

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:889957>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



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 ČAKLINE; 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 ČAKLINE.....	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

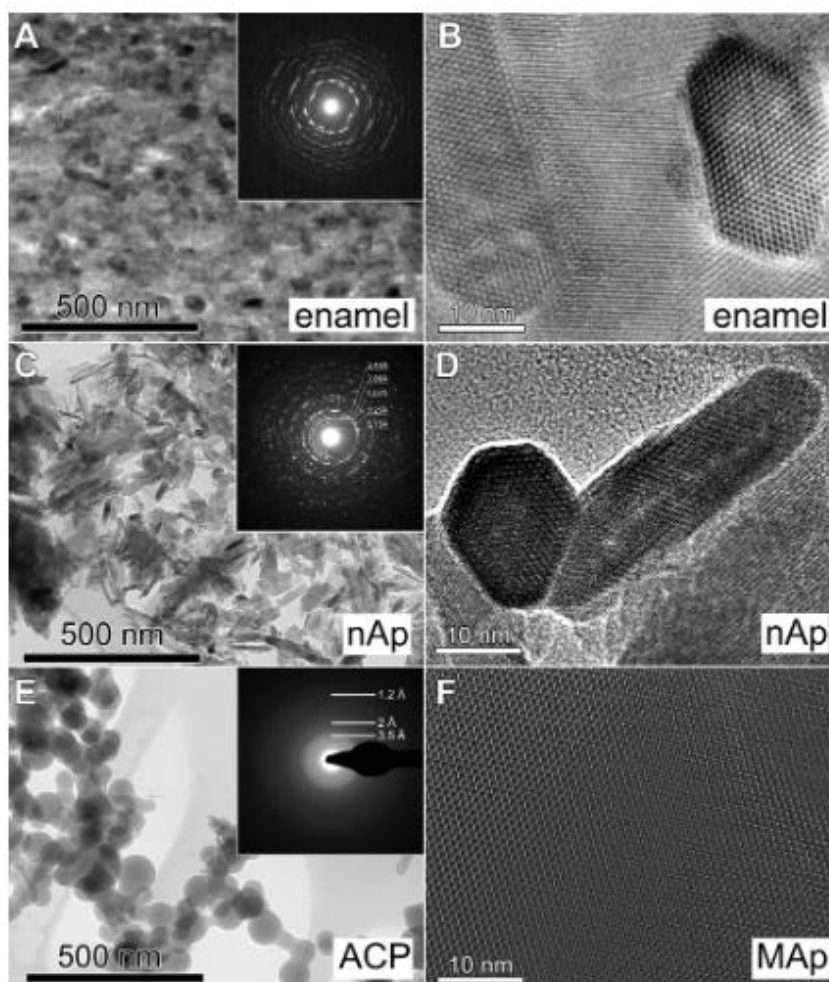
§ Sažetak

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 međuovisnosti 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).



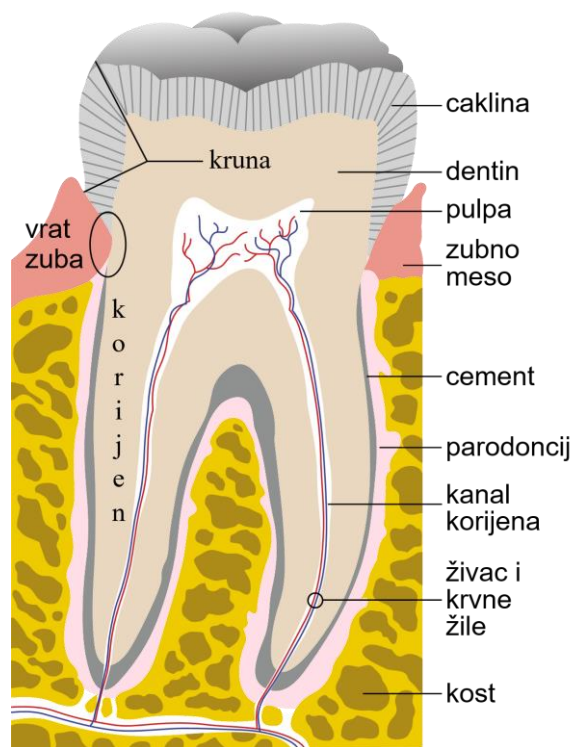
Slika 1. Kristali hidroksipatita u sastavu zubnog enamela, dobiveni SEM mikroskopijom, preuzeto iz izvora 2.

