

# Polimerni materijali za izradu implantata

---

**Borić, Maja**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:074333>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**Studij politehnike**

Preddiplomski sveučilišni studij politehnike

Maja Borić

**Polimerni materijali za izradu implantata**

Završni rad

Mentor: Doc. dr.sc. Mateja Šnajdar Musa

Rijeka, 2022. godina

UNIVERSITY OF RIJEKA

**School of Polytechnics**

Undergraduate study of Polytechnics

Maja Borić

**Polymers used for biomedical implants**  
**Bachelor thesis**

Mentor: Doc. dr.sc. Mateja Šnajdar Musa

Rijeka, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prvenstveno svojim roditeljima, Vjekoslavu i Tatjani, koji su mi omogućili moje bezbrižno studiranje i bratu Filipu koji je trpio moje gubljenje živaca kroz godine. Hvala cijeloj obitelji na podršci i prijateljicama Maji i Valeriji na svim korisnim savjetima, te rođaku M.M.

Posebno želim zahvaliti bratu Žigi što je uvijek tu bila za mene i jer smo skupa uspjele proći svu tu muku, bilo je teških perioda ali smo preživjele. M.D. hvala za našu zadnju godinu, moglo je to biti i ranije.

Zahvaljujem se također i svojoj mentorici doc. dr.sc. Mateji Šnajdar Musa, što je treću godinu za redom pristala biti moj mentor i hvala na strpljenju i svim korisnim savjetima, jer bez Vas to ne bi bilo izvedivo. :)

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
Studij politehnike  
Rijeka, 18.02.2022.

## Zadatak za završni rad

Pristupnik: Maja Borić

Naziv završnog rada: Polimerni materijali za izradu implantata

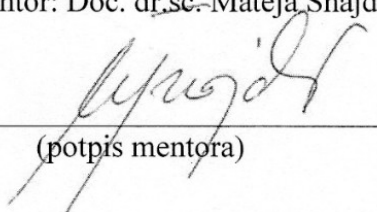
Naziv završnog rada na eng. jeziku: Polymers used for biomedical implants

Sadržaj zadatka:

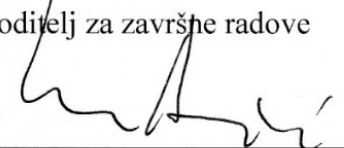
Kreirati pregled razvoja polimernih materijala za primjenu u biomedicini s naglaskom na polimerne materijale za razne tipove implantata i osvrtom na njihov povijesni razvoj. Analizirati nužna funkcionalna, biološka i eksploatacijska svojstva koje se traže od materijala za ugradnju u žive organizme te potrebna svojstva koja garantiraju kompatibilnost s biološkim tkivom ali i mehanička svojstva koja osiguravaju nosivost i funkciju ovih materijala u različitim uvjetima s obzirom na mjesto ugradnje. Dati pregled i podjelu trenutno dostupnih polimernih materijala na biomedicinskom području te najnovijih trendova i prednosti u odnosu na konvencionalne materijale implantata.

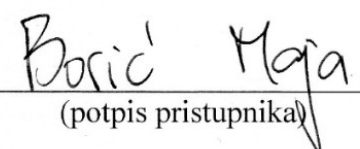
U završnom zadatku treba slijediti **Upute o izradi završnog rada.**

Mentor: Doc. dr.sc.-Mateja Šnajdar Musa

  
\_\_\_\_\_  
(potpis mentora)

Voditelj za završne radove

  
\_\_\_\_\_  
Zadatak preuzet: 14.3.2022

  
\_\_\_\_\_  
(potpis pristupnika)

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS DIJAGRAMA.....	III
POPIS OZNAKA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY.....	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Povijesni razvoj.....	1
1.2. Dodaci polimerima.....	3
2. POLIMERNI MATERIJALI.....	4
2.1. Podjela polimernih materijala.....	4
2.1.1. Plastomeri.....	5
2.1.2. Elastomeri.....	6
2.1.3. Duromeri.....	7
2.1.4. Elastoplastomeri.....	7
2.2. Svojstva i karakteristike polimernih materijala.....	8
2.2.1. Mehanička svojstva.....	9
2.2.2. Tribološka svojstva i kemijska postojanost.....	12
2.2.3. Toplinsko- mehanička svojstva.....	13
2.3. Primjeri upotrebe polimernih materijala.....	14
3.1. Vrste polimernih materijala u biomedicini.....	17
3.1.1. Primjena u zubnoj protetici.....	18
3.1.2. Polimetil-metakrilat (PMMA).....	19
3.1.3. Polietil-metakrilat (PEMA), epimini i hibridi.....	19
3.2. Primjena u liječenju ili zamjeni tkiva u organizmu.....	20
3.2.1. Polimeri koji se koriste za zamjenu krvnih žila, srca i srčanog zaliska.....	20
3.2.2. Privremeni implantati u mozgu i krvnim žilama.....	21
3.2.3. Polimeri u zglobnim implantatima.....	21
3.2.4. Mehanizam umjetnog zgloba.....	22
4. TRENUTNO STANJE BIOMEDICINSKE PRIMJENE POLIMERNIH MATERIJALA I NJIHOVA SVOJSTVA.....	23
4.1. Novi superčvrsti materijal poliamid.....	23
5. ZAKLJUČAK.....	25

---

LITEATURA..... 26

## POPIS SLIKA

Slika 1. Evolucija tehničkih materijala

Slika 2. Prirodna smola

Slika 3. Makromolekularna struktura amorfnih plastomera

Slika 4. Makromolekulna struktura kristalastih plastomera

Slika 5. Prikaz istezanja gume

Slika 6. Shematski prikaz makromolekularne strukture polimernih materijala

Slika 7. Usporedba prirodnog zuba i zamjenskog umetka

Slika 8. Prikaz umjetnog srčanog zaliska s kuglicom (lijevo) s diskom za zatvaranje (desno)



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Pregled svojstava polimernih materijala

Tablica 2. Pregled naziva i primjena pojedinih grupa polimernih materijala

## POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Karakteristični dijagram „naprezanje-istezanje“ osnovnih skupina polimera

Dijagram 2. Tipični  $\sigma$ - $\epsilon$  dijagram polimernog materijala

Dijagram 3. Prikaz ponašanja polimernog materijala pri dugotrajnom statičkom opterećenju

## POPIS OZNAKA

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
E	$\text{N/mm}^2$	modul elastičnosti za određeni materijal
$\sigma$	$\text{N/mm}^2$	naprezanje
$\varepsilon$	$\text{mm/mm}$	istežanje ili relativno produljenje

## SAŽETAK

Polimeri služe kao zamjena za uobičajene materijale i ubrajaju se u najvažnije tehničke materijale. Svaki polimer je karakterističan na svoj način i ima svoju strukturu i različita svojstva koja utječu na primjenu. Kada se polimeri upotrebljavaju važno je poznavati njihova mehanička svojstva. U ovom radu opisan je polimer i njegovi materijali koji se koriste u izradi implantata u biomedicini. Polimerni materijali se koriste radi svoje fleksibilnosti, jednostavne izrade i biokompatibilnosti, ali isto tako radi povoljnog mehaničkog, toplinskog i kemijskog ponašanja u kombinaciji sa drugim materijalima u slučaju kompozita. Polimerni materijali imaju također i dobru vlačnu čvrstoću. Od veće važnosti se ističu strukturalna i električna svojstva.

Imaju široku kvalifikaciju kao prirodni i kao sintetički polimeri. Biorazgradivi polimeri, bili sintetički ili prirodni, u zadnjih nekoliko desetljeća su postali dosta popularni zbog svoje primjene u područjima zaštite okoliša i pomaganju održavanja fizičkog i zdravstvenog stanja. Kao takvi materijali mogu se koristiti i u poljoprivredi, pakiranju lijekova i dr. Sintetički polimeri imaju široku primjenu u biomedicinskim implantatima, a prirodni se ističu po svojoj biokompatibilnosti i provedbi bez ikakvih nuspojava.

Ključne riječi: polimer, biokompatibilnost, mehanička svojstva

## SUMMARY

Polymers serve as a substitute for common materials and they are among in the most important technical materials. Each polymer is characteristic in they own way and have they own structure and different properties that affect the application. When polymers are used is important to know to what are their mechanical properties. In this paper polymers, their manufacturing proces and application as implants in biomedicine is described. Polymeric materials are commonly used due to their flexibility, ease of manufacture and biocompatibility, but also due to their wide range of mechanical, thermal and chemical properties.

They have a wide qualification as natural and as synthetic polymers. Biodegradable polymers, whether synthetic or natural, have become quite popular in the last few decades due to the application in the fields of environmental protection and helping to maintain physical and health status. As such materials they can be used in agriculture, drug packaging, etc. Synthetic polymers are widely used in biomedical implants, among which natural ones stand out for their biocompatibility and implementation without any side effects.

