

# Kompozitni materijali 2021.-e

---

Selak, Ana

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:127:155803>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-01**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu  
Stomatološki fakultet

Ana Selak

# **KOMPOZITNI MATERIJALI 2021.**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Rad je ostvaren u: Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju, Stomatološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Mentor rada: prof.dr.sc. Zrinka Tarle, Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju, Stomatološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Lektor hrvatskoga jezika: Zoran Priselac, diplomirani profesor hrvatskoga jezika i književnosti

Lektor engleskoga jezika: Jerka Mijić, mag.educ.philol.angl.

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

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

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

Rad sadrži: 25 stranica

0 tablica

0 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 izvorni su 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 od srca svojoj dragoj mentorici prof. dr. sc. Zrinki Tarle na pomoći i korisnim savjetima pri pisanju ovog diplomskog rada.

Veliko hvala mojim roditeljima i sestrama na neizmjerne ljubavi i podršci.

Zahvaljujem svim kolegama-prijateljima što su mi studiranje učinili jednim od najljepših razdoblja života. Posebno hvala mom Marijanu.

Hvala Ti!

## KOMPOZITNI MATERIJALI 2021.

### Sažetak

Suvremena restaurativna dentalna medicina bila bi nezamisliva bez kompozitnih materijala. Kompoziti se koriste za nadoknadu izgubljenog tvrdog zubnog tkiva, uslijed karijesnih lezija i trauma, za korekciju diskoloracija i morfoloških abnormalnosti, za izradu labijalnih faseta i neizravnih restauracija – inleja, onleja i overleja. Primjenjuju se i u ostalim granama dentalne medicine.

Svakodnevnu uporabu kompozita omogućili su otkriće i razvoj adhezijskih sustava i polimerizacijskih uređaja. Kompozitni materijali sastoje se od organske matrice, anorganskih čestica punila te međugraničnog spojnog sredstva, uz dodatak inicijatora i inhibitora polimerizacije, stabilizatora boje i pigmenata.

Postoji više klasifikacija kompozita, a najčešće korištena je ona prema kliničkoj primjeni. Razlikujemo kompozitne materijale za preventivno pečaćenje fisura i jamica, visokoviskozne kompozite koji se smatraju univerzalnim materijalima jer se koriste i u prednjem i u stražnjem segmentu, tekuće kompozite koji se koriste za minimalno invazivne preparacije i kao podloga, *bulk* kompozite koji se mogu postavljati u kavitet i u slojevima do 4 mm debljine, laboratorijske kompozite, kompozite za izradu bataljaka, kompozite za privremene restauracije i kompomere.

Danas se na tržištu mogu naći kompozitni materijali s bioaktivnim svojstvima koji svojim remineralizacijskim učinkom smanjuju štetne posljedice polimerizacijskog skupljanja i preveniraju nastanak sekundarnog karijesa. Cilj je u bliskoj budućnosti kreirati bioaktivni, samoadherirajući kompozitni materijal s inkorporiranim antibakterijskim sredstvima.

**Ključne riječi:** kompozitni materijali, suvremena restaurativna dentalna medicina, polimerizacijsko skupljanje

## **RESIN COMPOSITES 2021.**

### **Summary**

Modern restorative dental medicine would be unimaginable without resin composites. Composites are used to compensate for lost hard tooth tissue, due to carious lesions and trauma, to correct discolorations and morphological abnormalities, to make labial veneers and indirect restorations - inlays, onlays and overlays. They are also used in other branches of dental medicine.

The daily use of composites has been made possible by the discovery and development of adhesion systems and polymerization devices. Composite materials consist of an organic matrix, inorganic filler particles and an interstitial binder, with the addition of polymerization initiators and inhibitors, colour stabilizers and pigments.

There are several classifications of composites, most commonly used is the one according to clinical application. We distinguish composite materials for preventive sealing of fissures and pits, high-viscosity composites that are considered universal materials because they are used in both front and rear segments, liquid composites used for minimally invasive preparations and as a substrate, bulk composites that can be placed in cavities and in layers up to 4 mm thick, laboratory composites, battalion composites, composites for temporary restorations and compomers.

Today, composite materials with bioactive properties can be found on the market, which with their remineralization effect, reduce the harmful effects of polymerization shrinkage and prevent the occurrence of secondary caries. The goal is to create a bioactive, self-adhering composite material with incorporated antibacterial agents in the near future.

