

# ODREĐIVANJE FIZIČKO-KEMIJSKIH KARAKTERISTIKA POLIMERA

## EDUCATIONAL NEEDS OF STAFF IN PRINTING INDUSTRY DETERMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER

Sanjin Vreto, student, Grafički fakultet u Kiseljaku

### Sažetak

Polimerni materijali su postali baza za razvoj novih tehnologija koje se zasnivaju na prirodnim i sintetskim materijalima. Tokom upotrebe i vremena dolazi do promjene u njihovoj strukturi, pogoršavanja mehaničkih svojstava što upravo ograničava obim i strukturu.

U seminarskom radu ću izvršiti analizu strukture polimernih materijala, utvrditi kriterije klasifikacije, specifičnost svojstva, podjelu i laboratorijsko ispitivanje fizičko-kemijskih karakteristika polimera i utvrditi relacije kemijske strukture polimera i njegovih karakteristika.

Ključne riječi: polimeri, *fizičko-kemijske karakteristike, klasifikacije polimera.*

### Abstract

Polymer materials have become the basis for the development of new technologies that are based on natural and synthetic materials. During use and the time it comes to change in their structure, deterioration of mechanical properties, which just limits the scope and structure.

The seminar paper will make an analysis of the structure of polymer materials, establish criteria for classification, specific properties, division and laboratory testing of physical-chemical characteristics of polymers and determine the relation of chemical structure of polymers and their characteristics.

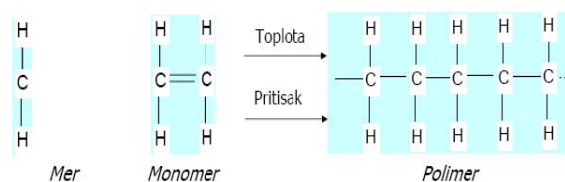
Keywords: *polymers, physical-chemical characteristics, classification of polymers.*

### Uvod

Polimere srećemo na svakom koraku. Dio su nas i svega oko nas. Grade biljni i životinjski svijet i značajni su za njihov opstanak.

Polimeri pripadaju kategoriji visokomolekularnih jedinjenja, čiji se molekuli sastoje od nekoliko stotina ili nekoliko hiljada atoma međusobno spojenih valentnim vezama. Ovako veliki molekuli nazivaju se makromolekulima. Makromolekuli se sastoje u najvećem broju slučajeva od velikog broja strukturnih jedinica koje se višestruko ponavljaju.

Kao što iz naziva proizilazi, ove materije se sastoje iz više mera, koji predstavljaju osnovnu jedinicu jednog molekula-monomera (od grčke reči mono = jedan i meros = dio). Povezivanjem velikog broja monomera u dugačak lančasti molekul dobija se polimer (od grčke riječi polis = mnogo, meros = dio) kako je prikazano na slici. Kad se kaže da su molekuli „polimerizovani“ to znači da su međusobno povezani u veće agregate, tj. makromolekule ili velike molekule.



Slika 1. Prikaz građe polimera

U procesu sinteze polimera, zbog srazmjerno velikog stepena polimerizacije „n“, praktično je nemoguće dobiti sve potpuno jednake makromolekule.

Polimeri se dijele na prirodne i vještačke. Odlikuju se manjom ili većom tvrdoćom, ljepljivošću, sposobnošću omekšavanja na povišenim temperaturama, određenim stepenom poroznosti. Veoma podsjećaju na prirodne materijale za koje se koristi opći naziv „smole“ (vosak, ćilibar, bitumen, prirodni kaučuk i dr.).

Najšira definicija polimera sa stajališta njihove strukture jest da se polimerima nazivaju supstance građene od makromolekula. Osnovna strukturna jedinica polimera je makromolekula (kod metala, osnovna strukturna jedinica je atom).

Makromolekula nije naprosto molekula s velikim brojem atoma, nego molekula u kojoj je veliki broj atoma organizovan tako da je ona sastavljena od velikog broja ponavljanih strukturnih jedinica, tzv. mera. Mer je ponavljana strukturna jedinica od koje je građena makromolekula, može biti samo jedan atom, ali najčešće je to grupa atoma vezanih hemijskim vezama (molekularna grupa). Makromolekula je, dakle, sistem velikog broja mera, što predstavlja nivo strukturiranja supstance viši od molekule. Već sam naziv polimer, koji dolazi od grčke riječi „poli“ = mnogo i „meros“ = čestica, ukazuje na tu njihovu karakteristiku. Za njih je karakteristična vrlo visoka molarna masa reda veličine hiljada i miliona g/mol.

Polimeri su kondenzirani sistemi makromolekula. Kondenzirani znači da postoje u čvrstom i tečnom, ali ne i u gasovitom stanju. Sistemi znači da su strukturne jedinice u interakciji. Polimerne molekule sintetiziraju se iz odgovarajućih supstanci, najčešće nezasićenih jedinjenja s dvostrukim i trostrukim vezama koji su energetski bogatiji i jako reaktivni.

Monomer je supstanca koja reakcijom s molekulama iste ili različite konstitucije daje polimer. Polimerne molekule sintetiziraju se iz odgovarajućih monomera u procesu koji se naziva polimerizacija: monomeri (jednostavnija niskomolekulna jedinjenja, najčešće nezasićena) se vezuju u polimernu molekulu kao složeniju strukturu. n je stepen polimerizacije – broj mera u polimernoj molekuli (makromolekuli). To je promjenjiva veličina i zavisi od uslova polim-

erizacije. Ima veliki utjecaj na osobine nastalih polimera; što je veći stepen polimerizacije, to su i upotrebne osobine nekog polimera bolje (ali ne i preradbene). Kopolimerizacija je istovremena polimerizacija dva ili više bifunkcionalna sistema od kojih je svaki za sebe sposoban za polimerizaciju. Ako je stepen polimerizacije nizak (oko deset), obično se takva molekula naziva oligomer. Prvi stepeni polimerizacije čak imaju svoja imena: dimer, trimer, tetramer, itd. Minimalni broj mera u nekoj makromolekuli nije definiran i za većinu polimera taj broj iznosi oko sto. Za maksimalni broj mera u principu nema ograničenja ali uglavnom se taj broj kreće u intervalu od oko hiljadu do sto hiljada.

Polimolekularnost ili polidisperznost je pojava da se makromolekulni sistemi sastoje od smjese molekula istog kemijskog sastava, ali različitih veličina i masa. Također postoje i adicijska (lančana) i kondenzacijska (postepena) polimerizacija.

## Podjela

Postoji mnogo kriterija podjele polimera. Najopćija podjela je na organske i neorganske. Pored toga mogu se podijeliti i na prirodne i sintetičke.

Primjera za prirodne polimere ima mnogo, jer imaju ključnu ulogu u gotovo svim biološkim procesima. Tako su poznate prirodne makromolekule, npr. proteini, pa nukleinske kiseline. Zatim su vrlo rašireni u primjeni i poznati prirodni polimeri (u primjenu dolaze oplemenjeni): kaučuk (poliizopren), celuloza (polisaharid). Sa stajališta industrijskih materijala, među prirodnim polimerima najvažnija su vlakna biljnog i životinjskog porijekla (celuloza, vuna, svila).

Sintetičke polimere razvrstavamo na nekoliko načina:

- Prema porijeklu:

- prirodni oplemenjeni (kaučuk, celuloza)
- sintetski

• Prema reakcijskom mehanizmu nastajanja (reakciji polimerizacije):

- adicijski (lančani)
- kondenzacijski (stupnjeviti)

• Prema vrsti veza između makromolekula i ponašanju pri zagrijavanju:

- plastomeri (termoplasti)
- duromeri (duroplast)
- elastomeri.

• Prema vrsti ponavljanih jedinica:

- homopolimeri (jedna vrsta ponavljanih jedinica)
- kopolimeri (dvije ili više vrste ponavljanih jedinica)

### Struktura

Osnovne strukturne karakteristike polimera po kojima se polimeri razlikuju od drugih materijala, a i međusobno, jesu veličina makromolekula i neograničena mogućnost strukturnih varijacija. Pod strukturom polimera razumijevaju se najčešće dva nivoa: struktura pojedinačnih makromolekula ili mikrostruktura i struktura ukupnog polimera ili nadmolekulna struktura (morfologija).

Struktura ukupnog polimera zavisit će od:

- vrsta veza između makromolekula
- slaganja makromolekula

Vrste veza kod polimernih materijala:

• Hemijske (međuatomske, primarne): kovalentne

• Fizikalne (međumolekularne, sekundarne): Van der Waalsove (dipola, disperziona, indukovana), vodonikova

S obzirom na vrstu veza između makromolekula i ponašanje pri zagrijavanju, polimere dijelimo u tri grupe:

- Plastomere (termoplaste)
- Elastomere
- Duromere (duroplast)

Plastomeri (termoplasti) su oni polimeri kojima su makromolekule međusobno povezane isključivo sekundarnim vezama. Takve strukture obično nazivamo linearnom strukturom. Iako su sekundarne veze dosta slabe, s obzirom na njihov veliki broj zbog velikog stepena polimerizacije, njihova ukupna energija je dovoljno velika da takvi polimeri pokazuju dobre osobine.