Keywords: polymer, biocompatibility, mechanical properties

## 1. UVOD

Polimerni materijali su već dugi niz godina gotovo neizostavni u praktičnim dijelovima primjene materijala. To su kemijski sastojci koji se sastoje od makromolekula, a dobivaju se od monomera sintetski ili preradom prirodnih tvari. U izradi proizvoda uključena je i kemijski reakcija polimerizacije sirovine tj. monomera.

Polimeri se klasificiraju na: plastomere, duromere i elastomere. Plastomeri su mekši i taljivi pri povišenim temperaturama. Duromeri pri povišenim temperaturama ne mekšaju i ne tale se. Elastomeri kada su kemijski umreženi mekšaju ali nisu taljivi.

Polimerna proizvodnja se u većini slučajeva temelji na toplinskom, reološkom i mehaničkom ponašanju polimera. Ovisno o tom ponašanju vidljiv je odraz strukture polimera i njegova pokretljivost segmenata.

Mehanička svojstva polimera se dijele na dinamička, statička i svojstva tvrdoće. Otpornost svakog pojedinog materijala očituje se prema djelovanju statičkih sila. Polimerni materijali imaju široku primjenu, nisku cijenu, poprilično dobra mehanička svojstva te velike prednosti kada je u pitanju izbor materijala.

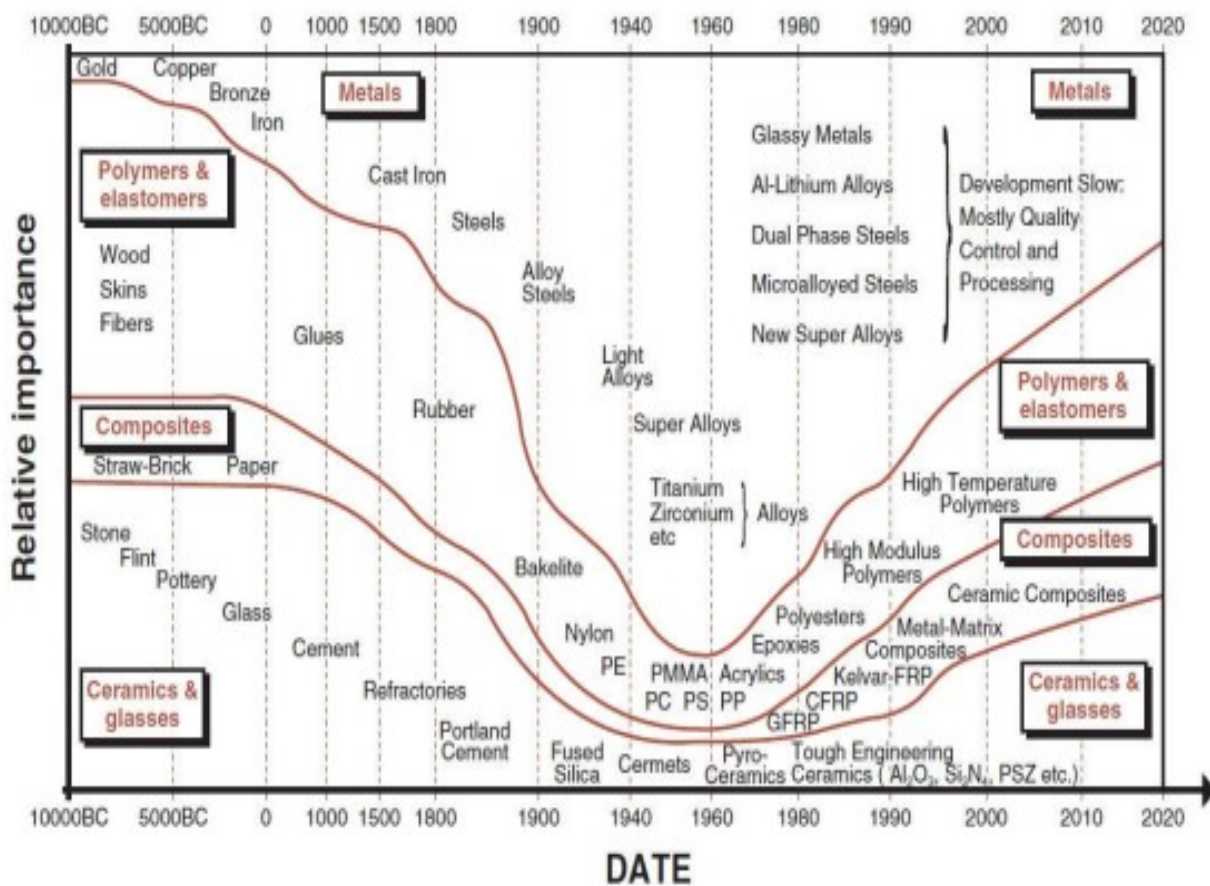
### 1.1. Povijesni razvoj

Henri Braconnot je 1811. godine objavio jedan od važnijih radova u povijesti polimera, u svom radu je objavio derivat celuloznih spojeva. S tim svojim radom uspio je kasnije poboljšati trajnost gume koja je nastala od prirodnog kaučuka. Taj izum obilježio je prvi popularizirani polu-sintetski polimer.

Zagrijavanjem prirodnog kaučuka s manjom količinom sumpora 1839.godine Charles Goodyear dobio je gumu i započeo proces modificiranja prirodnog polimera tj. proces vulkanizacije. S razvojem vulkanizacije omogućena je veća potrošnja kaučuka i gume.

Par desetljeća nakon Goodyear-ova izuma, njemački kemičar Christian Schonbein došao je do razvoja nitrat celuloze iz mješavine pamuka, sumporne kiseline i dušične kiseline te je tako došao do jedne vrlo vrijedne sirovine. Nitroceluloza je bila ta vrijedna sirovina koja je služila u

proizvodnji eksploziva. Samo jedno desetljeće iza njemačkog kemičara, Englez Alexander Parkes razvija novi oblik celuloznog nitrata, umjetnu smolu je načinio miješanjem nitroceluloze i kamfora nazvao ga je parkezin. Pomoću tog materijala je izrađivao i proizvodio dugmad, olovke, češljeve i medaljone. [1]



Slika 1. Evolucija tehničkih materijala [2]

## 1.2. Dodaci polimerima

Dodatke polimerima možemo podijeliti u nekoliko skupina, kao što su naprimjer dodaci za preradu, modifikatori mehaničkih i površinskih svojstava, dodaci za povećanje trajnosti itd. U najčešće dodatke prerade možemo istaknuti omekšala, stabilizatore i antioksidanse.

Omekšala imala imaju svoju ulogu da snize temperaturu staklišta i da upravo s tim olakšaju preradu polimera. Omekšala imaju i svoju drugu vrstu, ona povećavaju savitljivost, rastezljivost i žilavost.

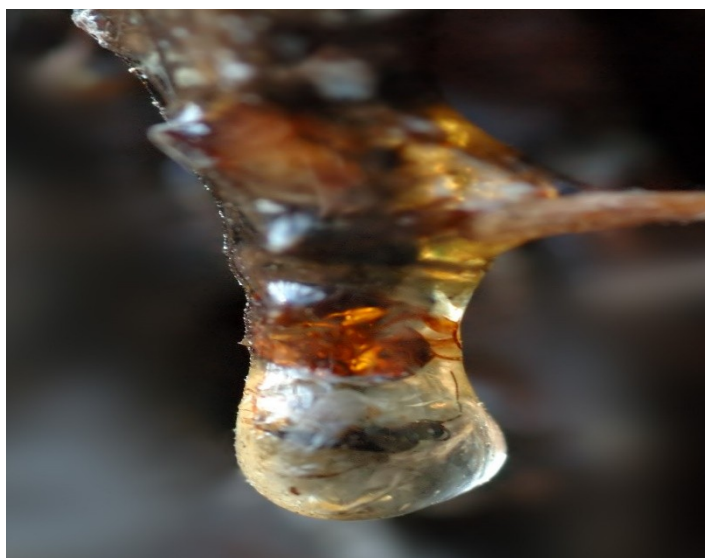
Stabilizatori svojim djelovanjem produljuju vijek trajanja gotovih proizvoda. Postoje dvije vrste stabilizatora koji se upotrebljavaju najčešće, a to su svjetlosni i toplinski. Oni povećavaju toplinsku stabilnost tj. otpornost na djelovanje svjetlosti naročito djelovanje ultraljubičastih zraka.

Kako bi došlo do usporavanja razgradnje oksidacijom, dodaju se antioksidansi. Oksidacijom dolazi do smanjenja mase polimera i pogoršavanja kemijskih i fizikalnih svojstava polimernih materijala.