§ 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.

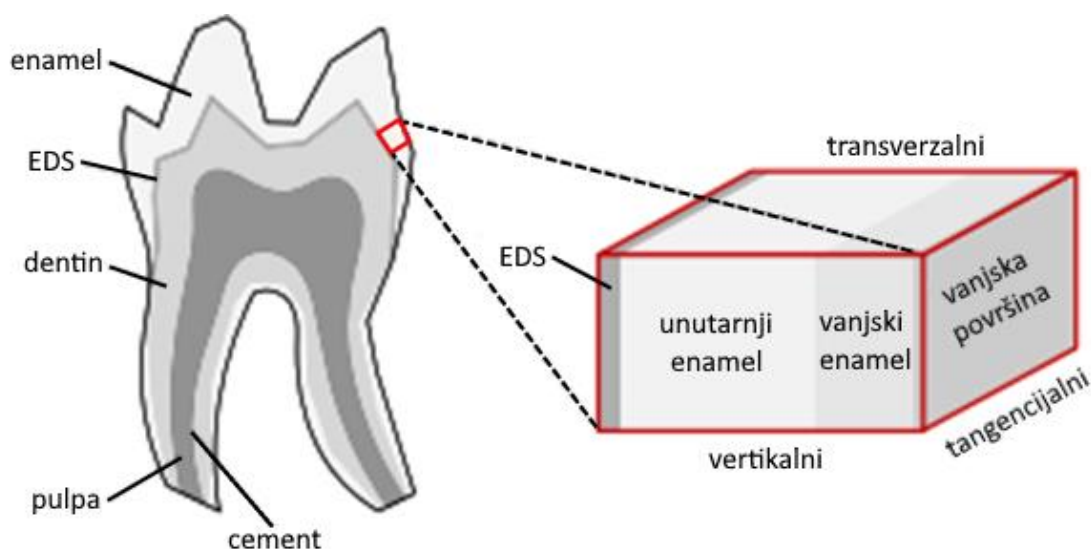
Korijen zuba služi učvršćenju zuba, a usađen je direktno u zubnu jamicu. Povezan je s kosti vilice, a u njemu se nalaze krvne žile i živci. Prekriva ga sloj zubnog cementa. Vrat zuba je naziv za suženje zuba koje se nalazi na granici zubne cakline i cementa, prekriven je zubnim mesom^{1,3}. Izvana vidljivi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

2.1.2. Struktura i sastav zubne cakline

Zubi su izgrađeni od tvrdih i mekih tkiva. Tvrdi 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 obnovljati bez zamijene 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.

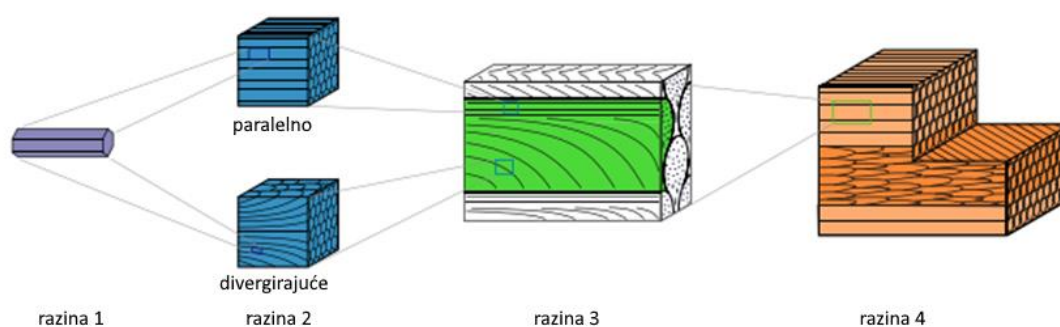
Zubni enamel može se podijeliti u tri sloja; vanjski sloj, unutarnji i spojnica enamel-dentin^{1, 3, 5} (slika 3). Slojevi se razlikuju prema sastavu i mikrostrukturi, koja je više simetrije u vanjskom sloju dok je u unutarnjem sloju enamela amorfna.



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.