Zagrijavanjem, međutim, te sekundarne veze postepeno slabe i popuštaju. S obzirom na njihov veliki broj nije moguće odmah i registri-rati vanjske posljedice tog popuštanja. Na mjestima u polimeru gdje su popustile sekundarne veze između makromolekula je omogućena povećana pokretljivost segmenata makromolekula (mikrobraunovo kretanje). Kako s porastom temperature popušta sve veći broj sekundarnih veza, to pokretljivost segmenata makromolekula postaje sve izrazitija. Vanjska posljedica povećane pokretljivosti makromolekula jest mekšanje polimera. Daljnjim povišenjem temperature može doći do potpunog popuštanja sekundarnih veza. Makromolekule se potpuno slobodno kreću i polimer prelazi u taljevinu. Odvođenjem toplote (hlađenjem) dolazi do suprotnog procesa: sekundarne veze se postepeno uspostavljaju i polimer prelazi ponovno u čvrsto stanje. S obzirom na karakter sekundarnih veza ovakav se ciklus omekšavanja i očvršćivanja teorijski može stalno ponavljati (zato je plastomer moguće materijalno reciklirati).

Većina plastomera nastaje adicijskom polimerizacijom, mada se neki plastomeri mogu dobiti kondenzacijskom polimerizacijom.

Plastomeri mogu imati:

- pretežno sređenu strukturu (kristalna struktura)
- pretežno nesređenu strukturu (amorfna struktura)

Od hemijskog sastava polimera zavisi da li će polimer imati kristalnu ili amorfnu strukturu. Ako su makromolekule građene simetrično, imat će pretežno kristalnu strukturu, a ako su makromolekule nesimetrične, imat će pretežno amorfnu strukturu.

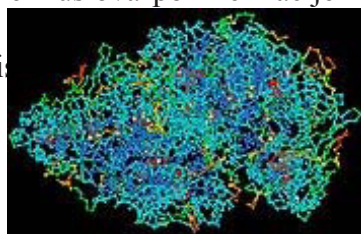
Elastomeri imaju djelomično umreženu strukturu što znači da su makromolekule međusobno povezane i sekundarnim i primarnim vezama. S obzirom na prisutnost sekundarnih veza, elastomere se zagrijavanjem može omekšati. Gdje god postoje sekundarne veze, one će usljed dovodenja toplote popuštati što će dovesti do povećanja pokretljivosti segmenata makromolekula, a to je uzrokom mekšanja. No kako sada između makromolekula postoje i primarne veze, elastomere se više ne može rastopiti. O odnosu primarnih i sekundarnih veza zavisit će koliko će neki elastomer moći omekšati. Primarne veze se elastomerima ugrađuju prilikom njihova oblikovanja. Oni po reakcijama nastajanja imaju linearnu strukturu, ali njihove osobine nisu pogodne za praktičnu primjenu. Naročito može biti nezgodna previelika istezljivost. Kako bi se osobine modifikovale i time elastomeri učinili primjenjivima, ugrađuju im se primarne veze, i to se provodi najčešće postupkom vulkanizacije. Dakle, u primjeni elastomeri uvijek posreduju između makromolekula i primarne i sekundarne veze.

Duromeri (duroplasti) imaju potpuno umreženu strukturu, a to znači da su im makromolekule povezane primarnim vezama. Zbog karaktera primarnih veza duromere se zagrijavanjem ne može niti omekšati niti rastopiti. Svojstvo mekšanja i topljenja posjeduju u fazi dobijanja i zato ih se u toj fazi dobijanja treba i oblikovati. Nakon što poprime konačni strukturalni oblik, ne može se kod njih povišenjem temperature izazvati promjena u smislu mekšanja

ili topljenja.

Slaganje strukturnih jedinica (makromolekula)

Polimeri predstavljaju smjesu kristalnih i amornih područja. Međusobni odnos tih područja brojčano se izražava kao stepen kristalnosti ( $\alpha$ ). On zavisi od građe makromolekule i uslova polimerizacije i zavisno od uslova,  $\alpha$  može biti od 0 do 100%. (alpha = udio kristalnosti u ukupnoj strukturi)



Slika 2.

Struktura pojedinačnih makromolekula

Strukturu pojedinačnih makromolekula određuje njena:

- konstitucija: vrsta ponavljanih jedinica i način njihova vezanja (hemijski sastav mera, stepen polimerizacije, blokovi, grananje, dužinu makromolekule i sl.),
- konfiguracija: određeni prostorni raspored atoma ili atomskih grupa u ponavljanoj jedinici (izotaktna, sindiotaktna i ataktna konfiguracija),
- konformacija: predstavlja prostorni raspored atoma ili grupe atoma rotacijom oko jednostruke veze između C atoma (T-konformacija i G-konformacija). Različite konformacije neke molekule nisu energetski ravnopravne pa je većina molekula pretežno u samo jednoj, ili vrlo malom broju konformacija. Stabilni oblik molekule je onaj u kom je potencijalna energija molekule, kao sistema atoma, minimalna. Ostale konformacije su nestabilne i predstavljaju samo prelazne forme od jedne stabilne konformacije u drugu. Ako molekula zbog toplotnog pomjeranja ima energiju veću od minimalne, postoji neka vjerovatnoća i drugih konformacija. Zakretanjem molekularne grupe oko neke hemijske veze mogu se postići konformacije iste potencijalne energije koje su, prema tome, indentične.

Nadmolekularna struktura kondenzirane supstance može imati različite stepene središnjosti, od bliskog poretka kakav je u tečnostima i amorfnim čvrstim supstancama (u njima je definisan samo odnos prvih susjeda – molekula, i to u tečnostima, samo u vrlo kratkom vremenu, dok je kod kristala prisutan daleki poredak). Raspored atoma u kristalnoj rešetki ima osobitu periodičnost u tri dimenzije. Pošto sistem atoma ima najnižu energiju kad su atomi pravilno raspoređeni u kristalnu rešetku, smatra se da se amorfna supstanca uvijek nalazi u nekom neravnotežnom, metastabilnom stanju i potrebno je određeno vrijeme da se kristalizira.

Makromolekule su već same po sebi vrlo složeni sistemi atoma, one već u sebi sadrže nekoliko nivoa strukturiranja, od kojih je struktura mera uporediva sa strukturom molekule, i to u statičkom i dinamičkom smislu. Složenost strukture makromolekule čini strukturu polimera, kao sistema makromolekula, također vrlo složenom i raznovrsnom. Formalno je vrlo teško razdvojiti u polimeru nivoe strukturiranja u makromolekulu (strukturu makromolekule) od nivoa strukturiranja u čitavom sistemu (nadmolekularna struktura).

Energija interakcije dviju makromolekula može biti vrlo velika, ako se ostvaruje velikim brojem mera. Interakcija po jednom paru mera (interakcija po jedinici dužine) je reda veličine interakcija malih molekula, ali ukupna energija interakcije može premašiti energiju kemijske veze u lancu svake od makromolekula u interakciji, pa je veća vjerovatnoća da se prekine lanac makromolekula nego da se dvije makromolekule odjednom razdvoje. Zato polimer ne može isparavati i nema sistema makromolekula u gasovitom stanju. Mnogi polimeri se ne mogu ni otopiti, a i za one polimere koji su topivi nije uvijek oblik makromolekule u otopini moguće smatrati „pravim“.

Za potpuniju sliku strukture makromolekula potrebno je navesti i sljedeće pojmove:

- Veličina molekule
- prosječna molekularna masa
- raspodjela molekularnih masa

- Broj tipova mera u makromolekuli
- Opći izgled makromolekule
- Konfiguracija makromolekula
  - konfiguracija mera
  - bliski konfiguracijski poredak
  - daleki konfiguracijski poredak
  - konfiguracija makromolekula u cjelini (makromolekularna konfiguracija)
- Konformacija makromolekula
  - konformacija mera
  - bliski konformacijski poredak
  - daleki konformacijski poredak

Molekularna masa je jedinstvena karakteristika pojedine makromolekule, ali polimer je redovno polidisperzni sistem makromolekula, tj. sastavljen je od makromolekula različitog stepena polimerizacije, pa je taj sistem potrebno karakterizirati dvama statističkim parametrima: prosječnom molekularnom masom i raspodjelom molekularnih masa. Ako se u mjerenju određuje broj molekula  $N_i$  od kojih svaka ima molekularnu masu  $M_i$ , definiše se brojno prosječna molekularna masa:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

$N[\text{SUB}]_i/[\text{SUB}] = N$  – ukupan broj makromolekula

$$\sum N_i M_i$$

ukupna masa uzorka

Brojno prosječnu molekularnu masu dat će nam metode koje na neki način prebrojavaju makromolekule s istom molekularnom ma-