## 2. POLIMERNI MATERIJALI

Polimere možemo nazivati još i makromolekularnim spojevima jer se sastoje od makromolekula. Kao organski spojevi koje prolazimo u prirodi, to su : prirodne smole, škrob, nukleinske kiseline, polisaharidi, kaučuk, celuloza tj. to su sve tvari koje su suha tvar biljnog i životinjskog svijeta.



[Ta fotografija](#) korisnika Nepoznat autor: licenca [CC BY-SA](#)

Slika 2. Prirodna smola [3]

Osim prirodnih polimera koji mogu biti modificirani i nemodificirani, prema njihovom postanku, razlikujemo još i sintetske tj. umjetne. Po kemijskom sastavu oni mogu biti organski i anorganski. Kod prirodnih polimera najvažniji nemodificirani polimer je celuloza, nakon njega slijedi svila, vuna, kazein, pamuk itd. Modificirani materijali su od celuloze.

### 2.1. Podjela polimernih materijala

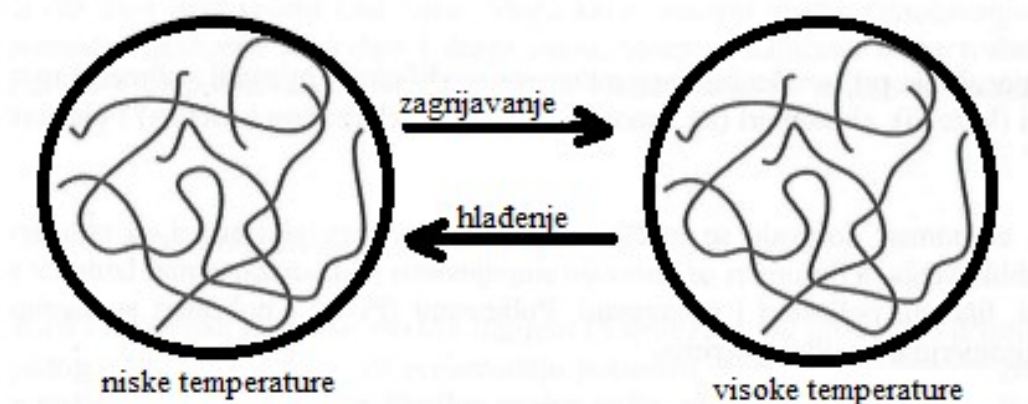
Polimere možemo svrstavati u različite kategorije, ovisno o tome kakve su im značajke. S obzirom na njihov postanak dijele se na prirodne ili sintetske. Postupak polimerizacije može biti

lančast ili stupnjevit, a kemijski sastav im je organski ili anorganski. Podjela koja je najčešća u praksi je prema svojstvima ponašanja pri povišenim temperaturama. Takva podjela se dijeli u tri skupine: plastomeri, elastomeri, duromeri i elastoplastomeri.

### 2.1.1. Plastomeri

Plastomeri se sa zagrijavanjem omekšavaju. Kako temperatura raste, povećava se i nepravilno kretanje atoma oko ravnotežnog položaja, što dovodi do lomova između atoma. Lakše pomicanje lanaca makromolekula, odnosno tečenje plastomera je omogućeno slabljenjem sekundarnih veza. S hlađenjem dolazi do ponovne uspostave sekundarne veze, a materijal se vraća u svoje prvotno stanje. Na ovom principu prerada polimera se temelji na promjeni temperature. Degradacija i razgradnja većine polimernih materijala se događa pri temperaturama većim od 700°C. Glavna podjela plastomera je na amorfne i kristalaste.

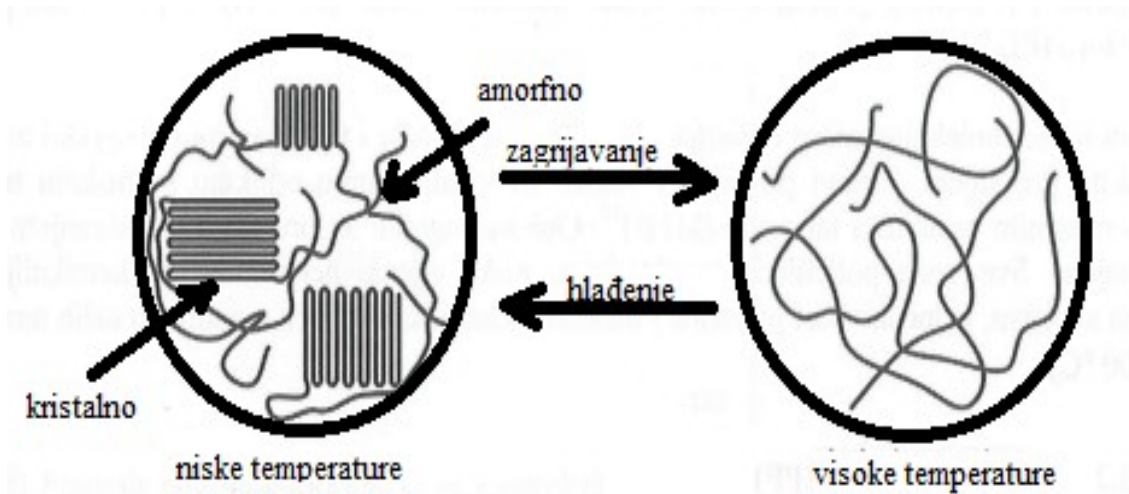
Amorfni polimeri su karakteristični po svom izgledu bez boje tj. većinom su prozirni, slabije su kemijske postojanosti i krhki su. Na slici 3. možemo vidjeti njihovu makromolekularnu strukturu. Po svojim obilježjima i po tome kako se komercijalno upotrebljavaju plastomeri, njihova polovica se svrstava baš u amorfne plastomere. [2]



Slika 3. Makromolekularna struktura amorfnih plastomera [2]

Kristalasti polimeri osim svoje kristalaste faze sadržavaju i amorfnu. Kada bismo dijelili kristalaste plastomere s obzirom na amorfnu fazu, razlikujemo dvije skupine. Prva skupina

sastoji se od polipropilena (PP), polietilena (PE) i poli(oksi-metilen) (POM), druga skupina sadrži polikarbonate (PC) i poliamide (PA). [2]



Slika 4. Makromolekulna struktura kristalastih plastomera [2]

### 2.1.2. Elastomeri

Elastomeri ili elastični materijali nazivaju se gumama. Elastomeri su gumeni materijali visoke elastičnosti, odakle i naziv elastomer. Osim svojih elastičnih svojstava, imaju i mnoga druga vrlo povoljna svojstva. Podvrgnuti su opsežnom istezanju, a nakon tog rasterećenja vraćaju se u početni položaj. Slika 5. pokazuje nam primjer tako istegnute gume.



Slika 5. Prikaz istezanja gume [2]

Neka još od tih svojstava su nepropusnost na zrak i vodu, savitljivost na niskim temperaturama te postojanost na visokim temperaturama i u agresivnim medijima. Kao osnovni sastojak možemo navesti kaučuk, bio on prirodni ili sintetski. Gumu je moguće napraviti postupcima umrežavanja i preoblikovanja. Posljedica umrežavanja, što podrazumijeva dodavanje umrežavala što je najčešće sumpor i držanje na povišenim temperaturama, je stvaranje kemijske veze polimernog lanca tj. stvaranje trodimenzionalne mreže. Nakon procesa umrežavanja, smjesa kaučukova smjesa zadobiva svojstva elastičnosti kao i sva druga svojstva, kao što su čvrstoća, tvrdoća i istezljivost.

### 2.1.3. Duromeri

Duromeri mekšaju ako se zagrijavaju u određenim fazama dobivanja i preradama. Tijekom zagrijavanja duromera koji nije umrežen dolazi do njegovog ubrzanog umrežavanja, nakon nekog vremena bez obzira na povišenu temperaturu, duromer postaje tvrd. Sa slijedećim povećanjem temperature doći će do razgrađivanja duromera bez prvotnog mekšanja.

Duromeri se s obzirom na način prerade dijele na :

- duromerni sustavi aktivirani miješanjem,
- temperaturno aktivirane sustave,
- katalizatorom aktivirane sustave.

#### 2.1.4. Elastoplastomeri

Elastoplastomeri je skupina polimera koja obuhvaća svojstva plastomera i elastomera. Odlikuju se sa mogućnosti prerade kao i plastomeri, a imaju svojstva elastičnosti kao i elastomer. Plastika najčešće ima naziv na plastomere i duromere, a guma je za elastomere. Duromeri imaju gusto prostorno umrežene makromolekule, nisu taljivi, topljivi i ne bubre. Elastomeri pak imaju rahlo prostorno umrežene makromolekule, te također kao duromeri nisu taljivi, topljivi ali oni bubre. Od linearnih i granatih makromolekula sastoje se plastomeri koji su taljivi i topljivi. Elastoplastomeri imaju svojstvo da su taljivi i topljivi materijali koji bubre.

