

# Suvremeni restaurativni materijali temeljeni na staklenim ionomerima

---

**Mitrović, Barbara**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Dental Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:432976>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-10**



*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu  
Stomatološki fakultet

Barbara Mitrović

**SUVREMENI RESTAURATIVNI  
MATERIJALI TEMELJENI NA  
STAKLENOIONOMERNIM CEMENTIMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Rad je ostvaren na Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Mentor rada: doc. dr. sc. Ana Ivanišević, Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Marija Miloš, mag. educ. philol. croat. et phil.

Lektor engleskog jezika: dr. sc. Irena Horvatić Bilić

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Datum obrane rada: \_\_\_\_\_

Rad sadrži: 31 stranicu

1 tablicu

8 slika

1 CD

Rad je vlastito autorsko djelo koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

## **Zahvala**

Zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Ani Ivanišević na uloženom trudu, potpori i susretljivosti tijekom izrade ovog diplomskog rada i tijekom studija.

Hvala prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali studij.

Posebno zahvaljujem obitelji koja je u mene vjerovala tijekom cijelog studija te Tadeju i Ireni na pruženoj ljubavi i pomoći.

# SUVREMENI RESTAURATIVNI MATERIJALI TEMELJENI NA STAKLENOIONOMERNIM CEMENTIMA

## Sažetak

Cilj je ovog rada opisati sastav, svojstva i kliničku primjenu suvremenih restaurativnih materijala razvijenih na temelju konvencionalnih staklenoionomernih cemenata (K SIC). Najvažnije pozitivne značajke K SIC-a su adhezija za tvrda zubna tkiva, biokompatibilnost i karijes-protektivno djelovanje, dok se najznačajniji nedostatak K SIC-a odnosi na inferiorna mehanička svojstva u odnosu na kompozitne smole. Poboljšana svojstva postižu se kroz modifikacije u sastavu tekućine, sastavu praha, omjeru praha i tekućine, veličini i distribuciji čestica praha, odnosno fluoroaluminosilikatnog (FAS) stakla te primjenom mikrolaminirane tehnike kroz nanošenje svjetlosnopolimerizirajućeg premaza punjenog nanočesticama. Materijali nastali kao rezultat nabrojanih modifikacija su smolom modificirani SIC-i, carbomeri, visokoviskozni i staklo-hibridni materijali. Poboljšana mehanička i estetska svojstva dovela su do proširenja indikacija za primjenu ovih materijala kao privremenih ispuna, ispuna u mliječnoj denticiji te, u određenim okolnostima, dugotrajnih ispuna u trajnoj denticiji. Unatoč mnogim pozitivnim svojstvima, SIC-evi još uvijek imaju određene nedostatke od kojih najveći izazov za daljnja istraživanja predstavljaju njihova lošija mehanička svojstva i slabija kvaliteta poliranja u odnosu na kompozitne materijale. Trenutni stupanj razvoja suvremenih restaurativnih materijala temeljenih na SIC-ima ostavlja prostor za daljnji napredak.

**Ključne riječi:** restaurativni materijali, staklenoionomerni cementi, modifikacije SIC-a, mehanička svojstva, biokompatibilnost

# CONTEMPORARY RESTORATIVE MATERIALS BASED ON GLASS IONOMER CEMENTS

## Summary

The aim of this paper is to describe the composition, properties and clinical application of modern restorative materials developed on the basis of conventional glass ionomer cements (C GIC). The most significant positive features of C GIC are adhesion to the surface of the tooth, biocompatibility, caries-protective effect, whereas key disadvantage includes inferior mechanical properties compared to composite resins. Improved properties have been achieved through modifications in liquid composition, powder composition, powder-liquid ratio, powder particle size and distribution, that is fluoro-alumino-silicate (FAS) glass, and through laminated technique of applying a light-curing coating filled with nanoparticles. The materials produced as a result of the listed modifications are resin-modified GICs, carbomers, high-viscosity and glass-hybrid materials. Improved mechanical and aesthetic properties have led to the expansion of indications for the application of those materials as temporary fillings, fillings in primary dentition and, under certain circumstances, as long-term fillings in secondary dentition. Despite many positive properties, GICs still have certain disadvantages, the biggest challenge for further research being their poor mechanical properties and weak polishing quality compared to composite materials. The current stage of development of modern restorative materials, based on GICs leaves room for further progress.

**Keywords:** restorative materials, glass-ionomer cements, GIC modifications, mechanical properties, biocompatibility

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJKE KONVENCIONALNOG STAKLENOIONOMERNOG CEMENTA .....	3
2.1. Stvrdnjavanje staklenoionomernog cementa i uloga vode.....	4
2.2. Fizikalna svojstva.....	5
2.3. Adhezija na tvrda zubna tkiva.....	6
2.4. Bioaktivnost i otpuštanje fluorida .....	7
3. MODIFIKACIJE KONVENCIONALNOG STAKLENOIONOMERNOG CEMENTA I NJIHOV UTJECAJ NA DINAMIKU STVRDNJAVANJA I SVOJSTVA MATERIJALA ...	9
3.1. Modifikacije u tekućini i utjecaj na dinamiku stvrdnjavanja i svojstva.....	10
3.1.1. Smolom modificirani staklenoionomerni cementi.....	11
3.2. Modifikacije u sastavu fluoroaluminosilikatnog stakla .....	13
3.2.1. Zamjena kalcija stroncijem .....	13
3.2.2. Dodatci mikro i nanočestica fluoroaluminosilikatnom prahu.....	13
3.2.2.1. Carbomeri .....	13
3.3. Modifikacije u omjeru praha i tekućine te veličini i distribuciji čestica.....	14
3.3.1. Visokoviskozni staklenoionomerni cementi .....	14
3.3.2. Visokoviskozni materijali i mikrolaminirana tehnika.....	16
3.3.3. Staklo-hibridni materijali .....	16
4. RASPRAVA .....	19
5. ZAKLJUČAK.....	23
6. LITERATURA .....	25
7. ŽIVOTOPIS.....	30

## **Popis skraćenica**

SIC – staklenoionomerni cement

K SIC – konvencionalni staklenoionomerni cement

HEMA – hidroksietil-metakrilat

SM SIC – smolom modificirani staklenoionomerni cement

ART – atraumatski restaurativni postupak (*engl. atraumatic restorative treatment*)

FAS – fluoroaluminosilikat

HAp – hidroksiapatit



## 1. UVOD

Staklenoionomerni cementi razvijeni su 1970. godine, a 1973. godine preporučuju se za uporabu u stomatologiji (1).

Konvencionalni SIC-evi dvokomponentni su sustavi koji se sastoje od praha i tekućine. Prah se sastoji od fluoroaluminosilikatnog stakla, a tekućina je 35 – 65% vodena otopina homopolimera poliakrilne kiseline ili kopolimera poliakrilne i maleinske ili poliakrilne i itakonske kiseline (2).

Miješanjem praha i tekućine ručno ili u miješalici (ako se radi o inkapsuliranom materijalu) pokreće se kemijska reakcija stvrdnjavanja, odnosno strukturiranja, u kojoj karboksilne skupine kiselina iz tekućine reagiraju s oksidima u česticama praha te u acidobaznoj reakciji nastaju poliakrilatne soli i voda (2).