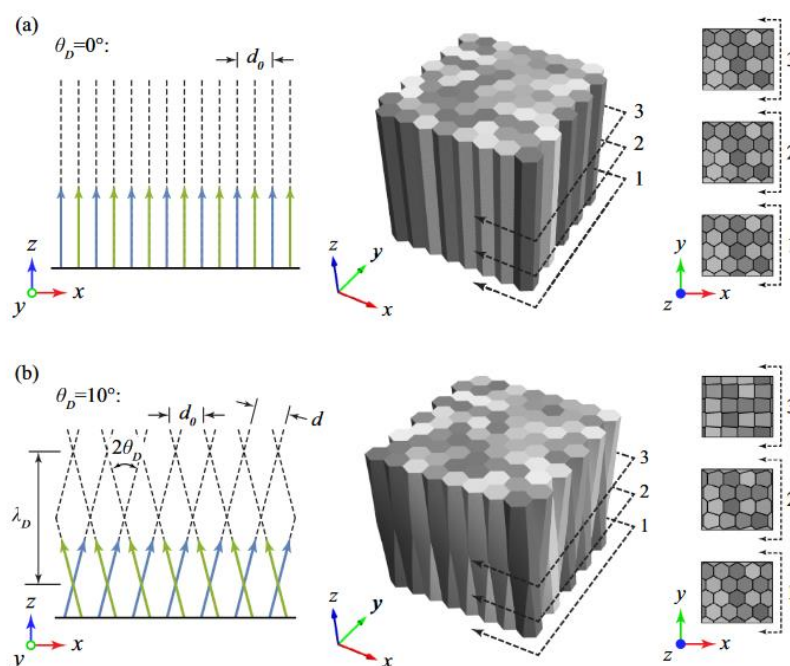
Magnezij je u enamelu uglavnom prisutan u obliku magnezijevog fosfata.¹⁻⁵ Magnezijev fosfat ima utjecaj na kvalitetu i anatomiju zuba. Magnezijevi ioni ključni su za reguliranje rasta kristala hidroksipatita. Oni inhibiraju kristalni rast hidroksipatita tako što zamjenjuju kalcijevе ione i određuju fizikalnu 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 amornog 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}.

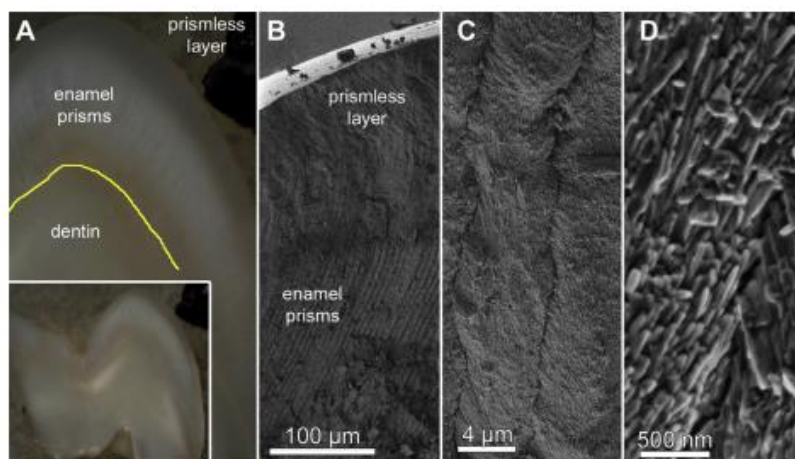
Periodično zadebljanje linija na štapićima enamela koje su vidljive na svakih 4-8 μm zove se poprečna ispruganost. Udaljenost između tih linija odgovara dnevnom prirastu enamela i varira u rasponu od 4-8 μm do 150 μm .² Lokacija tih linija prikazuje periodično smanjenje u

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 zrelom 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.

