

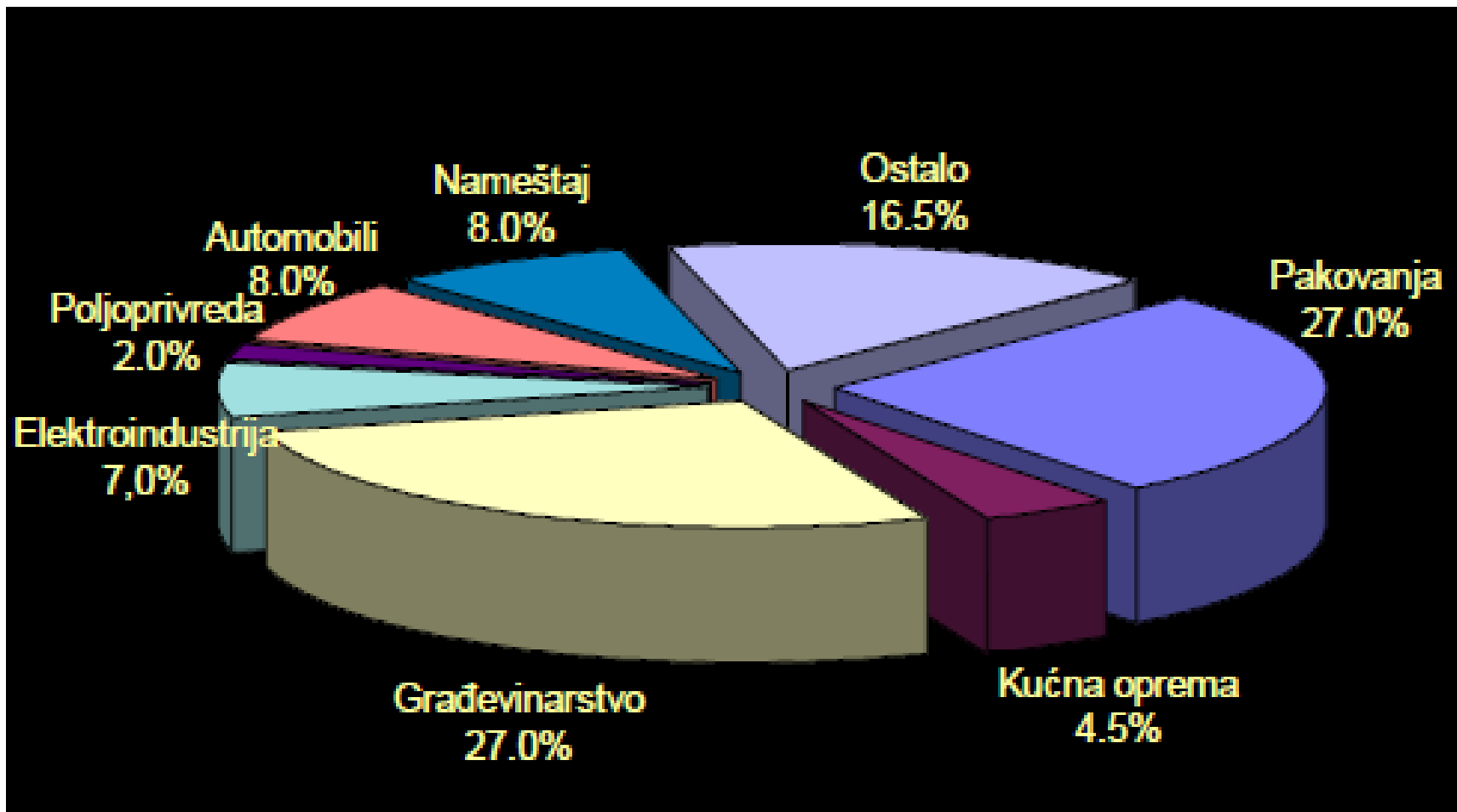
# POLIMERNI MATERIJALI

Mašinski materijali

# POLIMERNI MATERIJALI

- 1866.GODINE prvi put je upotrebljena reč POLIMER – molekul koji se sastoji iz mnogo (grčki poli-mnogo) delova (grčki meros-deo)
- DRVO, GUMA, PAMUK, VUNA, KOŽA, SVILA, CELULOZA, ENZIMI-PRIRODNI POLIMERI
- (Ovi polimeri su se proizvodili od prirodnih organskih materijala životinjskog i biljnog porekla).
- SINTETIČKI (VEŠTAČKI) POLIMERI:PLASTIKA
- U industrijskoj proizvodnji polimeri se koriste za izradu:
- Posuda za hranu i piće
- Folija, kućišta za računare i monitore,
- Tekstila, medicinskih uređaja, pena, boja
- Igračaka, aparata, sočiva, zupčanika, elektronskih i električnih proizvoda, karoserija i delova automobila

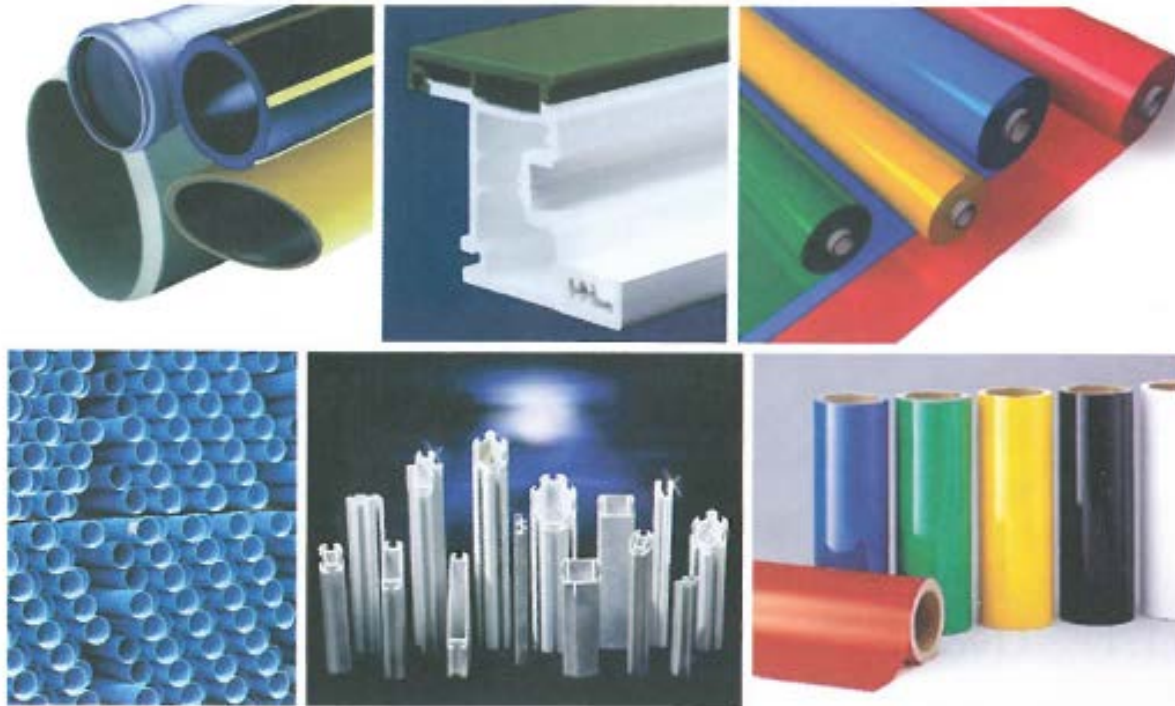
# PODRUČJE PRIMENE POLIMERNIH MATERIJALA



# Opseg mehaničkih svojstava za različite polimere na sobnoj temperaturi

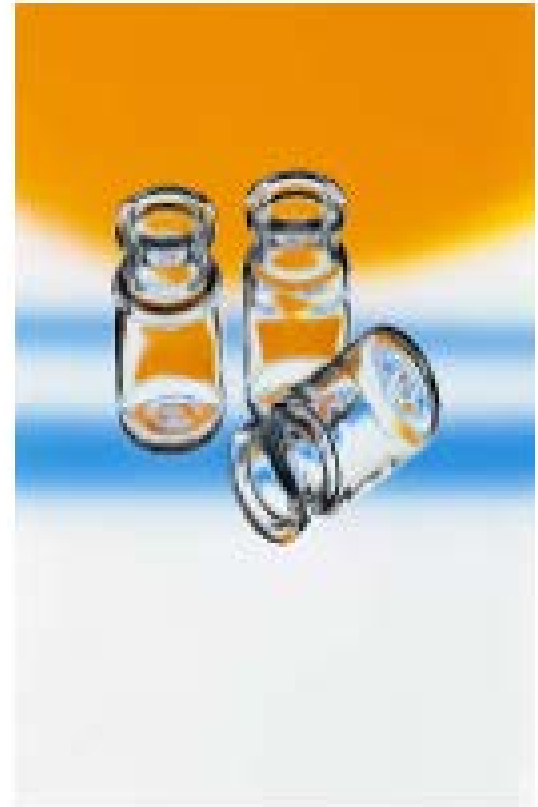
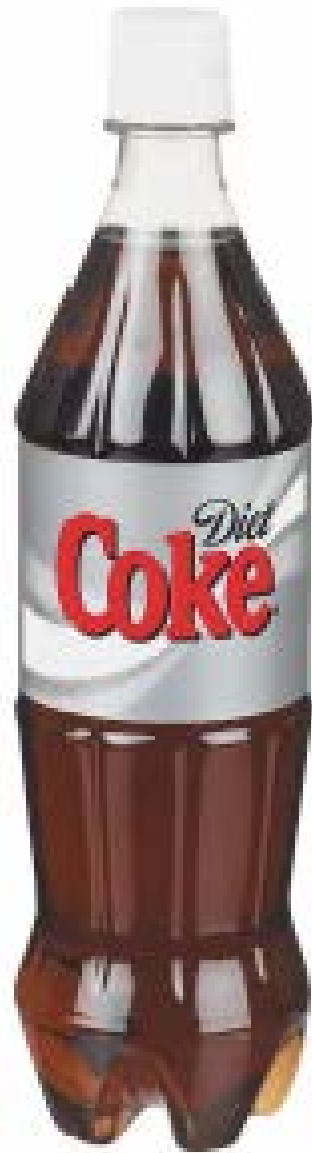
Materijal	$R_m$ , [MPa]	$E$ , [GPa]	$A$ , [%]
akril	40 ÷ 75	1,4 ÷ 3,5	50 ÷ 5
celuloza	10 ÷ 48	0,4 ÷ 1,4	100 ÷ 5
epoksi	35 ÷ 140	3,5 ÷ 17	10 ÷ 1
epoksi, pojačan	70 ÷ 1400	21 ÷ 52	4 ÷ 2
fluorokarbon	7 ÷ 48	0,7 ÷ 2	300 ÷ 100
najlon	55 ÷ 83	1,4 ÷ 2,8	200 ÷ 60
najlon, pojačan	70 ÷ 210	2 ÷ 10	10 ÷ 1
fenol	28 ÷ 70	2,8 ÷ 21	2 ÷ 0
polikarbonat	55 ÷ 70	2,5 ÷ 3	125 ÷ 10
polikarbonat, pojačan	110	6	6 ÷ 4
poliester	55	2	300 ÷ 5
poliester, pojačan	110 ÷ 160	8,3 ÷ 12	3 ÷ 1
polietilen	7 ÷ 40	0,1 ÷ 1,4	1000 ÷ 15
polipropilen	20 ÷ 35	0,7 ÷ 1,2	500 ÷ 10
polipropilen, pojačan	40 ÷ 100	3,5 ÷ 6	4 ÷ 2
polistiren	14 ÷ 83	1,4 ÷ 4	60 ÷ 1
polivinil hlorid	7 ÷ 55	0,014 ÷ 4	450 ÷ 40

# PRIMERI PRIMENE POLIMERNIH MATERIJALA



Slika 3 Primer nekih komercijalno dostupnih oblika plastike:  
Cevi, profili, folije

# Pakovanja



# Automobili (delovi karoserije)








Tabela 11.2. Prikaz nekih monomera i njihovo vezivanje u polimer

Monomer	Mer - jedinica koja se ponavlja u polimeru	Naziv polimera
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$	Polietilen
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$	Polipropilen
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right)_n$	Polivinil hlorid (PVC)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$	Polistiren
$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	$\left( \begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array} \right)_n$	Politetrafluoroetilen (teflon)





- |   |   |
|---|---|
|  Carbon/epoxy                   |  Aramid/DuPont Nomex |
|  Carbon/aramid/epoxy            |  Aramid/foam core    |
|  Glass-fiber reinforced plastic |  Carbon/DuPont Nomex |



**Vazduhoplovna  
industrija**



# POLIMERNI MATERIJALI

## PODELA POLIMERNIH MATERIJALA S OBZIROM NA POREKLO

### PRIRODNI, BIOPOLIMERI

#### ➤ Celuloza

Prirodni makromolekul koji nastaje fotosintezom

Polisaharid

➤ Skrob-prirodni polusaharid

➤ Keratin-polipeptid (dlaka, koža, nokti, rogovi, svila, vuna)

➤ Kaučuk-poliizopren (mlečni sok nekih biljaka)

### POLUSINTETSKI POLIMERI

Hemijski modificirani Biopolimeri

Iz celuloze

Celuloid, acetatna svila

Iz belančevina (kazein iz mleka)

### ORGANSKI SINTETSKI (UMJETNI) POLIMERI

Dobijeni hemijskom sintezom (polimerizacijom) Iz jednostavnih organskih jedinjenja