**Keywords:** resin composites, modern restorative dental medicine, polymerization shrinkage

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ADHEZIJA I POLIMERIZACIJA .....	3
3. RAZVOJ KOMPOZITNIH MATERIJALA .....	5
4. SASTAV KOMPOZITNIH MATERIJALA .....	7
5. KLASIFIKACIJA KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	10
5.1. Podjela prema veličini čestica punila .....	11
5.2. Podjela prema kliničkoj primjeni .....	12
5.3. Podjela prema boji i transparentnosti .....	13
5.4. Podjela prema broju komponenti/načinu polimerizacije .....	13
6. KOMPOZITNI MATERIJALI 2021. ....	14
7. RASPRAVA .....	18
8. ZAKLJUČAK .....	20
9. LITERATURA .....	22
10. ŽIVOTOPIS .....	24

## **Popis skraćenica**

ACP - amorfni kalcijev fosfat

Bis-EMA - bisfenol-A-etil-metakrilat

Bis-GMA - bisfenol-A-glicidil-metakrilat

EDMA - etilen-dimetakrilat

GPDM - glicerol-fosfat-dimetakrilat

LED - eng. *Light Emitting Diode*, hrv. svjetleća dioda

SIC - staklenoionomerni cementi

TEGDMA – trietilen-glikol-dimetakrilat

UDMA – uretan-dimetakrilat

UV - eng. *ultraviolet*, hrv. ultraljubičasti





Suvremena restaurativna dentalna medicina temelji se na minimalno invazivnim preparacijama, poštednim prema tvrdim zubnim tkivima. Napušteno je Blackovo načelo preventivnog proširivanja kaviteta, tj. izradbe rubova kaviteta u zdravom tkivu i na fiziološki čistom mjestu (1). Izrada adhezijskog kaviteta omogućena je razvojem kompozitnih materijala, caklinsko-dentinskih adhezijskih sustava i svjetlosne polimerizacije. Kompozitni materijali iznimno su popularni zbog mogućnosti izrade estetski vrlo zadovoljavajućih restauracija, što je jedan od bitnijih kriterija u suvremenom društvu. Osim estetskih, postižu i visoke rezultate u funkciji kao što su čvrstoća, trošenje, rubna prilagodba, brtvljenje, netopivost i biokompatibilnost. Razvoj kompozitnih materijala smatra se jednim od najvećih uspjeha u modernoj dentalnoj medicini, a primjenjuju se u gotovo svim granama – restaurativnoj dentalnoj medicini, pedodonciji, endodonciji, protetici, kirurgiji, parodontologiji i ortodonciji.

Kompozit se definira kao kombinacija dvaju ili više različitih materijala sa svojstvima boljim od pojedinačnih komponenti. Kompozitni materijali mješavine su organskih smola i anorganskih čestica punila međusobno povezanih spojnim sredstvom. Neorganske čestice utječu na čvrstoću, tvrdoću i termički koeficijent ekspanzije, a organske utječu na plastičnost te vrijeme i način stvrdnjavanja (2). U malim količinama dodaju im se i ostali sastojci koji poboljšavaju cjelokupnu kvalitetu materijala, a to su inicijatori i inhibitori polimerizacije, rendgenska kontrastna sredstva, ultraljubičasti (UV) stabilizatori boje i razni pigmenti. Esencijalna komponenta je mješavina različitih monomera koji konvertiraju u umreženu polimernu matricu za vrijeme polimerizacije.

Svrha ovog rada je opisati razvoj kompozitnih materijala od početka njihove uporabe u dentalnoj medicini pa sve do danas. Također, opisan će se sastav i svojstva konvencionalnih i najnovijih materijala na tržištu te navesti podjele na temelju različitih faktora. Raspraviti će se i o možebitnim poboljšanjima budućih kompozitnih materijala te naglasiti njihov značaj u svakodnevnom kliničkom radu.