Glavne prednosti SIC-eva su biokompatibilnost, adhezija tj. kemijsko svezivanje na caklinu i dentin u vlažnim uvjetima, vrijednosti koeficijenta toplinske ekspanzije i modula elastičnosti slične vrijednostima dentina, dobro brtvljenje rubne pukotine, niska toksičnost te kariostatsko djelovanje koje se postiže otpuštanjem fluorida (2,3). Unatoč nabrojanim prednostima, konvencionalni SIC materijali imaju određene nedostatke, a oni su: inferiornija mehanička svojstva (prvenstveno kompresivna i savojna čvrstoća te mikrotvrdoća) i slabija kvaliteta poliranja u odnosu na kompozitne materijale (4). Iz tog razloga konvencionalni SIC ne može podnijeti žvačne sile u lateralnom segmentu te se koristi kao materijal za privremene ispune. (5).

Zbog navedenih nedostataka, usporedo s kliničkom uporabom konvencionalnih SIC materijala, tekao je razvoj novih materijala sve do modificiranih suvremenih materijala temeljenih na SIC-ovima, a s ciljem postizanja veće bioaktivnosti te boljih mehaničkih i estetskih svojstava (3).

Svrha ovog rada je pregledno prikazati modifikacije konvencionalnih staklenoionomernih cemenata koje su u podlozi razvoja suvremenih restaurativnih materijala temeljenih na SIC-ima te opisati materijale i njihovu kliničku primjenu.

## **2. ZNAČAJKE KONVENCIONALNOG STAKLENOIONOMERNOG CEMENTA**

## 2.1. Stvrđnjavanje staklenoionomernog cementa i uloga vode

Početno stvrđnjavanje K SIC-a odvija se unutar nekoliko minuta od miješanja praha i tekućine gdje dolazi do složene acidobazne reakcije i izmjene iona između komponenti SIC-a. Nakon početnog stvrđnjavanja, SIC materijali prolaze svojevrsne promjene tjednima, čak mjesecima, a te se promjene označavaju skupnim pojmom maturacije (6).

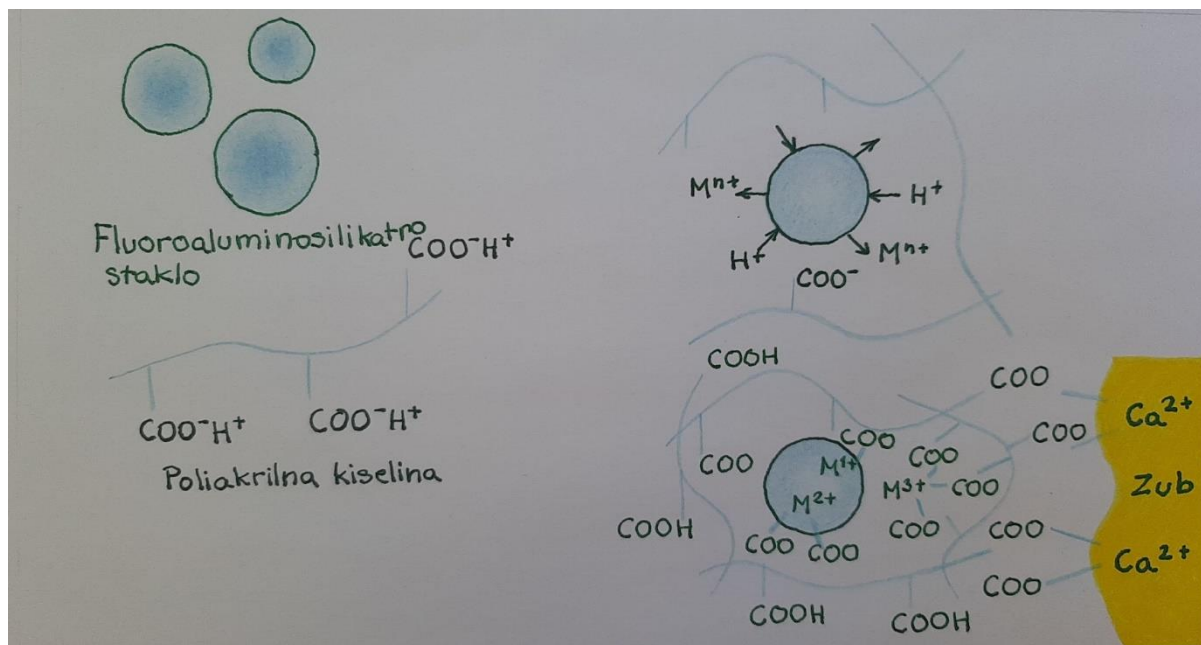
Početno stvrđnjavanje može se podijeliti u nekoliko faza. U prvoj fazi hidratizirani protoni (vodikovi ioni) iz poliakrilne kiseline djeluju na površinu staklenih čestica zbog čega dolazi do kretanja iona  $\text{Na}^+$  i  $\text{Ca}^{2+}$  (kasnije i  $\text{Al}^{3+}$ ) iz stakla u vodenu otopinu poliakrilne kiseline. Otpušteni pozitivni ioni iz čestica stakla reagiraju s disociranim karboksilnim skupinama poliakrilne kiseline te nastupa ionsko umrežavanje i stvaranje netopljivih polisoli (prvo kalcijeva poliakrilata, a kasnije i aluminijska poliakrilata), a voda je inkorporirana u cement (6).

Fluoridni ioni se također ispuštaju iz čestica stakla te ih mogu preuzeti okolne zubne strukture ili se mogu osloboditi iz matrice u slinu. Oni ne sudjeluju u stvaranju matrice stvrđnutog cementa koja se, kako smo naveli, sastoji od kalcijeva i aluminijska poliakrilata te ne utječu na fizikalna svojstva K SIC-a. Također, SIC nije oslabljen otpuštanjem fluoridnih iona (3). Otpuštanje fluorida iz SIC-a događa se tijekom acidobazne reakcije, kada je ono i najveće te se razina otpuštanja fluora nakon nekoliko dana, tzv. „*early burst effect*“, postupno smanjuje.

Proces maturacije tj. sazrijevanja odvija se polagano nakon opisanog početnog stvrđnjavanja tijekom 24 sata pa do više mjeseci. Dolazi do promjena u fizikalnim svojstvima K SIC-a, povećavaju se čvrstoća i poboljšava se translucencija materijala, a opacitet se smanjuje (6).

Jedna od osnovnih komponenti staklenoionomernih materijala jest voda te se može podijeliti na slabo vezanu vodu koja se lako odstrani i čvrsto vezanu vodu koja je bitna tijekom procesa stvrđnjavanja. Voda služi kao otapalo za reakciju, omogućuje otpuštanje fluoridnih iona te je zaslužna za plastičnost materijala (7). To SIC-eve čini hidrofilnim materijalima odnosno materijalima na bazi vode. U početnim fazama stvrđnjavanja voda je ugrađena u strukturu cementa, dok nakon stvrđnjavanja može doći do gubitka vode što rezultira dehidracijom, mikroskopskim pukotinama i kredastim izgledom. Kako bi se spriječio gubitak vode potrebno je površinu cementa zaštititi voodopornim lakovima ili vazelinom. Novopostavljeni cement

mora biti zaštićen od sline nekoliko sati od postavljanja te je preporuka da se završno poliranje staklenoionomernih restauracija odgodi za 24 h nakon postavljanja kako bi se završila početna faza maturacije materijala (3, 8).



Slika 1. Reakcija stvrdnjavanja K SIC.