### ANORGANSKI SINTETSKI POLIMERI

Dobijeni hemijskom Sintezom (polimerizacijom) Iz jednostavnih organskih i neorganskih jedinjenja-Lanac Makromolekula nije iz ugljenikovih atoma

# PODELA POLIMERA PREMA VRSTI MONOMERA U MAKROMOLEKULI

## HOMOPOLIMERI

➤ Homopolimer (*grč. homois= isti*)  
Makromolekula im je sastavljena iz samo jedne vrste monomera ●



## KOPOLIMERI

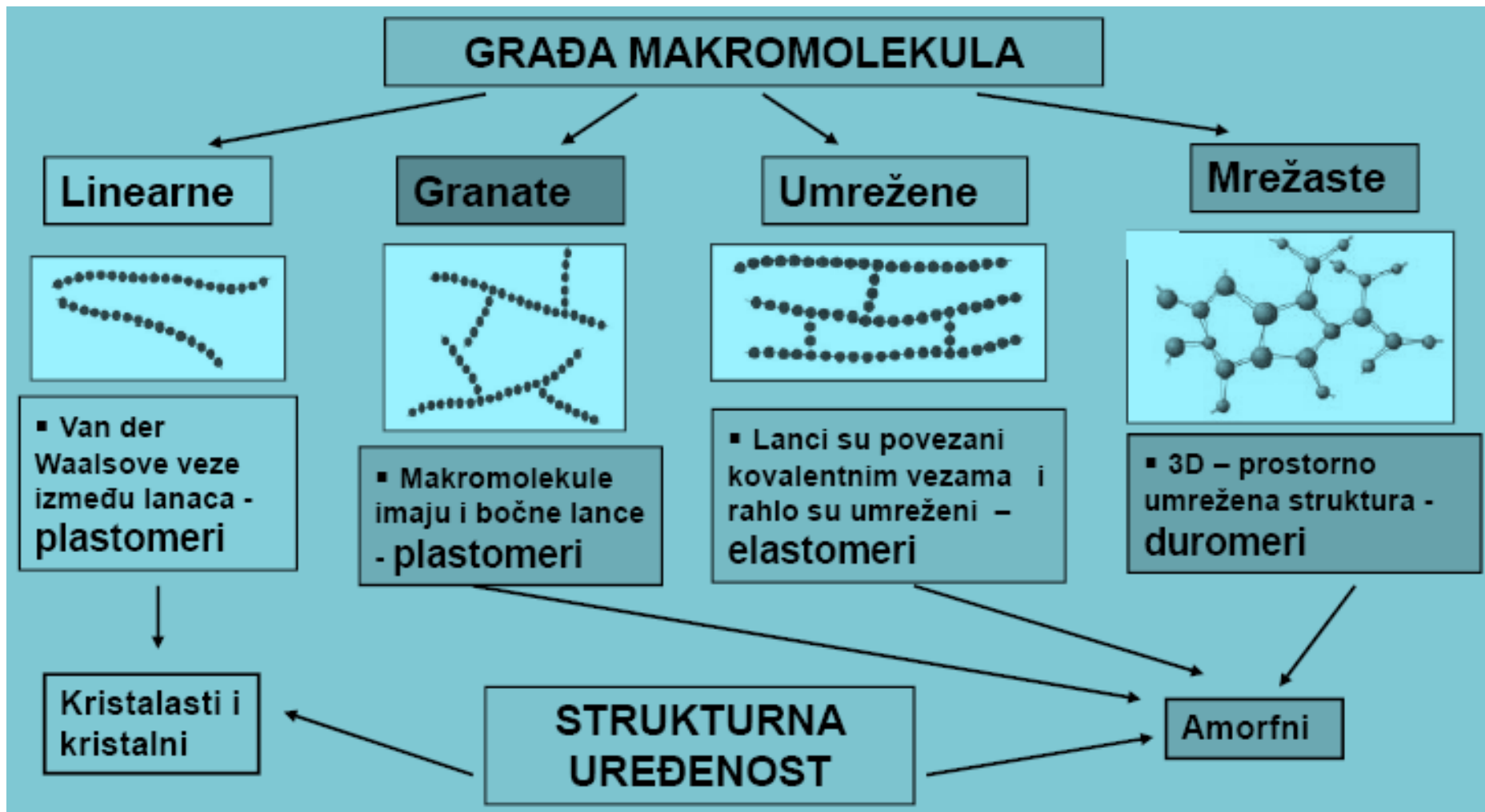
➤ Kopolimer (*lat. cum, con = s, sa*)

Makromolekula polimera nastala je povezivanjem dvaju ili više različitih vrsta monomera. Razlikuju se po načinu slaganja pojedinih monomera u makromolekulama (● i ●)



Slika Podela polimera prema vrsti monomera u makromolekuli

PODELA POLIMERNIH MATERIJALA S OBZIROM NA  
GRAĐU MAKROMOLEKULA I STRUKTURNU  
UREĐENOST



# Uticajni faktori na svojstva polimera

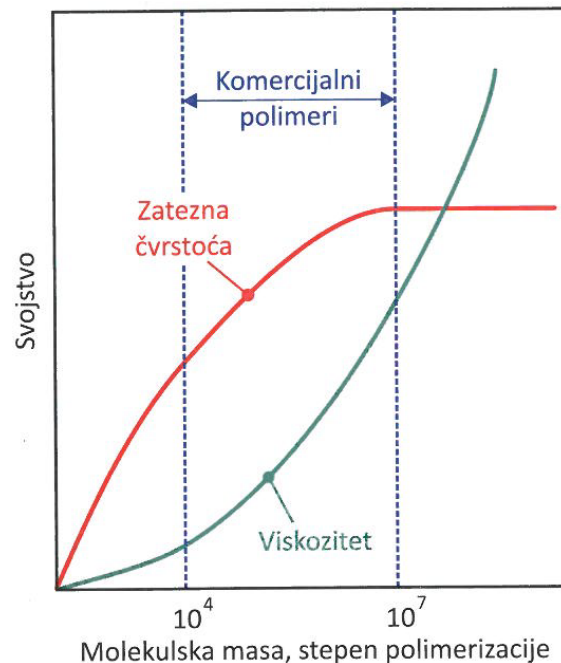
Svojstva određenog polimera zavise od:

- ✓ molekulske mase
- ✓ Stepena polimerizacije
- ✓ Strukture
- ✓ Zastupljenosti amorfne odnosno kristalne strukture
- ✓ Aditiva

# Molekulska masa

Molekulska masa polimera je zbir molekularnih masa monomera od kojih je izgrađen polimerni lanac.

Povećanjem dužine polimernog lanca, odnosno sa povećanjem molekularne mase povećava se čvrstoća, viskozitet kao i napon pri lomu. Što je duži polimerni lanac potrebna je i veća energija da se raskinu sekundarne veze.

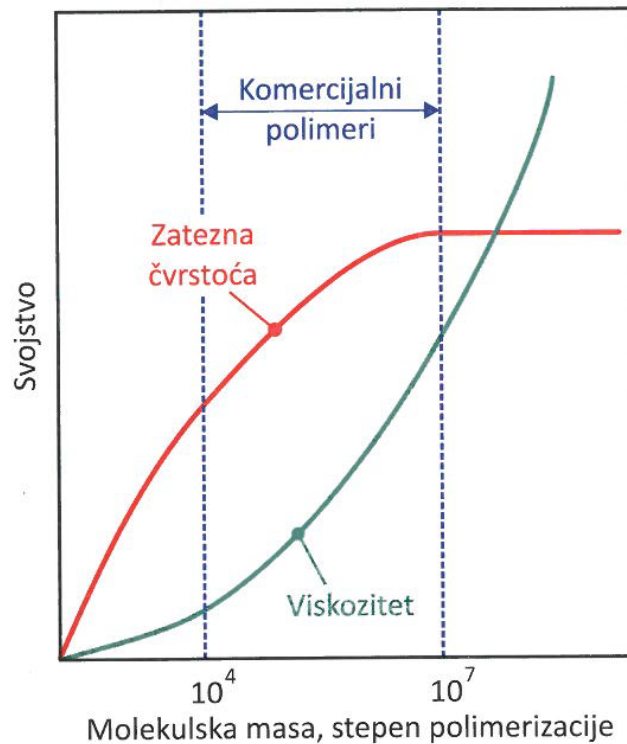


Slika 11.5. Uticaj molekularne mase i stepena polimerizacije na viskozitet i čvrstoću polimera

# Stepen polimerizacije

Stepen polimerizacije je odnos molekulske mase polimera prema masi jedinične ćelije (monomera).

Što je veći stepen polimerizacije, veći je i viskozitet i čvrstoća.



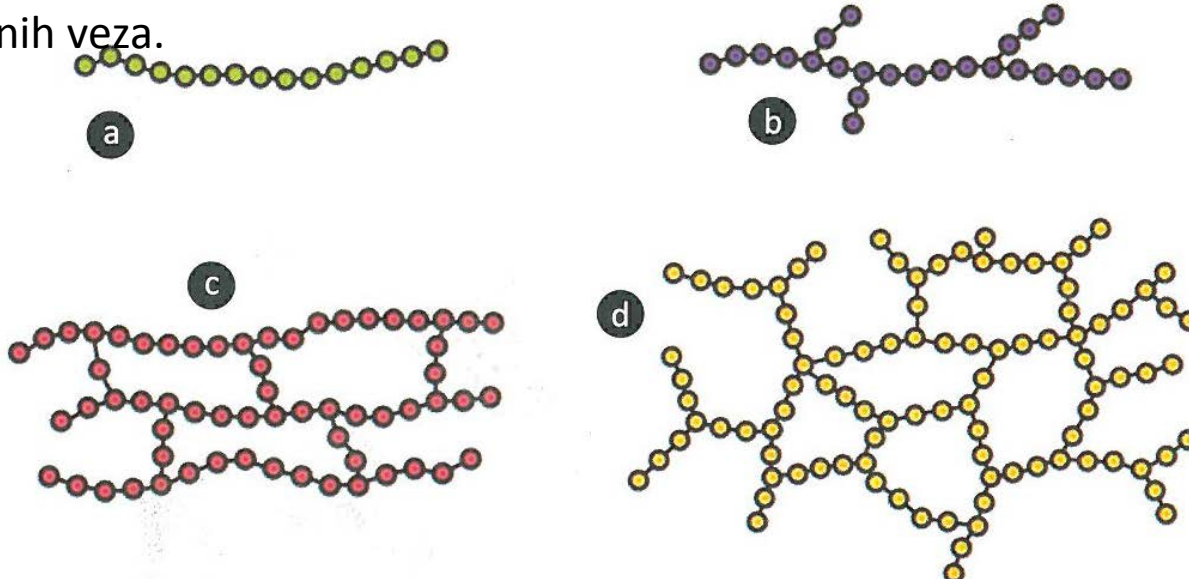
5. *Uticaaj molekulske mase i stepena polimerizacije na viskozitet i čvrstoću polimera*



# Struktura polimera

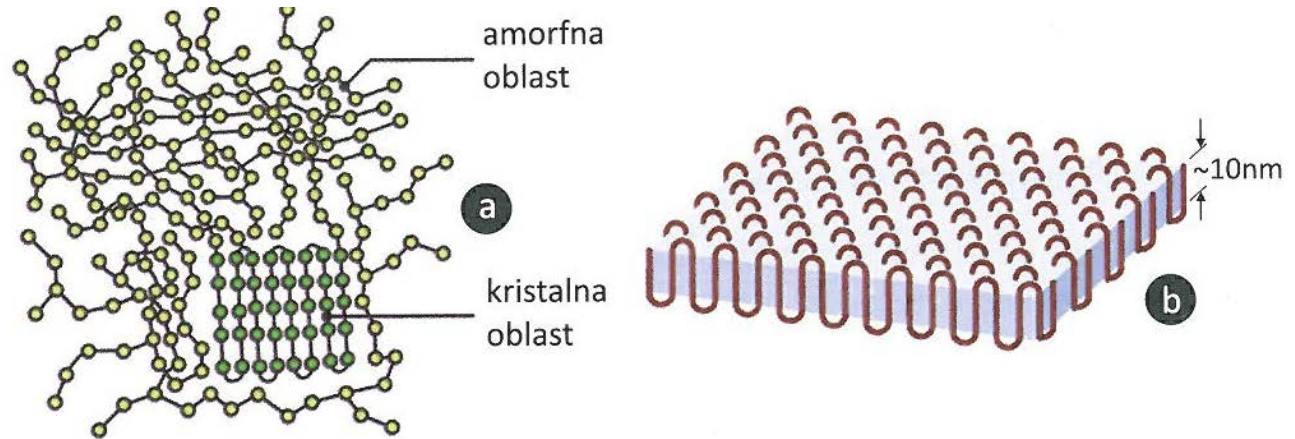
Svojstva polimera ne zavise samo od vrste monomera od kojih su sačinjeni nego i od njihovog rasporeda u molekularnoj strukturi.

- a) **Linearni polimeri**-polimeri u obliku lanaca.
- b) **Razgranati polimer**-poprečni lanci se dodaju na glavni lanac prilikom sinteze polimera.
- c) **Poprečno povezani polimeri**-susedni lanci su povezani poprečnim kovalentnim vezama (termostabilni ili termostabilne plastike kao što su epoksidi, fenoli i silikoni)
- d) **Umreženi polimeri** se sastoje od trodimenzionalnih mreža, gde su prisutne tri ili više kovalentnih veza.



