

# Keramički materijali

---

Mehulić, Ketij

**Educational content / Obrazovni sadržaj**

*Publication status / Verzija rada:* **Accepted version / Završna verzija rukopisa prihvaćena za objavljivanje (postprint)**

*Publication year / Godina izdavanja:* **2015**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:641197>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-08**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb School of Dental Medicine  
Repository](#)



# KERAMIČKI MATERIJALI

Prof. dr. sc. Ketij Mehulić

Zavod za fiksnu protetiku

Stomatološki fakultet

Sveučilište u Zagrebu

## Definicija

Keramički materijali su:

- Anorganski materijali sastavljeni od metalnih i nemetalnih elemenata povezanih ionskom i/ili kovalentnom vezom.
- Keramika je proizvod dobiven pečenjem sastojina na visokoj temperaturi
- Izraz “porculan” referira u grupu keramičkih materijala koji se sastoje od glinenaca, kvarca i kaolina i peče se na visokoj temperaturi

## Povijesni prikaz

- Izraz keramikos (grč.) znači izrađen, pečen od gline.
- Upotreba:
  - stare kulture za predmete uporabne i ukrasne namjene
  - prije 2 500 godina koristi se kao materijal za zubne nadoknade
  - Fonzi 1808. peče porculanske zube
  - jacket krunice krajem 19. st.
    - (napečenje glinične keramike na platinsku foliju)
  - Weistainov patent (1963.) uvodi tehnologiju metal – keramika u dentalnu medicinu
  - Sedamdesetih godina prošlog stoljeća uvode se potpune keramike: aluminij- oksidna keramika; - staklokeramika; - cirkonij- oksidna keramika

### **Zahtjevi za primjenu keramičkih materijala u dentalnoj medicini:**

- imitirati prirodna zubna tkiva
- imati što nižu temperaturu pečenja
- imati ujednačen koeficijent termičke istežljivosti (KTI) osnovnog materijala s KTI obložnog metala i keramike u metal-keramičkim sustavima jezgrenog i obložnog materijala u potpuno- keramičkim sustavima
- Otporni u vlažnom mediju
- Triboloških vrijednosti koji odgovaraju tvrdim zubnim tkivima

### **Sastav keramičkih materijala**

Sastoje se od:

- Metala: Al, Ca, Li, Mg, K, Na, Sn, Ti, Zr
- Nemetala: Si, B, F, O
- Keramičke materijale formiraju:
  - jednovrsni atomi; C- grafit/dijamanti/ili Si)
  - Anorganski spojevi (raznovrsni atomi; SiO<sub>2</sub> i/ili Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

### **Sastav zubne keramike**

- Dvije faze:        -staklo  
                          -kristali

- Količina i vrsta kristala određuju mehanička i optička svojstva
- Povećavajući količinu stakla otpornost na lom je manja, ali se povećava translucencija

### ■ **Kriteriji podjele keramičkih materijala**

prema:

- *Namjeni*; za izradu jezgre, ruba krunice, dentinska i incizalna keramika, glazure, posebne učinke
- *Indikacijama*; za prednje i stražnje krunice, ljuske i onlay- e, mostove,
- *Sastavu*; ojačanje s aluminijevim oksidom, cirkonijevim oksidom, silikatno staklo, leucitna i litijdisilikatna staklokeramika, (Slika 1.)
- *Tehnikama izradbe*; sinteriranje, djelomično sinteriranje i infiltracija, toplo- tlačni postupak, strojna izrada keramičkog nadomjeska,
- *Mikrostrukтури*; staklo, kristali, staklo s kristalima
- *Translucenciji*
- *Abrazivnosti*
- *Otpornosti na lom*

### **Općenita podjela keramičkih materijala:**

- Tradicionalne
- Inženjerske
- Elektrotehničke

- Biomedicinske

### **Biomedicinske keramike**

1. Konvencionalni zubni porculan je  
keramizirano staklo na osnovi  $\text{SiO}_2$  i mreže kalijeve i/ili natrijeve glinice
2. Moderne keramike su strukturirane polikristalinične građe s malo ili bez staklene amorfne faze. Mogu se sastojati od
  - jedne, elementarne komponente - jednofazne
  - više komponenti - višefazne smjese

### **KRITERIJI PODJELE ZUBNE KERAMIKE**

- Temperaturi pečenja
- Indikacijama
- Tehnikama izrade
- Strukturi
- Svojevima
  - mehaničkim
  - optičkim