#### 2.2. Svojstva i karakteristike polimernih materijala

Svojstva polimernih materijala se mogu definirati kao promjene stanja, reakcije ili neke druge pojave koje su u materijalu izazvane djelovanjem raznih, unutrašnjih i vanjskih čimbenika. Karakteristike označavaju sva bitna svojstva koja su određena normiranim ili dogovorenim metodama ispitivanja. Kod polimernih materijala razlikujemo nekoliko kategorija svojstava:

- unutarnja svojstva koja su vezana za materijal, tj. tvar,
- proizvodna ili procesna svojstva vezana uz njegovu mogućnost dorade, obrade, proizvodnje, skladištenja i recikliranja,
- svojstva koja se vežu uz objekt, tj. njegov oblik i veličinu.

Navedene kategorije svojstava su međusobno povezana, tako da su sva svojstva kombinacije nekih proizvodnih i unutarnjih svojstava. Svojstva polimernih materijala možemo vidjeti u Tablica 1. koja prikazuje uporabna svojstva koja su odlučujuće ovisna o postupcima u uvjetima jer pri istim kemijskim sastavima tvorevina može prikazivati razlike s obzirom na obilježja i stupanj orijentiranosti i kristalnosti.

Tablica 1. Pregled svojstava polimernih materijala [4]

Funkcijska svojstva	Naziv svojstva
---------------------	----------------

MEHANINČA	Čvrstoća, istežljivost, modul elastičnosti
TOPLINSKA	Toplinska provodljivost, temperatura omekšavanja, postojanost oblika pri povišenoj temperaturi
TRIBOLOŠKA	Otpornost na trošenje, faktor trenja
ELEKTRIČNA	Električna vodljivost, električni otpor, čvrstoća proboja
POSTOJANOST	Kemijska postojanost
OSTALA SVOJSTVA	Gustoća, indeks loma, udio dodatka

### 2.2.1. Mehanička svojstva

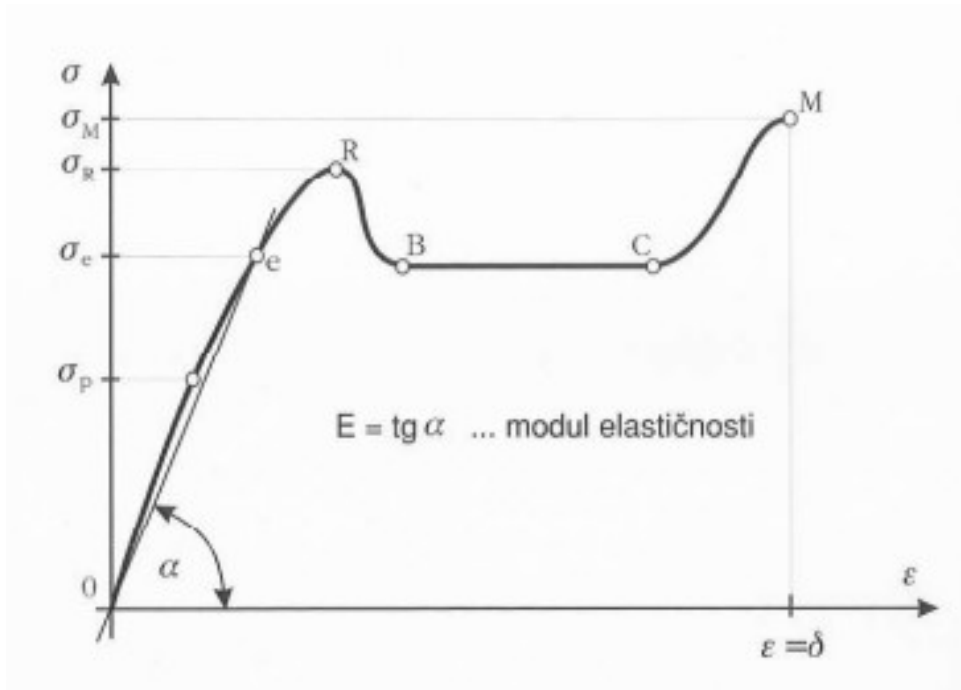
Mehanička svojstva dijele se na kratkoročna i dugotrajna svojstva. U slučaju kratkoročne izvedbe, opterećenje je definirano kao opterećenje koje se nije slomilo od početka do kraja ispitivanja, odnosno nije značajno prelazilo jednu minutu.

Na mehanička svojstva posebno imaju utjecaj unutarnji i vanjski čimbenici, također jako je važan način djelovanja opterećenja, vanjski uvjeti i brzina djelovanja opterećenja.



Dijagram 1. Karakteristični dijagram „naprezanje-istezanje“ osnovnih skupina polimera [2]

Karakteristični dijagram 1. pokazuje nam osnovne skupine polimera pri vlačnom opterećenju. Na dijagramu su prikazane krivulje koje prikazuju rastezno naprezanje i istezanje od amornog plastomera i duromera, kristalastog plastomera i guma. Amorfni plastomeri i duromeri su lomljivi polimeri, a krivulja bude linearna sve dok ne dođe do loma koji nastaje kada je produljenje oko 1-2% . Takvi polimeri su karakteristični po svom velikom naprezanju ali vrlo malom istezanju pa se često nazivaju krtim polimerima. Druga krivulja koja označava kristalaste polimere, oni su dosta žilavi polimeri koji imaju izraženiju granicu razvlačenja. Modul elastičnosti im je nešto manji od amornih polimera. Karakteristično za kristalaste polimere je to što imaju izraženu granicu razvlačenja, nakon koje dolazi veliko istezanje s konstantnim naprezanjem. Kada su izloženi velikom naprezanju oni se deformiraju, što ih ujedno čini i otpornim na lom. Kristalasti polimeri nemaju veliku jačinu, ali su dosta savitljivi. Treća krivulja označava gumu, a nju možemo još nazvati kao žilav polimer bez granice razvlačenja i potpuno su različiti od prethodne dvije krivulje tj. polimera. Lako se rastežu i savijaju jer imaju jako mal modul, te nakon prestanka djelovanja sile vraćaju se u početan oblik i veličinu. [5]

Dijagram 2. Tipični  $\sigma$ - $\epsilon$  dijagram polimernog materijala [2]

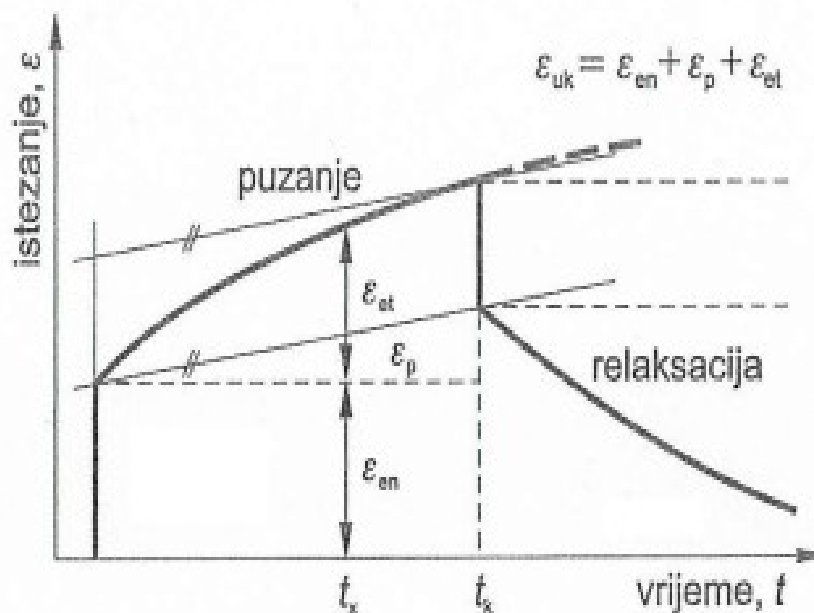
Na dijagramu 2. možemo vidjeti da  $\sigma_p$  tj područje proporcionalnosti obuhvaća deformacije koje su u potpunosti sklone Hookeovom zakonu (naprezanje-istezanje  $\sigma = E\varepsilon$ , što E označava konstantu proporcionalnosti). Granica popuštanja (R) izražena je točka na krivulji. Ona označava granicu nakon završene deformacije da naprezanje naglo opada. Zbog promjene unutarnje strukture materijal popušta. Od točke B do točke C nalazi se područje hladnog razvlačenja što predstavlja povećano istežanje pri konstantnom naprezanju. Hladno razvlačenje je posljedica dvaju procesa. Prvi proces je kod žilavog amornog polimera gdje razvlačenje nastaje radi estenzivne orijentacije lanca u smjeru rastežanja, popraćeno s visoko elastičnim tečenjem. Drugi proces je kod kristalastih polimera s amornom fazom iznad staklišta u području hladnog razvlačenja, a javlja s nastajanjem „suženja“. [5]

Polimer ovisi o brzini kojom se nanosi opterećenje, što je veća brzina opterećenja to je veći modul elastičnosti i manje područje puzanja.