## 2.2. Fizikalna svojstva

Fizikalna svojstva SIC-a ovise o tome kako je sam cement pripremljen (miješan ručno ili u miješalici), o omjeru praha i tekućine, koncentraciji polikiseline, veličini i distribuciji staklenih čestica. Omjer praha i tekućine razlikuje se ovisno o kliničkoj primjeni, a kako bi se smanjila mogućnost pogreške kod određivanja omjera pojedinih komponenti cementa, preporučuje se korištenje inkapsuliranih materijala. Sastav praha određuje čvrstoću, tvrdoću i otpuštanje fluoridnih iona, dok je tekućina odgovorna za adheziju i biokompatibilnost SIC-a (9).

Međunarodna organizacija za standardizaciju (*ISO – the International Organization for Standardization*) 2007. godine donijela je odluku kojom su određene minimalne vrijednosti fizikalnih svojstava koje materijal mora imati kako bi mogao biti pušten na tržište (10,11).

Tablica 1. ISO odredba za fizikalna svojstva SIC-a (10, 11).

Svojstvo	Restaurativni SIC
Vrijeme stvrdnjavanja (min-max)/minuta	1,5-6
Tlačna čvrstoća/MPa	100
Erozija uzrokovana kiselinom (max)/mm h <sup>-1</sup>	0.17
Opacitet $C_{0,70}$	0,35-0,90
Količina olova topivog u kiselini/mg kg <sup>-1</sup>	100

### 2.3. Adhezija na tvrda zubna tkiva

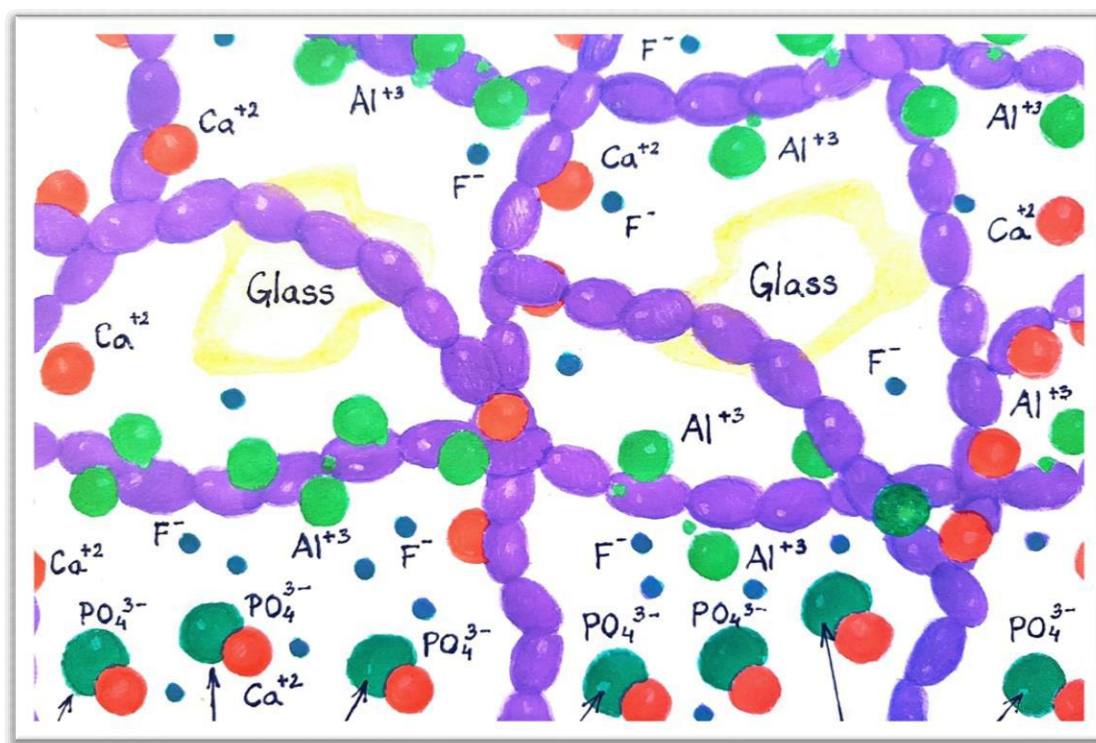
Prednost SIC-eva, a ujedno i glavna razlika u odnosu na kompozitne materijale, je njihova mogućnost stvaranja kemijske adhezije na tvrda zubna tkiva koja je temeljena na difuziji i apsorpciji iona na mjestu dodira cementa i zuba. To ih čini bioaktivnim materijalima (12).

Do adhezije dolazi zbog stvaranja vodikovih veza između karboksilnih skupina SIC-a i vode na površini zuba. Prave ionske veze koje nastaju između kationa zuba i aniona cementa polako zamjenjuju spomenute vodikove veze. Time je omogućeno stvaranje sloja izmjene iona između površine zuba i cementa (13).

Kako bi se omogućila što bolja veza SIC-a s tvrdim zubnim tkivima potrebno je površinu tvrdih zubnih tkiva kondicionirati. Kondicionira se pomoću 10-20% poliakrilne kiseline tijekom 10-20 sekundi te se zatim ispere (14).

Time se uklanja zaostatni sloj, djelomično se demineralizira površina zuba i nema nepotrebnog otvaranja dentinskih kanalića u kojima ostaje zaostatni čep što smanjuje rizik za pretjerano isušivanje dentina i postoperativnu preosjetljivost. Uklanjanje zaostatnog sloja omogućuje kvalitetniju vezu s tvrdim zubnim tkivom (15).

Mehanizam adhezije je vrlo bitan jer doprinosi retenciji SIC-a za površinu zuba te također smanjuje pojavu mikropropuštanja (16).



Slika 2. Adhezija izmjenom iona.

#### 2.4. Bioaktivnost i otpuštanje fluorida

Jedno od svojstava koje čini SIC-eve posebnim materijalima je njihova bioaktivnost i sposobnost da otpuštaju aktivne ione kao što su fluoridi, fosfati, silikatni, aluminijevi, natrijevi i kalcijevi ioni u okolne vodene medije te da ostvaruju adheziju na temelju ionske izmjene. Ti ioni sudjeluju u remineralizaciji demineraliziranog zubnog tkiva te je povećano njihovo otpuštanje pri kiselim uvjetima (17).

Izmjena iona odvija se u slini koja je bogata fosfatima i kalcijevim ionima. SIC preuzima ione iz sline te dolazi do povećanja tvrdoće površine samog cementa koja je otpornija na kisele uvjete (18).

SIC služi kao sporootpuštajući spremnik fluorida i kontinuirano ga otpušta. Najveće otpuštanje vidljivo je tijekom prvih par dana (već spomenuti early burst effect) te se zatim smanjuje i stabilizira s vremenom sve dok se, teoretski, fluor iz materijala ne iscrpi. Potpuno iscrpljivanje rijetko se događa jer SIC može preuzeti i fluoride iz zubnih pasti koje sadrže fluor ili iz drugih proizvoda za fluoridaciju / remineralizaciju (tzv. recharging) (19).

Fluoridni ioni imaju zaštitni učinak kroz antibakterijsko i kariostatsko djelovanje. Kada dođe do stvaranja karijesnih lezija i porasta kiselih uvjeta, otpuštanje fluorida se povećava. Tvrdna zubna tkiva ih tada preuzimaju i upotrebljavaju za poticanje remineralizacije te usporavanje i zaustavljanje demineralizacije. Također, fluoridni ioni inhibiraju rast bakterijske populacije utječući na metabolizam bakterija (npr. inhibiraju enolazu, važan enzim u glikolizi, te smanjuju toleranciju bakterija na kiseli medij) (20).



