



UNIVERZITET CRNE GORE  
MEDICINSKI FAKULTET  
PODGORICA

SMJER: STOMATOLOGIJA  
PREDMET: HEMIJA

SEMINARSKI RAD

# POLIMERIZACIJA U STOMATOLOŠKIM MATERIJALIMA

Profesor:

Prof. Dr. Milica Kosović Perutović

Student:

Kosta Poleksić 18/24

DECEMBAR, 2024.

## Sadržaj

UVOD .....	3
1. PROCES POLIMERIZACIJE .....	4
1.1 POLIMERIZACIJA AKTIVIRANA TOPLOTOM .....	6
1.2 POLIMERIZACIJA AKTIVIRANA SVJETLOŠĆU .....	7
1.3 HEMIJSKI AKTIVIRANA POLIMERIZACIJA .....	9
1.4 POLIMERIZACIJA DVOSTRUKOG OČVRŠĆIVANJA.....	11
2. PREDNOSTI POLIMERIZACIJE.....	12
3. MANE POLIMERIZACIJE .....	13
Zaključak .....	14
Literatura.....	15

## UVOD

U stomatologiji, polimerizacija je neophodna, posebno za stvaranje i upotrebu stomatoloških materijala uključujući ljepila, kompozite i smole. Mali molekuli monomera se hemijski spajaju da bi formirali dugačke polimerne lance tokom procesa polimerizacije, koji proizvodi materijal sa poboljšanim mehaničkim kvalitetima kao što su čvrstoća, izdržljivost i otpornost na cijepanje. Pošto zubne nadoknade moraju da izdrže mehanička naprezanja i uslove okoline u usnoj šupljini, ovi kvaliteti su ključni za njihovu efikasnost. Stoga je neophodno razumijeti hemiju polimerizacije i mnoge tehnike koje se koriste za pokretanje i upravljanje ovim procesom kako bi se garantovala trajnost i funkcionalnost stomatoloških procedura.

Hemijska i svetlo-aktivirana polimerizacija su dva glavna oblika polimerizacije kroz koja prolaze zubni materijali. Hemijska polimerizacija je proces u kome se dvije supstance, obično monomer i inicijator, kombinuju da bi se proizveli slobodni radikali, koji započinju reakciju polimerizacije. Nasuprot tome, svjetlosno-aktivirana polimerizacija koristi izvor svjetlosti, često plavu svjetlost, da pokrene foto-inicijator u materijalu, što izaziva polimerizaciju. Dok se hemijska polimerizacija može koristiti za materijale koji ne zahtijevaju izlaganje svjetlosti, svjetlosno aktivirana polimerizacija nudi veću kontrolu nad radnim vremenom i dubinom očvršćavanja.

Efikasnost polimerizacije direktno utiče na performanse zubnih materijala. Slabe restauracije koje su sklone kvaru, skupljanju ili habanju mogu biti rezultat nepotpune ili neefikasne polimerizacije. Zbog toga je neophodno razumjeti proces polimerizacije i elemente koji na njega utiču kako bi se proizveli dentalni materijali koji su biokompatibilni i dugotrajni. Karakteristike stomatoloških materijala se kontinuirano poboljšavaju razvojem u hemiji polimerizacije, dajući stomatolozima više resursa za proizvodnju efikasnih, estetski prijatnih i dugotrajnih nadoknada za svoje pacijente.

# 1. PROCES POLIMERIZACIJE

Polimerizacija je hemijski proces kroz koji se monomeri kombinuju i formiraju polimere, što dovodi do veće i stabilnije molekularne strukture. U stomatologiji, ovaj proces je ključan za stvaranje izdržljivih, funkcionalnih materijala koji se koriste u operativnim procedurama, restaurativnim procedurama, prostetici i ortodonciji. Proces polimerizacije obezbeđuje čvrstoću, izdržljivost i kompatibilnost dentalnih materijala kao što su kompoziti, akrilne smole i cementi.