### **Podjela prema**

#### **temperaturi pečenja**

- 1315-1370°C
- 1090-1260°C
- 870-1065°C

- Ova podjela nastala je u 1940-tim godinama i zasniva se na trokomponentnom sastavu, uvjetovana je težinskim udjelom pojedinih sastavnica
- Temperatura pečenja se modificira dodatkom borovih oksida ili alkalnih karbonata
- Važno zbog jednostavnijeg usklađenja KTI legure i keramike (niže temp.)
- Keramike pečenja na višoj temperaturi su boljih mehaničkih i optičkih svojstava i postojanije tijekom opetovanih pečenja

### **Podjela prema namjeni**

- Keramika za napečenje na osnovnu konstrukciju - obložna keramika
- Keramika za izradu osnovne konstrukcije - potpuna keramika
- Keramika za izradu zubi u mobilnoj protezi

### **Podjela keramika**

#### **prema sastavu**

- Silikatna keramika (amorfna staklena matrica, porozne strukture, glavna sastavnica  $\text{SiO}_2$  uz  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ) (keramizirano staklo)
- Oksidna keramika (glavna kristalinična faza,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  s malo ili bez staklene matrice)
- Neoksidna keramika (ne koristi se u stomatologiji, visoka temperatura pečenja, zahtjevna izrada, neestetska, mutna)
- Staklokeramika

## Silikatna keramika

- Najstarija vrsta keramike,
  - Glavne sirovine:
    - glina i kaolin
    - glinenci
    - kvarc
  
- Sadrži visoki udio staklene faze (> 20 %) glavni sastojak  $\text{SiO}_2$  (silicijev tetraedar)
  
- Silikatne keramike tvore silikatne grupe povezane preko zajedničkih O atoma u jedno., dvo., ili trodimenzijske strukture (Slika 2.)
  
- Umrežavanjem tvori se makromolekula empirijske formule  $(\text{SiO}_2)_n$
  
- Silikatne grupe često se vezuju s ionima metala
  
  
- Silikatne keramike se dijele na: glinične i staklokeramike

## Glinična keramika

- Upotreba:
  - obložni materijal
  - izrada osnovne konstrukcije

## Sastav

**Glinenci:** Udio u cjelokupnom sastavu : 75-85 %

- Nalazište: - vulkanske stijene  
- kristalni škriljci
- Kristali: - boje od bijele do ružičaste i zelene  
- tvrdoće 6 po Mosu

Uklanja se postepeno mulit i slobodni kvarc, dodaju alkalni oksidi kao modifikatori stakla čime se dobiva na prozirnosti. Dodatkom  $K_2O$  aluminosilikatnom staklu dobivena keramika s leucitima. Time se poboljšavaju svojstva (čvrstoća, postojanost, kontrola KTI) (Slika 3.)

- **Kvarc:** Udio u cjelokupnom sastavu 12-22 %

- Po kemijskom sastavu: Alotropna modifikacija silicijevog dioksida

- Kristali: - različitih veličina  
- tvrdoća 8 po Mosu

- **Kaolin:** Udio u cjelokupnom sastavu 3-4 %

- Po kemijskom sastavu najčistiji oblik gline- hidratizirani aluminijev silikat  
- nastaje atmosferskim utjecajem na glinu

- Nalazište: spojen s oksidima željeza, pijeskom i dr.

- U keramičku se smjesu zbog boje dodaju oksidi i pigmenti te radi lakšeg modeliranja organske tvari.

#### **Oksidi:**

- Titanov - žutosmeđa boja
- Kobaltni - plava
- Željezni i niklov - smeđa



- Manganov - ljubičasta
  - Bakreni i kromov - zelena
  - Kositreni i cirkonijevi - opacitet
  - Uranov oksid, cerij i samarij - fluorescencija
- **Pigmenti 1%**
  - **Organske tvari**  
(deksrin, škrob, šećer) osiguravaju plastičnost tijekom modeliranja (Slika 4.).

**Tijek napečenja keramike na osnovnu konstrukciju obuhvaća sljedeće faze:**

- Nanošenje i kondenzacija
- Sušenje
- Pečenje/sinteriranje
- Glaziranje
- Hlađenje

**Staklokeramika**

- Nastaje: kontroliranom kristalizacijom stakla  
Kombiniranjem različitih stakala s pogodnim dodacima pri odgovarajućim toplotnim postupcima (Slika 5.).