**3. MODIFIKACIJE KONVENCIONALNOG STAKLENOIONOMERNOG  
CEMENTA I NJIHOV UTJECAJ NA DINAMIKU STVRDNJAVANJA I  
SVOJSTVA MATERIJALA**

S ciljem poboljšanja relativno lošijih mehaničkih i estetskih svojstava, SIC materijali su od Wilsonova i Kentova otkrića prije 50-ak godina modificirani na razini sastava tekuće komponente i praha, na razini omjera dvaju komponenti (eng. *powder/liquid ratio*), na razini veličina i distribucije čestica te na primjeni izolirajućih premaza - od vazelina do svjetlosno polimerizirajućeg premaza punjenog nanočesticama (20,21). Zbog visokog omjera praha i tekućine i smanjene veličine čestica praha, viskoviskozni materijali pokazali su bolja mehanička svojstva od konvencionalnih SIC-eva (22). Te su promjene u sastavu i promjene u omjerima komponenti utjecale na način stvrdnjavanja (kemijsko ili svjetlosno) i dinamiku stvrdnjavanja, brojnost i snagu sveza među komponentama cementa, otpuštanje fluorida, ulogu vode i osjetljivost na vodu u ranoj fazi stvrdnjavanja, a sve se to u konačnici odražavalo na mehanička i estetska svojstva šireći indikacije za primjenu SIC-a za direktne restauracije (23).

### **3.1. Modifikacije u tekućini i utjecaj na dinamiku stvrdnjavanja i svojstva**

Tekući kiselinski dio SIC-a čini 35 – 65% vodena otopina homopolimera poliakrilne kiseline ili kopolimera poliakrilne i maleinske ili poliakrilne i itakonske kiseline. Svojstva SIC-a ovise o polimeru koji se koristi (8).

Čvrstoću stvrdnutog cementa povećavaju organske kiseline velike molekularne težine u sastavu tekuće komponente SIC-a, ali problem kod polimera velikih molekularnih težina je što su također i viskoviskozni te im je miješanje otežano. Dodatkom itakonske kiseline snižava se viskoznost tekućeg dijela te se poboljšavaju dugotrajnost i stabilnost otopine poliakrilne kiseline (24). Zbog toga se kombiniraju kiseline određenih molekularnih težina kako bi se postigla optimalna svojstva (25).

SIC-evi koji u sastavu sadrže homopolimere poliakrilne kiseline imaju veće povećanje kompresivne čvrstoće nakon maturacije, dok se kod cementa koji sadrže kopolimer akrilatne i maleinske kiseline kompresivna čvrstoća povećava do određene točke nakon čega vrijednost kompresivne čvrstoće pada i konačno doseže ravnotežnu vrijednost. Ipak, u kliničkoj praksi nije utvrđena značajna razlika između materijala koji u sastavu imaju kopolimer akrilatne i maleinske kiseline i homopolimer poliakrilne kiseline (24).

Također, u sastav SIC-a mogu biti dodane i druge kiseline kao što su tartarna, limunska, octena i salicilna kako bi se olakšala manipulacija i poboljšala krajnja svojstva. Tartarna i limunska

kiselina su kelirajući agensi koji olakšavaju izvlačenje metalnih kationa na površinu čestica stakla i ubrzavaju stvrdnjavanje. Pri tome je tartarna kiselina učinkovitija (26). Osim toga, tartarna i limunska kiselina keliraju (vežu) ione aluminija i odgađaju stvaranje aluminijevih poliakrilatnih soli (3).

### **3.1.1. Smolom modificirani staklenoionomerni cementi**

Jedna od najvećih promjena u razvoju SIC-a dogodila se kada su u sastav materijala dodani metakrilatni monomeri i fotoinicijatori čime je omogućeno dodatno stvrdnjavanje svjetlosnom polimerizacijom. Kako bi se iskoristila najbolja svojstva SIC-a i kompozitnih smola došlo je do razvoja hibridnih, tj. smolom modificiranih staklenoionomernih cementa (SM SIC).

Sastav im je u biti isti kao i kod konvencionalnog cementa (bazično staklo, vodena otopina organske kiseline), ali oni sadrže i monomer 2-hidroksietil-metakrilat (HEMA) s pripadajućim inicijatorom polimerizacije, kamforkinom (27). Dodavanjem HEMA-e poboljšana su fizikalno-kemijska svojstva SIC-a.

Stvrdnjavanje acidobaznom reakcijom kod SM SIC-eva započinje isto kao i kod K SIC-eva, miješanjem praha i tekućine. Tim kemijskim putem veže se staklenoionomerni dio, a organska matrica se svjetlosno polimerizira. Polimerizacija počinje osvjetljavanjem materijala plavim vidljivim svjetlom što dovodi do početnog stvrdnjavanja materijala, a istovremeno se odvija već spomenuta SIC-u svojstvena acidobazna reakcija (8). Polimerizirana smola štiti cement od prekomjernog izlaganja vodi tijekom odvijanja acidobazne reakcije i stabilizira stvrdnjavajući cement (28). Ako je cement izložen vodi u fazi kada još nisu stvorene kalcijeve i aluminijeve poliakrilatne soli, kalcijevi i aluminijevi ioni mogu biti izgubljeni što značajno može utjecati na svojstva stvrdnutog cementa, no polimerizirana smola kod SM SIC-a stvara tzv. „fenomen kišobrana“ i sprječava otplavlivanje iona (28).

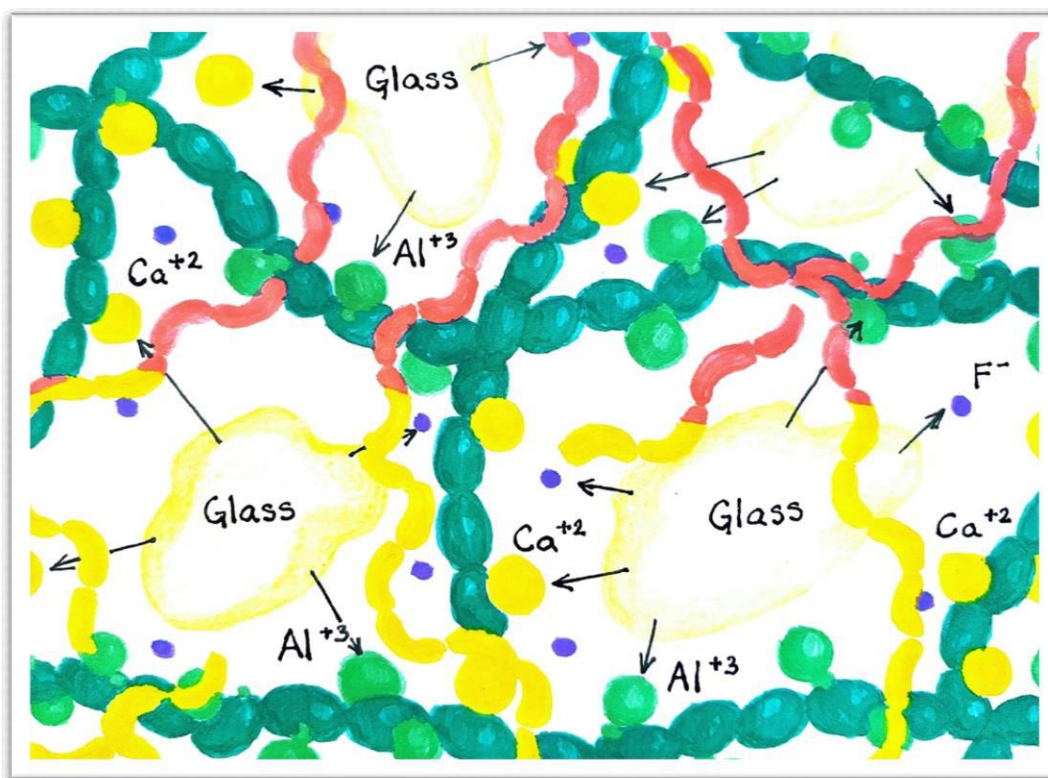
Poput K SIC-eva, i SM SIC-evi otpuštaju fluoridne, natrijeve, aluminijeve, fosfatne i silikatne ione prilikom neutralnih uvjeta, dok prilikom kiselih uvjeta dolazi do povećanog otpuštanja (29).