Tokom dugotrajnog svojstva, tj. statičkog opterećenja dolazi do puzanja, a pri dinamičkom opterećenju dolazi do zamora materijala. Statička izdržljivost definira se kao maksimalno statično dugotrajno naprezanje koje materijal može izdržati beskonačno vrijeme. Dinamička izdržljivost definira se kao maksimalno dinamičko naprezanje koje može izdržati beskonačne cikluse.

Ponašanje polimernog materijala najbolje možemo vidjeti na dijagramu 3. gdje je prikazano ponašanje pri opterećivanju i nakon prestanka opterećenja tj. prikazana je krivulja puzanja i relaksacije polimernog materijala.





Dijagram 3. Prikaz ponašanja polimernog materijala pri dugotrajnom statičkom opterećenju [2]

Uočavamo na dijagramu „istezanje-vrijeme“ nastupa prilikom opterećenja takozvano početno istezanje, a s naprezanjem je povezano je s modulom elastičnosti koje se definira preko izraza:

$$E = \sigma / \epsilon.$$

### 2.2.2. Tribološka svojstva i kemijska postojanost

Konstruktivski materijali imaju dobru kemijsku postojanost, ali kada su pitanju polimerni materijali, oni imaju bolju kemijsku postojanost od drugih materijala. Kemijska postojanost se posebno ističe među prednostima i njeno povoljno ponašanje tokom trenja.

Najčešći i najjednostavniji postupci kojim se ispituje i procjenjuje kemijska postojanost kod polimernih materijala temelji se na uranjanju uzoraka u odabrana kemijska svojstva.

Polimerni i keramički oksidni kompoziti imaju primjenu kao biomaterijal jer je njihova kombinacija jako dobra u zamjenu ljudskog tkiva i anatomskih dijelova za liječenje ili poboljšanje. Mehanička svojstva su jako važna za određivanje napretka potencijalnog

biomaterijala. Polietilen se nalazi u skupini polimernih materijala koji su lako dostupni i nisu skupi, a mogu se i obrađivati pri temperaturama od 150-250°C. Keramika koja je rađena uglavnom na bazi gline i cirkonijevog oksida, koristi se kao biomaterijal baš radi svoje biokompatibilnosti za implantat, ima visoku mehaničku tvrdoću i nije toksična u ljudskom tkivu. [6]

Tribologija je znanost proučavanja pojava povezanih s površinom krutima ili sučeljem između dvije površine. Kao tribološke karakteristike možemo navesti trenje, trošenje, hrapavost itd. Trenje označava silu koja se opire kretanju između površina, trošenje je gubitak materijala ili neka deformacija tijela, kada se površine tijela relativno kliču. [7]

*Tribološko trenje* polimera sadržava dvije ključne komponente, a to su deformacija i adhezija.

Deformacija je komponenta tribološkog polimernog trenja, a javlja se kao jedan od izvora sile trenja uz adheziju. Kao takve deformacije javljaju se na mjestima dodira dvije površine koje klize. Upravo na tim mjestima dodira dolazi do elastične, visokoelastične ili plastične deformacije, što naravno ovisi o svojstvima materijala. Deformacije su najčešće praćene sa disipacijom mehaničke energije, koja ovisi o tome kakva je deformacija, kakvi su uvjeti klizanja, okolini i drugim čimbenicima. Čimbenici koji imaju utjecaj na tribološka svojstva polimernih materijala su struktura i položaj makromolekula na površini, vrsta polimera, sastav polimernih mješavina, molekularna struktura kao i raspodjela molekularnih masa. [8]

Adhezija je komponenta trenja koja je kontrolirana stvaranjem i prekidanjem veza između dodirnih površina. Kod većine polimera to je tipično prisustvo Van der Waalove i vodikove veze. Djelovanjem tangencijalnih sila između površina, dovodi do rezultata koji vodi do prekida međupovršinskih veza. [8]

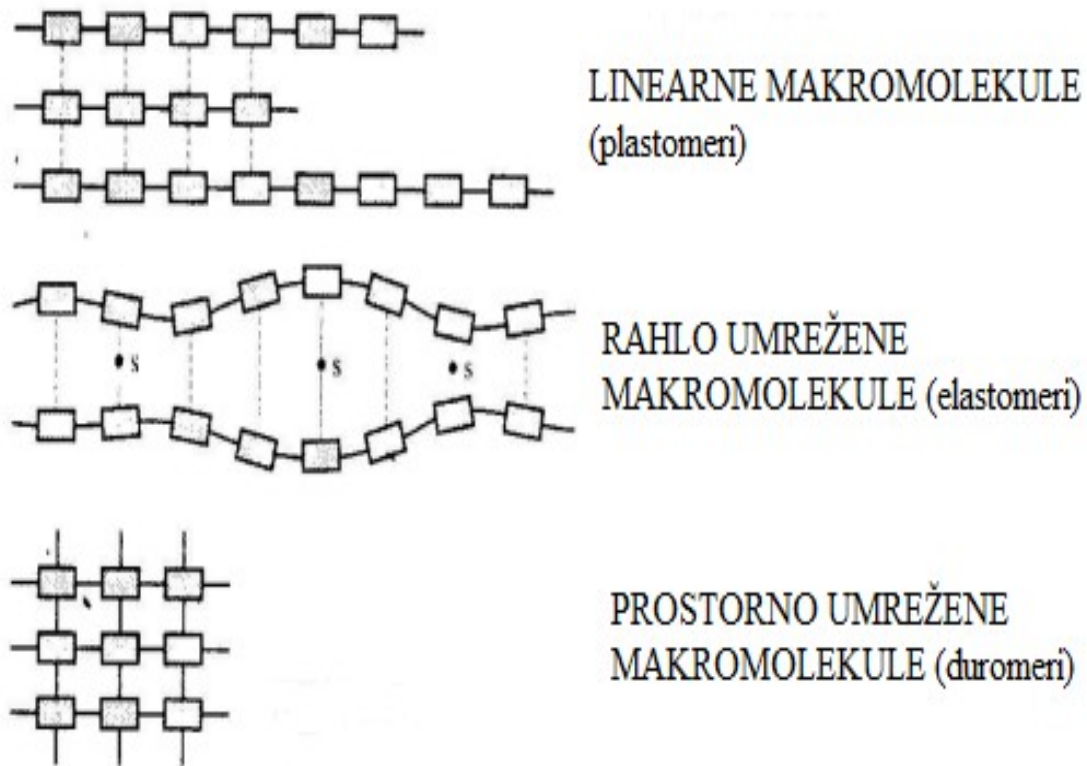
*Tribološko trošenje* polimernih materijala razlikuje četiri vrste: abrazijsko, adhezijsko, trošenje zbog kemijske promjene i trošenje zbog zamora materijala. Abrazijsko trošenje je za polimere posebno zanimljivo, njegova osnova je brazdanje i rezanje površina tvrdih čestica ili nepravilnih izbočina na površini. Smicanje spojeva nastalih prilikom trenja su rezultat adhezijskog trošenja.

Vrlo važna komponenta trenja je osnovni mehanizam trošenja, a to je upravo adhezija. Procesi trošenja adhezije uključuju stvaranje adhezijskih veza koje karakteriziraju njihov rast, a isto tako i prekid kada se prenosi materijal s jedne površine na drugu. Trošenje obično rezultira ne samo jedan mehanizam već kombinaciju raznih mehanizama. Trošenje se također može definirati kao neželjeni gubitak materijala s površina koje nastaje zbog mehaničkih interakcija. [8]

### 2.2.3. Toplinsko- mehanička svojstva

Toplinska svojstva kod polimernih tvorevina važna su u području gumastog, čvrstog i kapljevito stanja. Poznavanje toplinskih svojstava vrlo je važno kod polimera, u to se svrstavaju svojstva kao što su toplinska rastezljivost, toplinska prodornost, specifičan obujam, temperatura, tlak, stezanje, skupljanje itd.

Ranije je opisana podjela prema svojstvima ponašanja polimera pri povišenim temperaturama, kako bi se pojednostavila sistematizacija polimera, Slika 6. prikazuje shemu strukture osnovnih polimernih skupna.