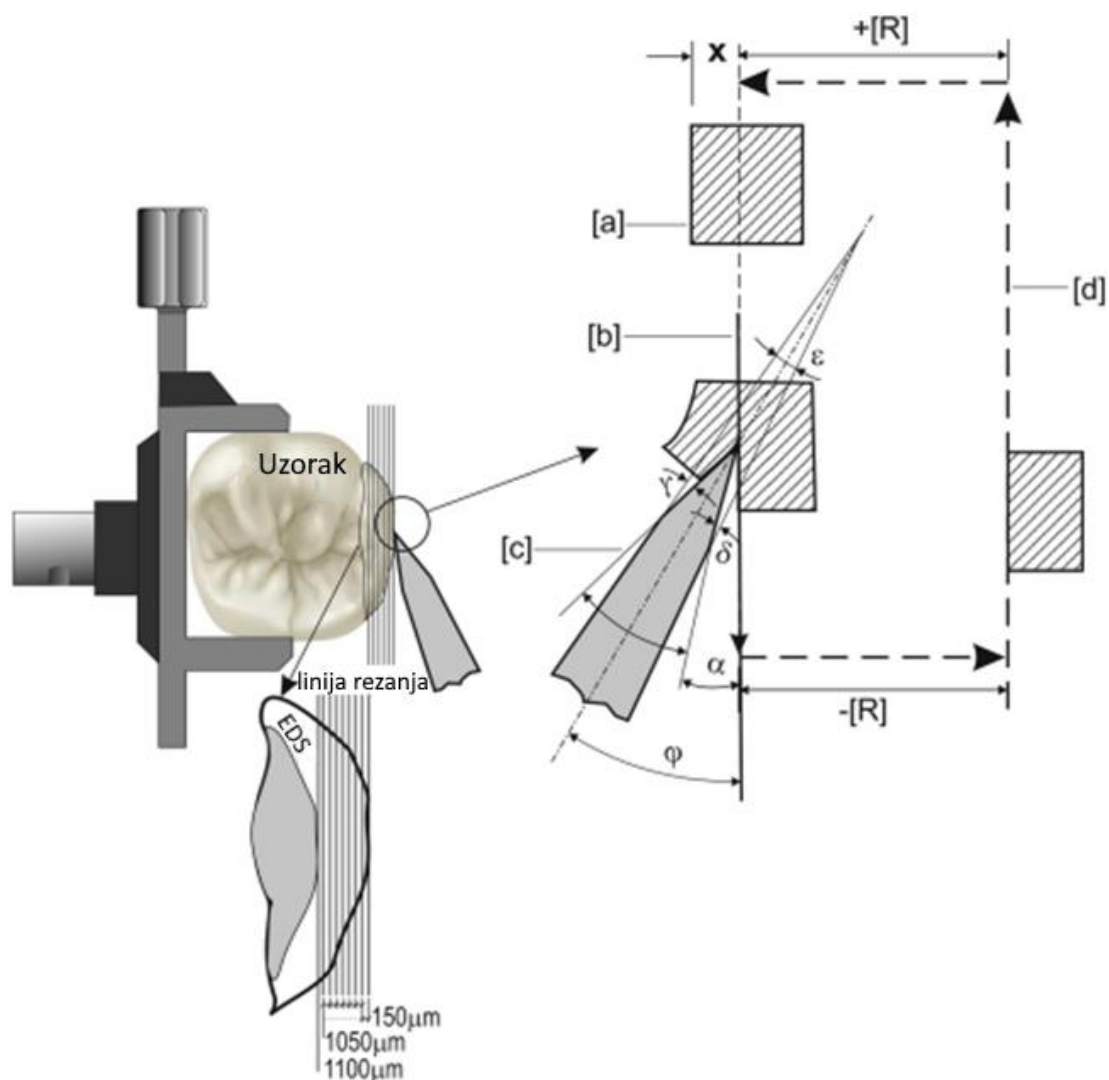


Slika 6. Prikaz presjeka zuba s označenim mikrostrukturnim slojevima (A). SEM prikazi vanjskog sloja enamela (B i C), te hidroksipatita u sastavu prizmi (D), preuzeto iz izvora 2.