Poboljšanje u fizikalnim svojstvima naspram K SIC-a je vidljivo u povećanju čvrstoće, već spomenutoj smanjenoj osjetljivosti na vodu, smanjenoj poroznosti i topljivosti. Nedostatci su pojava polimerizacijske kontrakcije, promjena boje i upitna biokompatibilnost (30).

Biokompatibilnost SM SIC-a je narušena zbog otpuštanja HEMA-e. Ona se otpušta iz materijala u različitim iznosima posebice prilikom prvih 24 sata nakon polimerizacije (31). HEMA je citotoksična za stanice pulpe i ima sposobnost difundiranja kroz dentin (32).

Nadalje, HEMA je kontaktni alergen koji je hlapljiv te je samim time problem za stomatološko osoblje jer ju je moguće udahnuti (33). Kako ne bi došlo do udisanja toksičnih para preporučuje se dobro provjetravati radne prostore.

Kliničke indikacije za SM SIC slične su kao i za K SIC. Koriste se za restauracije I. i II. razreda po Blacku na mliječnim zubima, III. i V. razreda po Blacku te kao kavitetne podloge. Ne koriste se za atraumatske restaurativne postupke (ART) jer je za polimerizacijske lampe potrebna električna struja (34).



Slika 3. Stvrdnjavanje SM SIC-a.

## **3.2. Modifikacije u sastavu fluoroaluminosilikatnog stakla**

### **3.2.1. Zamjena kalcija stroncijem**

Iako su SIC-evi temeljeni uglavnom na kalcijevim spojevima, u brojnim je formulacijama kalcij zamijenjen stroncijem. Kalcij i stroncij sličnih su polarnosti i veličine atoma te ih je moguće zamijeniti tako što se koriste spojevi stroncijeva oksida i stroncijeva fluorida umjesto kalcijeva oksida i kalcijeva fluorida. Osim u sastavu samog SIC-a, stroncij može zamijeniti kalcij i u kristalnoj rešetci djelomično demineraliziranog kristala hidroksiapatita u sastavu zubnog tkiva. Tako u kiselim uvjetima kada je otpuštanje sastavnih iona iz SIC-a značajnije, dolazi do značajnijeg otpuštanja stroncija iz materijala koji može sudjelovati u rekristalizaciji kristala u tvrdim zubnim tkivima i stvaranju stroncijeva hidroksiapatita umjesto kalcijeva hidroksiapatita (35).

U odnosu na kalcij, stroncij može povećati vidljivost ispuna na RTG-u bez ikakvih negativnih utjecaja na samu estetiku i izgled cementa (35).

### **3.2.2. Dodatci mikro i nanočestica fluoroaluminosilikatnom prahu**

Brojna su znanstvena istraživanja pokazala da inkorporacija različitih “fillera” prahu cementa poput, srebra, cirkona, cinka, celuloze, titanovog dioksida, hidroksiapatita (HAp) i drugih, doprinosi poboljšanju mehaničkih svojstava cementa (36).

Dodatak čestica HAp-a primjenjuje se u proizvodnji komercijalnog materijala temeljenog na SIC-u: Carbomera.

#### **3.2.2.1. Carbomeri**

Relativno noviji materijal na tržištu je nanoionomerni cement, Glass Carbomer, s boljim mehaničkim svojstvima i povećanom bioaktivnosti u odnosu na K SIC. Proizvođač je GCP Dental u Nizozemskoj. Razvijen je pomoću nanotehnologije i time su čestice praha nanoveličine čime je povećana reaktivna površina punila (37).

Stvrđnjavanje carbomera je također kemijsko, tj. acidobaznom reakcijom, a kemijski se veže i za caklinu i za dentin, no za razliku od K SIC-eva sadrži i druge supstance koje nisu uobičajene. U prah su dodane čestice fluorapatita kako bi se pospješio remineralizacijski proces djelomično remineraliziranog tvrdog zubnog tkiva. Također je dodano silikonsko ulje koje povećava čvrstoću materijala. Staklo sadržava visoke količine stroncija, silikona, aluminijskog oksida, fosfora i fluorida.

Relativno sporo stvrđnjavanje carbomera ubrza se primjenom polimerizacijske lampe kroz minimalno 20 sekundi. Grijanjem raste temperatura cementa što ubrzava njegovo stvrđnjavanje (38).

Stakleni carbomeri su biokompatibilni, s boljim mehaničkim svojstvima, otporniji su na vlagu, abraziju i trošenje te otpuštaju više fluorida (39).

### **3.3. Modifikacije u omjeru praha i tekućine te veličini i distribuciji čestica**

#### **3.3.1. Visokoviskozni staklenoionomerni cementi**

Optimizacija omjera praha i tekućine te veličina i fina distribucija čestica unutar matrice omogućila je razvoj tzv. viskoviskoznih SIC-eva (40).

Zbog visokog omjera praha i tekućine i smanjenih veličina čestica praha, viskoviskozni materijali pokazali su bolja mehanička svojstva od konvencionalnih SIC-eva (22).

Reakcija stvrđnjavanja i izmjena iona jednake su kao i kod K SIC-eva. Povećana je kompaktnost materijala zbog velikog zasićenja tekućine prahom i otporni su na abraziju. Završno poliranje moguće je već 5 minuta nakon postavljanja materijala (41).

Zbog tih atributa viskoviskozni SIC-evi izvrstan su izbor materijala za podloge, privremene ispune na trajnim zubima, sanaciju karijesa u mliječnoj denticiji i ispune V. razreda.

Materijal su izbora kod ART programa zbog dobrih fizikalnih i kemijskih svojstava.

Predstavnici viskoviskoznih SIC-eva su Ketac molar (3M ESPE), Fuji IX GP (GC) (42).



Slika 4. Ketac Cem Aplicap (ESPE, Neuss, Germany) montiran u kapsulu nakon miješanja



Slika 5. Fuji IX (GC, Tokio, Japan)

### 3.3.2. Visokoviskozni materijali i mikrolaminirana tehnika

Zadnjih petnaestak godina razvili su se restaurativni koncepti temeljeni na visokoviskoznim staklenim ionomerima. Tvrtka GC (Tokyo, Japan) još je 2007. godine predstavila koncept koji je sadržavao Fuji IX GP Extra visokoviskozni staklenoionomerni cement i nanopunjeni premaz (eng. *Coat*). Kasnije je taj sustav/koncept visokoviskoznog SIC-a i *Coata* preimenovan u Equia Fil. Equia Fil ima poboljšana mehanička svojstva, a kliničke studije pokazale su da mogu biti materijal izbora za jednoplošne i male dvoplošne ispune na molarima i premolarima zbog izuzetno visoke kompresivne čvrstoće (23,43).