## **2. ADHEZIJA I POLIMERIZACIJA**

Razvojem adhezijskih sustava omogućena je uporaba kompozitnih materijala u dentalnoj medicini, posebice restaurativnoj. Kako sam kompozit nema mogućnost izravnog vezanja na zubna tkiva, postupci pripreme površine cakline i dentina i primjena adhezijskih sustava od ključnog su značenja. Adhezija je spajanje dvaju različitih materijala čiji se kontakt održava bez pomoći vanjskih sila, privlačenjem atoma i molekula. Temeljni princip adhezije temelji se na izmjeni uklonjenih minerala iz cakline i dentina i monomera koji se u procesu polimerizacije mikromehanički vežu u nastalim porama (3). U dentinu se taj proces naziva hibridizacija, a podrazumijeva stvaranje hibridnog sloja. Godine 1982. Nakabayashi je definirao hibridni sloj kao interdifuzijsko područje smole, kolagenskih vlakana i djelomično demineraliziranog intertubularnog i intratubularnog dentina (4). Kako bi adhezija bila uspješna, potrebno je jetkati tvrda tkiva zuba. Jetkanje podrazumijeva aplikaciju ortofosforne kisline koja otapa zaostatni sloj i površinu cakline i dentina. Zaostatni sloj nastaje kao rezultat mehaničke obrade cakline i dentina pri izradi kaviteta, a sastavljen je od organskih čestica kalcificiranog tkiva, dijelova odontoblastičnih nastavaka, bakterija, krvi i sline. On smanjuje permeabilnost dentina te ga se iz tog razloga mora ukloniti (ili učiniti propusnim) i na taj način omogućiti interakciju između monomera i površine dentina. Primjena adheziva odvija se u tri koraka: jetkanje ili kondicioniranje, priming ili prvo, temeljno premazivanje i bonding, tj. vezanje ili završno premazivanje. Danas se najčešće koriste jetkajuće-ispirajući (etch-and-rinse) ili samojetkajući (self-etch) adhezijski sustavi koji se međusobno prilično razlikuju u djelovanju prema tvrdom zubnom tkivu, ali su oba principa pokazala zadovoljavajuće rezultate u laboratorijskim i kliničkim istraživanjima (5).

Svakodnevnu uporabu kompozita u kliničkoj praksi, osim adhezijskih sustava, omogućuju uređaji za svjetlosnu polimerizaciju. Danas je standard Light Emitting Diode (LED) tehnologija. Radikalska fotopolimerizacija, proces stvrdnjavanja kompozitnog materijala, postupak je u kojem djelovanjem svjetla iz monomera nastane polimer. Najčešći sustav fotoinicijatora je kamforkinon, ubrzan tercijarnim aminom, tipično aromatičnim. Uspješnost polimerizacije ovisi o stupnju konverzije koji direktno utječe na sva svojstva materijala nužna za uspjeh restauracije i njenu trajnost. U procesu polimerizacije organske matrice dolazi do volumetrijske kontrakcije materijala - polimerizacijskog skupljanja. Upravo je polimerizacijsko skupljanje jedan od glavnih nedostataka kompozitnih materijala jer uzrokuje nastanak rubne pukotine između zuba i ispuna. Posljedice su mikropropuštanje, rubno obojenje, sekundarni karijes i moguća iritacija pulpe.

### **3. RAZVOJ KOMPOZITNIH MATERIJALA**

Kompozitni se materijali u dentalnoj medicini upotrebljavaju od šezdesetih godina prošlog stoljeća. Rafael L. Bowen zaslužan je za otkriće kompozitne smole bisfenol A glicidil dimetakrilat (Bis-GMA), što je bila prekretnica i početak direktne oralne primjene tih materijala. Bis-GMA naziva se još i Bowenova smola. U početku su se koristili samo za estetske restauracije prednjih zubi, ali s vremenom, poboljšanjem fizičko-mehaničkih svojstava, kompoziti postaju univerzalni materijali za izradu ispuna. Inicijalni kompoziti bili su dvokomponentni i samopolimerizirajući, a nakon njih su uslijedili svjetlosno-polimerizirajući koji su se stvrdnjavali pod utjecajem UV svjetla (6). Vrlo značajan iskorak u razvoju kompozitnih materijala predstavilo je i uvođenje polimerizacije vidljivim svjetlom 1977. godine. Krajem 1970-ih uvode se novi monomeri te se razvijaju makropunjeni i mikropunjeni kompoziti koji se međusobno razlikuju u veličini čestica anorganskog punila. Početkom 1980-ih kreiraju se hibridni kompozitni materijali s još boljim svojstvima te se kompoziti, osim za direktne ispune, počinju upotrebljavati i u indirektnim postupcima nadoknade izgubljenog tvrdog zubnog tkiva. Sredinom 1990-ih na tržište dolaze tekući, kondenzibilni i mikrohibridni kompozitni materijali, a 2000. godine dolazi do razvoja još sofisticiranijih nanopunjenih i nanohibridnih kompozitnih materijala. Uslijedio je razvoj niskoskupljajućih kompozitnih materijala, a 2010. i uporaba samojetkajućih tekućih kompozita. U tom razdoblju pojavljuju se i revolucionarni debeloslojni (*bulk*) kompozitni materijali koji u potpunosti mijenjaju princip izrade kompozitnog ispuna. Debeloslojni kompoziti mogu se nanositi u debljim slojevima, za razliku od konvencionalnih kompozita koji se obvezno nanose slojevito u kavitet. Konačni cilj je izrada idealnog, samoadherirajućeg kompozitnog materijala s bioaktivnim i antibakterijskim karakteristikama.

