto iz izvora 8.

2.2.2. Međuovisnost koncentracija magnezija i kalcija u zubnom enamelu

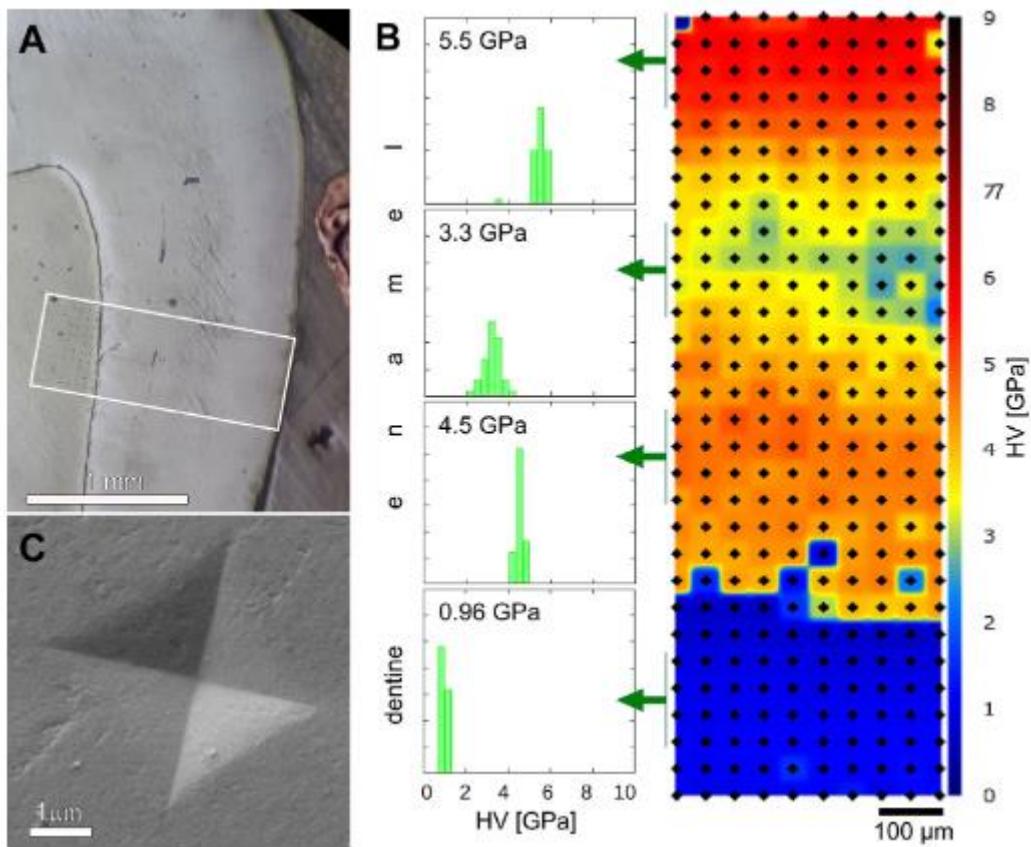
Istraživanjem je otkriveno kako se koncentracija magnezija povećava s povećanjem koncentracije kalcija⁸, iz čega se moglo zaključiti kako koncentracije tih dvaju elemenata direktno utječe jedna na drugu. Ipak, u vanjskim slojevima enamela ta međuovisnost je manja, što se objašnjava ionskom izmjenom između enamela i sline. Istraživanja pokazuju kako se koncentracije minerala u zubnoj caklini određuju već u zubnim pupovima, prije rasta zuba. Daljnje oscilacije minerala u organizmu nemaju utjecaj na količine magnezija i kalcija u zubima. Istraživani su zubi popoljci fetusa, čime je pokazano kako se magnezij i kalcij najintenzivnije akumuliraju s rastom fetusa. Nakon formacije zuba, koncentracije magnezija i kalcija su relativno stabilne, tj. nema znatnije razlike u koncentracijama tih minerala u zubnim popoljcima i zrelim zubima.