S obzirom da se radi o visokoviskoznom SIC-u kakav je već ranije bio u uporabi (Fuji IX GP), bolja svojstva Equia Fil objašnjavaju se primjenom tzv. mikrolaminirane tehnike, tj. nanošenjem zaštitnog premaza koji je punjen nanočesticama (Equia Coat) i produljuje vijek trajanja restauracije. Taj se premaz djelomično ugrađuje u materijal čime poboljšava i estetiku. Dolazi u osam različitih boja čime je olakšano postizanje boje slične tvrdom zubnom tkivu (44).

Trenutno je na tržištu dostupan materija Equia Fil (GC, Tokyo, Japan).

### 3.3.3. Staklo-hibridni materijali

GC je zatim 2014. godine dalje prezentirala novu staklo-hibridnu tehnologiju, Equia Forte Fil, a 2019. i Equia Forte HT Fil.

Staklo-hibridni materijali temeljeni na SIC-evima modificirani su staklenim česticama različitih veličina, odnosno standardnom FAS prahu dodane su i male čestice čija je reaktivnost veća. To svojstvo reaktivnosti olakšava i ubrzava reakcije strukturiranja cementa što prema proizvođaču rezultira boljim fizikalno-mehaničkim svojstvima materijala. Zbog toga su ovi materijali prikladni za trajne ispune u stražnjoj regiji (40,45).

Ostale indikacije za korištenje Equia Forte i Equia Forte HT materijala su dugotrajni ispuni I., II. i V. razreda te privremeni ispuni (46).



U sastavu staklo-hibridnih SIC-eva također je nanopunjeni svjetlosnopolimerizirajući premaz Equia Forte Coat (GC, Tokyo, Japan). Nanočestice samojetkajućeg premaza poboljšavaju rubno brtvljenje, glatkoću i sjaj restauracija.



Slika 6. Equia Forte Coat – jedinična doza (1mL)



Slika 7. Equia Forte Coat - bočica (4mL)



Slika 8. Equia Forte HT Fil



Greene Vardiman Black, jedan od osnivača moderne stomatologije, prije više od 100 godina predložio je klasifikaciju karijesnih lezija i opisao izgled kaviteta koja se i dandanas koristi. Godine 1896. Black je razvio i formulu za dentalni amalgam koji se nije kontrahirao niti širio te je mogao podnijeti jake žvačne sile (47). Proučavajući predilekcijska mjesta za nastanak karijesa, samu dinamiku karijesa, ali i svojstva restaurativnog materijala kojeg je razvio, Black je predložio načela preparacije kaviteta koja su osiguravala retenciju ispuna, otpornost zuba i ispuna i sprječavala nastanak sekundarnog karijesa. Zadovoljenje tih načela podrazumijevalo je značajno odstranjivanje zubnog tkiva koje nije zahvaćeno karijesom. Razmjerno veliki kavitet bilo je potrebno ispuniti materijalom dobrih mehaničkih svojstava i rubne čvrstoće.

Amalgam je dugo bio vodeći materijal u restaurativnoj dentalnoj medicini zbog odličnih mehaničkih svojstava, pristupačne cijene, jednostavne uporabe te antibakterijskih obilježja (48), no oduvijek se postavljalo pitanje toksičnosti žive koja je sastavni dio amalgama. Temeljem Minamata konvencije koja je stupila na snagu 2017. godine, sve su se zemlje potpisnice obvezale na postupno smanjivanje i na kraju ukidanje uporabe dentalnog amalgama. Kao najčešće zamjene za amalgam rabe se kompozitni restaurativni materijali i staklenoionomerni cementi (49).

Kompozitni materijali su najčešće prvi izbor u dentalnoj restaurativnoj medicini nakon amalgama. Unatoč brojnim pozitivnim svojstvima, kompoziti imaju i određene nedostatke, a to su: dugotrajna izrada, relativno skup materijal te smola unutar kompozita koja može biti citotoksična (32).

Daljnijim razvojem materijala nastaju staklenoionomerni cementi koji imaju raznoliku uporabu u terapijskim postupcima u dentalnoj medicini (7). SIC-evi su danas još uvijek jedini bioaktivni materijali koji se vežu kemijski pomoću izmjene iona za tvrda zubna tkiva, a istodobno se vežu i mehanički. Njihova dodatna prednost je otpuštanje fluorida čime se poboljšava remineralizacija tvrdih zubnih tkiva i djeluju kariostatski (2,3), inhibiraju rast mikroorganizama te neutraliziraju kiseline (7).

Primjena K SIC-a široka je i koristi se u raznim granama dentalne medicine. SIC-evi se rabe za cementiranje fiksnoprotetskih radova (mostovi, krunice), *inlaya*, *overlaya* i ortodontskih bravica te kao materijal za pečačenje fisura gdje je svojstvo otpuštanje fluora prednost u odnosu na pečatne smole (3). Nadalje, K SIC je podloga ispod kompozitnog materijala u *Sandwich* tehnici, a primarno područje gdje se SIC materijali rabe za restauracije jest dječja dentalna medicina zbog njihove kompatibilnosti i kariostatskog djelovanja. Osim toga, SIC-

evi su idealni materijali u dječjoj dentalnoj medicini zbog brze i jednostavne primjene te tolerantnosti na vlažne uvjete (7). U trajnoj denticiji uporaba K SIC-eva bila je ograničena zbog njihovih lošijih mehaničkih svojstava, ali su indicirani kod ispuna koji nisu izloženi velikim žvačnim silama poput ispuna V. razreda po Blacku i karijesa korijena. Nadalje, SIC-evi su restaurativni materijal izbora kod pacijenata s visokim rizikom karijesa, u slučaju dubokih kaviteta i aktivnih lezija kada je nemoguće održati suho radno polje i kod nekooperativnih pacijenata, a zbog jednostavnosti procedure i remineralizacijskog potencijala rabi se u ART postupcima (7,50).

Unatoč relativno širokoj primjeni K SIC-evi se zbog svojih slabijih fizikalno-mehaničkih svojstava te smanjene otpornosti na trošenje ubrajaju u manje trajne materijale te se u tom kontekstu ne mogu mjeriti s amalgamom. Njihova uporaba je ograničena u područjima s visokim žvačnim silama zbog slabije čvrstoće i otpornosti na abraziju. Radi toga se u lateralnom području zubnog niza upotrebljavaju kao privremeni ispuni (4).

Poboljšavanjem mehaničkih i estetskih svojstava SIC-a te postizanjem veće bioaktivnosti dolazi do razvoja modificiranih suvremenih materijala temeljenih na staklenoionomerima (3). Jedna od vrsta su hibridni, smolom modificirani staklenoionomeri. Sastavom su vrlo slični K SIC-evima, no dodana im je organska hidrofilna matrica HEMA i kamforkinon, inicijator polimerizacije. Dodavanjem HEMA-e je uz poboljšanje fizikalno-mehaničkih svojstava bilo omogućeno i dodatno stvrđavanje svjetlosnom polimerizacijom (27). Acidobazna reakcija i svjetlosna polimerizacija odvijaju se istodobno te prilikom stvrđavanja dolazi do pojave tzv. fenomena kišobrana. Zbog početne svjetlosne polimerizacije unutarnji dio SIC-a je zaštićen od utjecaja vode i ima otpornost na rano izlaganje vlazi (44).