Postoje različite vrste polimerizacije za stomatologiju a najčešća je **adiciona polimerizacija** koja se obavlja reakcijom monomera sa nezasićenim dvostrukim vezama (C=C). Ovaj proces se odvija u tri faze:

- **Inicijacija** – prva faza adicione polimerizacije koja uključuje stvaranje slobodnih radikala, koji su visoko-reaktivni molekuli sa nesparenim elektronima. Ovaj korak najčešće pokreće inicijator koji se raslaže putem toplote, svjetlosti ili hemijskim aktivatorima, što stvara slobodne radikale. Pošto su formirani, slobodni radikali napadaju dvostruke veze i razbijaju molekule monomera. Reakcija inicijacije je reaktivno mjesto u kome jedan elektron iz prekinute veze se uparuje sa slobodnim radikalom, gdje se stvara lančana reakcija.
- **Propagacija** – Druga faza koja uključuje sekvencijalno dodavanje monomera rastućem polimernom lancu. U ovoj fazi, reaktivni kraj polimernog lanca koji se sastoji od slobodnih radikala, reaguje sa dvostrukom vezom monomera i formira novu vezu koja produžava lanac. Proizvode se novi slobodni radikali na kraju lanca što omogućava da se proces ponovi. Ova lančana reakcija je brza i traje sve dok su dostupni i aktivni monomeri i slobodni radikali. U ovoj fazi se razmnožavanje dešava i najveći dio rasta polimera određuje njegovu molekulsku težinu što doprinosi mehaničkoj čvrstoći i izdržljivosti materijala za restauraciju.
- **Raskid** – Završna faza adicione polimerizacije koja se dešava kada aktivnost slobodnih radikala prestane. To se dešava kroz različite mehanizme kao što su: i) kombinacija dva polimerna lanca sa slobodnim radikalima gdje se formira jedan stabilan polimerni lanac. ii) disproporcionalnost gdje slobodni radikal na jednom lancu reaguje sa atomom vodonika iz drugog lanca, što stvara dva polimerna lanca.

Raskid zaustavlja lančanu reakciju gdje se struktura polimera stabilizuje i osigurava se da polimerni materijal postigne željeno mehaničko svojstvo i stabilnost. Nepotpuni završetak može da ostavi preostale slobodne radikale, što potencijalno može izazvati nepotpuno očvršćavanje ili degradaciju materijala.

Primjer polimerizacije bi bio metil metakrilat (MMA), monomer, koji se koristi u bazama proteza koji reaguje u adicionoj polimerizaciji.

Drugi tip je **kondenzaciona polimerizacija** koja proizvodi nusproizvode (voda ili alkohol) a koristi se u određenim materijalima za otiske. Polimerizacija otvaranja prstena<sup>1</sup> je takođe je ključna za dentalne materijale koji su biorazgradivi poput polikaprolaktona, koji se koriste u vođenoj regeneraciji tkiva.

Proces polimerizacije u stomatologiji se obično uključuje u tri faze:

- Pre-polimerizacija
- Reakcija polimerizacije
- Post-polimerizacija

Materijali se isporučuju u monomernom ili pre-polimerizovanom stanju kako bi se omogućila manipulacija prije polimerizacije putem toplote, svjetlosti ili hemijskih katalizatora. Rezidualni monomeri se pretvaraju u polimere tokom post-polimerizacije što poboljšava svojstva materijala i smanjuje njihovu toksičnost.

Na polimerizaciju utiče nekoliko faktora kao što su temperatura, svjetlost, hemijski katalizatori ili čak kombinacija između ovih faktora, što dovodi do različitih rezultata. Iz toga se dijele različite metode polimerizacije:

- **Polimerizacija aktivirana toplotom**
- **Polimerizacija aktivirana svjetlošću**
- **Polimerizacija aktivirana hemijskim svojstvima**

Četvrta metoda kao kombinacija je polimerizacija dvostrukog očvršćavanja gdje se kombinuje svjetlosna i hemijska aktivacija. Dobija se potpuna polimerizacija čak i u oblastima koje su ograničene pristupom svjetlosti.