Minerali sadržani u anorganskom dijelu zuba imaju strogo definirane koncentracije, zbog čega je moguće odrediti njegovu čvrstoću^{1,8}, otpornost na vanjske utjecaje i prikladne biokemijske transformacije. Odsutnost jednog minerala u zubnom tkivu može utjecati na koncentraciju ostalih minerala i rezultirati većom krhkošću zuba na karijes. Stoga je važno pratiti ovisnost koncentracija magnezija i kalcija u enamelu o dubini enamelnog sloja i otpornost zuba.

S druge strane, izmjena iona na granicama enamel-slina i enamel-plak, te akumulacija s dobi su odgovorni za veću koncentraciju magnezija u vanjskim slojevima enamela. Količina magnezija smanjuje se s mineralizacijom, što je uzrok smanjenju koncentracije magnezija s udaljavanjem od dentin-enamel spojnica.

2.2.3. Testovi čvrstoće mikrostruktura s povećanom koncentracijom magnezija

Testovi nanoudubljenja izvedeni su na poprečnom presjeku primarnog enamela kako bi se mapirala mehanička svojstva enamela i dentina u dijelu 500 µm x 1500 µm. Na pripremljene uzorke primjenjen je pritisak od 50 mN, brzinom 0.5 mN/s (slika 9). Uzorcima je zatim određena koncentracija magnezija prije i nakon ionske izmjene², te je ustanovljeno kako s povećanjem koncentracije magnezija se povećava nanočvrstoća do 20%. Takav rezultat objašnjen je ulogom magnezija da inhibira rast kristala hidroksipatita. Sitnići kristali stvaraju tanji površinski sloj, a time i veću čvršću mikrostrukture. Magnezij se ugrađuje u nanokristale hidroksiapatita i intergranularne slojeve među kristalima.



Slika 9. Test nanoudubljenja izveden na dijelu označenom bijelim pravokutnikom (A), mapa čvrstoće odgovarajućih dijelova enama i dentina označena Vickersovim vrijednostima čvrstoće (B) i veličina nanoudubljenja (C), preuzeto iz izvora 2.

2.3. Važnost magnezija u sastavu enamel-a

2.3.1. Testovi čvrstoće mikrostruktura s povećanom koncentracijom magnezija

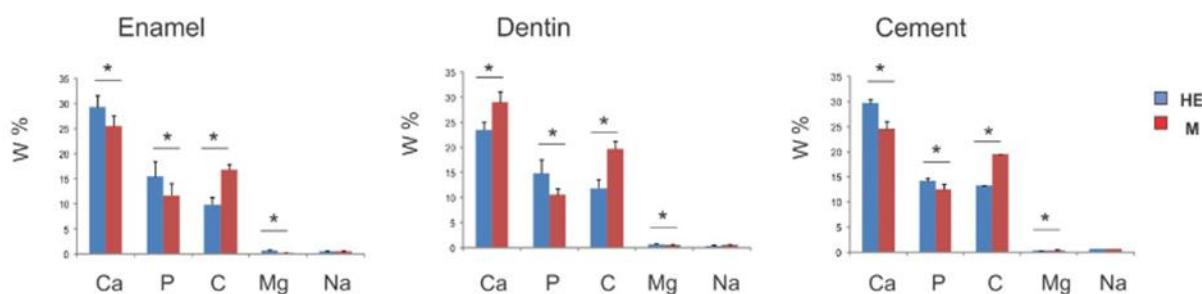
Nedostatak magnezija u organizmu za posljedicu ima oštećenja zuba, kosti i mekog tkiva. Otkriveno je kako su štakori, koji su patili od nedostatka magnezija, nakon 10 tjedana izgubili kutnjake i sjekutiće¹. Veća lomljivost zuba i klimavost su također posljedice nedostatka magnezija. Pronađene su brazde u dentinu kao posljedica isprekidanog procesa kalcifikacije, što dovodi do odontoblastične degeneracije. Isprekidana kalcifikacija dovele je do širokih nekalcificiranih zona, odvojenih od predentina tankim kalcificiranim slojem.