2.2. Analiza zubne cakline

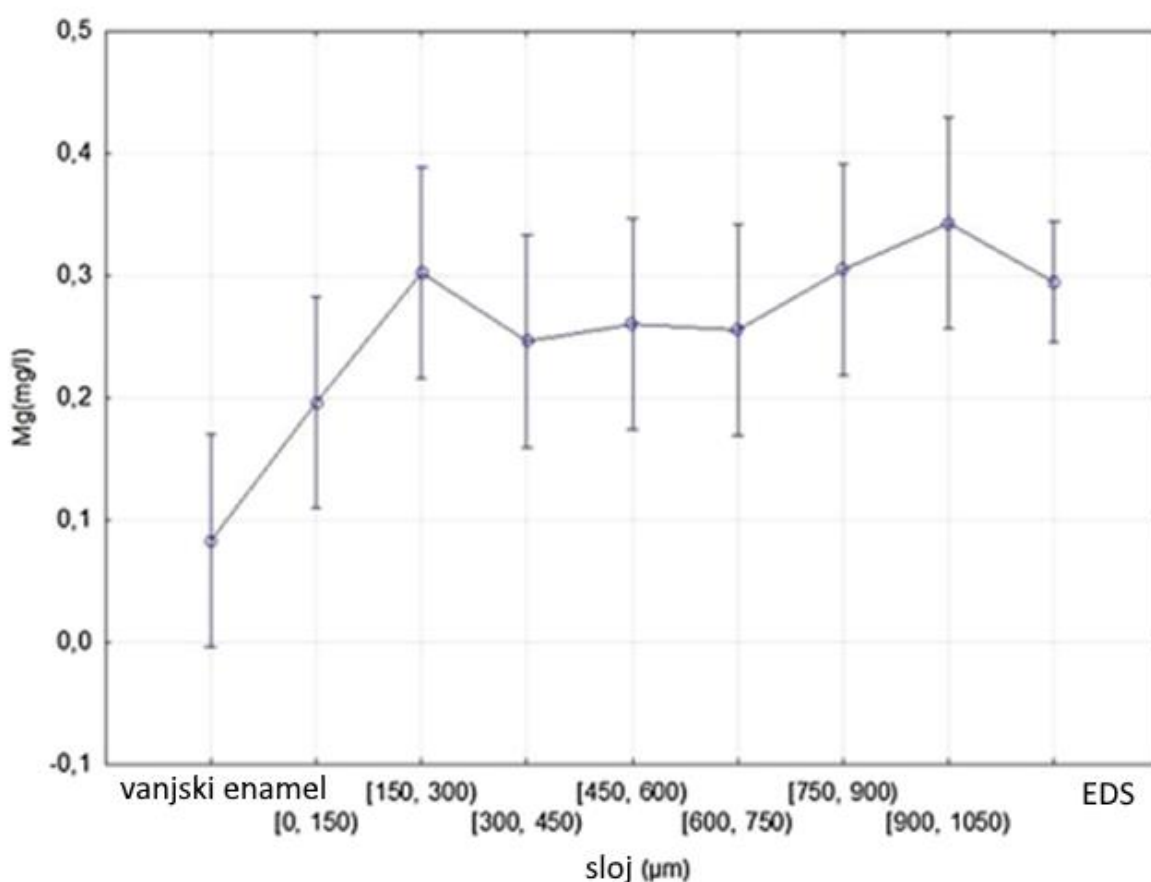
2.2.1. Određivanje koncentracije magnezija u ovisnosti o dubini sloja enamela

Tijekom ispitivanja udjela kalcija i magnezija u pojedinim slojevima enamela, uzorci su izrezani na slojeve debljine $150\ \mu\text{m}$ (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 $150\ \mu\text{m}$ potrebnih za analizu koncentracija magnezija i kalcija, preuzeto i obrađeno iz izvora 8.

Koncentracije kalcija i magnezija određene 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*