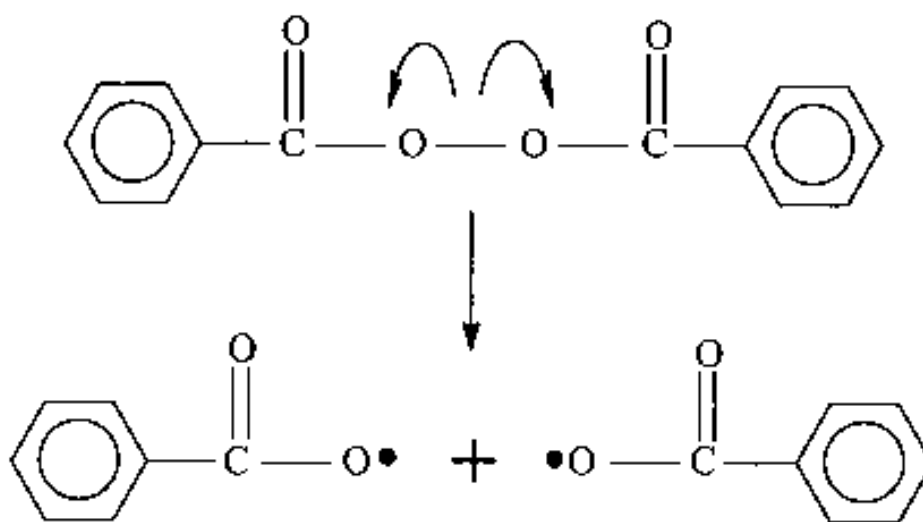
---

<sup>1</sup> ROP – Ring-operated polymerization

## 1.1 POLIMERIZACIJA AKTIVIRANA TOPLITOM

Polimerizacija aktivirana toplotom je proces u kome se polimerizacija monomera u polimere pokreće primjenom toplote da bi se pokrenula hemijska reakcija. Jedna od najstarijih tehnika koje se koriste u stomatologiji. Ova tehnika polimerizacije aktivira inicijatorsko jedinjenje (najčešće se koristi benzoil peroksid) i time se stvaraju reaktivne vrste (kao što su slobodni radikali, katjoni ili anjoni) koje pokreću reakciju polimerizacije naprijed. Reaktivne vrste stupaju u interakciju sa monomerima, razbijanjem njihovih dvostrukih veza i pokretanje lančane reakcije koja dovodi do formiranja aktivnih polimernih lanaca. Proces polimerizacije se završava kada se reaktivna mjesta neutrališu, bilo kombinovanjem dva aktivna lanca ili kroz reakcije sa terminirajućim agensima.

Figure 1: Početno formiranje radikala razgradnjom benzoil peroksida



Izvor: <https://www.researchgate.net/figure/initial-radical-formation-by-decomposition-of-benzoyl-peroxide-fig6-300610749>

Jedna od glavnih prednosti ove tehnike polimerizacije je njeno svojstvo da obezbjedi ujednačenu polimerizaciju u kroz čitavu površinu materijala. Kontrolisana primjena toplote osigurava da se inicijator ravnomjerno aktivira duž čitave površine, što dovodi do konzistentne strukture i svojstava polimera. Ova uniformnost je posebno važna za zubne materijale koji zahtevaju visoku čvrstoću i otpornost na habanje, kao što su potpune ili djelimične baze proteza.

Još jedna od ključnih prednosti polimerizacije aktivirane toplotom je da se proces pokreće tek kada se primjeni dovoljno toplote, ovo omogućava kontrolu vremena polimerizacije. Ovo je posebno korisno u industrijskim i proizvodnim okruženjima. Prednost koju ima polimerizacija aktivirana toplotom nad svjetlosno polimerizovanim sistema je da polimerizacija aktivirana toplotom ne zahtijeva specifične izvore svetlosti, što je čini korisnom za aplikacije gde je izlaganje svetlosti nepraktično.

Zbog visokog stepena polimerizacije i smanjenog sadržaja zaostalog monomera, materijali proizvedeni ovom metodom pokazuju povećanu izdržljivost, što je neophodno za dugoročnu funkcionalnost protetike izložene stalnim mehaničkim silama. Međutim, stomatolozi prilikom primjene polimerizacije aktivirane toplotom moraju imati na umu toplotne efekte na susjedne strukture tokom procesa, jer prekomjerna toplota može oštetiti materijal ili u gorem slučaju može oštetiti obližnja tkiva zbog povećane temperature.

Neke od mana polimerizacije aktivirane toplotom su energetske zahtjevi, rizik termičke degradacije kao i specijalizovana oprema, toplotna aktivacija često zahtijeva pećnice, kalupe ili zagrijane prese.