*Sematski prikaz različitih struktura polimera: a) linearni; b) razgranati; c) poprečno povezani; d) umreženi.*

# Fazna stanja polimera



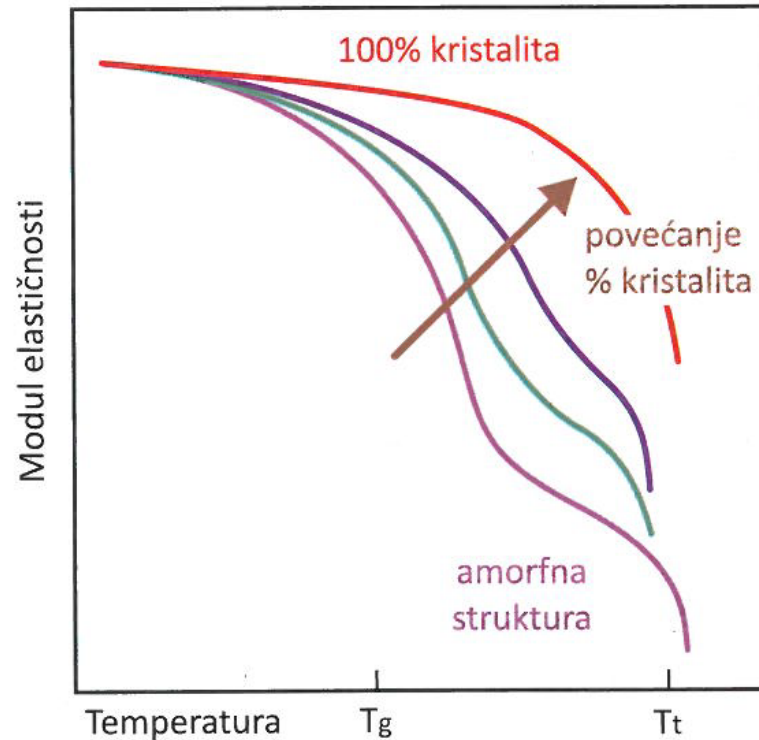
Slika 11.7. Šematski prikaz amorfne i kristalne oblasti u polimeru

Polimeri prema svojoj uređenosti mogu biti AMORFNI i KRISTALNI.

Struktura polimernih materijala obično je dvofazna, pošto pored amorfne ima i kristalnu građu.

# Struktura polimera

Stepen prisustva kristalita u strukturi polimera značajno utiče na fizička i mehanička svojstva (slika 11.8).



**Slika 11.8.** Zavisnost modula elastičnosti polimera od temperature i stepena zastupljenosti kristalita u strukturi

# Aditivi

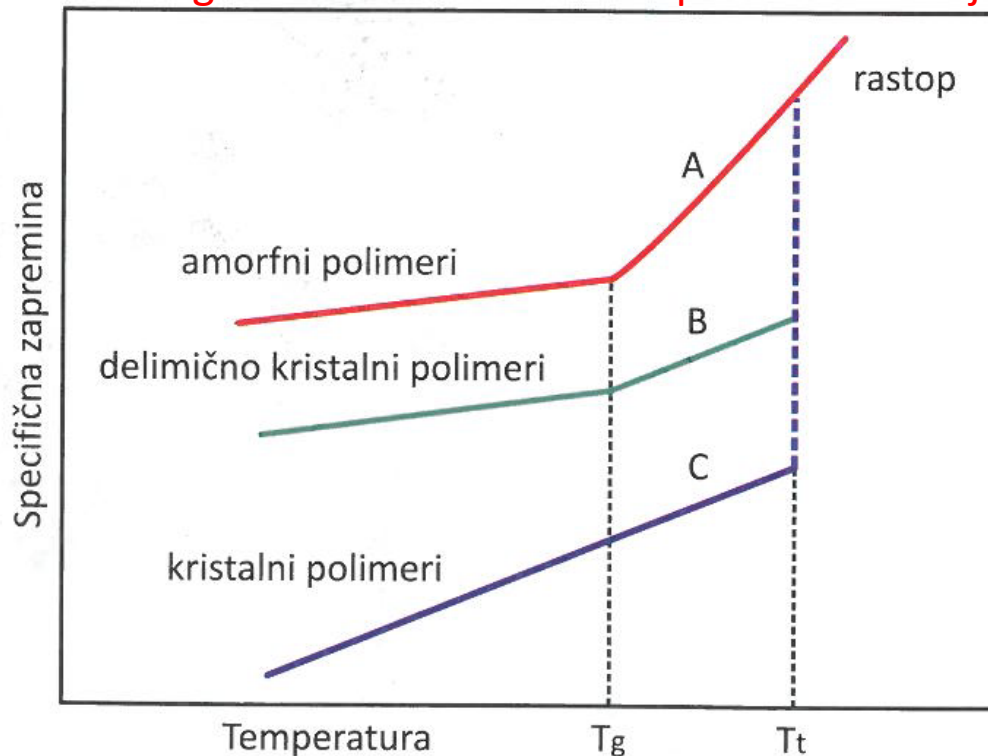
Aditivi se dodaju polimerima, neposredno nakon polimerizacije ili pre prerade u gotov proizvod, radi poboljšanja odgovarajućih svojstava. Tako na primer, dodavanjem odgovarajućih aditiva mogu da se poboljšaju optička, mehanička i druga svojstva, a takođe, i da se poboljša preradivost.

# Temperatura ostaklivanja (Prelaza u staklasto stanje)

Polimeri mogu imati dva agregatna stanja: čvrsto i tečno. Na niskim temperaturama su tvrdi, kruti, kruti i staklasti, dok na povišenim temperaturama prelaze u gumasto stanje. Prelazak iz čvrstog u gumasto stanje naziva se ostaklivanje.

Ostaklivanje se odvija u temperaturinom intervalu od oko  $10^{\circ}\text{C}$ .

Srednja temperatura tog intervala naziva se Temperatura ostaklivanja.



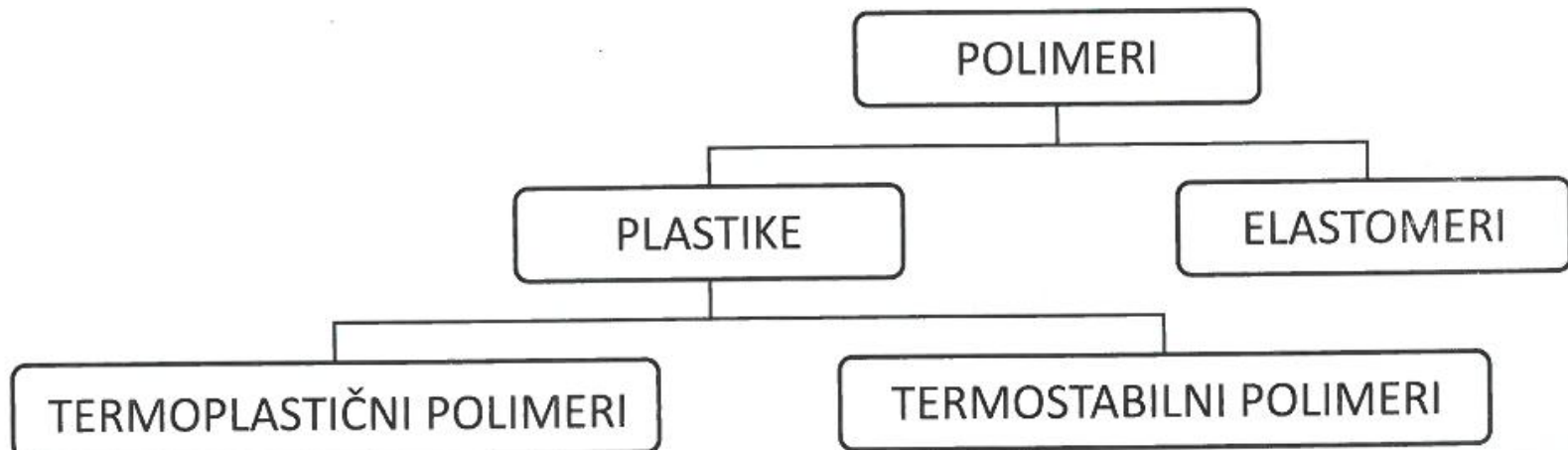
Zavisnost specifične zapremine polimera od temperature

# Temperatura ostakljivanja i temperatura topljenja kod nekih polimera

Materijal	Temperatura ostakljivanja $T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura topljenja $T_t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Najlon 6,6	57	265
Polikarbonat	150	265
Poliester	73	265
Polietilen – velike gustine	-90	137
Polietilen – male gustine	-110	115
Polimetilmetakrilat	105	÷
Polipropilen	-14	176
Polistiren	100	239
Politetrafluoroetilen	-90	327
Polivinil hlorid	87	212
Guma	-73	÷

# Podela polimer aprema svojstvima i oblasti primene

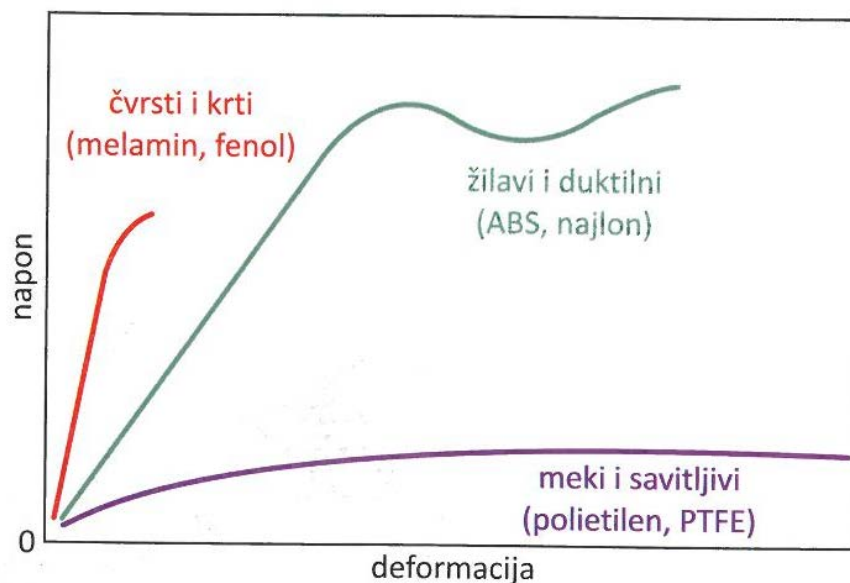
Prema ovom kriterijumu, polimerni materijali se dele na: *termoplastične*, *termo-stabilne* i *elastomere*, slika 11.10.





# Termoplastični polimeri

Termoplastični polimeri imaju amorfnu ili delimično kristalastu strukturu sastavljenu od linearnih razgranatih makromolekula međusobno povezanih slabim sekundarnim vezama. Najznačajniji faktori koji utiču na ponašanje su temperatura i stepen deformacije. Karakteristična kriva napon-deformacija za neke termoplastične i termostabilne polimere na sobnoj temperaturi prikazane su na slici 11.

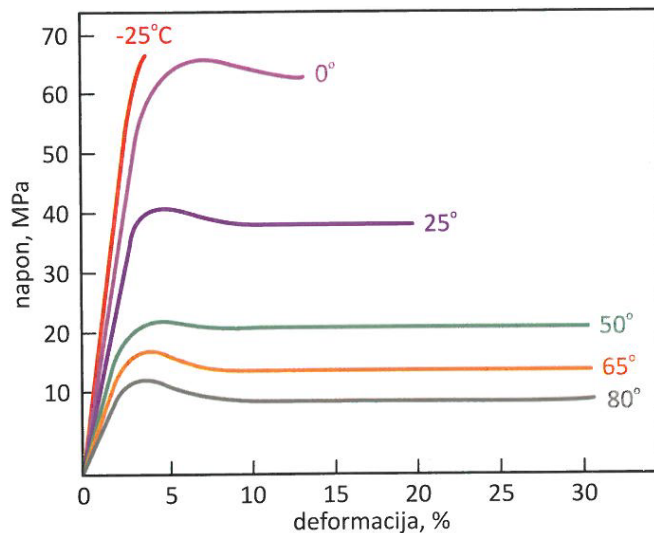


Slika 11. Tri tipa ponašanja polimera

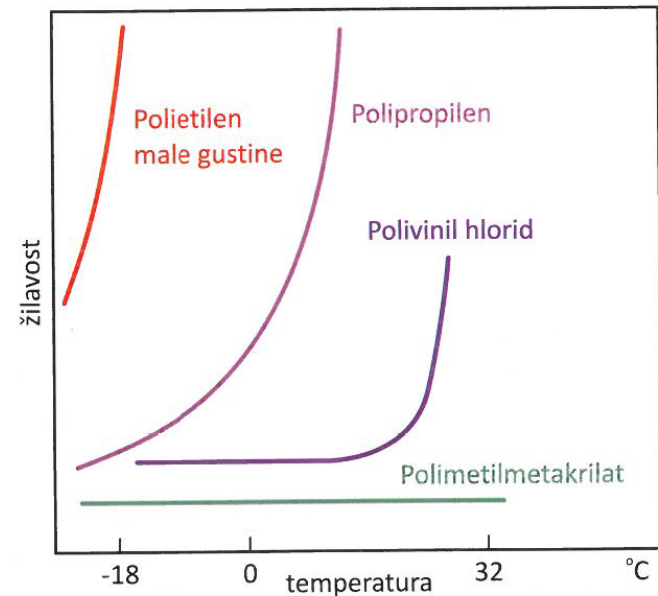


# Mehanička svojstva termoplastičnih polimera

Uticao temperature na čvrstoću i krutost termoplastičnih polimera je sličan kao kod metala; čvrstoća i modul elastičnosti se smanjuju sa porastom temperature a žilavost se povećava.