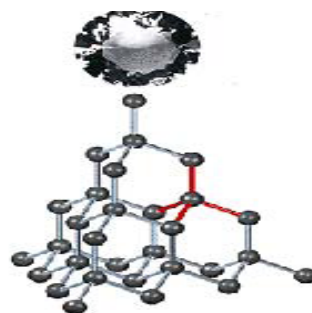
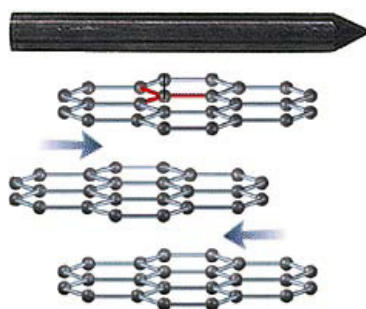
som. Eksperimentalno se češće određuje masa makromolekula koje imaju određenu molekularnu masu, npr. ravnotežnim centrifugiranjem na temelju čega se definiše težinska prosječna molekularna masa  $M_w$ :

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

Najpotpuniju sliku o veličini makromolekula u polimeru daje kriva raspodjele molekularnih masa koju nalazimo frakcioniranjem polimera, određivanjem molekularne mase svake frakcije i postotkom svake frakcije u masi uzorka. Polimeri kojima su makromolekule izgrađene od samo jednog tipa mera nazivaju se homopolimeri, a ako se javljaju različiti tipovi mera kopolimeri (sopolimeri). Različiti tipovi mera mogu se u makromolekuli pojavljivati slučajnim redom (statički kopolimeri) ili nekim definiranim redoslijedom (regularni kopolimeri). Ako meri svakog tipa čine dovoljno dugi neprekinuti dio lanca u makromolekuli, polimeri se nazivaju blok-kopolimeri. Ako se na lanac od jednog tipa mera kemijski veže lanac drugog tipa, polimer se naziva graft-kopolimer.

### Polimorfija ili alotropija

Polimorfija ili alotropija je pojava da se neka supstanca javlja u dva ili više strukturnih oblika pri promjeni vanjskih uslova (pritisak, temperatura). Na primjer, razlikujemo više alotropskih modifikacija ugljenika: dijamant, grafit, karbini i fulereni (fuleriti) (slika 2).

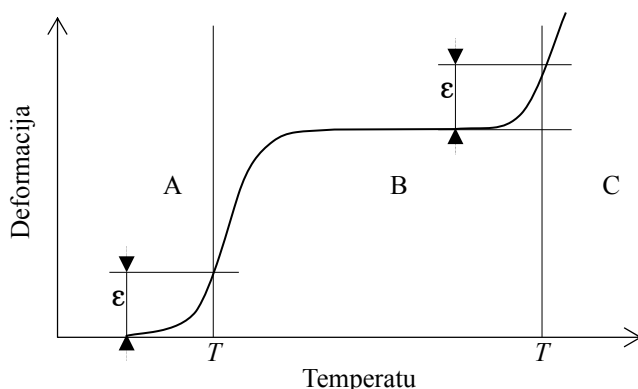


Slika 3. Modifikacije ugljenika

### Osobine

Početak dvadesetog vijeka pojavili su se industrijski proizvodi od kaučuka – materijala vrlo neobičnih osobina, između ostalih otpornost na spoljne uticaje, dugotrajnost i dr. Najvažnija od tih osobina je elastičnost: kaučuk je moguće elastično rastegnuti i do 700%, što je vrlo neobično ako se poredi s metalima, staklom i sličnim materijalima. Još jedna specifičnost je da su za takve deformacije potrebne veoma male sile. Niz eksperimenata pokazao je da deformacija nekog polimera, osim od veličine napreznja, zavisi i od temperature, vremena u kom se deformacija opaža i brzine kojom se vanjska sila mijenja ili primjenjuje. S obzirom na veličinu i tip deformacije, postoje tri izrazito različite grupe fizičkih stanja, tri deformacijska stanja:

- staklasto stanje,
- viskoelastično (gumasto) stanje i
- viskofluidno (viskoznofluidno, viskoznotečno) stanje.



Dijagram 1. Tipična termomehanička krivulja linearnog amorfnog polimera (poliizobutilen)

A – staklasto stanje

B – gumasto stanje

C – kapljasto stanje

$T_g$  – staklište

$T_f$  – temperatura prijelaza u kapljasto stanje

$\epsilon_g$  i  $\epsilon_r$  – dogovoreni iznosi viskoelastične, tj. viskokofluidne deformacije

U staklastom stanju energija toplotnog kretanja segmenata (kinetičkih jedinica) nije dovoljno velika da segmenti mogu savladati potencijalnu barijeru interakcije s drugim segmentima (vlastite i drugih makromolekula) pa se elastična deformacija ostvaruje promjenama valentnih veza i uglova. Zato je deformacija polimera u staklastom stanju istog tipa kao deformacije stakala i keramika.

U viskoelastičnom stanju je energija toplotnog kretanja segmenata dovoljna za savladavanje potencijalne barijere i makromolekula prelazi u konformaciju istegnutu u smjeru djelovanja vanjske sile. Promjenom

konformacije moguće je ostvariti mnogo veća elastična istezanja nego promjenom valentnih veza i uglova, no za to je potrebno neko konačno vrijeme – konformacijsko vrijeme.

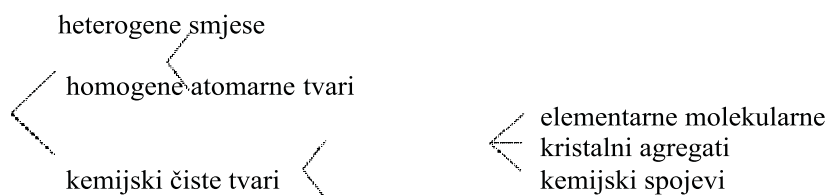
U viskokofluidnom stanju pokretljivost segmenata je tako velika da dolazi do kooperativnosti njihovog kretanja u smjeru djelovanja vanjske sile. Posljedica toga je premještanje centra masa makromolekule u smjeru djelovanja vanjske sile a to je ireverzibilna deformacija. Prijelazi između deformacijskih stanja ne zbivaju se skokovito, nego postoji prijelazna temperaturna područja, obično širine od 20 do 30 stepeni, ali u slučaju niske pokretljivosti makromolekule to može biti i stotinjak stepeni.

*Mehaničke deformacije* polimera u općem slučaju imaju tri komponente: elastičnu, viskoelastičnu i viskokofluidnu.

*Elastična deformacija* prati primijenjenu silu, a ostvaruje se reverzibilnim promjenama dužine kemijskih veza i valentnih uglova; moguća je na svim temperaturama.

*Viskoelastična deformacija* ostvaruje se reverzibilnim promjenama konformacija makromolekula; moguća je samo iznad temperature  $T_g$ , razvija se postepeno i dostiže konačnu vrijednost za dato naprezanje.

*Viskokofluidna deformacija* je viskozno tečenje, tj. ireverzibilno premještanje centra masa makromolekula, a ostvaruje se kooperativnim toplotnim kretanjem segmenata makromolekule. Moguća je samo iznad temperature  $T_f$  i to za polimere za koje je  $T_g > T_f$  i razvija se potpuno i neograničeno u vremenu. Ako naglo ostvarimo deformaciju koju zatim držimo konstantnom, pokazuje se da opada naprezanje potrebno za održanje te deformacije. To je relaksacija naprezanja, a objašnjava se kao relaksacijska pojava.



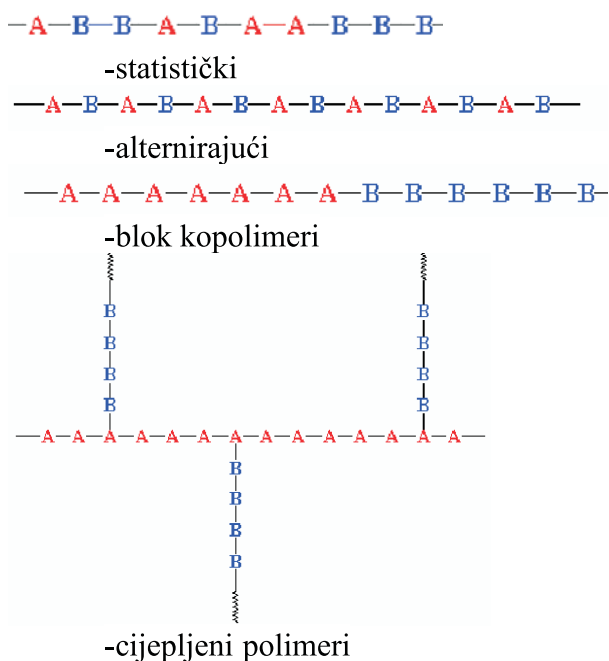
Monomer – jedan od naj jednostavnijih je etilen (eten):  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

- pucanjem dvostruke veze dobijemo mer -  
 $\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$   
 Opća formula polimera -  $(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_n -$

Podjela polimera

1. Prema *tipu mera*:

- a) homopolimeri – 1 vrsta  
 mera  
 b) kopolimeri – 2 ili više  
 vrsta mera

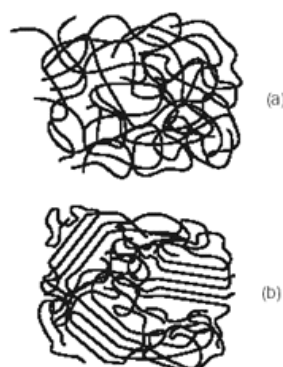


2. Prema načinu povezivanja mera:

- a) linearni – meri nanizani samo u  
 jednom lancu  
 b) granati – uz glavni lanac mera  
 postoje i bočni lanci  
 c) umreženi – meri povezani u 3D  
 mreži

3. Prema nadmolekularnoj orga-  
 nizaciji makromolekule:

- a) amorfni  
 b) kristalasti  
 c) orijentirano kristalasti



Slika 4.