Istraživane su i degenerativne promjene u enamelu štakora, koji su patili od subakutnog nedostatka magnezija. Otkriveno je kako u nedostatku magnezija raste širina predentina. Također je ispitana širina stanica koje formiraju enamel, te je utvrđeno kako su one znatno manje nego stanice s dovoljnom količinom magnezija.

Dokazano je i kako se brazde, nastale zbog nedostatka magnezija, povlače u četiri dana kada se primjeni terapija magnezijem. Dentin koji je nakon terapije kalcificiran, bio je normalan osim u spojnici dentin-enamel gdje je ostao oslabljen.

2.3.2. Zdravi enamel i mesodens

Magnezij sprječava propadanje zuba, a njegova koncentracija je znatno viša u zdravom zubu^{1,12,13}. Odgovoran je za aktivnost kalcija i fosfora u prevenciji karijesa. Otkriveno je i kako koncentracija magnezija u zdravom enamelu nije jednaka kao ona u mesodensu (slika 10).



Slika 10. Distribucija kemijskih elemenata u enamelu, dentinu i cementu zdravog zuba (plavo) i mesodensa (crveno), preuzeto iz izvora 12.

Dobivena koncentracija magnezija za zdravi enamel iznosila je $0,72 \pm 0,16$, dok je za mesodens bila $0,35 \pm 0,12$ što je upola manje¹². Mesodens je znatno krhkiji i skloniji oštećenjima od zdravog zuba upravo zbog velike razlike u koncentracijama magnezija.

§ 3. LITERATURNI IZVORI

1. N. Miller, *Ten Cate's oral histology*, 8th edition. *Br Dent J* 213, 194 (2012).
2. V. K. Kis, A. Sulyok, M. Hegedus, I. Kovacs, N. Rozsa, Z. Kovacs, *Acta Biomaterialia* 120 (2021) 104-115.
3. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67493> (datum pristupa 27. rujna 2022.)
4. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tand_doorsnede.png (datum pristupa 27. rujna 2022.)
5. J. Wilmers, S. Bargmann, *Acta Biomaterialia* 107 (2020) 1–24.
6. C. A. Stifler, J. E. Jakes, J. D. North, D. R. Green, J. C. Weaver, P. Gilbert, *Acta Biomaterialia* 120 (2021) 124-134.
7. J. De Dios Teurel, A. Alcolea, A. Hernandez, A. J. O. Ruiz, *Archives of Oral Biology* 60 (2015) 768-775.
8. E. Klimuszko, K. Orywal, T. Sierpinska, J. Sidun, M. Golebiewska, *Odontology* 106(4) (2018) 369-376.
9. M. Jawed, W. Al Abdulmonem, A. Alkhamiss, R. Alghsham, T. Alsaeed, F. A. Alhumaydhi, A. A. Hershan, S. M. Shahid, *Bahrain Medical Bulletin* Vol. 43, No.1 (2021) 327-330.
10. R. Z. LeGeros, T. Sakae, C. Bautista, M. Retino, J. P. LeGeros, *Adv Dent Res* 10(2) (1996) 225-231.
11. J. W. Pro, F. Barthelat, *Acta Biomaterialia* 94 (2019) 536-552.
12. S. Tanasković-Stanković, I. Tanasković, N. Jovičić, M. Miletić-Kovačević, T. Kanjevac, Z. Milosavljević, *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 162(2) (2018) 149-153.
13. I. Y. Torhin, O. Gromova, *Magnesium and Pyridoxine: Fundamental Studies and Clinical Practice*, Nova Science Publishers, Inc, New York (2009).