#### **4. SASTAV KOMPOZITNIH MATERIJALA**

Dentalni kompoziti sastoje se od tri osnovna dijela: organske smolaste matrice, dispergiranih anorganskih čestica punila i međugraničnog spojnog sredstva. Osim navedenih, sadržavaju i mnoštvo dodataka u manjim količinama, a to su: modulatori polimerizacije (inicijatori i inhibitori), stabilizatori boje, pigmenti i dr.

Organska smolasta matrica temeljna je komponenta kompozitnih materijala u koju se dodaju ostali sastojci. Sastoji se od različitih monomera velike molekularne mase za koje su vezane čestice punila. Suvremeni kompoziti baziraju se na metakrilatnim spojevima – dimetakrilatima – jer oni pokazuju najmanju toksičnost. Najveći dio kompozita bazira se na Bis-GMA smoli jer iz nje, procesom polimerizacije, nastaje polimer zadovoljavajućih svojstava kao što su nisko skupljanje, povećana čvrstoća i krutost i manja apsorpcija vode. Nedostatci Bis-GMA su ograničena stabilnost boje i visoka viskoznost, zbog čega je rukovanje Bis-GMA smolom otežano. Za smanjenje viskoznosti dodaju se niskoviskozni monomeri kao što su trietilenglikol-dimetakrilat (TEGDMA) i etilenglikol-dimetakrilat (EDMA). Odgovorni su i za povećanu čvrstoću materijala te križno povezivanje monomera. Redukcija viskoznosti smole dozvoljava veći udio anorganskog dijela i posljedično manje polimerizacijsko skupljanje i stres. Druga najčešće korištena organska smola je uretan dimetakrilat (UDMA). U usporedbi s Bis-GMA, glavna joj je prednost niska viskoznost, a glavni nedostatak visoko polimerizacijsko skupljanje.

Anorganske čestice punila direktno utječu na fizička i optička svojstva materijala. Veličina čestica određuje stupanj poliranosti kompozitnog ispuna, tj. manje čestice omogućuju lakše i bolje poliranje. Veća zastupljenost punila u kompozitu poboljšava mehaničko-fizička svojstva materijala kao što su čvrstoća, tvrdoća, otpornost na trošenje i na vodu. Valja imati na umu da previsok udio punila znači previskozan materijal kojim nije lako rukovati u svakodnevnom kliničkom radu. Anorganski dio čine čestice koloidnog silicija, kristaliničnog kvarca, borosilikatnog stakla, cinkova silikata, barijeva sulfata i dr. Kontinuiranim razvitkom i unaprjeđenjem materijala tijekom godina, promjer anorganskih čestica smanjivao se tako da smo od makropunjenih došli do nanopunjenih kompozita. Čestice manjeg promjera omogućuju bolji stupanj poliranosti kompozita i posljedično dulje trajanje restauracije. Danas je zlatni standard uporaba hibridnih materijala koji se koriste za restauracije i u prednjem i u stražnjem segmentu usne šupljine. Specifične su prepolimerizirane čestice punila, kompozit u kompozitu, koje se vrlo dobro vežu s monomerima te poboljšavaju otpornost na trošenje i smanjuju polimerizacijski stres.



Spojno sredstvo povezuje polimernu matricu i čestice punila. Kemijska veza postiže se silanima koji sprječavaju hidrolitičku degradaciju punila i omogućuju raspodjelu naprezanja između smole i punila (4). Najčešće upotrebljavan spojni agens je  $\gamma$ -metaksiloksi-propiltrimetoksi silan koji se na jednom kraju veže za hidroksilne skupine punila, dok na drugom kraju metakrilatne skupine podliježu polimerizaciji.

## **5. KLASIFIKACIJA KOMPOZITNIH MATERIJALA**

### **5.1. Podjela prema veličini čestica punila**

Kompozitne materijale međusobno razlikujemo na temelju veličine čestica punila i to makropunjene, mikropunjene, hibridne i kompozite s nanopunilom.

Makropunjeni kompozitni materijali koristili su se sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Osiguravaju dobra mehanička svojstva zbog visoke punjenosti smole, ali dugotrajnost ispuna nije zagarantirana zbog otežane završne obrade i poliranja. Danas se smatraju zastarjelim materijalima koje ne nalazimo često u uporabi.

Mikropunjeni kompozitni materijali kreirani su 1980-ih s ciljem poboljšanja estetskih svojstava kompozitnih ispuna. Međutim, zbog malog promjera čestica i niskog volumnog udjela punila, mehanička svojstva ovih kompozita nisu zadovoljavajuća i limitiraju uporabu istih na područja neopterećena žvačnim silama. Dodatkom prepolimeriziranih čestica punila poboljšavaju se fizičko-mehanička svojstva materijala.