Za konstruktore je značajan niz različitih  
 svojstava polimera:

O uređenosti u prostoru ovise svojstva  
 polimera.

4. Prema podrijetlu:

- a) prirodni:  
 - anorganski – tinjac, azbest, glina (si-  
 likati)  
 - organski – celuloza, lignin, kaučuk,  
 prirodne smole, škrob...  
 b) umjetni:

- anorganski – silikoni (ulja za pod-  
 mazivanje)

- organski – PE, PP, PVC, PS...

Primjena sintetičkih polimera

Sintetički polimeri koji pripadaju sku-  
 pini plastometra su:

• Polietilen (PE) koji se dobiva polimer-  
 izacijom etena pri određenim uvjetima uz katal-  
 izator, a služi za izradu plastičnih folija, vrećica,  
 posuđa, igračaka, boca, cijevi...

• Polivinil-klorid (PVC) koji se proizvo-  
 di iz vinil-klorida, a iz njega se proizvode folije,  
 izolacije električnih vodova, igračke, umjetna  
 vlakna...



Sintetički polimer koji pripada skupini elastomera je:

- Guma koja se dobiva iz drveta kaučkovca ili umjetnim putem, a koristi se prvenstveno u proizvodnji automobilskih guma.

Sintetički polimer koji pripada skupini duroplasta je:

- Bakelit, jedan od najstarijih duroplasta, a od njega se izrađuje alat, telefoni, utičnice, plastične ploče.

#### Osnovna svojstva polimera

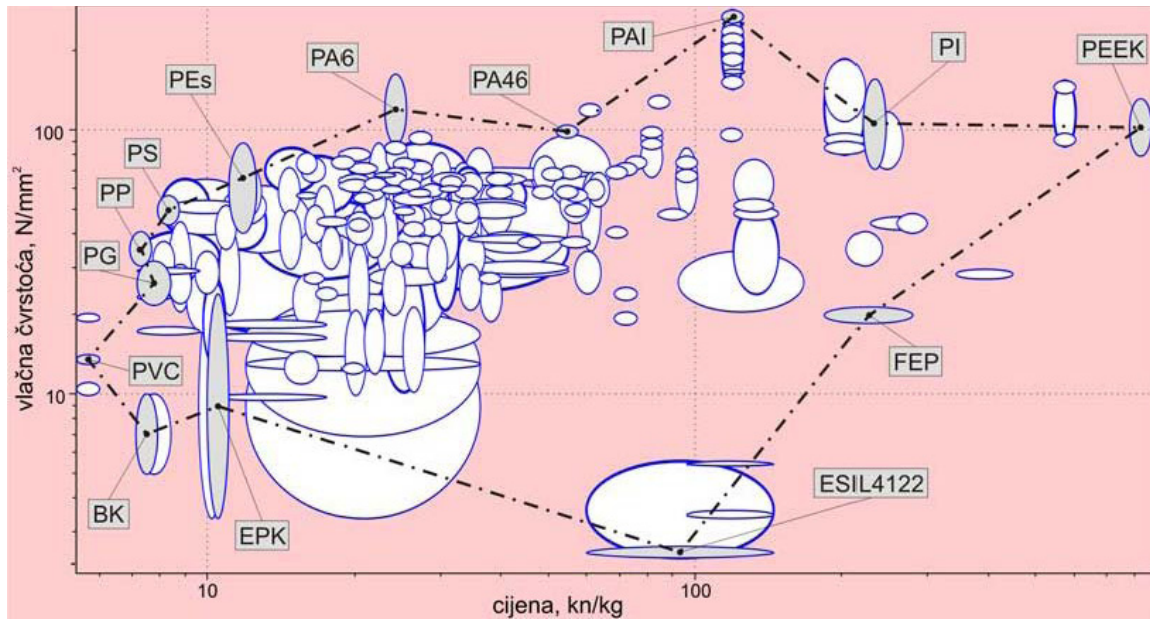
Grupa svojstava	Svojstva
mehanička	čvrstoća, istežljivost, modul elastičnosti, tvrdoća, žilavost, faktor trenja
toplinska	toplinska vodljivost, toplinska rastežljivost, temperatura omekšavanja (plastomeri), postojanost oblika pri povišenoj temperaturi (duromeri)
električna	električna vodljivost, električni otpor, čvrstoća proboja, faktor dielektričnih gubitaka, relativna dielektričnost
kemijska	kemijska postojanost, otpornost na trošenje, temperaturna granica kratkotrajne izloženosti, temperaturna granica dugotrajne primjene
ostala	gustoća, propusnost svjetla, indeks loma, udjeli dodataka

Tabela 1. Osobine i svojstva polimera

Fizikalna svojstva polimera ovise o njegovom kemijskom sastavu, strukturi (oblik makromolekula) i građi (raspored makromolekula i dodaci). Utjecanjem na vrijednost molekulske mase, granatost makromolekula i uređenost građe, mogu se u velikoj mjeri mijenjati svojstva polimera.

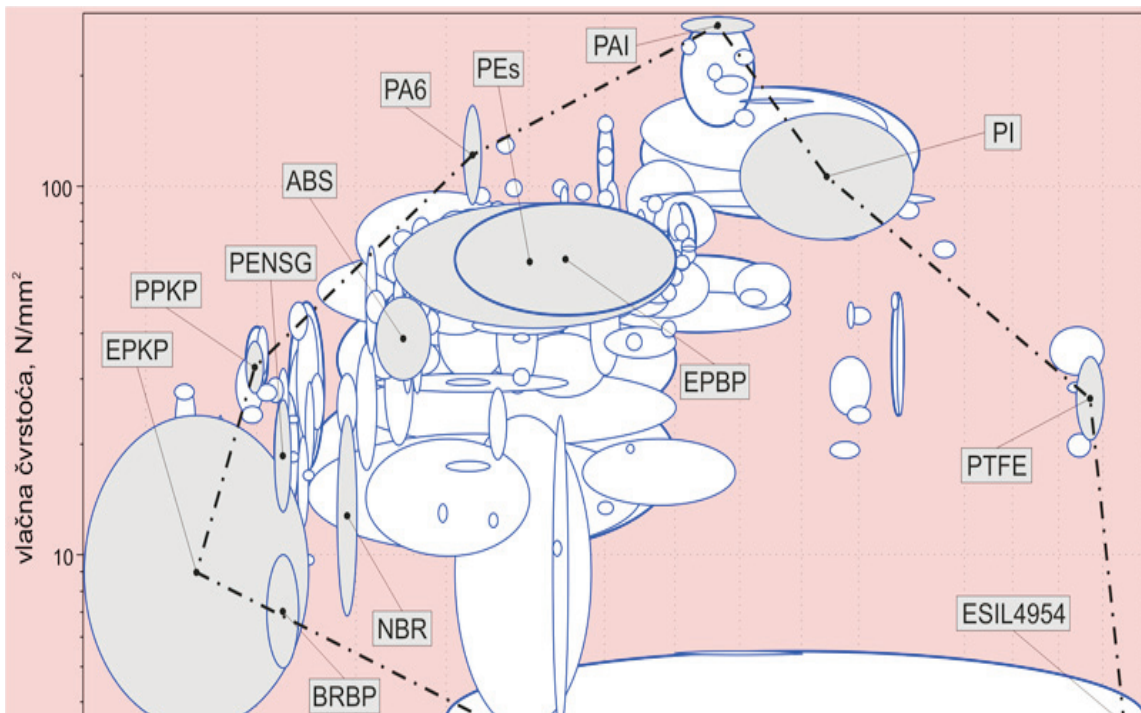
#### Karakteristike polimera

U sljedeća su dva (dijagram 2 i dijagram 3) dijagrama prikazane usporedne karakteristike polimera – cijene i vlačne čvrstoće, te gustoće i vlačne čvrstoće.



Dijagram 2. Cijene i vlačne čvrstoće.