Slika 11.12. Uticaj temperature na oblik krivih napon – deformacija za celulozni acetat (termoplastika)



Slika 11.13. Uticaj temperature na žilavost za različite polimere

# Termostabilni polimeri (duromeri)

Karakteristike : Termostabilni polimeri očvršćavaju prilikom prerade pri povišenoj temperaturi ili pod dejstvom svetlosti.

Prilikom očvršćavanja doalzi do hemijskih reakcija koje dovode do nepovratnih procesa umrežavanja makromolekula, pa se ovi polimeri nazivaju termoumreženi polimeri.

Na sobnoj temperaturi su tvrdi i krti, ne rastvaraju se.

Naziv plastične mase (plastike) potiče otuda što su u nekoj fazi prerade one bile deformabilne;

Kod jednih vrsta plastika deformabilnost se stalno zadržava, a proizvodi se mogu reciklirati (**termoplasti**),

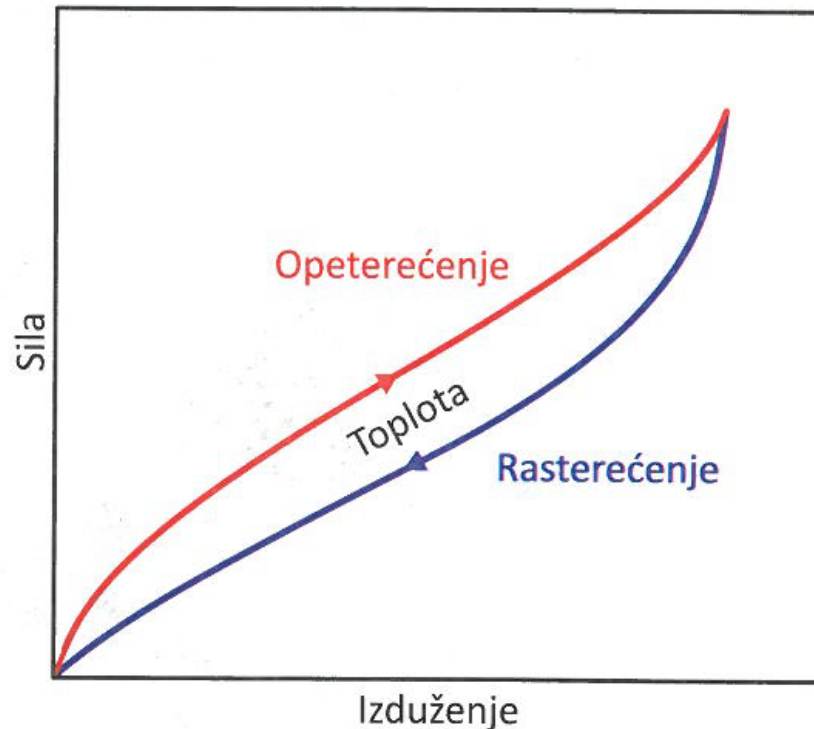
Kod drugih deformabilnost trajno gubi pri završnoj preradi (**duroplasti**).

**Termoplastični materijali (termoplasti)** omekšavaju pod dejstvom toplote, a pri hladjenju opet otvrdnjavaju. Primeri termoplasta su: *polistiren, polietilen, najlon, pleksiglas, teflon*. Termoplasti uglavnom nisu otporni na povišenim temperaturama (izuzetak je teflon),

Suprotno tome **termoreaktivne plastike (duroplasti)** otvrdnjavaju pri zagrevanju i dobijaju trajan oblik te se više ne može uspostaviti stanje plastičnosti. Primeri duroplasta su: *bakelit, guma, silikon, epoksi smole*. Duroplasti ne gore već se na dovoljno visokim temperaturama ugljenišu i razgradjuju.

# Elastomeri

Elastomeri su velika familija amorfnih polimera čija je temperatura ostakljivanja niska. Oni imaju mali modul elastičnosti. Jedno od svojstava elastomera je histerezisni gubitak pri rastezanju ili kompresiji. Petlja u smeru kazaljke na satu izaziv agubitak energije pri čemu se mehanička energija pretvara u toplotu.



Slika 11.14. Tipična kriva opterećenje – izduženje za gume

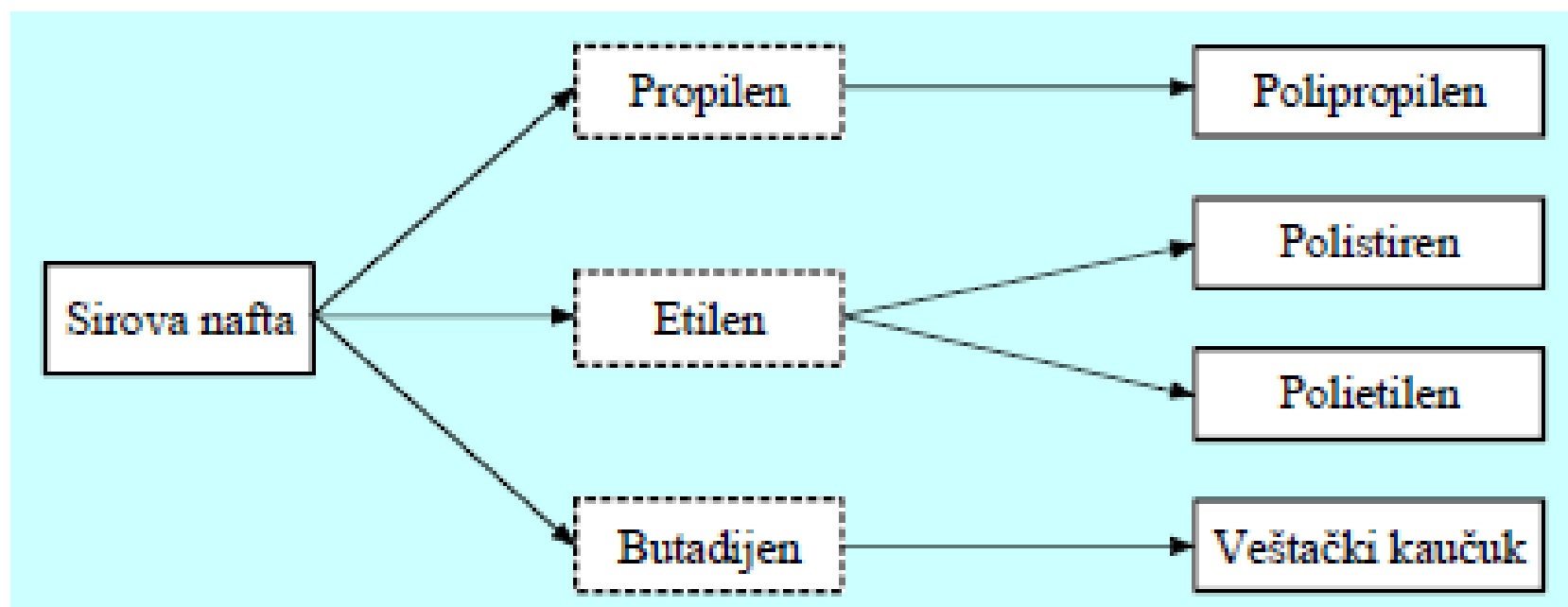
Plastike su veštačke (sintetičke) materije koje imaju amorfnu makromolekularnu strukturu.

Polazne sirovine za proizvodnju plastika mogu biti:

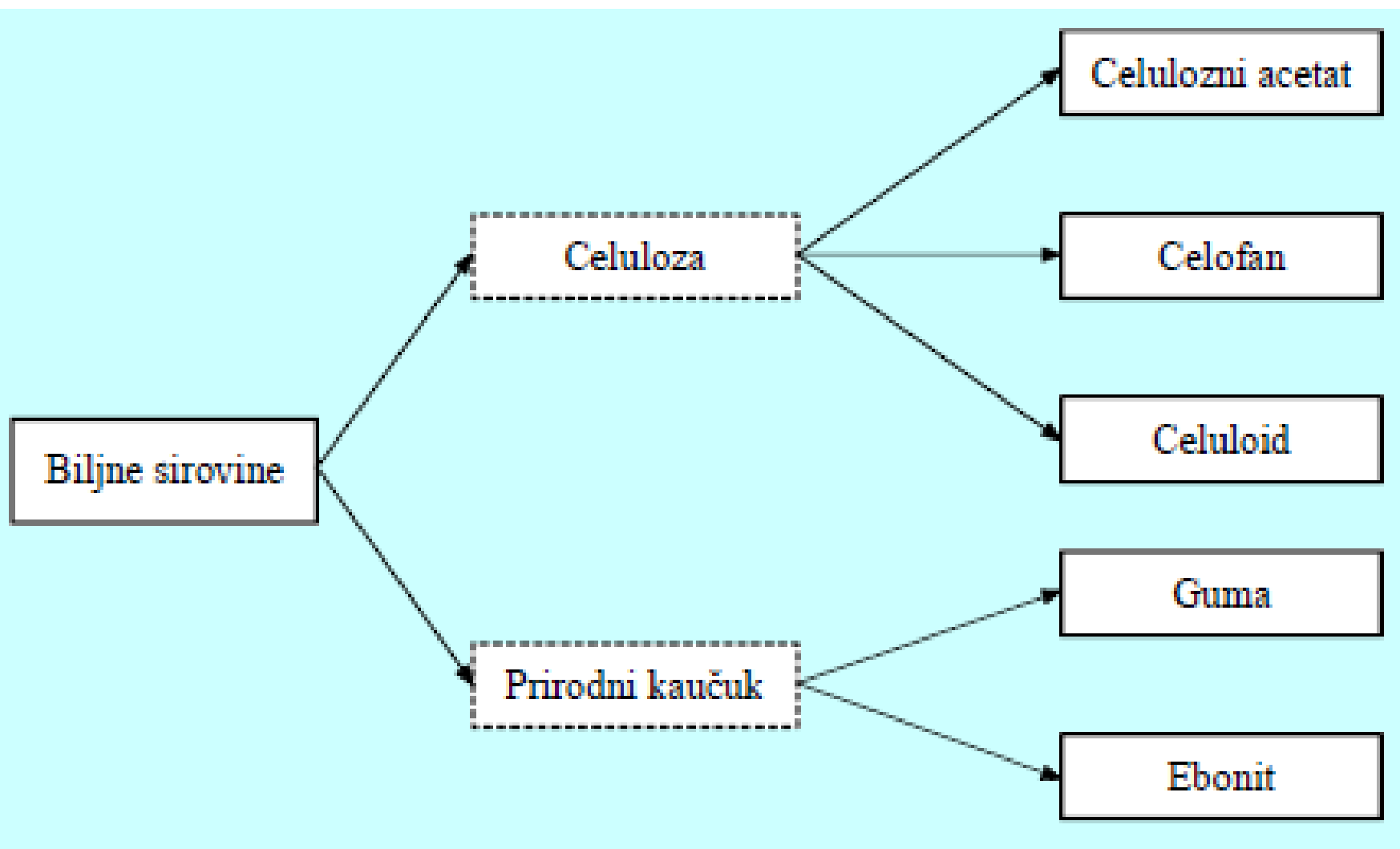
- *mineralnog* i
  - ✓ *nafta,*
  - ✓ *ugalj* i
  - ✓ *zemni gas .*
- *organskog* porekla
  - ✓ *biljnog* ili
  - ✓ *životinjskog.*

Poluproizvodi i finalni proizvodi dobijaju se iz frakcija sirove nafte visoke temperature ključanja (oko 300°C), tako što se te frakcije zagrevaju pod visokim pritiskom i pri visokoj temperaturi, te nastaje raspad velikih molekula (makromolekula) na manje pogodne za industriju veštačkih proizvoda.

Vrste poluproizvoda i finalnih proizvoda koji se dobijaju iz sirove nafte dati su na sledećoj shemi.



U industriji polimernih materija upotrebljavaju se biljne i životinjske sirovine od kojih se dobijaju finalni proizvodi prikazani na sledećoj shemi

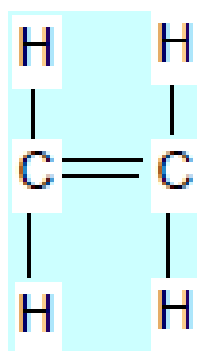


# Struktura polimernih materijala

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* = deo). Povezivanjem velikog broja monomera u dugačak lančasti molekul dobija se *polimer* (od grčke reči *polis* = mnogo, *meros* = deo) 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.