Dentalna staklokeramika je po svom sastavu aluminosilikatno staklo koje može biti obogaćeno:

leucitima - (IPS Empress)

LiO<sub>2</sub> – (IPS Empress 2, e-max)

## Oksidne keramike

- Definicija: materijal koji se uglavnom sastoji od jednokomponentnih metalnih oksida (>90 %) (aluminij- oksidna, cirkonij- oksidna)
- Višekomponentni sustav:  
sadrži dodatak (Al titanat) ili  
kompozitne keramike  
(aluminij-oksidna ojačana cirkonijevim oksidom)
- Vrlo stabilna struktura
- Dobivanje: sintetičkim putem
- Visoki stupanj čistoće
- Udio staklene faze iznimno nizak ili ga nema
- Ujednačena mikrostruktura – dobra mehanička svojstva (Slika 6.)
  
- Potpuno neprozirne ili imaju nisku razinu prosvjetljenja  
Oblažu se najčešće silikatnom keramikom



Najnovije keramike su monolitne. Potrebno ih je glazirati ili češće polirati

## Podjela potpunih keramika prema načinu izrade i vrsti kristala

- Strojne
  - glinične s kristalima leucita
  - kristalima tinjca
  - staklokeramike s litijevim disilikatima
  - alumiji- oksidne s magnezijevim spinelima
  - aluminij- oksidne s cirkonijevim oksidom
  - aluminij - oksidne
  - cirkonij - oksidne

- Slip cast/infiltracijske
  - aluminij - oksidne
  - aluminij- oksidne obogaćene spinelom
  - aluminij- oksidne obogaćene cirkonijevim oksidom
- Toplo-tlačne
  - ojačane leucitima
  - litijevim disilikatima
- Sinterirane
  - ojačane aluminijevim oksidom
  - ojačane leucitima

## **Keramički procesi**

- Priprema sirovine se provodi kroz postupke: oblikovanje-sušenje-pečenje
- Postupci obrade prije pečenja obuhvaćaju:
  - **postupci sinteze keramičkih praškova**
  - priprema i raspodjela čestica (određuju svojstva)
  - **postupci oblikovanja** (lijevanje, prešanje, istiskanje) – slaganje čestica
  - postupci sušenja**
- Keramički procesi tijekom pečenja:
  - toplinska obrada, zagrijavanje i žarenje materijala tijekom određenog vremena i određenog protokola promjene temperature niže od temperature topljenja polaznog praška
  - = denzifikacija
 (zgusnuti skup finih čestica praha se transformira u čvrsto neporozno tijelo)
 

Tijekom postupka se:

  - eliminiraju pore – gradivo kontrahira – povećava se čvrstoća

## Osnovni postupci denzifikacije

- - sinteriranje u čvrstoj fazi
- - sinteriranje u prisustvu tekuće faze, vitrifikacija
- - sinteriranje pod tlakom, toplo prešanje

## Sinteriranje

■ Postupak pečenja keramike na temperaturi ispod temperature taljenja glavne faze, kako bi se postigla veća gustoća čestica i čvršći materijal. Postiže se učincima svezivanja, difuzije i fenomena tečenja. Provodi se u vakuumu čime se smanjuje količinu pora. Povećava se translucencija. Smanjuje površinska hrapavost. Povećava čvrstoća.

- Alternativni postupak koristi načela difuzije (Heli). Helij biva zarobljen u intersticijskim prostorima, a kako je promjer molekule manji od keramičke slagaline, pod tlakom difundira prema van.

## Fizičke promjene tijekom sinteriranja

- - promjene oblika i pora u materijalu
- - procesi primarne kristalizacije
- - rast zrna
- - procesi sekundarne kristalizacije

## Svojstva zubne keramike

- Ovisi o: -sastavu
  - mikrostrukтури
  - tijeku izrade i obrade nadomjeska (nastanku i širenju napuklina)
  
- Kako ne bi došlo do naprezanja oko kristala koeficijent termičke istezljivosti (KTI) staklene matrice treba biti jednak KTI kristala.
  
- Dobra svojstva keramike su:
  - velika čvrstoća i tvrdoća
  - otpornost na koroziju
  - mali KTI
  - mala gustoća
  - specifične optičke i elektromagnetne značajke
  
- Loša svojstva keramike su:
  - mala čvrstoća na udar
  - krhkost
  - mala otpornost na savijanje i istezanje
  - mala žilavost
  - mala otpornost na progresivan rast mikropukotina

Svojstvo krhkosti znači da na opterećenje reagira lomom, a ne deformacijom.