PAI – poliamid-imid	PP – polipropilen
PI – poliimid	PG – prirodna guma
PA6 – poliamid tip 6	FEP – fluorinirani etilen-propilen
PEEK – polieteterketon	PVC – poli(vinil-klorid)
PA46 – poliamid tip 46	BK – butil kaučuk
PEs – poliester	EPK – etilen propilen kopolimer
PS – polistiren	ESIL4122 – silikon Eccosil 4122



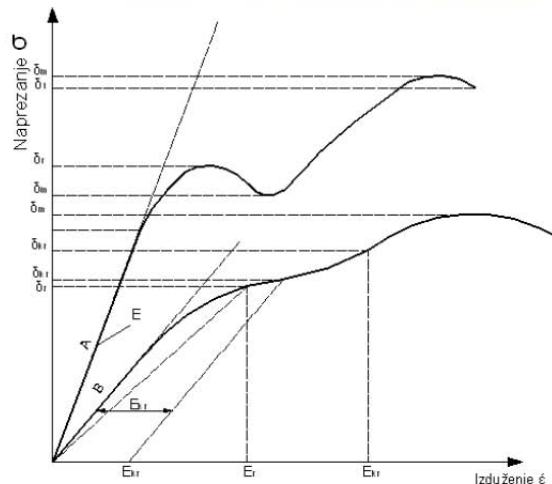
Dijagram 3. Gustoće i vlačne čvrstoće

PEs – poliester PA6  
 – poliamid tip 6 PI –  
 poliimid  
 ABS – akrilnitril/butadien/stiren  
 PENGs – polietilen niske/srednje gustoće  
 PPKP – polipropilen kopolimer

EPKP – etilen-propilen kopolimer  
 EPBP – epoksid bez punila PTFE –  
 poli(tetrafluor-etilen) NBR – akrilo-  
 nitril/butadien kaučuk BRBP – buta-  
 dienski kaučuk bez punila ESIL4954  
 – silikon Eccosil 4954  
 ESIL4122 – silikon Eccosil 4122

Laboratorij Fakulteta strojarstva i brodogradnje za nemetale bavi se razvojem, ispitivanjem i primjenom polimernih konstrukcijskih materijala i polimernih kompozita. Postojeća oprema omogućuje provođenje karakterizacije (kvalitativno određivanje – identifikacija) polimera, određivanje njihove kemijske postojanosti te ispitivanje niza kratkotrajnih i dugotrajnih statičkih i dinamičkih mehaničkih svojstava (čvrstoća, tvrdoća, žilavost, pužanje, dinamička izdržljivost itd.). Također je moguće određivanje nekih preradbenih svojstava (tečenje plastomera i duromera) i toplinsko-mehaničkih svojstava (temperatura omekšavanja plastomera i temperatura postojanosti oblika duromera). Osim polimernih materijala, na spomenute načine moguće je ispitivanje polimernih kompozita, te u ograničenom omjeru metalnih kompozita.

Oprema za ispitivanje osobina polimera



Slika 5. Univerzalna kidalica  
 Dijagram 4. – Dijagram naprezanje-izduženje



Slika 6. Charpy-ev bat

Slika 7. Tvrdomjer s kuglicom za plastomere i duromere



Slika 8. Tvrdomjer za elastomere

U svrhu istraživanja strukture polimernih materijala i polimernih kompozita, u Laboratoriju za nemetale instalirana je nova oprema: optički mikroskop „Olympus BX51-P“, za promatranje preparata u prolaznom polariziranom svjetlu, kao i uređaj za pripremu (brušenje i poliranje) mikroskopskih preparata „Struers LaboPol-5“.



Slika 9. Polarizacijski mikroskop Olympus BX51-P

Slika 10. LaboPol-5, Struers

Podjela polimera prema porijeklu osnove na ulazu u proces

Ovaj izvorni kriterij podjele polimera je posljedica kulturolozijske upotrebe uzgojina za plastiku i gorivo. Riječ je o društvenom kriteriju procjene nekoga tehničkog rješenja.

Klasična podjela polimera je na prirodne i sintetske, a prirodni mogu biti nemodificirani i modificirani. Takva podjela nije precizna i valja je napustiti. Predlaže se podjela prema porijeklu osnove na ulazu u proces. Tada je moguće razlikovati modificirane polimere i sintetske polimere. Mogu biti: duromeri (kazeinska plastika), elastomeri (na osnovi prirodnoga ili uzgojenoga) i plastomeri (derivati celuloze). Od prirodnina, sirovina, dakle prirodnih neprerađenih tvari: nafte, plina ili ugljena nizom se procesa prave intermedijeri (međuproizvodi), a od njih procesima polimerizacije polimerizati. Od polimerizata (nečisti polimer i ostatak) te niza dodataka prave se zatim sintetski polimerni materijali. Kod nekih polimernih tvorevina, kod svih duromera, kaučukovih smjesa i nekih plastomera procesima očvršćivanja sastojaka (polimeriziranje i/ili umreživanje i/ili pjenjenje) prethodi pravljenje oblika tijela, praoblikovanje. Zbiva li se to u kalupima, kalup je šaržni reaktor.

Podjela polimera prema temeljnim procesima polimerizacije

Ova podjela pretrpjela je više promjena. Stariji poznavatelji sjećaju se jednostavne podjele na tri vrste procesa: polimerizacije, poliadicije i polikondenzacije. Ta je relativno jednostavna podjela napuštena. Jedan od mogućih razloga jest i taj što je riječ polimerizacija upotrebljavana u općem smislu, a u podjeli iskorištena je za jednu polimerizaciju, onu lančanu, npr. karakterističnu za pravljenje polietilena. Slijedila je podjela za koju se zauzimao npr. P. Flory. Prema toj podjeli, sintetski polimerizati nastaju lančanom reakcijom ili stupnjevitom polimerizacijom. Stupnjevita polimerizacija može biti kondenzacijska ili adicijska (polikondenzacija i poliadicija). Reakcije polimerizacije nazivaju se i polireakcijama. Najnovija podjela prema mehanizmu i kinetici reakcije razvrstava polimere u dvije skupine:



- stupnjevite reakcije polimerizacije (postupne, polikondenzacijske) i
- lančane reakcije polimerizacije.

Polikondenzacijom se prave duromeri, elastomeri i plastomeri, uz odvajanje molekula. Najpoznatiji duromerni polikondenzat je prva sintetska plastika, fenol-formaldehid (PF). Tu je odvojena molekula voda, a proces se odvija tokom reakcijskog praoblikovanja u kalupu. Od plastomera dobivenih polikondenzacijom najpoznatiji su poliamidi (PA) i polikarbonat (PC), gdje se molekule odvajaju kod proizvođača tih plastomera. Polikondenzacijom se pravi i elastomerna tvar, silikonski kaučuk (MQ). Druga vrsta stupnjevite reakcije polimerizacije temelji se na reakciji adicije. Na taj se način prave duromerni poliadukti, npr. epoksidi (EP) i umreženi poliuretani (PUR), od plastomera linearni poliuretan, a elastomerna tvar je poliuretanski kaučuk (TPUR). Primjer proizvoda lančane polimerizacije je plastomer, polietilen (PE), a elastomerna tvar je butadienski kaučuk (BR).

Podijela polimernih materijala prema ponašanju pri povišenim temperaturama

Česta podjela polimernih materijala je ona prema ponašanju polimera pri povišenim temperaturama, preciznije, prema promjeni njihova modula smirnosti u ovisnosti o temperaturi. Na temelju te podjele polimerni materijali (polimerizati s dodacima) dijele se u tri temeljne skupine: duromere, elastomere i plastomere. Posebnu skupinu čine elastoplastomeri.

Riječ polimer doslovno znači „mnogo dijelova“. Dva industrijski važna polimerna materijala su plastike i elastomera. Plastike su velika i raznolika skupina sintetičkih materijala koji se obrađuju ili kalupljenjem formiraju u obliku. Kao što imamo mnoge vrste metala, kao što su aluminij i bakar, imamo i mnoge vrste plastike, kao što su polietilen i najlon. Plastika se može podijeliti u dva razreda, a termoplastike u termootporne plastike, ovisno o tome koliko su strukturno i kemijski opterećene. Elastomeri ili guma mogu se puno elastično deformirati kada se primjenjuje sila, a mogu se i vratiti u svoj izvorni obliku (ili skoro), kada je otpuštena sila.



Slika 11. Proizvodi od polimera

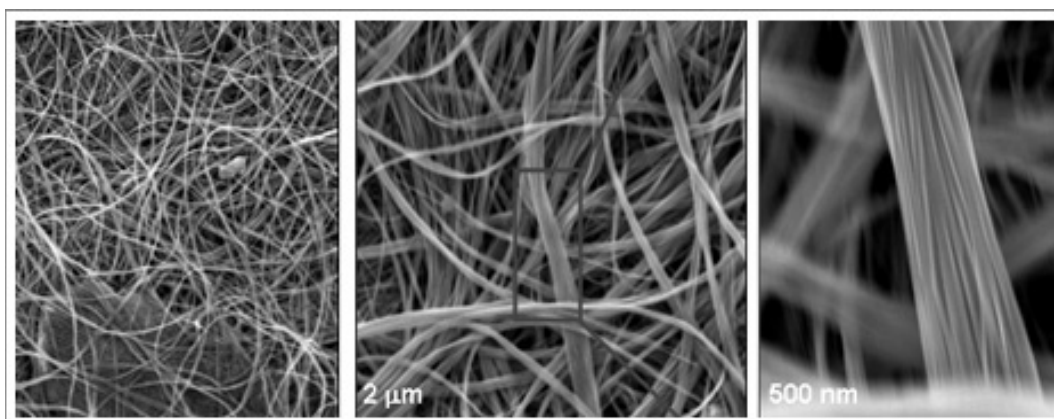
## Preporuke instituta

Osnovni element plastike je polimer molekula, u dugom lancu kovalentno vezanih atoma. Sekundarne veze drže skupine polimernih lanaca zajedno u obliku polimernih materijala. Inženjeri diljem svijeta koriste termoskupljajuće cijevi umjesto standardnih pristupa izolacija, kao što je snimanje ili kalupljenje na mjestu. Cijevi dolaze u širokom rasponu veličina, boja i materijala. Kada se zagrije, on skuplja se u skladu s veličinom i oblikom u podlozi materijala. Poznato je da su nedavni tehnološki razvoji doveli do električki vodljivih polimera.