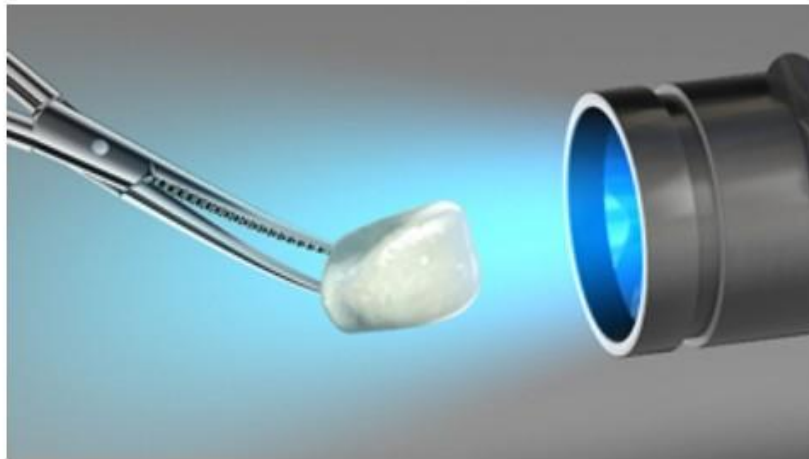
## **1.2 POLIMERIZACIJA AKTIVIRANA SVJETLOŠĆU**

Drugi metod polimerizacije koji je široko korišćena i svestrana tehnika u stomatologiji, posebno za restaurativne materijale poput dentalnih kompozita, zaptivača i lijepaka. Ova metoda koristi specifičan izvor svjetlosti, obično u spektru plave svjetlosti koje imaju opseg talasnih dužina 400-500 nm, da bi se aktivirali fotoinicijatori u materijalu. Najčešći fotoinicijator koji se koristi je kamforhinon koji apsorbuje svjetlosnu energiju i generiše slobodne radikale koji pokreću sami proces polimerizacije. Iz ove tehnike se dobija preciznost i kontrola, što nudi stomatolozima da polimerizuju materijale na licu mjesta sa minimalnim otpadom.

Jedna od prednosti svjetlosno aktivirane polimerizacije je njena mogućnost obezbjeđivanja očvršćavanja na zahtjevu. To znači da materijal ostaje u savitljivom stanju dok se ne izloži svjetlost, što omogućava ljekaru dovoljno vremena da ga oblikuje i manipuliše kako bi se optimalno izvršio proces. Ovo svojstvo je najviše korisno u restaurativnim procedurama gdje materijal treba da se precizno prilagodi strukturi zuba.

Pored toga, proces se može ponoviti, po potrebi, što omogućava slojno nakupljanje materijala kako bi se osigurala odgovarajuća dubina očvršćavanja i smanjilo skupljanje. Figura 2 pokazuje jedan kako uređaji koristeći plavu svjetlost na određenoj talasnoj dužini može da drastično utiče na restauraciju zuba. Ove jedinice su energetski efikasnije i proizvode manje toplote, smanjujući rizik od termičkog oštećenja okolnih tkiva.

*Figure 2: Uređaji za svjetlosno aktiviranu polimerizaciju*



Source: <https://www.kulzer.com/int2/en/for-dental-technicians/products-by-indication/veneering-composites/overview-light-polymerization-device.html>

Efikasnost procesa očvršćavanja zavisi od nekoliko faktora kao što su intenzitet, talasna dužina izvora svjetlosti, rastojanje između svjetlosti i materijala i vrijeme izlaganja. Nedovoljno očvršćavanje može da ostavi preostale monomere u materijalu, što će smanjiti mehaničku čvrstoću materijala i povećati rizik biokompatibilnošću. Kiseonik koji se formira na površini tokom polimerizacije može da bude dodatni izazov jer može da ugrozi površinsku tvrdoću materijala ako se ne riješi.

Ovaj metod polimerizacije je jedan od temeljnih metoda moderne restaurativne stomatologije. Njegova preciznost, lakoća upotrebe i kompatibilnost sa širokim spektrom materijala ga čine jednim od potrebnijih alata u kliničkoj praksi. Pridržavajući se najboljih praksi i iskorišćavanjem napretka u tehnologiji, stomatolozi mogu da maksimiziraju prednosti ove metode dok minimiziraju potencijalne nedostatke što osigurava visokokvalitetne i trajne restauracije za svoje pacijente.