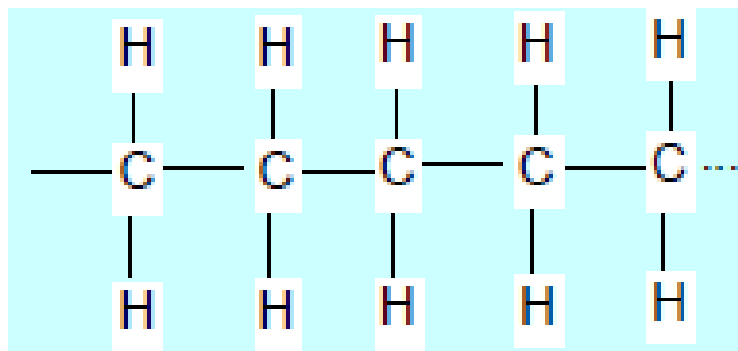


a) Mer



b) Monomer

Etilen



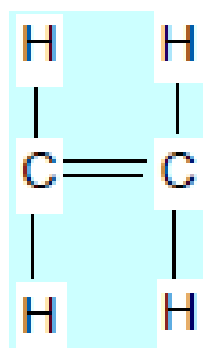
c) Polimer

Polietilen

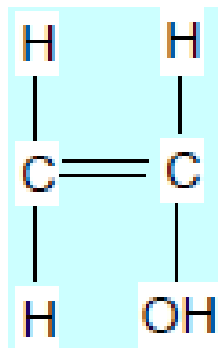
*Strukturalne  
formule*



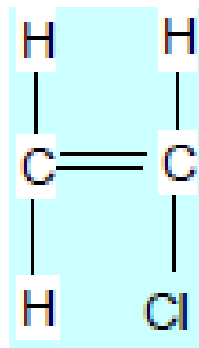
# Razne vrste monomera



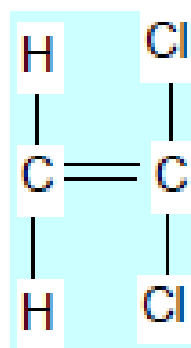
Etilen



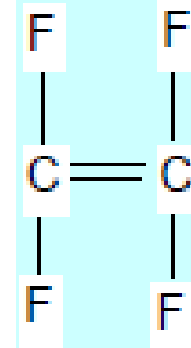
Vinil alkohol



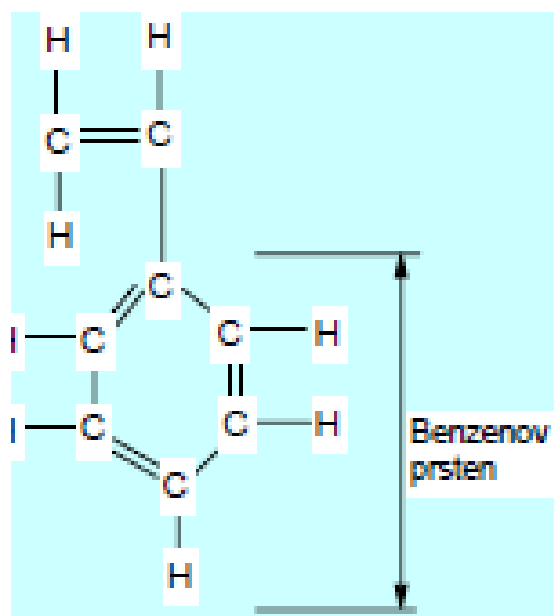
Vinil hlorid



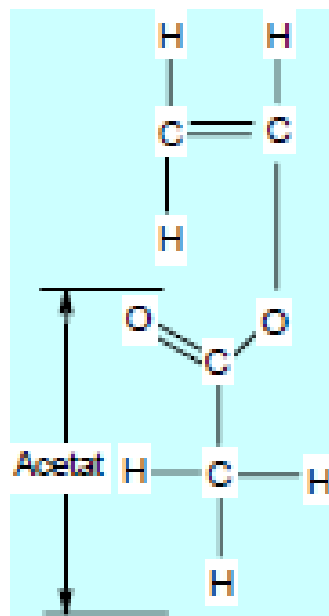
Viniliden hlorid



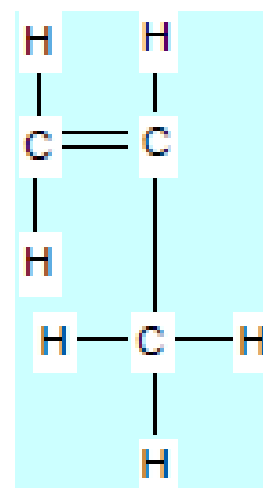
Tetrafluoroetilen



Stiren

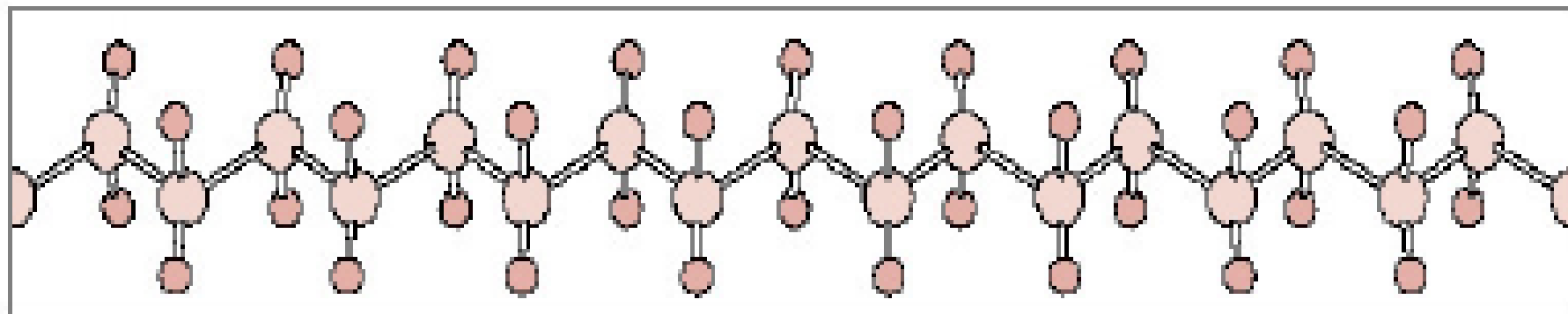
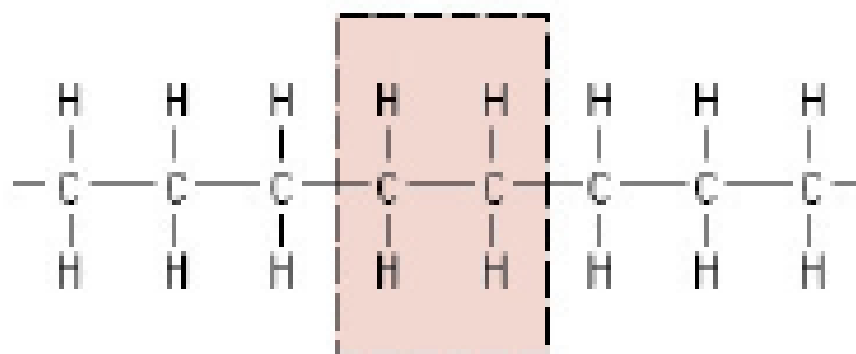


Vinil acetat

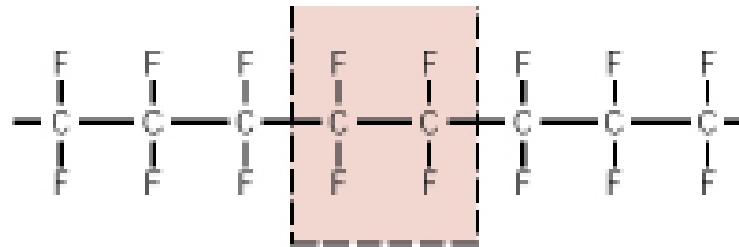


Izopropilen

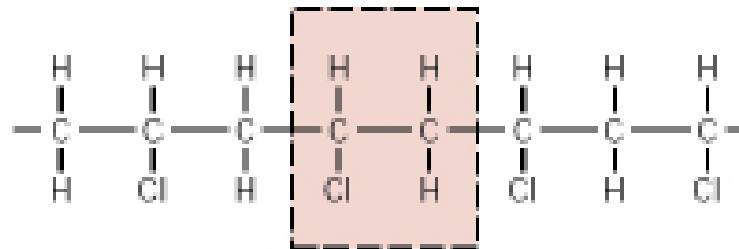
# Makromolekul polietilena



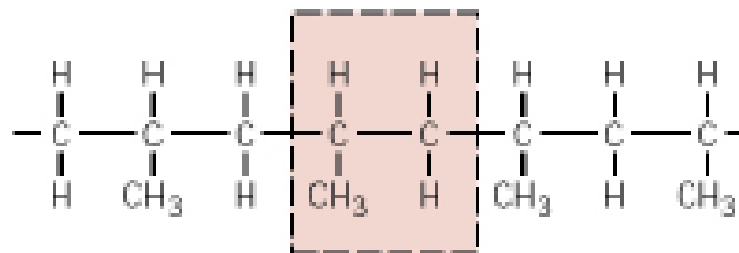
# Makromolekuli nekih polimera



Poli(tetra fluor etilen) - PTFE



Poli(vinil klorid) - PVC



Polipropilen - PP

## Podela polimera

- Po nastanku:
  - PRIRODNI (npr. prirodni kaučuk)
  - SINTETIČKI (npr. PVC)
  
- Po hemijskom sastavu:
  - ORGANSKI (PE, PVC...)
  - ANORGANSKI (npr. silikonski kaučuk)

Nadmolekularna (fizička) struktura polimera  
Vrste veza u polimerima

■ **Primarne (hemijske) veze**

➔ Povezanost mera u makromolekulnom lancu

■ **Sekundarne (fizičke) veze**

➔ Međusobna povezanost makromolekulnih lanaca

- *Van der Waalsove sile*
- *dipolne sile*
- *vodonikovi mostovi*

## Sintetski polimerni materijali

Označavaju se na osnovu naziva glavnih monomernih sastojaka.

**Homopolimeri** (jedan tip mera):

*poli* ispred naziva glavnog monomernog sastojka

Primeri:

monomer: *etilen* → polimer: *polietilen*)

monomer: *etilen tereftalat* → polimer: *poli etilen-tereftalat*

## Sintetski polimerni materijali

**Kopolimeri** (dva ili više različitih tipova mera):

Ne koristi se predmetak ***poli*** već se monomerni sastojci odvajaju kosim crtama

Primer:

monomeri: ***akrilonitril, butadien, stiren***

→ polimer: ***akrilonitril/butadien/stiren***

Moguć je i različit raspored atoma jednog te istog elementa u monomeru. To za sobom povlači i promenu osobina, pa se monomeri istog sastava a drukčijeg aranžmana zovu **izomeri**.

Za industriju su najvažnije dve vrste polimernih materijala:

- *plastike* i
- *elastomeri*.

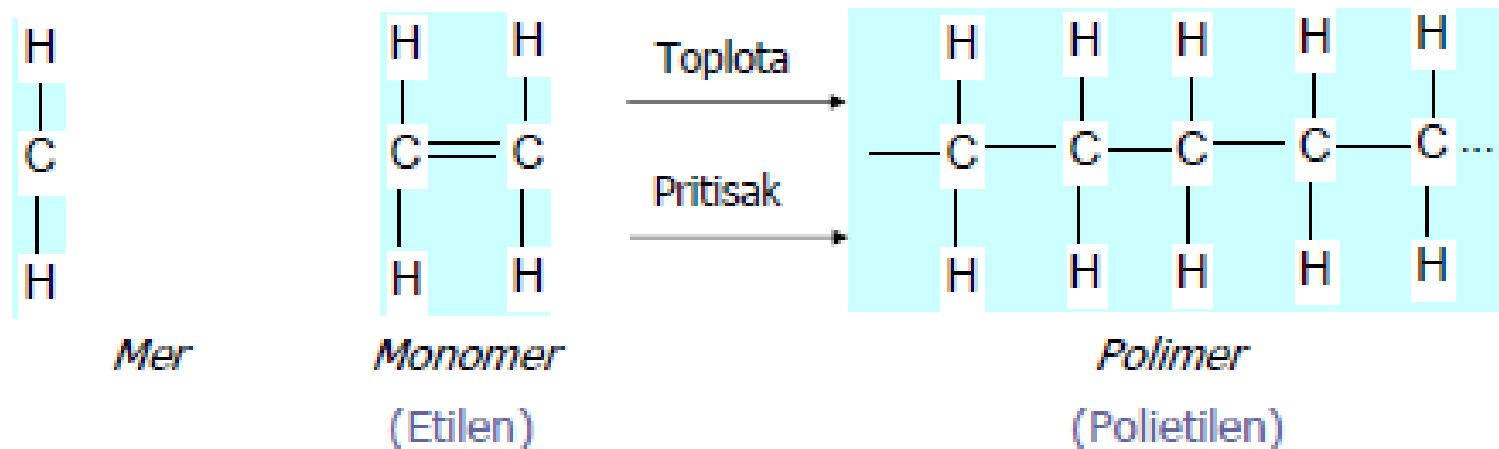
Plastike se dobijaju procesima *polimerizacije* ili *polikondenzacije*, a elastomeri postupkom *vulkanizacije*.



## Polimerizacija (adiciona polimerizacija)

Kad se više istih ili sličinih monomera povezuju tako da formiraju lanac, proces se zove *adicija*.

Monomer *etilena* je sastavljen od dva atoma povezana dvostrukom vezom. Dejstvom toplote i pritiska otvara se jedna veza monomera, oni se povezuju u lanac i obrazuje se *polietilen*. Od dužine lanca zavisi gustina polietilena.