Za poluvodničko ponašanje je sada moguće koristiti polimerne sustave. Na primjer, poluprovodnički polimeri, u sendviču između dvije elektrode, mogu generirati svjetlo bilo koje boje. Ova tehnologija će dovesti do OLED (organic light-emitting diode). Takvim prikazom bi se za svjetlo ostvarila manja potrošnja energije od druge alternative, a možda i fleksibilnije.

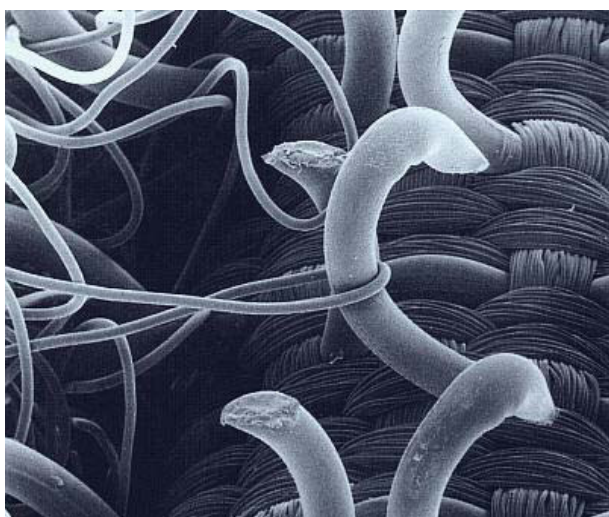
Polimeri su materijali koji se sastoje od dugih molekularnih lanaca. Većina polimera je na bazi ugljika i imaju relativno niske tačke topljenja. Polimeri imaju vrlo širok spektar svojstava koja omogućavaju njihovu veliku upotrebu u društvu. Njihovo upotreba podrazumijeva: auto dijelove, čuvanje hrane, pakiranje elektronskih, optičkih komponenti i ljepila.





Slika 12. Izgled snimka vlakana

Sintetske tkanine su kopije prirodnih materijala. Primjeri uobičajenih sintetskih tkanina su poliester, spandex, rayon i čičak. Čičak je u klasi materijala polimera.



Slika 13. Sintetička vlakna

- \* Tvrdća Shore A, D
- \* Ostatak na deformacije - gume
- \* Dimenzije i istezanje lakiranih žica
- \* Adhezija i elastičnosti žica izolacije

#### Električna ispitivanja

- \* Električni otpor
- \* Napon prekidanja
- \* Prekidna snage, smole, specifične otpornosti

#### Kemijski i fizički testovi

- \* Identifikacija (IR-spektroskopija)
- \* Gustoća, kinematička viskoznost, indeks viskoznosti
- \* Plamište
- \* Prodiranja, podmazivanje, stabilnost protiv gubitka vode uslijed isparavanja vode
- \* Prisutnost bakterija i plijesni

Institut Max Planc – laboratorij za testiranje

Svojstva i trajnost proizvoda od plastičnih materijala u prvom redu ovise o sastavu i kvaliteti odabranih materijala i obrade. Sljedećim procedurama testiranja može se doći do podataka koji su osnova za pravilan odabir polimera za nove proizvode, kako bi se osigurala jedinstvena kvaliteta u isporuci materijala za procjenu stanja i kvalitete proizvoda. Oni također omogućavaju pouzdane identifikacije nepoznatih uzoraka, analizu oštećenih i identifikaciju uzroka ozljeda.

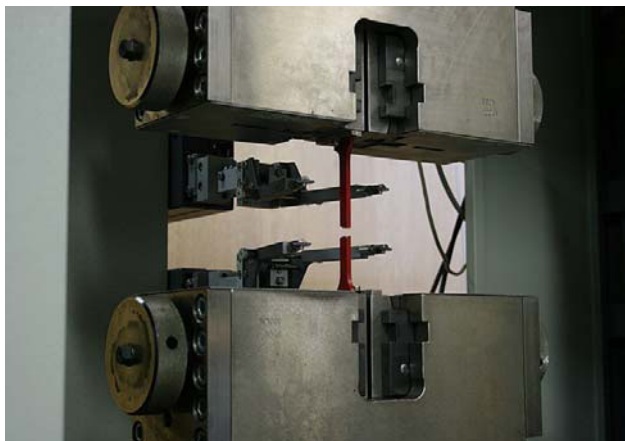
Većina test procedura obavlja se prema međunarodnim standardima. Institut je također uveo neke interne metode – test procedure za projektiranje i prilagođavanje zahtjevima klijenata. Individualni testovi su procedure akreditiranja.

### Mehanička ispitivanja

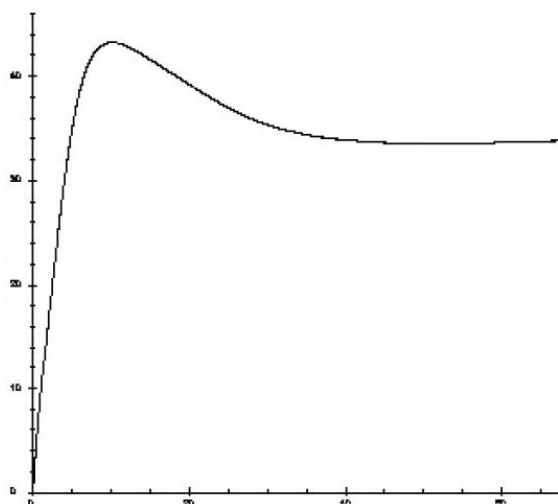
- \* Vlačna – posmična čvrstoća ljepila
- \* Vlačna čvrstoća, istezanje, adhezija ljepila trake, etikete adhezija
- \* Vlačna čvrstoća i istezanje folije, izolacijske cijevi, žice, gume

\* Adhezija i elastičnosti žica izolacije  
Električna ispitivanja

1. Tensile – vlačni test polimera daje snagu svojstva materijala u elastičnim i plastičnim površinama. Epruveta se određenim konstantnom brzinom proteže do loma. Dijagram test nam pokazuje ponašanje polimera od trenutka hvatanja. Od njega se mogu dobiti podaci koji se koriste za vrednovanje polimera, odnosno vlačno naprezanje. Na ordinatama se čitaju svojstva čvrstoće, s apscise i odgovarajuće istezanje. Modul elastičnosti je omjer napona i rastezanja. Linija ili nagib modulus daju karakteristike materijala – kruti materijali su oštre linije, elastičnih materijala i ravnih linija.



Slika 14. Mašina za ispitivanje mehaničkih svojstava polimera

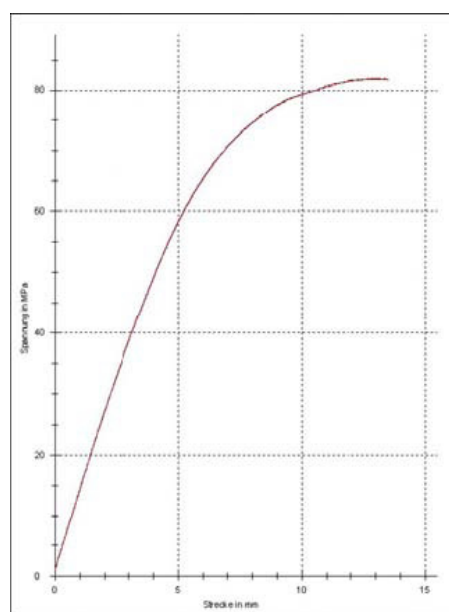


Dijagram 5. Omjer napona i rastezanja

2. Bending – savijanje je test koji se koristi uglavnom za više lomljiv materijal, gdje vlačna čvrstoća nije dovoljno značajna. Ovo je dijagram test i od njega dobivamo podatke koji se koriste za vrednovanje karakteristika opterećenja savijanja polimera.

Najvažniji rezultati testa savijanja su:

- \* Čvrstoća savijanja (MPa)
- \* Obavezna napetost savijanja (MPa)
- \* Savijanje i istezanje na lom (%)
- \* Savijanje i izduženje uslijed savijanja (%)
- \* Savijanje modul elastičnosti (MPa)



Dijagram 6. Savijanje i istezanje na lom

3. Impact – čvrstoća nam daje informacije o oporu materijala. Ispitni uzorak umetnut je u dršku za materijal, a čekić na mjesto početne pozicije, koja je potencijalna energija. Kada čekić svoju potencijalnu energiju promjeni u kinetičku, Hammer nakon loma raste do određene razine (što je opet potencijalna energija); što je ona manja, više je kinetičke energije se koja se troši na lom uzorka.