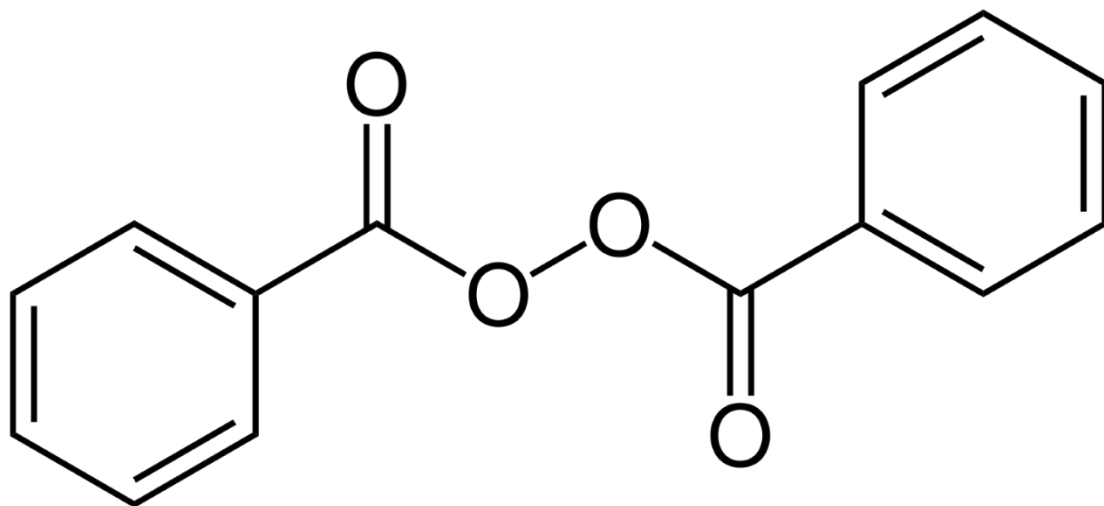
### 1.3 HEMIJSKI AKTIVIRANA POLIMERIZACIJA

Hemijski aktivirana polimerizacija je proces gde se polimerizacija pokreće hemijskom reakcije odnosno oslanja se na hemijske inicijatore za pokretanje polimerizacije. Ovaj metod ne zahtijeva spoljne izvore energije kao što zahtijeva polimerizacija aktivirana toplotom ili svetlošću, i zato se ovaj metod polimerizacije često naziva polimerizacija hladnog stvrdnjavanja.

Ovaj metod je veoma koristan za primjenu u skućenim prostorima, oblastima sa ograničenim pristupom ili u oblastima gdje se moraju održavati ambijentalni uslovi.

Proces počinje sa hemijskim inicijatorom, kao što je benzoil peroksid (molekul benzol peroksida možemo vidjeti na Figuri 3), koji se aktivira akceleratorom ili aktivatorom. stvarajući reaktivne vrste poput slobodnih radikala. Ove reaktivne vrste su odgovorne za pokretanje procesa polimerizacije.

Figure 3: Molekul benzol peroksida



Izvor: [13. Polymers in Prosthodontics | Pocket Dentistry](#)

Kada se jednom započne, polimerizacija se širi, time reaktivne vrste stupaju u interakciju sa molekulima monomera, što dovodi do formiranja polimernih lanaca. Ova reakcija se nastavlja sve dok se svi monomeri ne potroše ili dok se reaktivna mjesta neutrališu.

Brzina reakcije i trajanje polimerizacije se može kontrolisati podešavanjem koncentracije inicijatora i aktivatora.

Prednosti ove metode polimerizacije su:

- Hemijska aktivacija omogućava polimerizaciju u dubokim ili nepristupačnim djelovima, ili u oblastima gde toplota ili svjetlost ne mogu da prodru, kao što su unutar kalupa ili ispod slojeva materijala. Ovo je posebno korisno za zubne nadoknade
- Polimerizacija se dešava na sobnoj temperaturi, što uklanja rizik od termičkog oštećenja kako materijala tako i osetljivih podloga
- Podešavanjem koncentracija inicijatora i aktivatora, brzina reakcije se može prilagoditi tako da se obezbjedi željeno radno vreme
- Hemijska aktivacija je željena metoda u nekim izazovnim uslovima kao što su vlažna površina, neravne površina ili promjenljiva temperatura okoline.