Slika 6. Shematski prikaz makromolekularne strukture polimernih materijala [4]

### 2.3. Primjeri upotrebe polimernih materijala

Općenito, odabir materijala temelji se na zadanim zahtjevima i poznavanju svojstava materijala. Velik broj polimernih materijala zbog svojih svojstava omogućuje tehničku primjenu u raznim područjima. Polimerni materijali imaju svoje prednosti i nedostatke.

Prednosti:

- Mala gustoća
- Mali faktor trenja
- Dobro prigušivanje vibracija
- Dobra toplinska i elektroizolacijska svojstva
- Dobra otpornost na trošenje

Nedostaci:

- Ovisnost svojstava o raznim utjecajnim faktorima
- Nizak modul elastičnosti
- Podložnost starenju
- Mala toplinska provodnost
- Nije ekonomična proizvodnja malih količina proizvoda

Određena vrste proizvoda tj. njihovi nazivi i primjene najčešćih predstavnika od svake grupe polimernih materijala možemo vidjeti u Tablica 2.

Tablica 2. Pregled naziva i primjena pojedinih grupa polimernih materijala [4]

	Naziv	Primjena
PLASTOMERI	Polietilen niske gustoće, PE-LD	folije, plastične vreće, boce
	Polietilen visoke gustoće, PE-HD	cijevi, profili; ambalaža; strojni dijelovi
	Polipropilen, PP	dijelovi podložni mehaničkim opterećenjima, kemijskim utjecajima i utjecaju vode (strojni dijelovi); igračke; posude u kućanstvu
	Poli (vinil-klorid), PVC	elementi armatura, spojni dijelovi, kućišta i propeleri pumpi; umjetna koža; boce
	Polistiren, PS	masovni proizvodi, npr. ambalaža u prehrambenoj industriji; toplinska i zvučna izolacija
	Poliamid, PA	strojni elementi u autoindustriji (zupčanici, kotači, dijelovi mjenjača, spojki, ležajeva, izolacijski dijelovi i dr.); kućišta elektrouređaja
	Poli (etilen-tereftalat), PET	ambalaža u prehrani i medicini; tekstilna vlakna; strojni elementi (ležajevi, zupčanici i sl.); elektroindustrija; audio i video vrpce
	Polikarbonat, PC	prozirni i čvrsti elementi u elektroindustriji, autoindustriji, prehrani i medicini; zaštitne kacige; kupole; kompaktni diskovi
	Poli(metil-metakrilat), PMMA	prozirni dijelovi reklama i natpisa otpornih na atmosferske utjecaje; dijelovi interijera i sanitarija (obloge, namještaj i sl.); zaštita od buke
	Poli(tetrafluoretilen), PTFE	samopodmazivi klizni ležajevi, brtve, oblozi, cijevi za kemikalije; obloge na tavama za pečenje; izolacija na kablovima
DUROMERI	Nezasićene poliesterske smole, UP	dijelovi ili cijeli trup broda (ojačane staklenim vlaknima); nosivi elementi u građevini; oblozi drvenih površina
	Epoksidne smole, EP	smola za lijevanje, lakovi
	Fenol-formadelhidne smole, PF	kućišta i ploče u elektrotehničkim uređajima; ljepilo
	Melamin-formaldehidne smole, MF	elektrotehnički uređaji (sklopke, utičnice); posude; ljepila
ELASTOMERI	Prirodni i sintetski kaučuk	proizvodnja kaučuka u svijetu iznosi 15 milijuna tona (38% prirodni, a 62% umjetni kaučuk); uz dodatke, svi gumeni proizvodi u širokoj proizvodnji, pri tom, nešto više od 50 % ukupne proizvodnje utroši se na proizvodnju pneumatika [2]
ELASTOPLASTOMERI	Linearni poliuretan, PUR	dijelovi spojki, brtve, hidrauličke cijevi, zupčanici; industrija obuće
	Elastoplastomerni poliuretan, TPUR	autoindustrija (rukohvati, instrument ploče); elektroindustrija (sklopke); strojogradnja (zupčanici, brtve, elementi hidrauličnih i pneumatskih sustava)

### 3. POLIMERNI MATERIJALI U IZRADI IMPLATATA

Polimerni materijali imaju široku primjenu u svakodnevnom životu, a tako i u izradi implantata. Najveća primjena polimernih implantata koristi se u stomatologiji za izradu mobilne i fiksne protetike, što se odnosi na radove poput zubnih proteza i umjetnih zubi, kada je u pitanju mobilna protetika. Najčešća je upotreba na bazi akrilatnih materijala. Fiksna protetika obuhvaća protetske radove kao što su izrada mostova i krunica zubi, a moguće ih je izraditi od PEMA, PMMA, hibrida i epimina.

Osim što imaju široku primjenu u stomatologiji, važno područje primjene polimernih materijala je i u medicini. Mogu se koristiti kao nadomjeske u tijelu, ali moraju ispunjavati određene uvijete kako bi to postalo moguće. Moraju biti otporni na razne utjecaje npr. kemijske i temperaturne.

### 3.1. Vrste polimernih materijala u biomedicini

Materijali koji se koriste u izradi implantata, osim što moraju imati izvrsna biomehanička svojstva, moraju imati i svojstva biokompatibilnosti u koštanom tkivu kako bi kao umetak moglo dobro reagirati. Za sada je dokazano kako su titanij i njegove slitine među najčešće korišteni jer su se pokazali kao najbolji odabir za izradu implantata. Implantati koji se baziraju na cirkonij-oksidnu keramiku predstavljeni su kao nova alternativa u estetski zahtjevnim slučajevima.

Sintetski polimeru su sveprisutni u svakodnevnom životu, i jedna su od poznatijih vrsta polimera. Materijali koji se koriste u implantoprotetici su polieter-eterketoni (PEEK) i polikarbonati (PC). Oni se uglavnom koriste kao privremeni implantati u nadogradnji. Drugi polimeri poput polibutilen-tereftalat-a (PBT) i polisufon-a (PSU) koriste se kao pomoćni materijali, a polioksimetilen (POM) koristi se kao plastični cilindar u nadogradnji za lijevanje u nekim implantološkim sustavima.

Polimetil-metakrilat (PMMA) je jedan od najkorištenijih materijala u izradi stomatoloških implantata. Njegova mehanička trajnost i čvrstoća ne može se uspoređivati sa keramikama i metalima, no u svojoj upotrebi je jedan od neizostavnih materijala.

Polieter-eterketon (PEEK) jedan je od materijala koji se u zadnje vrijeme najviše proučava. Koristi se za privremene ali i trajne anatomske nadogradnje. U eksperimentalnoj fazi njegova se

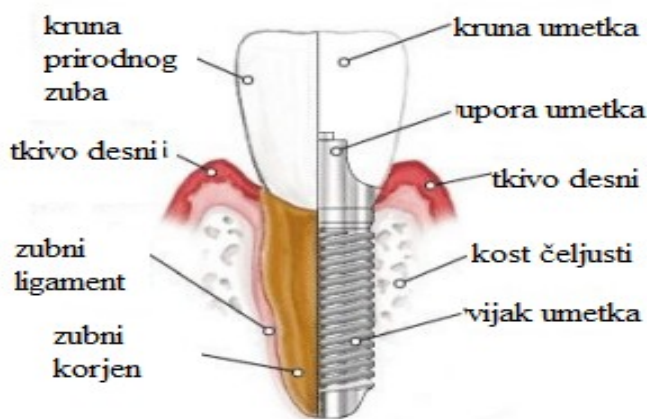


upotreba pokazuje kao vrlo obećavajuća s obzirom na dobra mehanička svojstva i svojstva biokompatibilnosti.

### 3.1.1. Primjena u zubnoj protetici

Kada je u pitanju primjena polimera u zubnoj protetici, tada ih dijelimo na : medicinsku i estetsku primjenu. Koja god im funkcija bila u tom području, njihov glavni zadatak je omogućiti nesmetano korištenje zubi i desni, ali isto tako omogućiti lijep i prirodan izgled zuba.

Estetska kirurgija u stomatologiji se bavi rješavanjem izgubljenih, otkrnutih i prorijeđenih zubi, ali isto tako omogućuje i ravnanje pomoću metalnih proteza, umetanje implantata. Polimerni ili keramički implantati zamjenjuju izgubljene zube, putem navoja i upore umetka u čeljust postaju trajno rješenje izgubljenog zuba. Primjer takvog postavljanja možemo vidjeti na Slika 2.