Slika 16. Prikaz mašine za ispitivanje udarne čvrstoće



Slika 17. Kušači-uzorci za ispitivanje

## Budući pravci razvoja polimernih materijala

Strategije za budućnost Područja Basic Materials Science

### Uvod

Mekane materijale karakterizira slab, ali ipak dug raspon interakcije među molekularnim ili supramolekularnim sastavnicama. Ove interakcije dovode do stvaranja statičkih i dinamičkih i često hijerarhijskih struktura prirodnih i fizikalnih svojstva koja uvelike ovise o suradnji međudjelovanja na različitim dužinama i vremenskoj skali. Najrelevantnija industrijska klasa materijala u tom kontekstu su sintetički polimeri. Osim toga, svi oblici života izgrađeni su i organizirani od mekih biogenih materijala, a to uključuje i vezivno tkivo, kosti i slične materijale od kojih je kostur ili egzoskelet formiran, strukturne elemente stanica (stanična membrana i skele), materijale na bazi ugljikohidrata u biljkama koji se produciraju (npr. celuloza, škrob). Područje također uključuje materijale napredne tehnologije koji su temeljni kao koloidi, tekući kristali, kompozitni materijali (vlakna armirane plastike), te fotootporni materijali koji su potrebni za stvaranje hardvera informacijske tehnologije.

Većina mekih materijala se temelji na organskim molekulama ili makromolekulama (polimerima). Za njihovo fizičko ponašanje je relevantno jesu li sintetički ili biogeni. U klasi koloida koji se sastoje od međusobno slabih interakcija nano ili mikročestica u tekućini nalazimo anorganske materijale, ali čak i ovdje, interakcija s organskom površinom je često presudna za dobivanje stabilne ili metastabilne situacije. Dakle, tenzidi su sažeti u kontekstu mekih materijala. Modifikacija površine zajedničkog materijala i konstrukcija dijelova od zajedničkog materijala je preduvjet za moderne tehnologije. Izmjene, npr. premazi, služe za zaštitu materijala od korozije ili abrazije, one omogućuju taloženje informacija (tisak tehnologije) ili razlike (oglašavanje, farbanje) i isto tako pomažu spojiti dijelove različitih kvaliteta i funkcija (ljepila).



### Polisaharidi: stanje umjetnosti

Proizvodnja, modifikacija i prerada polimera je najvažnija grana evropske industrije. Svjetska proizvodnja polimera je sada daleko premašila proizvodnju čelika (po težini), a bližu je 180 milijuna tona u 2000. godini. Evropa ima udio od cca. 28% (50 milijuna tona) što je ekvivalentno proizvodnji od cca. 100 milijardi €. Prerada plastike se razlikuje od proizvodnje jer ona ima vlastiti karakter i izbornu jedinicu.

Dok proizvodnja polimera dominira cijelim svijetom, a još više u Evropi, gdje je vrlo malo velikih igrača – kemijska industrija, prerađivačka industrija karakterizira tisuće malih i srednjih industrija (npr. u Njemačkoj nalazimo cca. 2.500 poduzeća s ukupno cca. 220.000 zaposlenika). Oko 60% proizvodnje polimernih materijala koristi se za opskrbu tržišta strukturnim materijalima, dok 40% proizvodnje otpada na funkcionalne materijale.

#### (a) Strukturni polimeri

Većina proizvedenih polimera kao strukturni materijal (standard plastika) se temelji na poliolefinima (polietilen, polipropilen, i slični ugljikovodici, polimeri i kopolimeri). Konačna primjena se nalazi u području ambalaže (41%), izgradnje objekata (20%), električne izolacije (9%), automobilskih dijelova (7%), poljoprivrede (2%) i ostalo (21%). Primjena plastike sve više zamjenjuje konvencionalne materijale (npr. kovinu, staklo, keramiku u ambalažnoj industriji), a u razvijanju novih tehnologija (npr.: audio/video diskovi) je inovativan i stalan izvor industrijske evolucije. Također smo pronašli zamjenu za skuplje „specijalitete” polimera nove generacije. Ovo se odnosi na stalno poboljšanje obradnih svojstava i fizičkih karakteristika koje poliolefinski izum i prilagodba novih katalizatora u procesima polimerizacije nove strukturne varijacije na razini molekularne arhitekture vodi u stalnu evoluciju svojstva u primjeni.

Inovacije u npr. industriji pakiranja hrane, dostupnosti novih ili poboljšanih polimernih materijala neophodne su za razvoj distribucije i sustava za pohranu podataka u Evropi, te pomažu u restrukturiranju i razvoju

poljoprivredne regije. Velika razmjera zamjene stakla na bazi poliesterskih materijala (PET) za spremnike tekućina u industriji pića je još jedan primjer. Početni problem plastičnih masa vezan je za otpad, a riješen je u posljednjih nekoliko godina, kombinacijom pravne radnje i ekonomski održivih sustava prikupljanja i redistribucije.

Potrebno je napomenuti da je specijalnost polimera da imaju čvrsto mjesto u modernoj industriji i često imaju karakter koji omogućava razvoj tehnologije. Primjer je proizvodnja, primjena, te stalna evolucija prema poboljšanju performansi epoksirezina, klase polimera koji služi kao izolacija i ambalažni materijal u električnoj/elektroničkoj industriji. To je osnovna za moderne elektronske industrije.

#### (b) Funkcionalni polimeri

Polimeri nastaju kao funkcionalni materijali koji mogu poslužiti u mnoštvu primjena kao i dodataka, obradi pomagala, ljepila, premaza, viskoznosti regulatora, maziva, i mnogo više. Nalaze se u kozmetici i farmaciji, u svim vrstama polugotove hrane, u tiskarskim bojama i bojama kao što superamortizeri, u higijenskim proizvodima i obradi keramike (veziva) i betonu, kao i flokulantima u otpadnim vodama, kao ljepilo u hardver proizvodnji elektroničke opreme, da spomenemo samo nekoliko.

Novi razvoj funkcionalnih polimera ima revolucionarne posljedice na industriju, u kojoj su polimeri našli primjenu pod uvjetom da tehnološki omogućavaju bazu za nove ili poboljšane proizvodne sustave. Osim toga, u mnogim slučajevima je potpuno nova aplikacija postala dostupna. Primjer je sada široko korištenje super amortizera, proizvoda koji su u sebi stvorili potpuno novi roman industrija s proizvodnim linijama. Biomedicinska primjena polimera treba isto tako biti navedena ovdje. Polimeri igraju sve veću ulogu kao implantata, u stomatologiji, u kirurgiji vezivnog tkiva i arterija, kao i općenito u medicinskoj tehnologiji.

To predstavlja veliko tržište za interdisciplinarnu istraživačku aktivnost. Također treba napomenuti da odredba novih funkcionalnih materijala ima također velike posljedice na stroj

i proizvodnu liniju industrije, dobar primjer je industrija tiskarskih strojeva. Napredak u ovoj industriji uvelike ovisi o pružanju novih tiskarskih boja optimiziranih za visoke brzine ispisa procesa – u velikoj mjeri „problem polimera”. Isto vrijedi i za „lasersku tehniku ispisa”, brzinu koja uvelike ovisi o polimerima na temelju ispisnog procesa.

## Teme istraživanja

Anketa među vodećim evropskim industrijama u proizvodnji polimera u godinama 1998/99. je dala sljedeće ciljeve visokog prioriteta za istraživanja posvećena polimerima:

- Emulzija polimerizacija: naći način da ide iz serije tipa reakcije na kontinuirane reakcije, a za to će trebati razvoj novih, najvjerojatnije polimernih tenzida, stabilnost emulzija i disperziju treba poboljšati, starenje film formacije treba biti bolje kontrolirano; ovo bi imalo ogroman utjecaj na industriju premaza i ljepila.

- Poboljšani napor u pronalaženju i razvoju katalizatora za olefinu polimerizaciju, s naglaskom na metalocene temelje katalizatora. Tako će kopolimerizacijom heterogeni katalizatori biti predmetom lošeg procesa polimerizacije, sinteza elastomera metalkataliznim procesom je ključni cilj.

Bolji podaci o reakcijama i kinetičkim pojavama u polimerima uvelike će pomoći poboljšanju velikih razmjera proizvodnje polimernih materijala.

Oblikovanje i obrada čestica sustava (visoko punjene polimera, oblaganje formulacije, tiskarske boje i sl.) što uključuje razumijevanje kinetike rasta čestica i površine čestice cijepljenja, pomoći će da se značajno unaprijede postojeće tehnologije

„Solvent-free” procesi polimerizacije su procesi kojima se želi smanjiti opasnost za okoliš i smanjenje troškova proizvodnje polimera.

Polimerizacija u vodenim medijima, vodom rođen polimer i premazi na bazi vode također bi smanjili opasnost od sadašnje

ekološke tehnologije.

„Reactive extrusion”, koja je stvaranje primjena ciljanih proizvoda u obradi, čime bi se za korak poboljšala situacija na tržištu za male, srednje i velike industrije.

Daljnji razvoj analitičkih metoda i kvantitativnih metoda karakterizacije strukture i izvedbe polimernih materijala je jako željen, među njima, instituti tehnike određivanja molarne mase distribucije imaju najviši prioritet; ali jednako je važan i razvoj brzih i preciznih metoda za određivanje strukture granajućih, hipergranajućih i umreženih sustava. Analitičke karakterizacije čestica sustava i disperzije treba poboljšati.