Neke od mana hemijski aktivirane polimerizacije su:

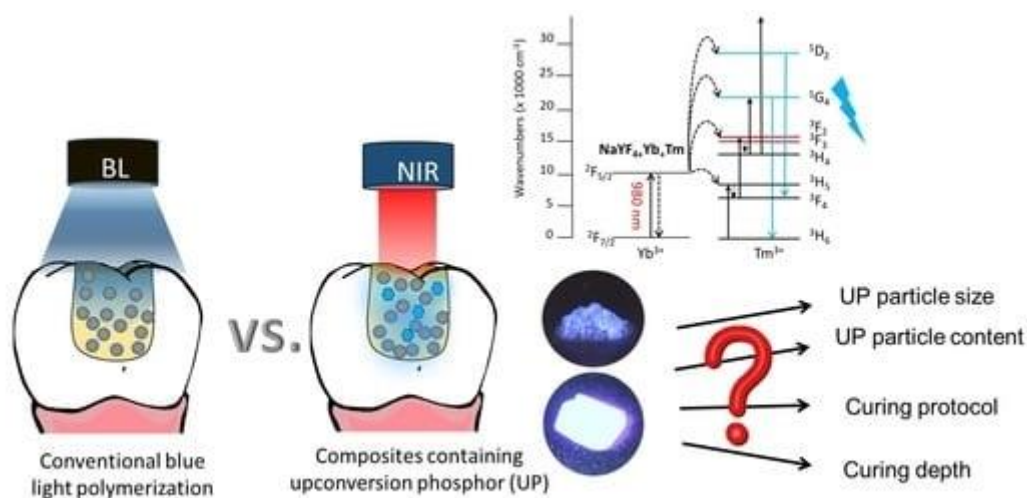
- Jedan od rizika hemijski aktivirane polimerizacije je nepotpuna polimerizacija, ako odnos aktivatora i inicijatora nije precizno kontrolisan, ili ako mješanje nije adekvatno, reakcija polimerizacije može biti nepotpuna. Ovo može dovesti do područja sa slabom mehaničkom čvrstoćom ili smanjenim performansama materijala.
- Toksičnost mnogih hemijski inicijatori i aktivatori kao što su benzoil peroksid i amini, predstavljaju potencijalni rizik po zdravlje, mogu dovesti do iritacija kože, respiratornih problema ili toksičnost tokom rukovanja, što zahtijeva stroge mjere predostrožnosti.
- Još jedna mana hemijski inicijatora i aktivatora jeste njihovo skladištenje i stabilnost, imaju ograničen rok trajanja i zahtijevaju pažljivo skladištenje kako bi se spriječilo prerano aktiviranje ili degradacija.

## 1.4 POLIMERIZACIJA DVOSTRUKOG OČVRŠĆIVANJA

Polimerizacija dvostrukog očvršćavanja je proces u kojem materijal prolazi kroz dva različita mehanizma očvršćavanja, najčešće kroz svjetlosnu polimerizaciju i hemijsku polimerizaciju, što omogućava bolju kontrolu nad procesom polimerizacije. Ovaj dvostruki pristup očvršćavanja se često koristi u stomatološkim materijalima, lijepkovima i premazima, gdje su precizna mehanička i hemijska svojstva neophodna. Proces dvostrukog očvršćavanja kombinuje prednosti više mehanizama polimerizacije, što nudi povećanu pouzdanost, svestranost i efikasnost.

Polimerizacija dvostrukog očvršćavanja se sastoji iz dvije faze, gdje se smjenjuju metode polimerizacije, kao na primjer u prvoj fazi polimerizacije dvostrukog očvršćavanja koristimo svjetlosnu polimerizaciju, a zatim druga faza uključuje hemijsku reakciju. Ovaj mehanizam obezbjeđuje da se očvršćavanje nastavi u oblastima gdje svjetlost ne može da prodre, kao što je ispod površine ili u zasjenčenim delovima.