Hibridni kompozitni materijali (mikrohibridni kompoziti) zlatni su standard suvremene restaurativne dentalne medicine. Nastali su kao kompromis između makropunjenih i mikropunjenih kompozita, osiguravajući dostatnu čvrstoću i mehanička svojstva te povećanu mogućnost poliranja i zadovoljavajuću estetiku (7). Sadrže male čestice od 0,4 do 4  $\mu\text{m}$  i submikronske čestice od 0,04  $\mu\text{m}$ . Smatraju se univerzalnim materijalima jer se koriste za restauracije i u prednjem i u stražnjem dijelu usne šupljine.

Kompozitni materijali s nanopunilom sadrže čestice manje od 100 nm. Većina proizvođača izmijenila je sastav svojih mikrohibrida dodavanjem više nanočestica, a moguće i prepolimeriziranih čestica punila, sličnih onima koje se nalaze u mikropunjenim kompozitima, te su ovu skupinu nazvali nanohibridi. Općenito, teško je razlikovati nanohibride od mikrohibrida jer imaju slična svojstva. Neka istraživanja pokazala su da nanopunjeni ili nanohibridni kompoziti imaju smanjenu stabilnost u vodenim uvjetima usne šupljine u usporedbi s mikrohibridima, dok su neka druga istraživanja pokazala suprotan trend ili prilično sličnu izdržljivost materijala. Smatra se da neka slabija svojstva nanohibridnih materijala mogu biti posljedica ugradnje prepolimeriziranih čestica punila. Što se tiče kliničkih rezultata, dva nedavna istraživanja, u trajanju od 2 odnosno 4 godine, pokazala su slične, izvrsne rezultate pri restauraciji kaviteta II. razreda koristeći kompozitne materijale s nanopunilom i mikrohibridne kompozite (7).

## 5.2. Podjela prema kliničkoj primjeni

Prema kliničkoj primjeni kompozite dijelimo na: kompozitni materijali za preventivno pečačenje fisura, viskoviskozni kompozitni materijali za direktne ispune, tekući kompozitni materijali, debeloslojni (*bulk*) kompozitni materijali, laboratorijski kompoziti, kompozitni materijali za izradu bataljaka, kompoziti za privremene restauracije i kompomeri.

Kompozitni materijali za preventivno pečačenje jamica i fisura koriste se u dječjoj dentalnoj medicini za prevenciju nastanka karijesa na tek izniklim trajnim zubima. Nanose se bez adheziva, izravno na jetkanu caklinu, a po sastavu su tekuće smole s niskim udjelom punila.

Viskoviskozni kompozitni materijali smatraju se univerzalnim kompozitnim materijalima jer se mogu primjenjivati za izradu ispuna i na prednjim i na stražnjim zubima. Po sastavu mogu biti mikrohibridni i nanohibridni.

Tekući kompozitni materijali su niskoviskozni materijali s nižim udjelom anorganskog punila. Koriste se u zonama niskog okluzijskog opterećenja, za minimalno invazivne preparacije i kavitete III. i V. razreda te kao podloga koja smanjuje stres.

Bulk fill kompozitni materijali inovativni su kompoziti koji su promijenili osnovni princip izrade kompozitnog ispuna u adhezijskom kavitetu. Nanose se u slojevima debljine 4 – 5 mm što olakšava rad kliničaru i smanjuju vrijeme potrebno za izradu ispuna (vrijeme potrebno za polimerizaciju LED svjetlom iznosi 20 sekundi). Produljenim osvjetljivanjem materijala povećava se stupanj konverzije i tvrdoća dubljih slojeva ispuna (8). Razlikujemo niskoviskozne i viskoviskozne debeloslojne kompozitne materijale. *In vitro* istraživanja dokazala su da niskoviskozni *bulk* kompoziti imaju manje polimerizacijsko skupljanje od konvencionalnih tekućih kompozita (9). Nedostatak im je što se ne mogu koristiti samostalno zbog nedostatne tvrdoće, već se koriste kao podloge ispod viskoviskoznih kompozita. Viskoviskozni bulk kompoziti koriste se za kavitete I., II. i VI. razreda i osiguravaju bolji interproksimalni kontakt od uobičajenih kompozita. Novije generacije *bulk* materijala spadaju u skupinu nanohibridnih kompozita i njihovo polimerizacijsko skupljanje iznosi 1.9% (2). Produženo vrijeme modelacije osiguravaju inhibitori polimerizacije koji umanjuju senzibilnost na svjetlo, dok specijalno patentirani fotoinicijatori ubrzavaju proces polimerizacije i na dubini od 4 mm.

Laboratorijski kompozitni materijali koriste se za izradu indirektnih nadomjestaka kao što su inleji, onleji, overleji, krunice, ljuskice i mostovi.