Većina polimernih materijala u sadašnjosti je pokazala svoje funkcije u kontaktu s vanjskim svijetom, koji je po svojim svojstvima površine. Ključne riječi, na koje je potrebno posvetiti pozornost u istraživanju u neposrednoj budućnosti su :

Adhezija: razumijevanje i poboljšanje mehanizama adhezije ljepila i neuspjeha, prevencija adhezije prema modifikaciji površine, razvoj ”ljepljivih” polimera (vrijeme/temperatura/tlak, ovisno o procesu ljepljenja), opće studije o vlaženju/ procesima isušavanja/ adhezije između živih sustava (stanica) i polimera.

Polimeri za primjenu u medicini: polimeri osmišljeni kako bi djelovali kao implan-tati, polimer-polimer tkiva i stanice interakcije, starenje polimera izloženih biosistemu, materijali za umjetne organe, materijali u farmaceutskoj i medicinskoj tehnologiji, visoka čistoća polimera, membrane, membrani materijali za hemodijalizu, polimeri u liječničkoj dijagnozi.

Polimeri za napredne tehnologije: polimeri kao medija za pohranu podataka (audio/ videodiskovi); fotootporni i srodni materijali potrebni za izradu naprednog elektroničkog hardvera; polimeri u prikaz tehnologiji: poravnane slojeva, polarizatori u LCD-ima, electroluminescent polimeri za OLED's; razdjelnik membrane i ionski vodovi veziva u power supplies (gorive ćelije, Lilon baterije) za prijenosne ili mobilne aplikacije.

Računska tehnika: unaprijed teorijsko razumijevanje ponašanja polimernih materijala otvara put za povezivanje detalja molekularne strukture i promjene njenog nastupa u obradi i primjeni. Računanje velikih razmjera pomoću



namjenskih softvera je potrebno. Međutim, napredak u simulaciji očekivanih ponašanja na temelju molekularnih arhitektura će uvelike ubrzati istraživanje procesa u proizvodnji polimera, a time dati evropskoj industriji vodstvo nad svojim konkurentima. Evropa je trenutno vodeća u računskoj tehnici u ovom području, ali ovi rezultati moraju biti prebačeni u industriji istodobno, metode simulacije moraju biti poboljšane s obzirom na puni spektar primjene polimernih materijala u praksi.

Perspektive u temeljnim istraživanjima mekih materijala i polimera

Svojstva i primjena „mekih materijala” (polimeri, biopolimeri, kompoziti, tekući kristali, površinski) se temelje na slabim, ali dugim vezama molekularne interakcije među sastavnicama. Boležljivo je razumjeti kako i zašto te interakcije dovode do hijerarhijske strukture i u većini slučajeva vremenski ovisnih fizičkih i inženjering svojstava. Kontrolirano postignuće arhitekture je ključ za aplikaciju.

#### (a) Polimerna sinteza

Sinteza robe ili inženjerskih polimera dominira na utjecaj pronalazača novih katalizatora za poboljšanje procesa polimerizacije. Trebaju se pronaći nova načela katalize kojima će već postojeći veliki objekti za proizvodnju polimera postati bez premca. Osim toga, sinteza je specijalnost polimera koja je usmjerena prema funkcionalnim svrhama

#### (b) Supermolekularne strukture

Svojstva polimera ovise o strukturnoj organizaciji u različitim mjerilima duljine. Odnos između molekularne strukture uvjet je obrade i načela samoorganizacije su u velikoj mjeri nepoznata ili samo empirijska. Daljnji napredak u iskorištavanju prirodnih svojstva polimera tako više ovisi o dobivanju uvida kako kontrolirati interakcije između konstitutivnih makromolekula i drugih sastojaka polimernih materijala (pigmenti, stabilizatori, ojačani elementi) u tijeku obrade. Nove metode za obradu trebaju biti razvijene u slučaju specijalnosti polimera te prilagođene zahtjevima njihove primjene u mikro/macroelektronici, kao medicinski implantati ili prenosivi izvori energije (baterije,

goriva ćelija).

#### (c) Transportna svojstva

Polimeri sve više nalaze važnu primjenu u separacijskim procesima kao aktivne ili pasivne membrane, adsorbencije ili kromatografski materijali. U baterijama i gorivim ćelijama služe kao razdjelnik materijala. Postoji potreba za razumijevanjem relevantnih poboljšanih svojstava, kako se prijevoz i dinamičke pojave odnose na molekularne i supramolekularne strukture te kako se to odražava na sintezu i obradu.

Perspektive u temeljnim istraživanjima u Organic Materials Synthesis

#### (a) Sinteze racionalnim dizajno

Napredak u računarima na temelju simulacija očekuje napredak polimera u njihovim zahtjevima, što će uvelike ubrzati proces istraživanja i razvoja u industriji. Međutim, teorijsko razumijevanje molekularne interakcije u kontekstu primjene je povoljno. Relevantan softver ili ne postoji ili ne može služiti adekvatno svrsi. Isto vrijedi i za teorijska i računaska rukovanja katalitičkim procesima.

#### (b) struktura-svojstva korelacije

Daljnji razvoj analitičkih metoda za karakteristične strukture i izvedbe polimera u prostoru i vremenu domena je preduvjet za daljnje poboljšavanje tih materijala. Brze institutske tehnike određivanja molarne mase i distribucije na polimerizaciju i / ili preradu imaju visok prioritet. Slično tome, analitičke tehnike, kako bi se omogućilo precizno određivanje primarne strukture (grananje, hyperbranching, umrežavanja itd.) su trenutno previše neprecizne i nespretno, tako da imaju loš utjecaj na industriju. Dakle, nove brze analitičke metode moraju se pronaći.

#### (c) visoka -čistoća i sinteza materijala

Specijalni polimeri moraju biti prilagođeni specifičnoj svrsi njihove primjene. To u mnogim slučajevima zahtijeva razvoj novih pravaca u sintezi i obradi zbog potrebnih i neophodnih uvjeta čistoće. Primjeri su također sveprisutni u biomedicinskim aplikacijama ili

u elektronici (migracija čak i tragovi nusproizvoda će pokvariti uređaj).

## Zaključak

Prilikom uzimanja teme za seminarski rad izabrao sam ovu temu o kojoj sam znao veoma malo te sam mislio da ću imati problema s izradom. Nakon konsultacija sa cijenjenim prof. dr. sc. Salimom Ibrahimefendićem i njegovim uputama za izradu seminarskog rada, koje su obuhvatile i savjet za konsultacije sa jednim od najvećih instituta na svijetu, tj. Max-Planck institutom u Njemačkoj, mislio sam da neću dobiti tražene informacije o navedenoj temi zbog činjenice da sam ja građanin jedne male zemlje, nama drage BiH. Naravno, iznenađen sam pozitivnim odgovorom od strane instituta u Njemačkoj. Informacije koje sam tražio dobio sam u obliku knjige u elektronskoj formi „Polymer research 2009“. To je dokaz koliko je ozbiljna tema koju sam dobio i sam predmet kao materija. Mogu da zaključim da je ispitivanje fizičko-kemijskih osobina polimera od velike važnosti zbog činjenice da se raznim testovima koji su navedeni u ovom radu dolazi do informacija koje određuju životni put određene vrste polimera, odnosno nakon ispitivanja moguće je odrediti gdje će ispitani polimer imati primjenu, a gdje nije poželjna njegova upotreba. Isto tako je bitno napomenuti da dosta ovih testova mogu da se primijene na polimere koji se koriste u grafičkoj industriji, što je od velikog značaja za našu struku. Značaj polimera svakodnevno raste bez obzira o kojoj industrijskoj grani se radi i upravo iz ovih razloga je neophodno prići izučavanju ove materije kroz sve vidove školovanja, uključujući mogućnost formiranja odjela za plastične materijale u institutu „K. Kapetanović“ u Zenici.

Grafički fakultet će u saradnji sa institutom „K. Kapetanović“ biti nosilac ideje o organizovanju naučnih i stručnih skupova i simpozija o „Polimerima“ čime se edukativno, stručno i naučno pokriva ova veoma važna naučna oblast i time uspostavljaju mostovi saradnje s naučnim institucijama iz Evrope i svijeta.

## Literatura

1. Adamić, K. (1979): Struktura i svojstva polimera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb.
2. Polymer research, Institut Max-Planck, 2009.
3. Smith, W. F.: Taken from Principles of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill, Inc, New York.
4. Španiček, Đ., L. Čurković (2005/2000): Materijali I (autorizirana predavanja), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
5. [www.chemicals.kellysearch.com/profile/bayer+polymers/us/pa/pittsburgh/15205-9741/350034026](http://www.chemicals.kellysearch.com/profile/bayer+polymers/us/pa/pittsburgh/15205-9741/350034026) (Polimerni web “Odsjeka za kemiju Imperial College of Science, tehnologije i medicine u Velikoj Britaniji”)
6. [www.engr.sjsu.edu/wofmate/polymers.htm](http://www.engr.sjsu.edu/wofmate/polymers.htm)
7. [www.mos.org/](http://www.mos.org/)
8. [www.pslc.ws/macrog/index.htm](http://www.pslc.ws/macrog/index.htm)
9. [www.research.philips.com/](http://www.research.philips.com/)
10. [www.tiniusolsen.com/products/melt-indexers/melt-indexers.html](http://www.tiniusolsen.com/products/melt-indexers/melt-indexers.html)