U usporedbi s K SIC-om, SM SIC omogućuje duže radno vrijeme prije stvrđavanja, karakterizira ga također smanjena osjetljivost na vodu, povećana čvrstoća i brže stvrđavanje što je pogodnije za rad s djecom. Nadalje, smanjena je poroznost i topljivost te je bolja estetika i translucencija (30,44). Međutim, SM SIC i dalje ima svoje nedostatke – polimerizacijska kontrakcija, promjena boje i upitna biokompatibilnost (30).

Daljnijim unapređenjem fizičkih i mehaničkih svojstava došlo je do razvoja viskoviskoznih SIC-eva. Oni se miješaju s više praha i manje tekućine čime nastaje viskoziji cement koji ima veću čvrstoću (22,41). Unatoč tome, SIC-evi se nisu mogli primjenjivati u stražnjoj regiji sve dok nije došlo do razvoja mikrolaminiranih staklenoionomernih cemenata. To je novija generacija cemenata s boljim fizikalno-mehaničkim svojstvima te mogućnošću uporabe u

lateralnom dijelu zubnog niza. U kliničkoj praksi je dokazano da se mogu koristiti za male jednoplošne i dvoplošne ispune na premolarima i molarima zbog izuzetno visoke tlačne čvrstoće (23,43). Međutim, njihova čvrstoća je i dalje značajno manja od onoga što amalgam može pružiti.

Stoga se postavlja pitanje koji materijal se može smatrati pravim nasljednikom amalgama. U međuvremenu, kombiniranjem različitih veličina čestica praha nastaju najnovije generacije mikrolaminiranih materijala, staklo-hibridni materijali temeljeni na SIC-evima. Zbog visokoreaktivnih malih čestica koje su raspršene unutar FAS praha, povećan je broj iona koji su dostupni za stvaranje kemijskih veza s karboksilnim skupinama poliakrilne kiseline, a veći broj veza odgovoran je za povećanje tvrdoće i čvrstoće materijala. Uz bolja fizikalno-mehanička svojstva, poboljšano je otpuštanje fluorida i veća je otpornost na trošenje u odnosu na K SIC-eve, što ih čini prikladnijim materijalima za trajne ispune u prednjoj i lateralnoj regiji (40,46).

Amalgam je više od stoljeća bio materijal izbora za direktne restauracije. Zbog udjela žive u svom sastavu, veliki broj zemalja odlučio je izbaciti amalgam iz daljnje uporabe od 2022. godine. Time se izbor materijala za direktne restauracije svodi na kompozite smole i materijale temeljene na SIC-evima. SIC materijali imaju niz komparativnih prednosti u odnosu na kompozitne smole, no mehanička svojstva i estetika su bolji kod kompozitnih smola. Ipak, recentni materijali temeljeni na SIC-evima u kombinaciji s mikrolaminiranom tehnikom postižu relativno dobre rezultate te su kliničke studije pokazale da su prikladni za ispune prvog razreda i dvoplošne ispune drugog razreda. Usporedo s kliničkom primjenom komercijalnih restaurativnih materijala istražuju se nove formulacije SIC materijala s dodatcima raznih anorganskih ili organskih čestica prahu i organskih kiselina tekućini koje bi dalje poboljšale svojstva i proširile indikacije za njihovu uporabu za direktne ispune. Za očekivati je stoga da će doći do daljnjeg unapređenja staklenoionomernih cementa, odnosno materijala temeljenih na SIC-evima.



Staklenoionomerni cementi uvedeni su u dentalnu medicinu prije gotovo 50 godina. Primjenjivali su se za cementiranje, podloge i preventivno pečaćenje, no zbog slabijih mehaničkih svojstava, njihova uporaba za restauracije bila je ograničena.

U posljednjih 150 godina amalgam je na globalnoj razini rabljen kao osnovni materijal za direktne restauracije, no sporazum iz Minamate iz 2013. godine obvezuje zemlje potpisnice da smanje količinu žive ispuštene u okoliš. U Europskoj uniji napušta se uporaba amalgama za direktne ispune 2022.

Alternativni materijali za direktne ispune su kompozitne smole i SIC-evi. S obzirom na jednostavnost kliničkog postupka i biokompatibilnost SIC materijala, značajni su naponi uloženi proteklih desetljeća u poboljšanje svojstava SIC materijala kako bi se proširile njihove indikacije u restaurativnoj dentalnoj medicini. Modifikacije K SIC-a uključuju smolom modificirane SIC-eve, carbomere, visokoviskozne te staklo-hibridne materijale temeljene na SIC-evima.

Recentni visokoviskozni i staklo-hibridni materijali u kombinaciji s nanopunjenim premazom imaju značajno poboljšana mehanička svojstva u odnosu na K SIC-eve i prikladni su za ispune I. i dvoplošne ispune II. razreda na stražnjim zubima.



## **6. LITERATURA**

1. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *Br Dent J.* 1972;132(4):133-5.
2. Nicholson JW. Glass ionomer dental cements: update. *Mater Technol (UK).* 2010;25(1):8–13.
3. Sidhu SK, Nicholson JW. A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *J Funct Biomater.* 2016;7(3):16.
4. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and of glass-ionomer cements. *Dent Mater.* 2000;16(2):129-38.
5. Rodrigues DS, Buciumeanu M, Martinelli AE, Nascimento RM, Henriques B, Silva FS, et al. Mechanical strength and wear of dental glass-ionomer and resin composites affected by porosity and chemical composition. *J bio- tribo-corros* [Internet]. 2015;1(3). Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40735-015-0025-9>
6. Nicholson JW. Maturation processes in glass-ionomer dental cements. *Acta Biomater Odontol Scand.* 2018;4(1):63-71.
7. Unizg.hr. [cited 2021 Aug 26]. Available from: [https://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/SIC\\_svojstva\\_i\\_primjena\\_02\\_06\\_2020\\_KGorseta.pdf](https://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/SIC_svojstva_i_primjena_02_06_2020_KGorseta.pdf)
8. Pavelić B. Staklenoionomerni cementi – provjerite i nadopunite Vaše znanje [Internet]. Unizg.hr. [cited 2021 Aug 26]. Available from: [https://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/sic.pdf](https://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/sic.pdf)
9. Šutalo J. Materijali za trajne ispune kaviteta. U: Šutalo J i sur. *Patologija i terapija tvrdih zubnih tkiva.* Zagreb: Naklada Zadro; 1994. str. 321-7.
10. Cements PA-B. Dentistry — water-based cements — [Internet]. Sis.se. [cited 2021 Aug 24]. Available from: <https://www.sis.se/api/document/preview/909111/>.
11. Zahra VN, Kohen SG, Macchi RL. Powder-liquid ratio and properties of two restorative glass ionomer cements. *Acta Odontol Latinoam.* 2011;24(2):200-4.
12. Mount GJ. Adhesion of glass-ionomer cement in the clinical environment. *Oper Dent.* 1991;16(4):141–8.
13. Ngo HC, Mount G, Mc Intyre J, Tuisuva J, Von Doussa RJ. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an in vivo study. *J Dent.* 2006;34(8):608–13.