## KLASIFIKACIJA POLIMERNIH MATERIJALA

### PLASTOMERI

Mekšaju i topljivi su  
U rastvaraču bubre

#### Struktura:

linearni ili granati  
makromolekuli

### DUROMERI

Netopljivi su  
U rastvaraču ne  
bubre

#### Struktura:

prostorno gusto  
umreženi  
makromolekuli



### ELASTOMERI

Hemijski umreženi  
Netopljivi  
Fizički umreženi

#### Struktura:

delimično umreženi  
makromolekuli

# ELASTOMERI

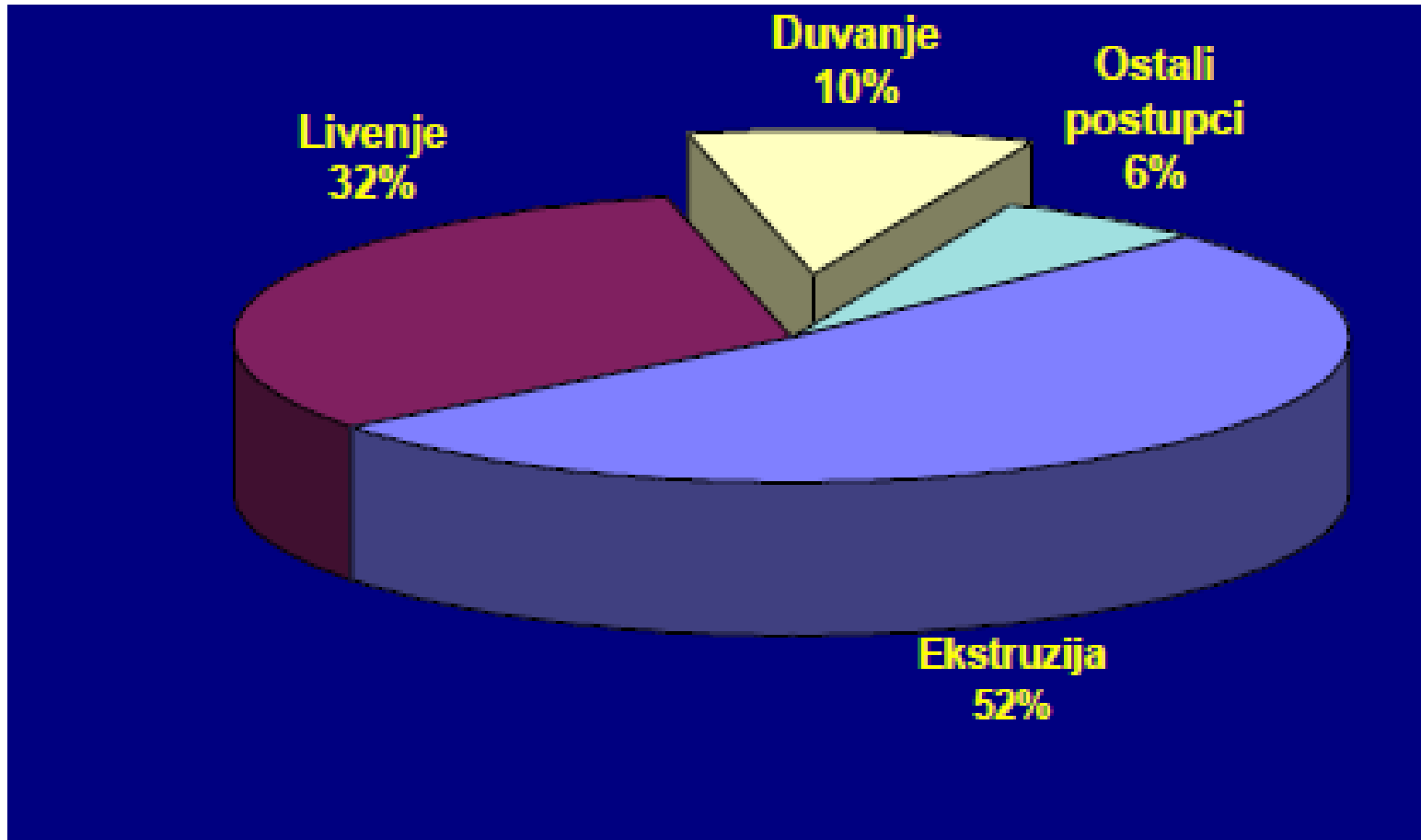
- Hemijski umreženi elastomeri            Gume
- Fizički umreženi elastomeri            Elastoplastomeri
  
- Nadmolekulna struktura:
  - Delimično međusobno umreženi makromolekuli koji uglavnom grade *amorfnu* nadmolekulnu strukturu.
  - neke vrste elastomera mogu pri posebnim uslovima delimično kristalisati i graditi *kristalaste* nadmolekulne strukture.

# Metodi prerade

Najvažniji metodi prerade veštačkih materija jesu:

- *livenje,*
- *presovanje,*
- *brizganje (injekciono presovanje),*
- *sinterovanje, ekstruzija,*
- *kalandrovanje,*
- *izvlačenje, duvanje,*
- *termičko oblikovanje.*

## Udeo različitih postupaka u preradi polimera



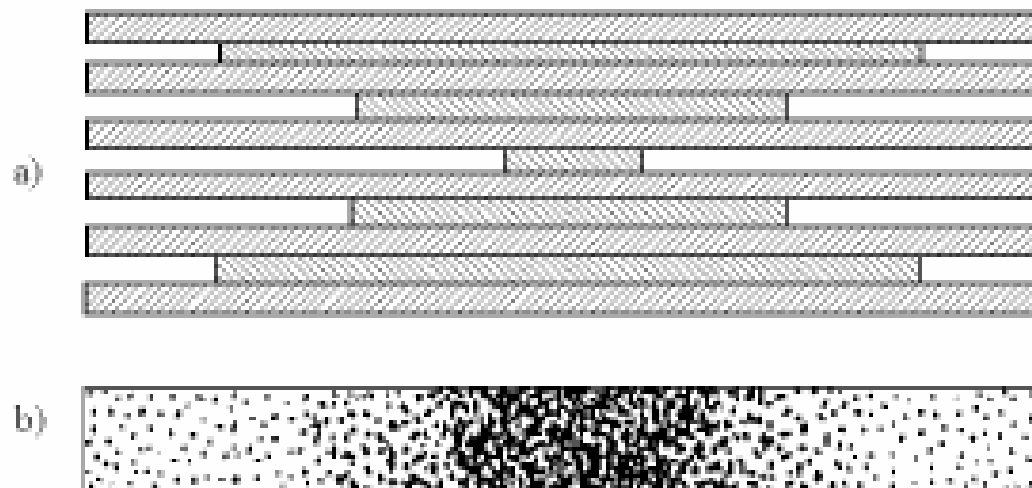
*Livenjem pod atmosferskim pritiskom* polimerizuju se fenolne smole, akrilne smole, epoksidne smole kao i poliestri, čime se dobijaju gotovi proizvodi. Smole podležu pothladjivanju i prelaze u čvrsto stanje. Livenje se primenjuje za izradu predmeta malih dimenzija iz razloga velikog skupljanja plastike (do 6 %). Kalupi za livenje izradjuju se od silikonskog kaučuka čija elastičnost olakšava vadjenje odlivka.

Koriste se takodje modifikovane metode, npr. centrifugalno livenje za dobijanje predmeta oblika šupljih cilindara (naročito za male serije).

**Presovanje** je najčešće korišćena metoda prerade termoreaktivnih smola (kao što su fenolne i amino smole), kao i nekih termoplasta.

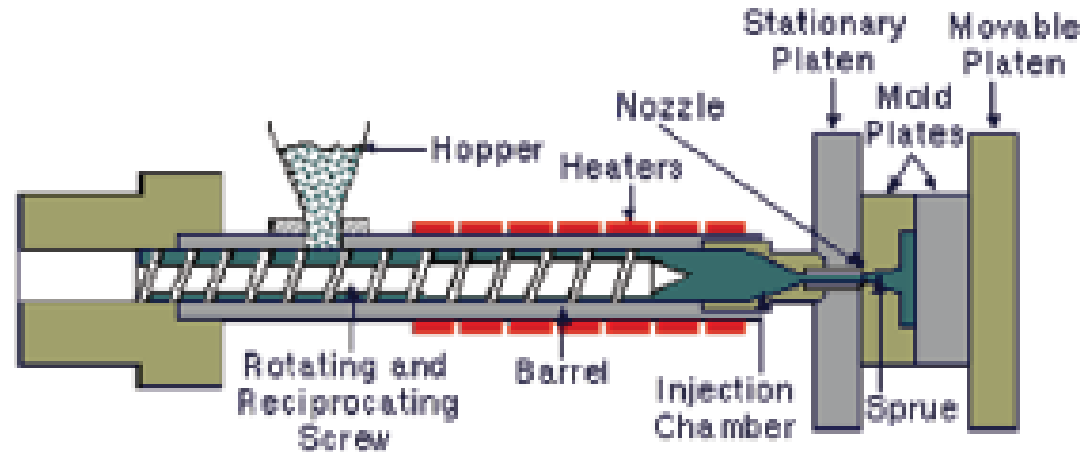
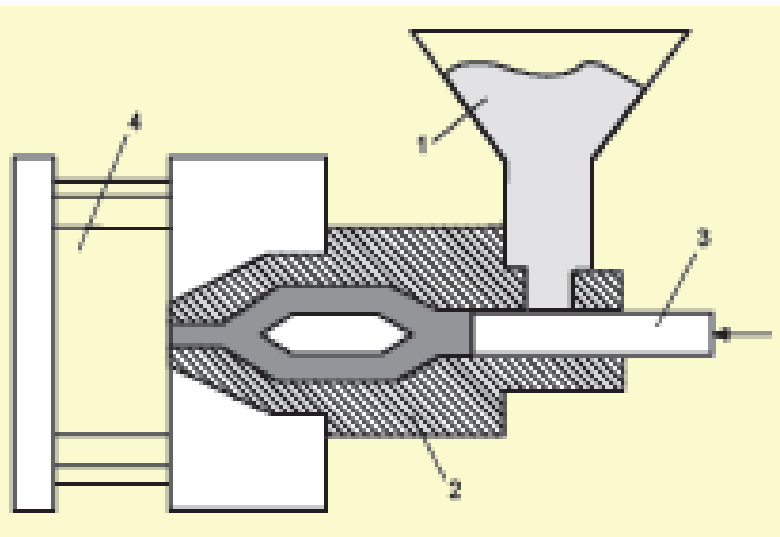
Razlikuju se:

- *obično presovanje* (u matrici),
- *posredno presovanje* i
- *presovanje ploča*.



*Proizvod različite gustine: a) postavljanje ploča na presu, b) unutrašnja gradnja*

**Brizganje** (špricanje) se zasniva na omekšavanju pripremljene mase u zagrejanom cilindru i njenim periodičnim ubrizgavanjem u hladnu formu (kalup), u kojoj nastaje otvrdnjavanje proizvoda. Metoda se primenjuje u proizvodnji različitih elemenata i proizvoda od termoplasta kao što su poliamid, polistiren, polivinil hlorid. Pritisak špricanja iznosi nekoliko stotina *MPa*, a radna temperatura zavisi od temperature omekšavanja sirovine.



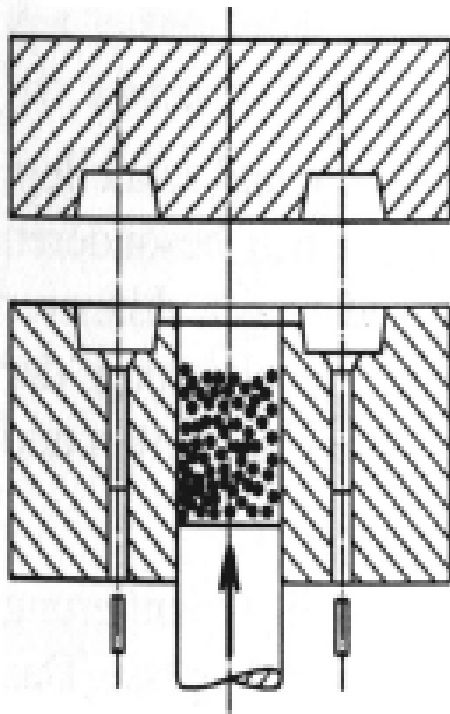
*Shema špricanja plastike: 1 - rezervoar, 2 - cilindar, 3 - klip, 4 - kalup*



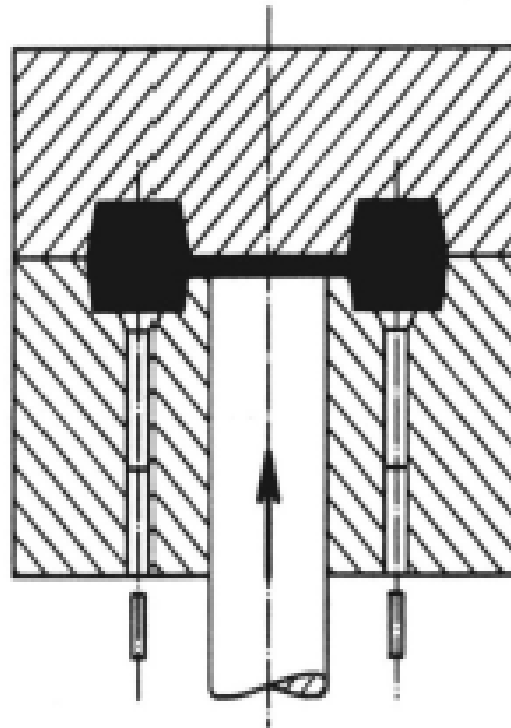
# BRIZGANJE POSREDNO LIVENJE

(*engl. Transfer Molding*)