Kompozitni materijali za izradu bataljaka i kompoziti za privremene restauracije rabe se u pretprotetičkoj pripremi zuba i kao pomoć u planiranju konačnog protetskog rada. Služe kao zaštita preostalog zubnog tkiva (dentinska rana) i kao nadoknada izgubljenog.

Kompomeri su materijali koji kombiniraju najbolje od kompozita i staklenoionomernih cemenata (SIC). Karakterizira ih sposobnost otpuštanja fluorida, a za postizanje adekvatne retencije trebaju adhezijsko sredstvo.

### **5.3. Podjela prema boji i transparentnosti**

Za postizanje zadovoljavajućih estetskih restauracija, posebice za prednje zube, razlikujemo dentinske boje, caklinske boje, transparentne boje, cervikalne boje i pigmente.

### **5.4. Podjela prema broju komponenti/načinu polimerizacije**

Prema broju komponenti razlikujemo dvokomponentne sustave koji polimeriziraju kemijskim putem i jednokomponentne sustave koji polimeriziraju svjetlosnim putem.

Dvokomponentni sustavi dolaze u kombinacijama: pasta-pasta, pasta-tekućina i prah-tekućina, a proces stvrdnjavanja započinje njihovim miješanjem i završava u kavitetu, nakon 4 – 5 minuta. Rijetko se rabe u suvremenoj restaurativnoj dentalnoj medicini.

Jednokomponentni sustavi sadržavaju svjetlosne aktivatore koji omogućuju proces polimerizacije pod utjecam vidljivog, plavog svjetla. Kamforkinon je najčešće korišten fotoinicijator koji pri izlaganju svjetlu prelazi u pobuđeno stanje i aktivira slobodno radikalnu fotopolimerizaciju (inicijacija, propagacija i terminacija).



Cilj suvremene restaurativne dentalne medicine je kreirati idealan kompozitni materijal koji ima poboljšana fizičko-mehanička svojstva, kao što su čvrstoća i otpornost na lom, mir polimerizacijsko skupljanje i stres, sposobnost adhezije na tvrda zubna tkiva bez primjene adhezijskih sustava, sposobnost remineralizacije i antibakterijsko djelovanje. Donedavno su najvažnije promjene u sastavu kompozitnih materijala uključivale smanjivanje anorganskih čestica punila, kako bi se proizveli materijali koji se lakše i učinkovitije poliraju i pokazuju veću otpornost na trošenje. Trenutne promjene više su usmjerene na organski dio materijala, polimernu matricu. Nastoji se smanjiti polimerizacijsko skupljanje i stres te dizajnirati kompozit koji će moći samostalno adherirati na caklinu i dentin. Polimerizacijski stres može uzrokovati mnoge kliničke komplikacije: odvajanje kompozita od površine zuba, tj. stvaranje rubne pukotine, pucanje cakline, dentinsku preosjetljivost i sekundarni karijes (9).

Razvijaju se ekspanzirajući polimeri koji sadrže monomere s otvaranjem prstena (ring-opening systems) kako bi se kompenziralo neizbježno polimerizacijsko skupljanje. Siloranski sustavi, na bazi epoksidnih smola, dokazano se manje skupljaju od tipičnih smola na bazi dimetakrilata zbog reakcije stvrdnjavanja epoksida koja uključuje otvaranje oksiranskog prstena (7). Poznato je da preostali (nepolimerizirani) monomeri, u konvencionalnim kompozitima na bazi Bis-GMA, imaju toksično djelovanje. Pretpostavlja se, na temelju in vitro istraživanja, da i silorani pokazuju slična svojstva. Daljnjim istraživanjima i unapređenjem siloranskih materijala nastoje se minimizirati ta nepovoljna svojstva – citotoksičnost i mutagenost nepolimeriziranog dijela matrice (10). Ormoceri predstavljaju još jednu novu skupinu materijala. Oni su zapravo organski modificirana keramika, koji u usporedbi s konvencionalnim kompozitima imaju niži udio punila i manje se troše, a polimerizacijsko skupljanje i mehanička svojstva su im gotovo podjednaka. Razvijaju se i novi monomeri velike molekularne mase: modificirana uretanska dimetakrilatna smola, dimer-dimetakrilati temeljeni na kiselini, triciklodekan-uretan i tekući kompoziti koji sadržavaju adhezijske monomere. Materijali s modificiranom uretanskom dimetakrilatnom smolom imaju manji stres od konvencionalnih kompozita, ali veću apsorpciju vode, dok oni s dimetakrilatima temeljenim na kiselini ostvaruju i niže skupljanje i manju apsorpciju vode. Triciklodekan-uretan također postiže željeni učinak i dovodi do smanjenja polimerizacijskog skupljanja i stresa. Tekući kompoziti koji sadržavaju adhezijske monomere najbliži su materijal idealnom, samoadherirajućem kompozitu. Sposobni su ostvariti adheziju sa zubnim tkivom jer uz metakrilatne sustave sadrže i monomer specifičan za adhezijske sustave, glicerol-fosfat dimetakrilat (GPDM) (4). Upotrebljavaju se za nadoknadu manjih defekata ili kao bazni materijali.