Figure 4: Polimerizacija dvostrukog očvršćavanja



Izvor: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/24/4304>

Kombinacija ova dva mehanizma polimerizacije obezbjeđuje potpunu polimerizaciju, čak i u teškim uslovima. Koristeći snagu oba mehanizma očvršćavanja, polimerizacija dvostrukog očvršćavanja obezbeđuje poboljšana svojstva materijala, pouzdanost i svestranost. Figura 4 pokazuje kombinaciju infracrvenog zračenja i plave svjetlosti sa djelovima koji sadrže i crveni fosfor.

## 2. PREDNOSTI POLIMERIZACIJE

Polimerizacija ima razne prednosti koje je čine nezamjenljivim procesom u stomatologiji. Sposobnost polimerizacije da transformiše monomerne materijale u čvrste, izdržljive, stabilne polimere omogućava da se održe visokokvalitetne zubne restauracije, protetika i drugih materijala. Prednosti dolaze iz raznih svojstava polimerizovanih materijala (hemijska, biološka, mehanička) koja su prilagođena raznim zahtjevima stomatološke primjene.

Jedna od prvenstvenih prednosti polimerizacije je stvaranje materijala koji su od odlične mehaničke čvrstoće. Polimeri koji su formirani ovim procesom pokazuju na visoku otpornost na habanje, lom i deformaciju što je neophodno da se izdrži sila žvakanja. Dentalni kompoziti koji se koriste u restauracijama mogu da izdrže veliku količinu opterećenja dok, tokom vremena, zadržavaju svoj oblik i funkcionalnost. Ovo čini polimerizovane materijale veoma pogodnim za restauracije.

Hemijska stabilnost koju daje polimerizacija produžava životni vijek materijala, čime se smanjuje potreba za čestim zamjenama ili popravkama. Doprinos polimerizacije ka dugovječnošću i izdržljivošću zubnih materijala dolazi iz pravilne polimerizacije koja rezultuje u manju degradaciju, što obezbjeđuje njihovu stabilnost. Ovdje se specifičan akcenat stavlja na protetiku kao što su baze proteza koje moraju da održe svoj strukturisani integritet iako su izložene različitim temperaturama, vlazi i oralnim bakterijama.

Polimerizacija takođe omogućava precizno prilagođavanje materijala sa specifičnim kliničkim potrebama. Stomatološki materijali se mogu formulirati sa različitim stepenom fleksibilnosti, rigidnosti ili estetskim kvalitetima u zavisnosti od vrste polimerizacije koja se koristi. Primjer predstavlja toplotno aktivirana polimerizacija koja obezbjeđuje jake i čvrste materijale idealne za baze proteza, dok polimerizacija aktivirana svjetlošću omogućava estetske i plastične materijale da se koriste tokom direktne restauracije. Ova fleksibilnost korišćenja polimerizacije omogućava stomatološkim specijalistima da pruže bolju uslugu i poboljšaju rezultate pacijenata.

### 3. MANE POLIMERIZACIJE

Polimerizacija u stomatologiji, iako je standard za stvaranje izdržljivih i estetski prijatnih nadoknada kao što su krunice, fasete i kompozitore plome može imati neke potencijalne nedostatke.

Tokom procesa očvršćavanja, materijali koji se koriste u polimerizaciji se mogu skupiti, što zatim dovodi do praznina između restauracije i strukture zuba. Ovo može uzrokovati:

- Mikropropuštanje (dopušta bakterijama ili tečnostima da uđu).
- Postoperativna osjetljivost.
- Povećan rizik od sekundarnog karijesa.
- Napon koji se stvara tokom polimerizacionog skupljanja može oštetiti okolnu strukturu zuba ili izazvati prelome u restauraciji što ugrožava njenu dugovječnost.

Još jedna briga tokom polimerizacije je stvaranje toplote tokom procesa. Egzotermna reakcija potencijalno može oštetiti osjetljivo tkivo pulpe. Ako se toplotom ne upravlja pravilno, to može dovesti do ireverzibilnog pulpitisa, što bi moglo zahtijevati dalji tretman kao što je terapija kanala korijena.