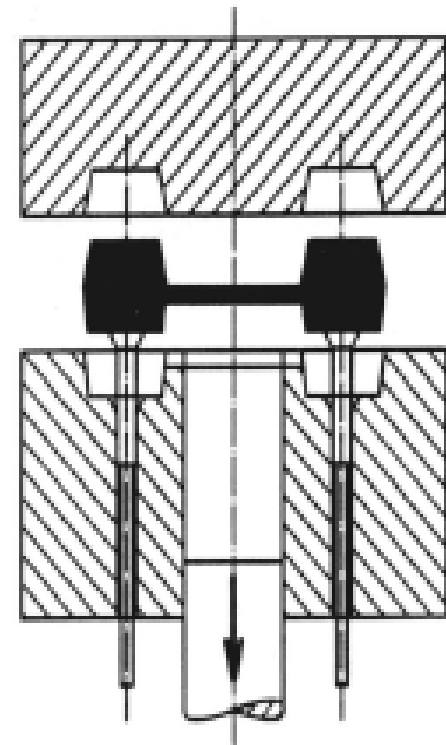
Standardni postupak



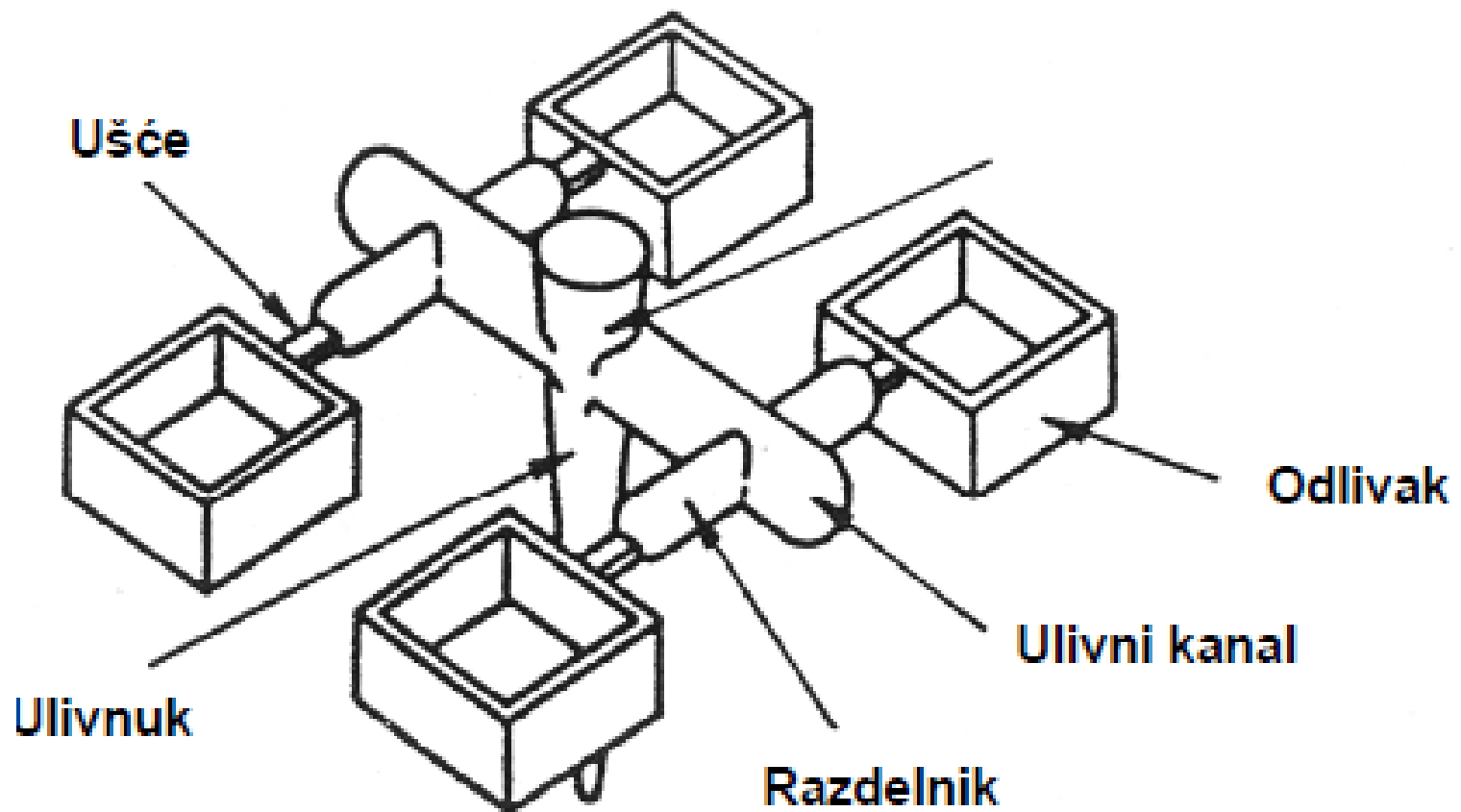
1. Doziranje smese  
u pretkomoru



2. Zatvaranje kalupa  
3. Ubrizgavanje  
4. Livenje/umreživanje

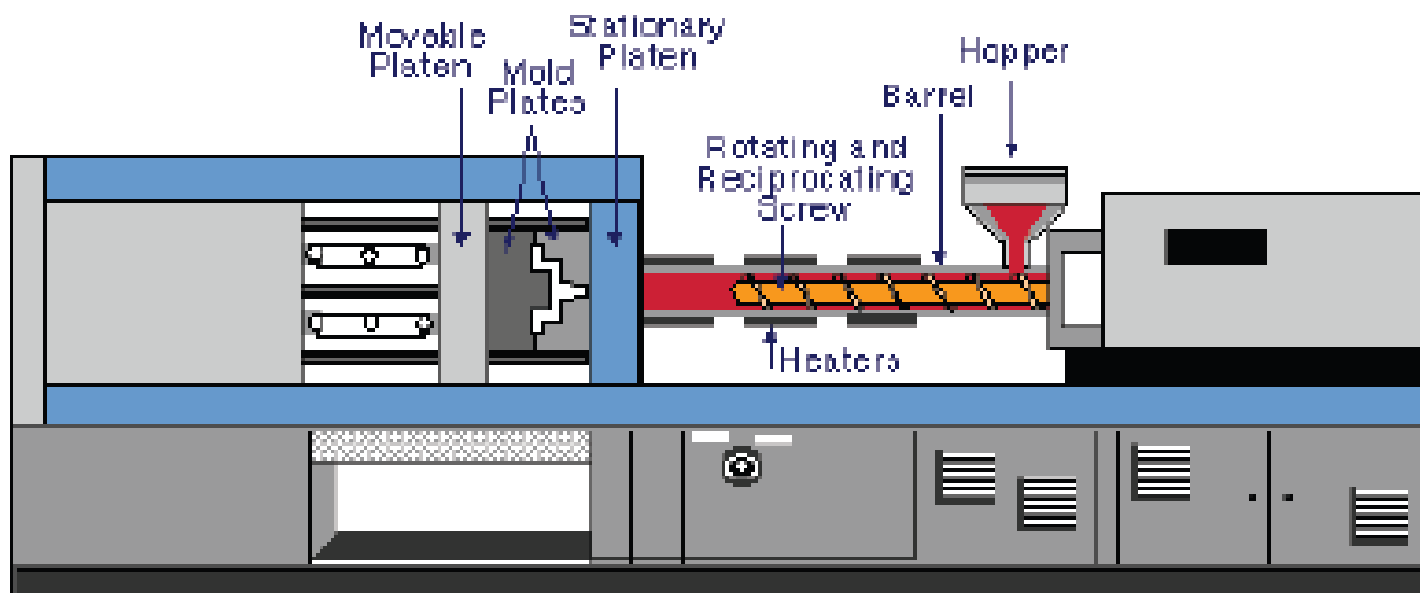


5. Otvaranje kalupa  
6. Izbacivanje otpreska



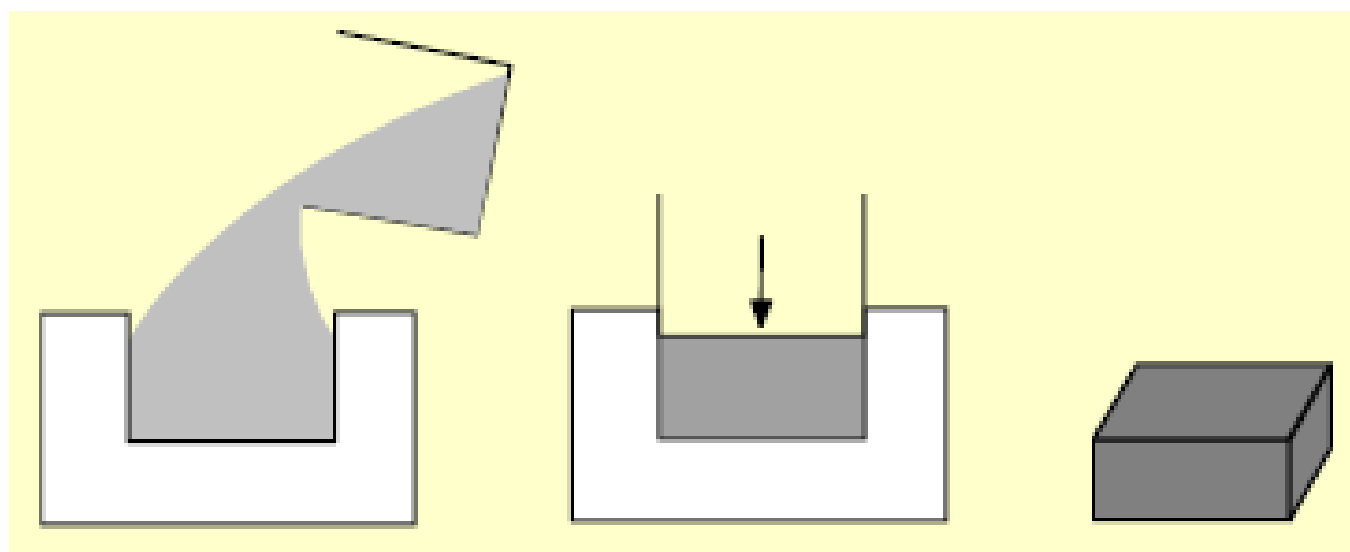
Otpresci + ulivni sistem = Grozd

# Mašina za brizganje



**Sinterovanje** se najčešće koristi za izradu elemenata od poliamida, koji ima relativno veći udeo kristalnih oblika u strukturi, a time i bolje osobine, uglavnom veću otpornost na habanje. Poliamidna sirovina u obliku sitnog praška dimenzija zrna 4 -10  $\mu m$  sipa se u kalup, a potom presuje se na hladno pod pritiskom do 400 MPa. Sledeća je operacija sinterovanje koje se zasniva na sporom zagrevanju otpreska u ulju (220-250°C) u toku 2.5 h, a zatim veoma sporom hladjenju do oko 90°C.

*Oblikovanje  
plastike  
sinterovanjem*

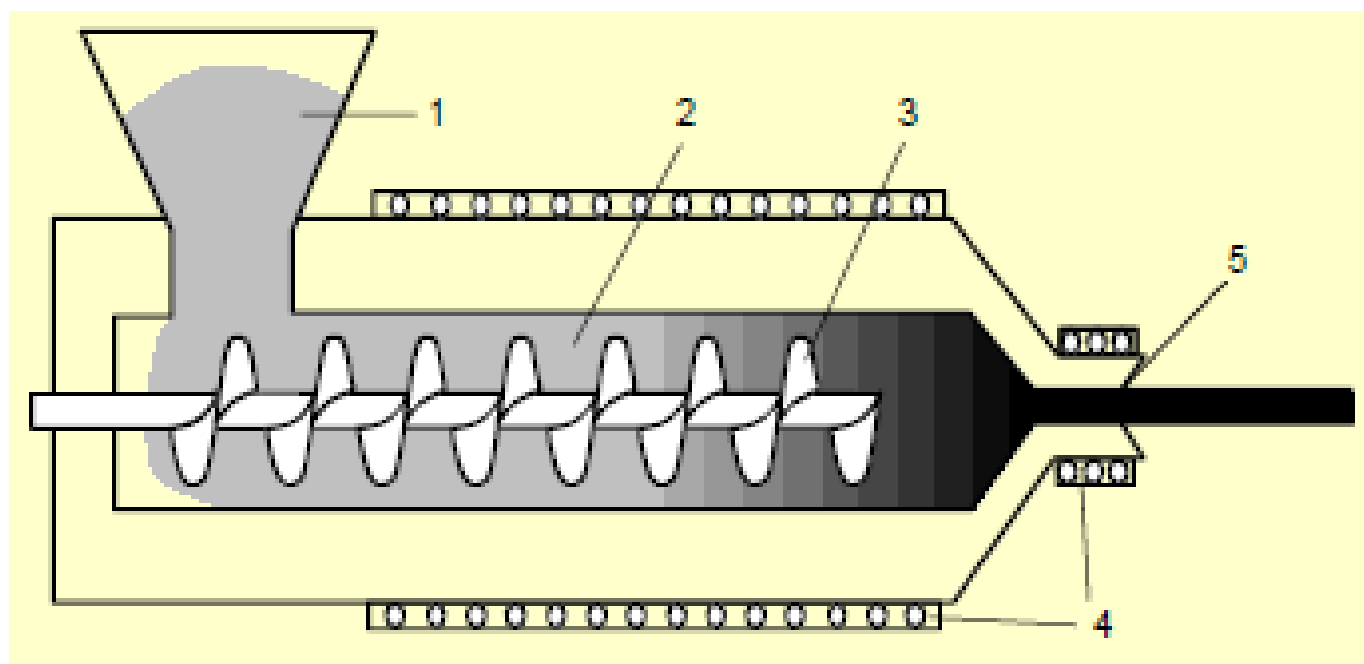


*punjenje kalupa,*

*presovanje na hladno,*

*proizvod za  
pečenje*

**Ekstruzija (istiskivanje)** je u suštini metoda kontinualnog brizganja podešena za proizvodnju profila, štapova i cevi. Sirovina koja se neprekidno dovodi iz rezervoara (1), omekšava se u zagrejanom cilindru (2). Kontinualnim kretanjem pužnog prenosnika (3) dolazi do istovremenog mešanja mase i njenog transporta ka izlazu iz cilindra. Masa se dalje uvodi u profilisani otvor matrice (5) gde se dodatno zagreva u manjem cilindru. Na izlazu iz matrice proizvod kontinuirano očvršćava, zadržavajući dati presek. Metoda se primenjuje za proizvodnju profila od polistirena, polietilena, polivinil hlorida, polimetakrilata, celuloida i dr.