Problematika polimerizacijskog skupljanja i sekundarnog karijesa pokušava se riješiti razvojem remineralizirajućih kompozitnih materijala. Pokazalo se da dodatak fluoridnih iona u zubne materijale remineralizacijski djeluje te smanjuje kariogeni potencijal bakterija što utječe na rast i metabolizam *S. mutans* (11). Novi kompozitni materijali koji sadržavaju punilo od amornog kalcijevog fosfata (ACP) imaju remineralizacijsku moć. Uz to što obnavljaju okolna tvrda zubna tkiva disocijacijom iona kalcija i fosfata, opisani materijali superiorniji su i u smislu biokompatibilnosti od klasičnih kompozita na tržištu. Mana su im nezadovoljavajuća mehanička svojstva unutar oralnog miljea. Taj problem nastoji se riješiti dodavanjem konvencionalnih silaniziranih punila, što materijale temeljene na ACP čini „hibridnima“. Dosadašnja mjerenja pokazala su da dodatak konvencionalnih punila ne ugrožava otpuštanje iona, a da ga dodatak punila od silike čak povećava (4).

Druga skupina materijala kojom znanstvenici pokušavaju stati na kraj problematici sekundarnog karijesa su eksperimentalni kompoziti s punilom od bioaktivnog stakla. Oni također imaju sposobnost regeneracije tvrdih zubnih tkiva oslobađanjem kalcijevih i fosfatnih iona. In vitro eksperimenti pokazuju još jedno poželjno svojstvo ovih materijala, a to je stvaranje hidroksiapatita na površini same restauracije i zaštita vitalnih dijelova zuba. Bioaktivno staklo otapa se u vodenom mediju, kao što je usna šupljina, i dovodi do snižavanja pH i antibakterijskog učinka. Nestabilnost molekule u vodenom mediju, kao i kod materijala baziranih na punilu od amornog fosfata, uzrokuje slabija mehanička svojstva i ubranu degradaciju materijala. Iako nesilanizirane čestice bioaktivnog stakla percipiramo kao strukturne defekte, one moraju biti takve jer u suprotnom ne bi imale mogućnost disocijacije i remineralizacije. Fizičko-mehanička svojstva mogu se poboljšati dodatkom konvencionalnih punila, ali u tom se slučaju smanjuje bioaktivnost materijala. Iz svega navedenog može se zaključiti da su te dvije karakteristike materijala, bioaktivnost i mehanička svojstva, teško uskladiva. Isto tako, potrebno je naglasiti da remineralizacijski potencijal ovih materijala nije jednak kao kod SIC-a, kompomera i giomera. Dentinski adhezijski sustavi i premazi umanjuju otpuštanje fluoridnih iona (11).

Najnovija istraživanja još detaljnije proučavaju učinke dodatka bioaktivnog stakla 45S5 u sastav kompozita. Najveće smanjenje stupnja konverzije primjećuje se kod bisfenol-A-etilmetilkrilatnih (Bis-EMA) smola, zatim Bis-GMA, dok se stupanj konverzije kod UDMA smola nije promijenio dodatkom bioaktivnog stakla (12). Kreirano je i eksperimentalno bioaktivno staklo koje u sebi sadrži fluor i male količine natrija. Za razliku od kompozita s dodatkom bioaktivnog stakla 45S5, ovaj najnoviji materijal ne pokazuje redukciju stupnja



konverzije (13). Proučava se i uspoređuje i remineralizacijsko, protukarijesno djelovanje kompozita modificiranih bioaktivnim staklom i komercijalnih materijala, s tim svojstvima, već dostupnih na tržištu. Oba materijala daju slične rezultate (14).



Razvitak i uporaba kompozitnih materijala u svakodnevnom kliničkom radu predstavlja jedno od većih dostignuća moderne dentalne medicine. Otkriće adhezijske tehnologije i primjena kompozita u liječenju i restauraciji karijesnih defekata označava početak minimalno invazivne dentalne medicine. Danas se kompoziti rabe u gotovo svim granama dentalne medicine i upravo iz tog razloga bitan je konstantni napredak i približavanje idealnom materijalu.