Još jedna mana polimerizacije je da može doći do nepotpune polimerizacije ako svjetlo za polimerizaciju nije adekvatno kalibrisano, materijal je previše gust ili svetlost ne dopire do svih područja ravnomjerno. Nepotpuna polimerizacija smanjuje mehaničku čvrstoću restauracije i povećava oslobađanje neizreagovanih monomera, koji mogu da iritiraju okolna tkiva ili predstavljaju dugoročne zdravstvene probleme.

Jedan od potencijalnih rizika za pacijente je takođe alergijskim reakcijama na komponente u materijalima na bazi polimera, kao što su derivati bisfenola A (BPA), koji se mogu osloboditi tokom nepotpune polimerizacije. Ove reakcije mogu izazvati iritaciju tkiva ili preosjetljivost kod nekih osoba.

Zavisnost od troškova i opreme predstavlja jedan od praktičnih izazova za stomatologe. Potreba za specijalizovanim svjetlima za polimerizaciju i preciznim materijalima povećava troškove tretmana i zahtjeva stalno održavanje i kalibraciju opreme.

## Zaključak

Polimerizacija u stomatologiji je hemijski proces koji je ključan u formiranju zubnih materijala kao što su smole, kompoziti i ljepljiva. Kroz proces polimerizacije vrši se transformacija monomera, koji su mali reaktivni molekuli, u dugolančane polimere kroz hemijsku reakciju. Dobijeni polimerizovani materijal posjeduje poboljšana mehanička svojstva kao što su čvrstoća, izdržljivost i otpornost na habanje i lom. Ovo čini materijal pogodnijim za upotrebu u zubnim restauracijama kao što su plombe, krunice, implantati i prostetičke proteze.

Postoje više vrsta reakcija polimerizacije koj se koriste u stomatološkim materijalima, i sve metode donose različite rezultate. Dvije ključne komponente su u polimerizaciji, monomer i inicijator, koji se miješaju zajedno i pokreću reakciju polimerizacije. Kroz ovu reakciju pokreće se katalizator koji indukuje stvaranje slobodnih radikala koji raskidaju vezu monomera i formiraju polimerne lance.

Efikasnost procesa polimerizacije direktno utiče na svojstva materijala zubnih nadoknada. Nepotpuna polimerizacija može dovesti do materijala koji je slabiji, skloniji habanju i potencijalno iritantan za okolna tkiva. Pored toga, nepotpuno očvršćavanje može dovesti do polimerizacionog skupljanja, što može izazvati praznine između nadoknade i strukture zuba, što dovodi do potencijalnog kvara. Stoga je postizanje potpune i efikasne polimerizacije ključno za obezbeđivanje mehaničke stabilnosti, estetskih svojstava i biokompatibilnosti dentalnih materijala. Napretci u hemiji polimerizacije kao što je razvoj sistema dvostrukog očvršćavanja i poboljšani foto-inicijatori, mogu dovesti do boljih performansi i pouzdanost materijala.

Vjerujem da kontinuirano istraživanje i razvoj u hemiji polimerizacije za zubne materijale je od ključnog značaja za poboljšanje kvaliteta zubnih nadoknada. Optimizacijom hemijskih procesa, možemo smanjiti pojavu problema, kvarova i potrebe za konstantnim popravljanjem zuba, što može dovesti do dugovječnosti zdravlja zuba. Ovo bi omogućilo pouzdanijim i trajnijim zubnim restauracijama što bi na kraju bilo od koristi i pacijentima i stomatolozima.

## Literatura

1. Ruyter, I. E., & Øysæd, M. S. (1987). "The effect of light intensity on polymerization of composite resins." *Journal of Dental Research*, 66(9), 1540-1543.
2. Ferracane, J. L. (2011). "Plasma-polymerized dental composites: An evolving chemistry." *Dental Materials*, 27(5), 405-409.
3. Burgess, J. O., & Cakir, D. (2010). "Light-cured composite resins: State of the art and future perspectives." *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 31(3), 224-230.

<https://www.researchgate.net/figure/nitial-radical-formation-by-decomposition-of-benzoyl-peroxide-fig6-300610749>

<https://www.kulzer.com/int2/en/for-dental-technicians/products-by-indication/veneering-composites/overview-light-polymerization-device.html>

[13. Polymers in Prosthodontics | Pocket Dentistry](#)

<https://www.mdpi.com/2073-4360/13/24/4304>