(Staklo nema pravilnu kristaliničnu strukturu s toga nema dislokacije kristala i nema žilavosti.) Kemijske veze među atomima su ionske i/ili kovalentne (Slika 7.).

### **Keramika je krhki materijal**

što znači da:

- dobro podnosi tlačna
  
- slabo podnosi vlačna i smična naprezanja

### **Na trošenje krhkih materijala**

utječu:

- - mikrostrukturalni čimbenici;
  - veličina, raspored, broj i mikrotvrdoća kristala
  - prisustvo pora
- - izrazito visoki ili niski pH
  - oslabljuje i dovodi do pucanja Si-O-Si veza u staklenom matriksu
- - oblik, veličina i hrapavost dodirnih površina
- - koeficijent trenja dodirnih ploha
  - uvjeti u dodiru,
- - sila koja je prisutna tijekom dodira,
- - brzina pokreta dodirnih površina
- -nedostaci tijekom laboratorijskog tijeka poput;
  - velikog zrna, nepravilnog rasporeda kristala, napuklina, poroziteta - mijenjaju mikrostrukturnu sliku i svojstva
- - nepravilna ili nedostatna završna obrada nadomjeska

### **Kontrakciju keramičkog materijala definira:**

- Veličina zrna praška
- Kondenzacija
  - postupak zbijanja zrna praška
- Mehanizmi:

- postupak vezivanja samo površinskih slojeva zrna - piroplastični tijek
- isparavanje i kondenzacija tekućine
- difuzija

### **Mikrostrukturne greške keramike:**

Nastaju zbog kaotičnosti kristalne strukture i to su:

- napukline
- pore
- uključci
- krupna zrna

**Velika naprezanja nastaju uslijed** termičkog šoka zbog naglog hlađenja objekta.

U ustima naprezanje nastaje zbog opetovanog opterećenje (funkcija i parafunkcije) uz prisustvo vlažnog medija koji izaziva hidrolizu površine nadomjeska putem fenomena “sporog širenja napuklina” (napetosna korozija).

Keramički nadomjestak je podvrgnut nizu opterećenja:

- nesavršenostima u strukturi
- dinamičkim naprezanjima uslijed funkcije i
- utjecaju vodenog, korozivnog medija

### **Optička svojstva zubne keramike**

- zasnivaju se na prisustvu dviju faza:
  - - kristalne i osnovnog matriksa
  - - loma zraka svjetlosti o dvije podloge
- Opacitet (mutnoća)
  - veći dio upadnih zraka svjetlosti se ne propušta već reflektira

- Translucencija ovisi o raspršivanju svjetlosti
  
- Količina svjetlosti koja se apsorbira, reflektira ili prenese ovisi o:
  - odnosu između količine kristala u staklenom matriksu
  - njihovom sastavu
  - veličini čestica
  - upadnoj valnoj dužini
  
- Manji sadržaj kristala i indeks refrakcije sličniji matriksu uzrokuje manje raspršenje svjetlosti

#### **Kvaliteta keramike ovisi o:**

- Sastavnicama  
(samo čiste sastavnice dat će određenu estetiku, žilavost, kemijsku stabilnost i translucenciju)
  
- Korektnom odnosu sastavnica
  
- Korektno provedenom postupku pečenja

#### Literatura

- Shillingburg HT. Fundamentals of Fixed Prosthodontics. 3rd ed. Chicago: Quintessence



Publishing;1997.

- Rosenstiel, Land, Fujimoto. Contemporary Fixed prosthodontics. 3rd ed. St. Louis: Mosby Inc;1995.
- Duarte S. Quintessence of Dental Technology 2010. Chicago: Quintessence Publishing Co. 2010.
- Mehulic K. Keramički materijali u stomatološkoj protetici. Zagreb: Školska knjiga d.o.o; .2010.
- Jerolimov V., editor. Osnove stomatoloških materijala [monograph on the Internet]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet; 2005. Available from: [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/Osnove\\_stomatoloških\\_materijala.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/Osnove_stomatoloških_materijala.pdf)
- Anusavice KJ. Phillips Science of Dental Materials. St. Louis: Saunders Elsevier Science; 2003.