Suvremeni kompozitni materijali zadovoljavaju visoke estetske standarde, a na optimizaciji fizičko-mehaničkih svojstava, kao što su tvrdoća, čvrstoća i otpornost na lom, neumorno se radi. Unaprjeđivanje materijala je značajno jer olakšava rad kliničaru i povećava zadovoljstvo pacijenta estetskim ispunom koji će trajati. Isto tako, pulpa zuba mora biti fizički i termički zaštićena od vanjskih štetnih čimbenika. Sam kompozitni materijal ne smije predstavljati opasnost za pulpu i okolna oralna tkivu, tj. mora biti biokompatibilan.

Krajnji cilj je kreiranje materijala koji će prevenirati nastanak sekundarnog karijesa i učiniti restauraciju iznimno trajnom. Kako bi to bilo moguće, nastoji se smanjiti polimerizacijsko skupljanje i stres, intenzivirati remineralizaciju, integrirati antibakterijska sredstva i omogućiti adheziju kompozita na caklinu i dentin bez posredstva adheziva.



O značenju kompozitnih materijala govori činjenica da je svakodnevni klinički rad doktora dentalne medicine bez njih nezamisliv. U potpunosti su promijenili koncept do tad prakticirane restaurativne dentalne medicine i omogućili očuvanje zdravog tvrdog zubnog tkiva. Koriste se, osim u restaurativnoj dentalnoj medicini, i u dječjoj dentalnoj medicini, protetici, ortodontiji, kirurgiji i parodontologiji.

Razvitak i napredak kompozita traje sve od 1960-ih godina pa sve do danas. Upravo je kontinuirano unaprjeđenje svakog novog materijala na tržištu razlog širokog spektra indikacija suvremenih kompozitnih materijala. Sigurno je samo jedno – znanstvenici i istraživači neće prestati u nastojanjima da kreiraju idealan samoadherirajući, bioaktivni, kompozitni materijal.



1. Šutalo J i suradnici. Patologija i terapija tvrdih zubnih tkiva. Zagreb: Naklada Zadro; 1994. p. 341-95.
2. Tarle Z, Klarić E. Kompozitni materijali i adhezijski sustavi. U Mehulić K i suradnici. Dentalni materijali. Zagreb: Medicinska naklada; 2017. p. 108-27.
3. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent*. 2003;28:215-35.
4. Tarle Z i suradnici. Restaurativna dentalna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 2019. p. 227-52.
5. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater*. 2011;27:17-28.
6. Santini A, Gallegos IT, Felix CM. Photoinitiators in dentistry: a review. *Prim Dent J*. 2013;2(4):30-3.
7. Ferracane JL. Resin composite – State of the art. *Dent Mater*. 2011;27:29-38.
8. Tarle Z, Attin T, Marovic D, Andermatt L, Ristic M, Tauböck TT. Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig*. 2015;19(4):831-40.
9. Marovic D, Tauböck TT, Attin T, Panduric V, Tarle Z. Monomer conversion and shrinkage force kinetics of low-viscosity bulk-fill resin composites. *Acta Odontol Scand*. 2015;73(6):474-80.
10. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J*. 2011;56(1 Suppl):59-66.
11. Kelić K, Par M, Peroš K, Šutej I, Tarle Z. Utjecaj smolastog premaza na otpuštanje iona iz restaurativnih materijala koji otpuštaju fluoridne ione. *Acta Stomatol Croat*. 2020;54(4):371-381.
12. Par M, Spanovic N, Tauböck TT, Attin T, Tarle Z. Degree of conversion of experimental resin composites containing bioactive glass 45S5: the effect of post-cure heating. *Sci Rep*. 2019;9(1):17245.
13. Par M, Attin T, Tarle Z, Tauböck TT. A New Customized Bioactive Glass Filler to Functionalize Resin Composites: Acid-Neutralizing Capability, Degree of Conversion, and Apatite Precipitation. *J Clin Med*. 2020;9(4):1173.
14. Par M, Gubler A, Attin T, Tarle Z, Tauböck TT. Anti-demineralizing protective effects on enamel identified in experimental and commercial restorative materials with functional fillers. *Sci Rep*. 2021;11(1):11806.





Ana Selak rođena je 23.1.1997. u Zagrebu. Osnovnu školu Alojzija Stepinca i Osnovnu glazbenu školu Rudolpha Matza završava u Zagrebu 2011. godine. Upisuje II. gimnaziju u Zagrebu, gdje s odličnim uspjehom maturira 2015. godine. Iste godine upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Za vrijeme studija sudjeluje u „Dentaklu“ – spektaklu studenata dentalne medicine i asistira u privatnoj stomatološkoj ordinaciji.