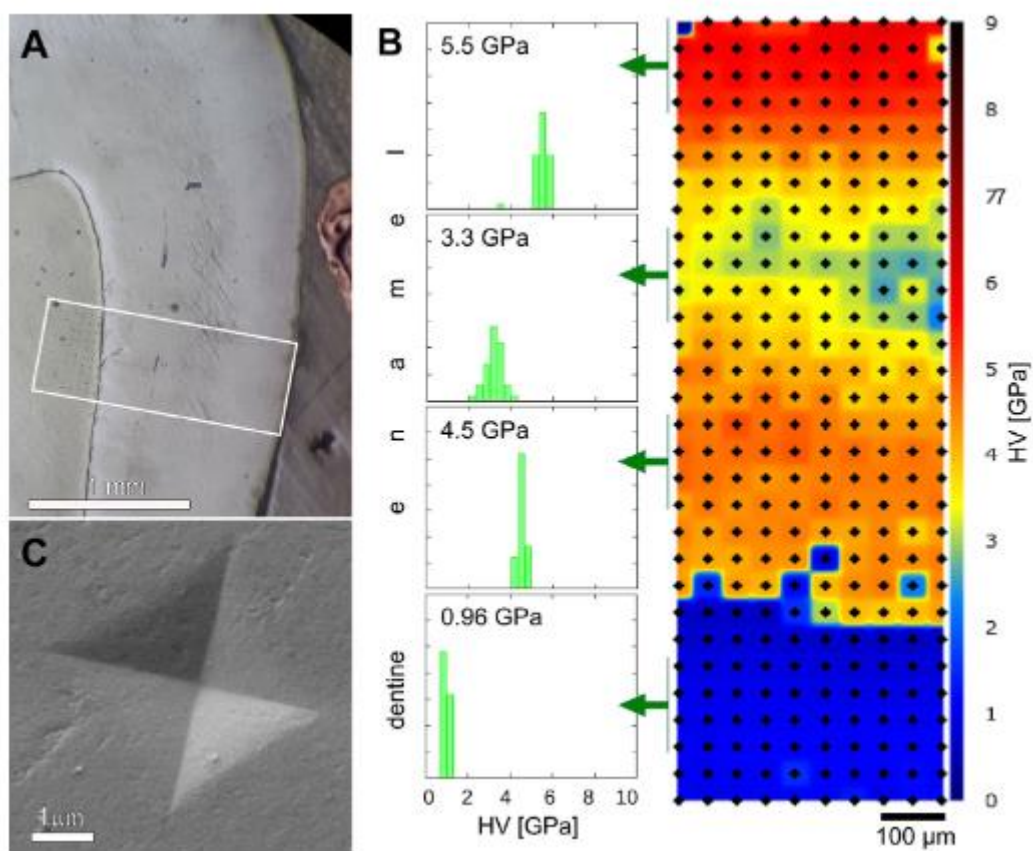
Istraživanjem je otkriveno kako se koncentracija magnezija povećava s povećanjem koncentracije kalcija⁸, iz čega se moglo zaključiti kako koncentracije tih dvaju elemenata direktno utječu jedna na drugu. Ipak, u vanjskim slojevima enamelata ta međuovisnost je manja, što se objašnjava ionskom izmjenom između enamelata 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 zubni pupoljci 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 pupoljcima 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 enamelata. Količina magnezija smanjuje se s mineralizacijom, što je uzrok smanjenju koncentracije magnezija s udaljavanjem od dentin-enamel spojnice.

2.2.3. *Testovi čvrstoće mikrostruktura s povećanom koncentracijom magnezija*

Testovi nanoudubljenja izvedeni su na poprečnom presjeku primarnog enamelata kako bi se mapirala mehanička svojstva enamelata 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 hidroksiapatita. Sitniji kristali stvaraju tanji površinski sloj, a time i veću čvrstoću 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 enamela i dentina označena Vickersovim vrijednostima čvrstoće (B) i veličina nanoudubljenja (C), preuzeto iz izvora 2.

2.3. Važnost magnezija u sastavu enamela

2.3.1. Testovi čvrstoće mikrostruktura s povećanom koncentracijom magnezija

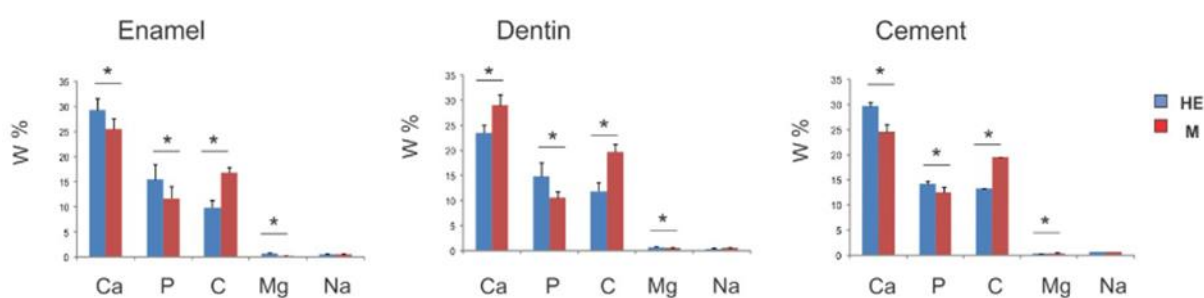
Nedostatak magnezija u organizmu za posljedicu ima oštećenja zuba, kosti i mekog tkiva. Otkriveno je kako su štakori, koji su patili od nedostatka magnezija, nakon 10 tjedana izgubili kutnjake i sjekutiće¹. Veća lomljivost zuba i klimavost su također posljedice nedostatka magnezija. Pronađene su brazde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