14. Powis DR, Follerås T, Merson SA, Wilson AD. Improved adhesion of a glass ionomer cement to dentin and enamel: Improved adhesion of a glass ionomer cement to dentin and enamel. *J Dent Res.* 1982;61(12):1416–22.
15. Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Munck J, Landuyt KV, Lambrechts P. Glass-ionomer adhesion: The mechanisms at the interface. ” *J Dent.* 2006;34:615–7.
16. Christensen GJ. Preventing postoperative tooth sensitivity in class I, II and V restorations. *J Am Dent Assoc.* 2002;133(2):229–31.
17. Nicholson JW, Czarnecka B, Limanowska-Shaw H. *J Mater Sci Mater Med.* 1999;10(8):449–52.
18. Okada K, Tosaki S, Hirota K, Hume WR. Surface hardness change of restorative filling materials stored in saliva. *Dent Mater.* 2001;17(1):34–9.
19. Walls AWG. Glass polyalkenoate (glass-ionomer) cements: a review. *J Dent.* 1986;14(6):231–46.
20. Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials--fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater.* 2007;23(3):343–62.
21. Davidson CL. Advances in glass-ionomer cements. *J Appl Oral Sci.* 2006;14 Suppl:3–9.
22. Irie M, Maruo Y, Nishigawa G, Suzuki K, Watts DC. Class I gap-formation in highly-viscous glass-ionomer restorations: delayed vs immediate polishing. *Oper Dent.* 2008;33(2):196–202.
23. Gurgan S, Kutuk ZB, Yalcin Cakir F, Ergin E. A randomized controlled 10 years follow up of a glass ionomer restorative material in class I and class II cavities. *J Dent.* 2020;94(103175):103175.
24. Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials.* 1998;19(6):485–94.
25. Fareed MA, Stamboulis A. Nanoclay addition to a conventional glass ionomer cements: Influence on physical properties. *Eur J Dent.* 2014;8(4):456–63.
26. Crisp S, Lewis BG, Wilson AD. Characterization of glass-ionomer cements 5. The effect of the tartaric acid concentration in the liquid component. *J Dent.* 1979;7(4):304–12.
27. Mitra SB. Adhesion to dentin and physical properties of a light-cured glass-ionomer liner/base. *J Dent Res.* 1991;70(1):72–4.

28. Sidhu SK, Watson TF. Resin-modified glass ionomer materials. A status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent.* 1995;8(1):59–67.
29. Forss H. Release of fluoride and other elements from light-cured glass ionomers in neutral and acidic conditions. *J Dent Res.* 1993;72(8):1257–62.
30. Nicholson JW, Czarnecka B. The biocompatibility of resin-modified glass-ionomer cements for dentistry. *Dent Mater.* 2008;24(12):1702–8.
31. Palmer G, Anstice HM, Pearson GJ. The effect of curing regime on the release of hydroxethyl methacrylate (HEMA) from resin-modified glass-ionomer cements. *J Dent.* 1999;27:303–11.
32. Yoshii E. Cytotoxic effects of acrylates and methacrylates: relationships of monomer structures and cytotoxicity. *J Biomed Mater Res.* 1997;37(4):517–24.
33. Kanerva L, Jolanki R, Leino T, Estlander T. Occupational allergic contact dermatitis from 2-hydroxethyl methacrylate and ethylene glycol dimethacrylate in a modified acrylic structural adhesive. *Contact Dermat.* 1995;33:84–9.
34. Smales RJ, Wong KC. Two-year clinical performance of a resin-modified glass ionomer sealant. *Am J Dent.* 1999;12:62–4.
35. Shahid S, Hassan U, Billington RW, Hill RG, Anderson P. Glass ionomer cements: effect of strontium substitution on esthetics, radiopacity and fluoride release. *Dent Mater.* 2014;30(3):308–13.
36. Bilić-Prečić M, Rajić VB, Ivanišević A, Pilipović A, Gurgan S, Miletić I. Mechanical properties of glass ionomer cements after incorporation of marine derived hydroxyapatite. *Materials (Basel).* 2020;13(16):3542.
37. Zainuddin N, Karpukhina N, Law RV, Hill RG. Characterisation of a remineralising Glass Carbomer® ionomer cement by MAS-NMR spectroscopy. *Dent Mater.* 2012;28(10):1051–8.
38. Cehreli SB, Tirali RE, Yalcinkaya Z, Cehreli ZC. Microleakage of newly developed glass carbomer cement in primary teeth. *Eur J Dent.* 2013;7(1):15–21.
39. de Vidro AEMCDEI. ADVANCES IN GLASS-IONOMER CEMENTS [Internet]. Scielo.br. [cited 2021 Aug 26]. Available from: <https://www.scielo.br/j/jaos/a/n6wStPJLWdLjQrRt8ZvpnnF/?format=pdf&lang=en>
40. Šalinović I, Stunja M, Schaperl Z, Verzak Ž, Ivanišević Malčić A, Brzović Rajić V. Mechanical properties of high viscosity glass ionomer and glass hybrid restorative materials. *Acta Stomatol Croat.* 2019;53(2):125–31.

41. Yap AUJ, Pek YS, Cheang P. Physico-mechanical properties of a fast-set highly viscous GIC restorative: physico-mechanical properties of highly viscous GICs. *J Oral Rehabil.* 2003;30(1):1–8.
42. McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. *Quintessence Int.* 1994;25(9):587–9.
43. Gurgan S, Kutuk ZB, Ergin E, Oztas SS, Cakir FY. Clinical performance of a glass ionomer restorative system: a 6-year evaluation. *Clin Oral Investig.* 2017;21(7):2335–43.
44. Miletić I, Anić I, Bago I, Baraba A. Stakleno-ionomerni cementi. *Vjesnik dentalne medicine.* 2011;18(4).
45. Najeeb S, Khurshid Z, Zafar MS, Khan AS, Zohaib S, Martí JMN, et al. Modifications in glass ionomer cements: Nano-sized fillers and bioactive nanoceramics. *Int J Mol Sci.* 2016;17(7):1134.
46. Baraba A, Miletić I. Healing deep caries lesions in the posterior region with the new micro-laminated glass ionomer cement. *GC Get Connected.* 2015;5:21–4.
47. Molin C. Amalgam ? Fact and fiction. *Eur J Oral Sci.* 1992;100(1):66–73.
48. Burke FJT, Mackenzie L, Sands P. Dental materials – what goes where? class I and II cavities. *Dent Update.* 2013;40(4):260–74.
49. Croat. AS. of Zagreb [Internet]. Srce.hr. [cited 2021 Aug 25]. Available from: <https://hrcak.srce.hr/file/376707>
50. Hewlett ER, Mount GJ. Glass ionomers in contemporary restorative dentistry--a clinical update. *J Calif Dent Assoc.* 2003;31(6):483–92.

## **7. ŽIVOTOPIS**

Barbara Mitrović rođena je 23. veljače 1996. godine u Zagrebu. Završila je Osnovnu školu Augusta Harambašića u Zagrebu te zatim upisuje XV. Gimnaziju (MIOC) u Zagrebu. Nakon završene prve godine Veterinarskog fakulteta, 2015. godine upisuje Stomatološki fakultet u Zagrebu. Tijekom studija asistirala je u više privatnih dentalnih ordinacija. Sudjelovala je na 1. i 3. Kongresu studenata dentalne medicine Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Godine 2019. odlazi u Portugal na Erasmus razmjenu studenata u zimskom semestru.