*Shema ekstruzije: 1 - rezervoar, 2 - cilindar, 3 - puž, 4 - grejači, 5 - matrica*

**Kalandrovanje** jeste osnovna metoda izrade folija. Granule dovedene u zagrejani rezervoar postaju uplastičene i tako dospevaju u prostor izmedju obrtnih valjaka čiji razmak određuje debljinu folije. Dodatno zatežuće naprezanje pri namotavanju poboljšava mehaničke osobine folije. Za sprečavanje slepljivanja još nedovoljno ohladjenih folija koristi se pomoćni valjak. Kalandrovanje omogućuje proizvodnju folija debljine 0.08-0.6 mm.

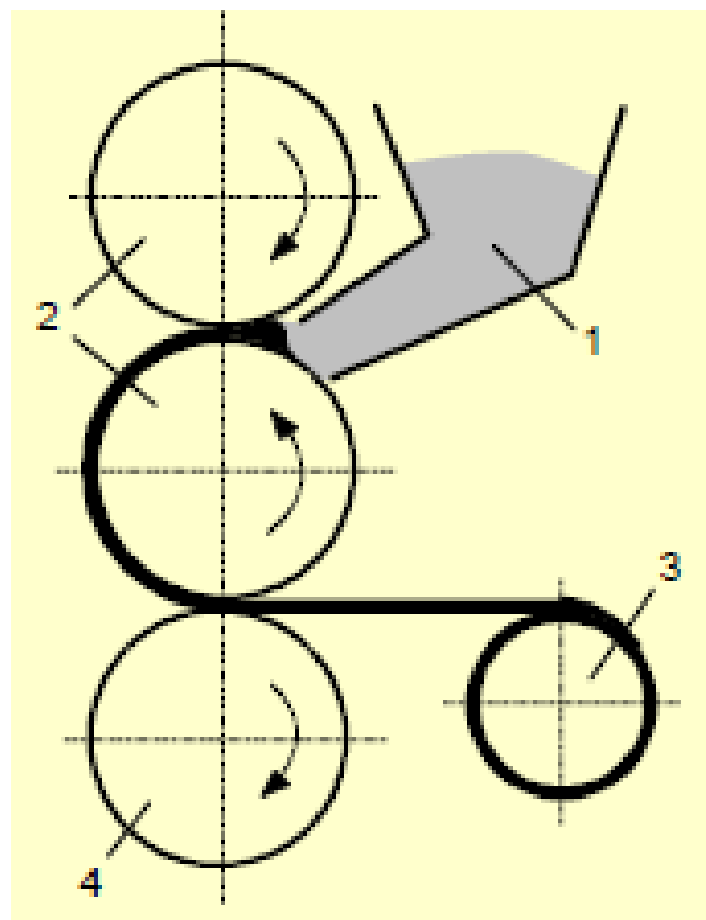
*Kalandrovanje:*

*1 - rezervoar,*

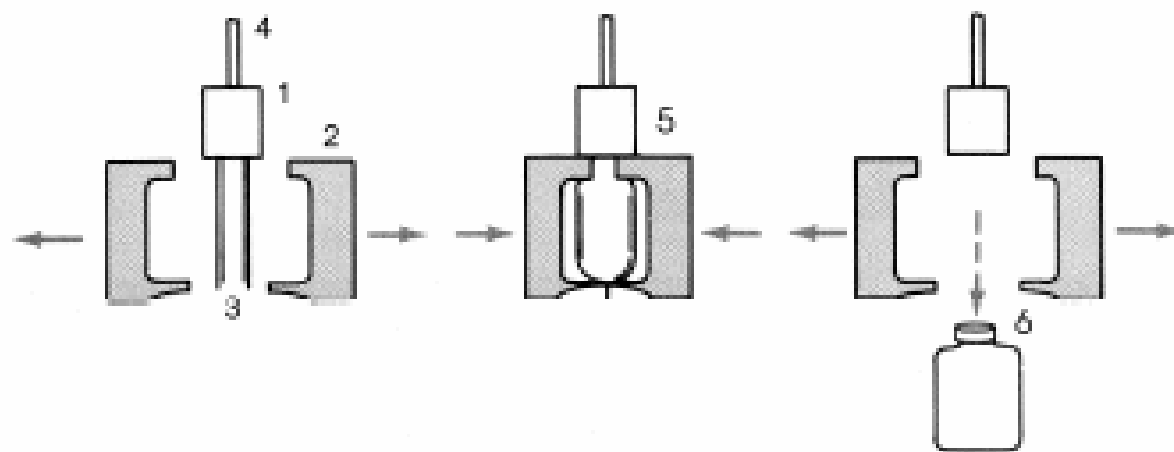
*2 - radni valjci,*

*3 - kalem,*

*4 - pomoćni valjak*



***Duvanje ili ekstruziono duvanje*** koristi se za izradu tankozidnih sudova od plastike (boca, plastičnih kanti i sl.). Najpre se u zagrejani ekstruder (1) sipa granulata tako da se na izlazu formira meko crevo (3). Ono se uvodi u otvoreni dvodelni kalup (2), kalup se potom zatvara i u crevo dovodi zagrejeni vazduh pod pritiskom kroz cevčicu 4. Tako se plastika potiskuje uz zidove kalupa poprimajući njegov unutrašnji oblik



***Duvanje boca iz ekstrudiranog creva: 1- glava ekstrudera, 2- otvoren kalup, 3- ekstrudirano crevo, 4- provodnik za dovodjenje vazduha pod pritiskom, 5- zatvoreni kalup, 6- gotova boca***

## OSNOVE POSTUPKA INJEKCIONOG DUVANJA



### Polimeri

Plastomeri:  
Elastoplastomeri

### Proizvodi

Boce, rezervoari goriva, delovi nameštaja, daske za jedrenje, igračke, razna kvalitetnija pakovanja u prehrambenoj i medicinsko-kozmetičkoj industriji ...

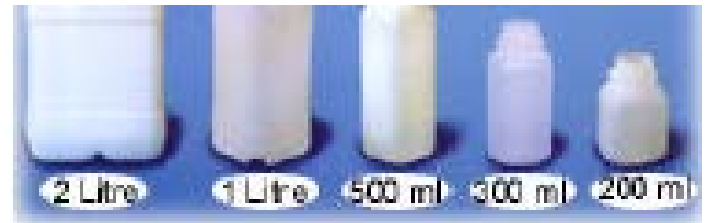




**Mašina**



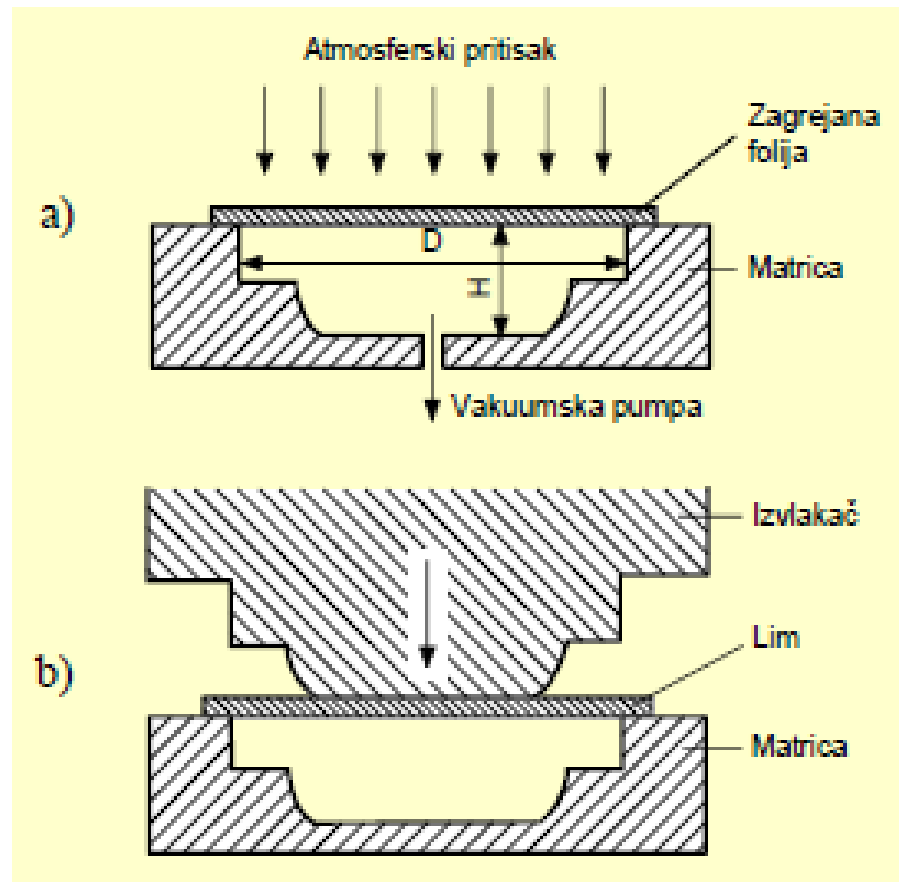
**Pripremc**



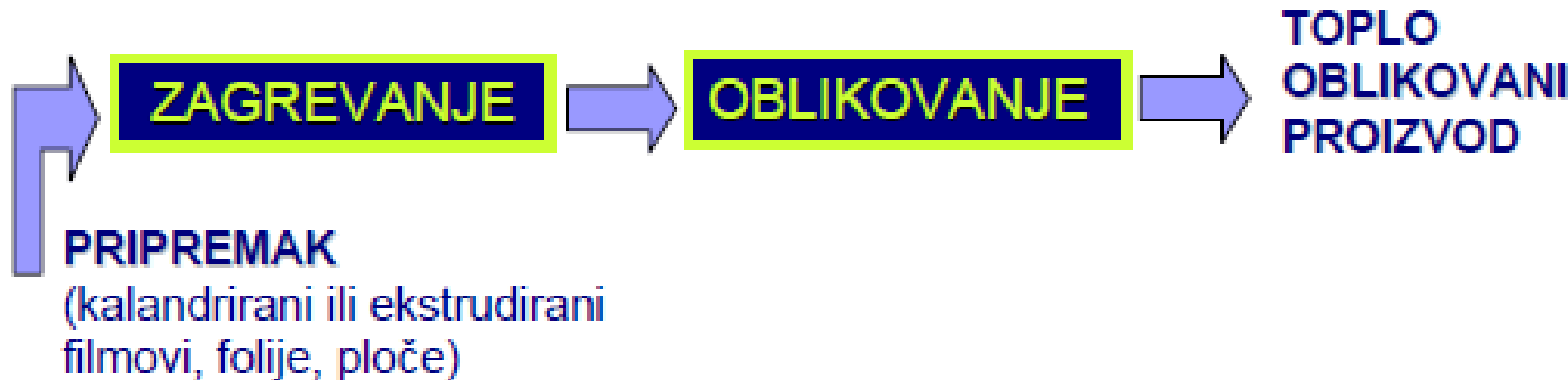
Termičko oblikovanje ostvaruje se pomoću vakumske pumpe, tako da se pod dejstvom atmosferskog pritiska, zagrejana folija sama uvlači i naslanja na zidove gravure matrice.

*Termičko oblikovanje plastike (a)*

*analogno sa izvlačenjem lima (b)*



Postupak preoblikovanja priprema (predoblika) u gumastom stanju:



Polimeri koji se toplo oblikuju:

- Plastomeri (PS, ABS, PE, PP, PMMA, SB, PVC ...)
- Elastoplastomeri

# Proizvodi termičkog oblikovanja



## Vrste i primena polimernih materijala

Na osnovu polaznih sirovina i načina dobijanja, razlikuju se sledeće grupe polimernih materijala:

- **proizvodi od makromolekula prirodnog porekla** (celuloze, kazeina, kaučuka),
- **proizvodi polikondenzacije** (fenoplasti, aminoplasti, poliestri, poliamidi, epoksi smole, silikoni) i
- **proizvodi polimerizacije** (ugljovodonici, polivinil-hlorid, polivinil-alkoholi, akrilne smole, poliuretani).

## Proizvodi vulkanizacije (gume, elastomeri)

Sve do Drugog svetskog rata guma se proizvodila samo od *prirodnog kaučuka*. Danas se izradjuje više vrsta *prirodnog* i *veštačkog kaučuka*, ne samo da bi se namirile narasle potrebe za gumenim proizvodima, već i da bi se postigle potrebne osobine finalnih proizvoda. Sintetičke gume su slične prirodnoj ali imaju veću *otpornost na ulje, hemikalije, toplotu i starenje*. Često se sintetičke gume mešaju sa pravom gumom da bi proizvod imao dobre osobine oba materijala.

# OSOBINE GUME

***Tvrdoća gume*** kreće se u granicama 45-80 °Sh. Sa padom temperature tvrdoća gume raste, a na dovoljno niskoj temperaturi, guma postaje krta, veoma tvrda i lomljiva (za gumu od prirodnog kaučuka temperatura krтости iznosi -60°C).

***Jačina na kidanje*** gume varira od 7 do 28 MPa, pri čemu nema direktne zavisnosti od tvrdoće. Jačina gume opada sa porastom temperature.

***Modul elastičnosti***, za meke gume iznosi oko 1.5 MPa i preko 700 MPa za tvrde gume. Hukov zakon važi samo za deformacije do 20% pri zatezanju i 20-25% pri pritiskivanju.