Slika 7. Usporedba prirodnog zuba i zamjenskog umetka [4]

U nekim slučajevima pokazalo se da keramičke navlake imaju prednost na polimernim. Razlozi su bolja postojanost boje, bolja reprodukcija. Manje su podložni abraziji te imaju veću čvrstoću od polimernih materijala. No, postoji i nedostatak kod keramičkih navlaka, a to je lom. Iako se lom događa u manje od 5% slučajeva, ako dođe do njega, popravak je često onemogućen. Poznato nam je kako je keramika osjetljiva na udarce, te ako pacijent ima neke loše navike ili ako se bavi borilačkim vještinama u tu svrhu je bolje koristiti polimerne navlake.

### 3.1.2. Polimetil-metakrilat (PMMA)

Polimetil-metakrilat zbog svojih linearnih makromolekula je amorfan polimer. Prema djelovanju svjetla, lužina i kiselina, te osobito prema oksidacijskoj razgradnji, on je kemijski postojan polimer. Posjeduje veliku poroznost. Poznat je po odličnoj mogućnosti obrade i stabilnošću oblika, posebno pod djelovanjem kisika, svjetla i atmosferilija. Mehanička svojstva ovise o molekularnoj težini i sadržaju plastifikatora, prisutnost dipolnih esterskih skupina povećava međumolekularne sile koje doprinose čvrstoći i površinskoj tvrdoći. S takvom kakvoćom postoje bolji od stakla te zbog toga dobiva naziv organsko staklo. Zapaljivost i krtost je važno za spomenuti kao negativna svojstva, te poprilične količine zaostalog monomera koja se kasnije očituju u trajnosti i kvaliteti gotovog proizvoda.

### 3.1.3. Polietil-metakrilat (PEMA), epimini i hibridi

Polietil-metakrilati (PEMA) čini zubnu pulpu manje štetnom radi niže temperature polimerizacije. U odnosu na PMMA, ima manju tvrdoću i manju otpornost na habanje. Za vrijeme polimerizacije, materijal se nalazi u gumastom stanju. Dulji mu je životni vijek i mala kontrakcija što ga čini prihvatljivim za privremena rješenja.

Epimini imaju još nižu temperaturu polimerizacije od PEMA i približno im ostaje oko 4% monomera nakon polimerizacije. Mala kontrakcija pri polimerizaciji im daje veliku prednost. Veliki je nedostatak što količina zaostalog monomera može uzrokovati alergijske reakcije.

Hibridi su predstavnici kombinacije više materijala, a u većini slučajeva se radi o bis-akriličnoj kompozitnoj smoli, koja ima najveću tvrdoću u usporedbi s drugim materijalima. U usporedbi sa prethodnim materijalima, najteži su za pripremu. Nedostatak ovog materijala je to što dolazi do pojavljivanja mjehurića koje dovodi do upijanja tekućine iz usne šupljine što rezultira i promjenom boje.

## 3.2. Primjena u liječenju ili zamjeni tkiva u organizmu

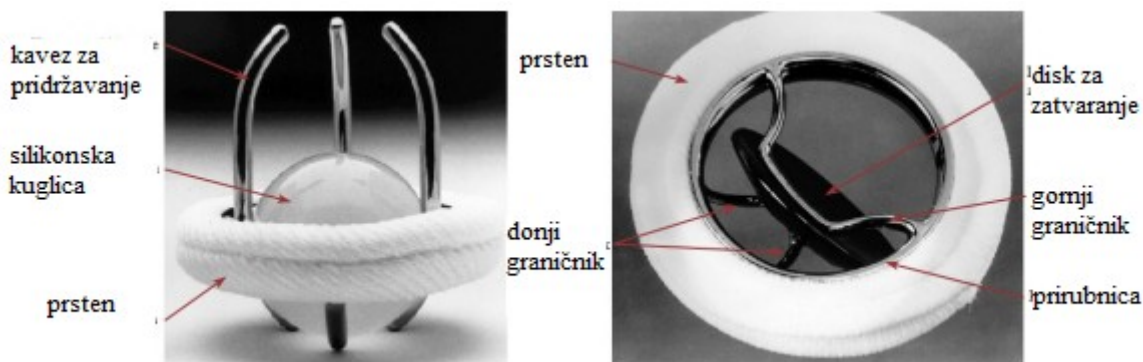
Svakodnevno i u životu i u proizvodnji primjena polimera je jako dobro prihvaćena. Bitna primjena je u medicini gdje se primjenjuju sintetički polimeri. To je područje koje je imalo puno ograničenja ali i opasnosti, te je zbog toga postalo pravi izazov. Područje primjene polimera u medicini možemo podijeliti na tri osnovna:

- biorazgradivi polimeri za kratkoročnu primjenu (raspadaju se ili probavljaju),
- polimeri koji su topivi u vodi i postaju dio krvi ili plazme,
- dugoročno primjenjivi polimeri u umjetnim organima: krvne žile, srčani zalisci i zglobovi.

Ukoliko se želi te vrste upotrebljavati kao nadomjeske u tijelu, moraju ispunjavati određene zahtjeve. Moraju biti otporni na razne utjecaje kao npr. kemijske i temperaturne, te moraju biti fiziološki neaktivni i stabilni.

### 3.2.1. Polimeri koji se koriste za zamjenu krvnih žila, srca i srčanog zaliska

Kada je u pitanju rješavanje problema krvožilnog sustava i bolesti srca polimeri tu imaju široku primjenu. Za rješavanje problema srčanog zaliska postoji čak i nekoliko rješenja. Jedno od istaknutih rješenja sadrži silikonsku kuglicu, koja se nalazi u kavezu od nehrđajućeg čelika. Zbog svoje kemijske stabilnosti, oblika i elastičnosti, silikonska kuglica je idealno rješenje jer onemogućuje zaustavljanje protoka krvi. Prsten s diskom za zatvaranje je novije rješenje, izrađeno je do pirolitičkog ugljika ili polioksimetilena. Slika 3. prikazuje te dvije izvedbe.



Slika 8. Prikaz umjetnog srčanog zaliska s kuglicom (lijevo) s diskom za zatvaranje (desno) [4]

### 3.2.2. Privremeni implantati u mozgu i krvnim žilama

Liječenje mozga i/ili krvožilnog sustava koristi implantate poput elektroda ili igala, oni se nakon što je liječenje završeno resorbiraju u krvi ili se vade, ovisi radi li se o biorazgradivim materijalima ili ne. Prevlačenje polimernog sloja preko metalnih igala čine tu vrstu biokompatibilnom. Upravo na taj način su razvijeni premazi s polimerima koji sadrže molekularne lijekove. U zaraženi dio lako prodiru metalne igle, koje šire arterije i one ponovno postaju protočne. No, takvo strano tijelo može dovesti do abnormalnog rada srca i ponovnog suženja arterije. Proces polimerizacije oko metalne igle proizvodi ljepljivi polimerni film od monomera. Plazma polimerizacije se provodi u dva stupnja i obloženi film je nepropustni. Snimanjem signala iz mozga implantati bi trebali pospešiti otkrivanje i liječenje neuroloških bolesti ili paralize. Tako postavljene elektrode u mozgu trebale bi raditi od nekoliko sati pa čak i do nekoliko godina. Prvi problemi koji se javljaju je akutna upalna reakcija na strano tijelo u mozgu koja može proći tako da ju mozak prihvati ili da odbaci to strano tijelo. Mozak tokom postupka nastoji začahuriti elektrodu tako da joj prekine veze s neuronima u okolini. Kako bi se spriječila ta pojava, nanocjevčicama se ublažavaju elektrode. One su uglavnom izrađene od poli(3,4-etilendioksitopena), biokompatibilnog polimera sa svojstvima električne vodljivosti.

### 3.2.3. Polimeri u zglobnim implantatima

Godišnje se vrši preko milion operacija zamjena zglobova. Razvoj zamjenskih zglobova je jedan od većih problema vezan uz međudjelovanje dodirnih površina prilikom kretanja u umjetnom zglobo. Trljanjem dijelova koji su u dodiru, dovode do trošenja materijala čime se izdvajaju sitne čestice te dolazi do njihovog taloženja u tijelu. Obrambeni mehanizam se aktivira s taloženjem čestica u tijelu, simulirajući razvoj antitijela napadaju taj talog te implantat i tkivo koje se nalazi u njegovoj blizini, mogu dovesti do osteolize i odbacivanja. Zamjena zglobova je veliki problem kada su u pitanju mlađi pacijenti. Kod starije populacije takva izmjena se može obaviti samo jednom u životu, dok se kod mlađe populacije ta zamjena obavlja i do nekoliko puta u životu radi slabije trajnosti i trošenja implantata. Ovisno o vrsti materijala zglobnih proteza, razlikujemo tri osnovne vrste: metalne, keramičke i kombinirano metalno-polimerne proteze.

Uz razvijene razne metalne legure koje se koriste za izradu implantata (nehrđajući čelik, legure titana...) i keramike, uz njih su razvijeni i polimeri npr. polietilen koji ima izrazito visoku molekularnu gustoću, iskrižani polietilen i poli(eter-eter-keton) takozvani PEEK. Prilikom razvoja tih materijala moralo se voditi računa o mehaničkim svojstvima tj. o puzanju materijala, umoru materijala, vlačnoj čvrstoći itd. Također je jako važna i biokompatibilnost te naravno proizvodnost i cijena. Najlošija svojstva imaju zglobovi koji su načinjeni od dva metala koja se dodiruju, a vezana su uz habanje materijala u trenju. Uočen je i nedostatak kod otpuštanja iona metala, oni su kemijski aktivni i za razliku od taloga lakše putuju kroz krv do organa.

#### 3.2.4. Mehanizam umjetnog zgloba

Metode spajanja implantata s kostima se dijele na dvije osnovne metode : upotreba metala s poroznom površinom koja će s vremenom urasti u kost i upotreba cementa od poli(metil-metakrilata). Kada je u pitanju bedrena kost dio koji se ugrađuje izrađen je od metala, a u zdjeličnu kost ugrađuje se dio od polietilena koji na sebi može imati metalnu kapicu.

## 4. TRENUTNO STANJE BIOMEDICINSKE PRIMJENE POLIMERNIH MATERIJALA I NJIHOVA SVOJSTVA

U primjeni polimernih materijala, sve više se primjenjuje titan i njegove legure kao biomaterijali u izradi različitih medicinskih pomagala i implantata. Primjenjuju se radi svojih jedinstvenih svojstava koja uz svoju biokompatibilnost uključuje još i odlično mehaničko ponašanja i otporni su na koroziju. Legura titana s aluminijem i vanadijem za sada ima najrašireniju primjenu.

Novija istraživanja su dokazala štetnost kod ovih legiranih elemenata, te su usmjerili svoja istraživanja na legure koje sadrže druge elemente poput cirkonija, niobija i tantala. Ti elementi su također i stabilizatori beta faze titana, sadrže niži modul elastičnosti, imaju povoljna svojstva za primjenu u biomedicini. [9]

### 4.1. Novi superčvrsti poliamid

Dvodimenzionalni polimer je novi materijal koji je lagan i čvršći od čelika. Kemijski inženjeri MIT-a koristeći novi proces polimerizacije stvorili su taj novi materijal koji se lako može proizvesti u velikim količinama. Polimeri koji uključuju plastiku, sastoje se od monomera, koje još možemo nazivati i građevinskim lancima. Dodavanjem novih molekula na njihove krajeve, lanci rastu. Kada su jednom formirani, polimere je moguće oblikovati u trodimenzionalne predmete. Dugo se pretpostavljalo kako polimeri mogu inducirati u rast dvodimenzionalnog sloja, što bi dovodilo do iznimno jakog i laganog materijala. No, do sada to nije bilo izvedivo. Nova istraživanja su dovela do novog procesa polimerizacije koji omogućuje stvaranje takozvanog poliaramida. Za monomerne blokove koristi se spoj zvan melamin koji sadrži prstene dušika i ugljika. Oni se vežu jedan za drugog tako da drže zajedno vodikove veze među slojevima, što strukturu čini jačom i stabilnijom.

Mehanizam se odvija spontano sam u otopini, a može se izrađivati u velikim količinama s jednostavnim povećanjem polaznih materijala. Istraživanja dokazuju kako se površine filmova materijala mogu obložiti, a nazivaju ga 2DPA-1. S tim napretkom će biti puno lakše oblikovati molekule u vrlo jak i izrazito tanak materijal.

Istraživanja su dokazala da se pomoću elastičnog modula novog materijala mjera određuje koliku će silu moći podnijeti da se deformira materijal. Ta sila je između četiri do šest puta veća nego nepropusno staklo. Također su dokazali da je njegova čvrstoća dvostruko veća od čelične čvrstoće, bezobzira što materijal sadrži samo oko šestine gustoće čelika. [10]

## 5. ZAKLJUČAK

Polimerni materijali su današnje vrijeme neizostavan materijal u svakodnevnom životu. Razlikuju se po svojim svojstvima i dodacima za poboljšanje i zbog toga su izuzetno jednostavni za dobiti željene karakteristike. Imaju široku primjenu i zbog toga možemo reći da su to materijali budućnosti. Istraživanja su najviše usmjerena na razvoj polimera koji su biorazgradivi, što bi značilo da će oni moći biti spontano razgrađeni i građeni na osnovi s dodacima celuloze, škroba, proteina i lignina.

Novi polimerni materijali, kao i oni koji su od prije usvojeni, produžuju trajnost medicinskih proizvoda kao što su: umjetni zglobovi, zubne proteze i navlake, oprema u medicini, umjetne vene itd. Razvoj i primjena vodootpornih polimernih materijala, polimera i reagensa otpornih na UV zračenja i metode skladištenja i sterilizacije pomoglo je da medicinska pomagala postanu što kvalitetnija.

U budućnosti je plan proširiti još više metode polimerizacije na različite polimere, jer kako kažu znanstvenici „polimeri su svuda oko nas“. Pretpostavlja se kako bi se sa novijim vrstama polimera moglo postići još mnogo više nego što je to sada, zamišlja se čak kako bi mogli provoditi i električnu energiju ili emitirati svjetlost.



## LITEATURA

- [1] Bonato, J., Šabalja,Đ.: Tehnologijski razvoj i prve primjene polimernih materijala, Rijeka, 2012. [138451 \(srce.hr\)](#)
- [2] Fudurić, A.: Svojstva i primjena polimernih materijala i njihova uporaba u Hrvatskoj, Karlovac, 2016. [fuduric\\_ana\\_vuka\\_2016\\_speci\\_struc.pdf](#)
- [3] <https://es.wikipedia.org/wiki/Resina>
- [4] Krnjaić,S.: Povezanost medicine i tehnike u primjeni polimernih materijala, Karlovac, 2017. [krnjaić\\_sinisa\\_vuka\\_2017\\_zavrs\\_struc.pdf](#)
- [5] Dolčić, I.: Mehanička svojstva polimera, Zagreb, 2015. [view \(unizg.hr\)](#)
- [6] <https://www.hindawi.com/journals/ijbm/2018/9283291/>
- [7] Sahoo, P., Kalyan Das, S., Davim, J.P.: Tribology of materials for biomedical applications, University of Aveiro, Portugal
- [8] <https://hrcak.srce.hr/file/68697>
- [9] Domitrović, G.: Karakterizacija mikrostrukture sinterirane titan-niobij legure za biomedicinsku primjenu, Sisak, 2019. [SVEUČILIŠTE U ZAGREBU METALURŠKI FAKULTET. Gorana Domitrović DIPLOMSKI RAD. Sisak, rujan PDF Free Download \(docplayer.rs\)](#)
- [10] <https://news.mit.edu/2022/polymer-lightweight-material-2d-0202>
- [11] Jugovac, T.: Karakterizacija strukture Ti-Mg kompozita, Zagreb, 2019. [Jugovac\\_2019\\_Završni\\_preddiplomski.pdf \(fsb.hr\)](#)
- [12] Ivanišević, M.: Trendovi razvoja industrije polimera u Republici Hrvatskoj, Zagreb, 2010. [10\\_02\\_2011\\_Diplomski\\_rad-Marko\\_Ivanisevic.pdf \(fsb.hr\)](#)
- [13] Barać,S.: Primjena polimernih materijala u stomatologiji, Zagreb, 2018. [barac\\_stipe\\_fkit\\_2018\\_zavrs\\_sveuc.pdf](#)
- [14] Dolčić, I.: Mehanička svojstva polimera, Zagreb, 2015. [view \(unizg.hr\)](#)

- [15] Kratofil Krehula, Lj.: Polimeri i polimerizacijski procesi, Sveučilište u Zagrebu [Primjena polimera u svakodnevnom životu 1.1.1. ODJEĆA Ovdje prikazana odjeća izrađena je od prirodnih ili sintetskih polimera, koji su prerađeni u vlakana. Ove majice izrađene su od celuloze \(pamuka\). \(unizg.hr\)](#)
- [16] Bajza, V.: Gradivi materijali u implantoprotetici, Zagreb, 2021. [1147040.gmuip3print.pdf](#)
- [17] Hac, M.: Toplinska svojstva polimera, Zagreb, 2015. [901642.2015-08-31\\_Zavrni\\_Marta\\_Hac\\_1.pdf](#)
- [18] [Prirodni polimeri protiv sintetičkih polimernih | SpringerLink](#)
- [19] [Polymeric Biomaterials for Medical Implants and Devices | ACS Biomaterials Science & Engineering](#)