

# IZRADA PROIZVODA IZ POLIPROPILENA POSTUPKOM EKSTRUDIRANJA

---

**Vučenić, Hrvoje**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:710505>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-23**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

# IZRADA PROIZVODA IZ POLIPROPILENA POSTUPKOM EKSTRUDIRANJA

---

**Vučenić, Hrvoje**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:710505>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-15**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PROIZVODNO STROJARSTVO**

**HRVOJE VUČENIK**

**IZRADA PROIZVODA IZ POLIPROPILENA POSTUPKOM  
EKSTRUDIRANJA**

**ZAVRŠNI RAD**

**KARLOVAC, 2020.**

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PROIZVODNO STROJARSTVO**

**HRVOJE VUČENIK**

**IZRADA PROIZVODA IZ POLIPROPILENA POSTUPKOM  
EKSTRUDIRANJA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:  
viši predavač,  
dr.sc. Tihana Kostadin**

**KARLOVAC, 2020.**

## **IZJAVA:**

Izjavljujem da sam ja – student Hrvoje Vučenik, OIB: 17105442023, upisan u I.semestar stručnog preddiplomskog studija strojarstva (proizvodno strojarstvo) akademske godine 2013./2014, ovaj rad radio samostalno koristeći se znanjima stečenim tijekom obrazovanja te uz vođenje i pomoć mentorice dr.sc. Tihane Kostadin. kojoj se ovim putem zahvaljujem. Zahvaljuem se također gospodinu Tomislavu Prliću, dipl.ing. te firmi „Tehnoplast profili“ koji su mi ustupili sve materijale i informacije za ovaj rad. Na kraju najveće zahvale idu mojoj obitelji na strpljenju i podršci svih ovih godina studiranja.

Hrvoje Vučenik

---

Karlovac, rujan 2020.

## **SAŽETAK:**

U radu su analizirani polimerni materijali, njihova mehanička svojstva te njihova prerada, konkretno ekstrudiranje. Završni rad, sastoji se od dva dijela: teorijskog i eksperimentalnog. U općem (teorijskom) djelu ukratko su opisani polimerni materijali, njihova mehanička svojstva te njihova prerada. U eksperimentalnom djelu opisan je konkretan materijal, polipropilen (PP), njegova mehanička svojstva, gotov proizvod koji se izrađuje ekstrudiranjem istog, tzv. TERMOSTOP, te cijeli proces proizvodnje od sirovca do gotovog proizvoda i njegova primjena.

Ključne riječi: polimeri, polipropilen, ekstrudiranje Č

# PRODUCTION OF POLYPROPYLENE PRODUCTS BY EXTRUSION PROCESS

## SUMMARY:

The paper discusses the polymeric materials, their mechanical properties as well as the way they're being processed - concrete extrusion. Thus, the paper is also divided into two subsections: theoretical and experimental.

In the theoretical section, the polymeric materials are introduced, followed by their mechanical properties and finally the way they're processed.

In the experimental section, the concrete material, polypropylene, is introduced, followed by its mechanical properties, the final product that is the result of the polypropylene extrusion - thermos-top, and finally the production process of production from raw to a finished product, as well with its further application.

Key terms: polymers, polypropylene, extrusion

## SADRŽAJ:

POPIS SLIKA .....	5
POPIS TABLICA .....	6
POPIS OZNAKA.....	7
1. UVOD .....	8
2. RAZVOJ I PRVE PRIMJENE POLIMERNIH MATERIJALA .....	9
3. OPĆENITO O POLIMERIMA .....	11
3.1. Definicija i podjela polimera.....	11
3.1.1.  Plastomeri.....	12
3.1.2.  Duromeri .....	14
3.1.3.  Elastomeri.....	15
3.1.4.  Elastoplastomeri(TPE) .....	16
4. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA .....	17
4.1. Mehanička svojstva.....	17
4.1.1.  Utjecaji na mehanička svojstva.....	20
5. POSTUPCI PROIZVODNJE POLIMERNIH PROIZVODA .....	23
5.1. Uvodno o proizvodnji polimernih materijala .....	23
5.2. Preradba polimernih materijala.....	23
5.2.1.  Ekstrudiranje .....	24
5.2.2.  Kalandriranje .....	26
5.2.3.  Prešanje .....	26
5.2.4.  Injekcijsko prešanje.....	28
5.2.5.  Reakcijsko injekcijsko prešanje.....	28
6. EKSPERIMENTALNI DIO.....	30
6.1. Opis materija – polipropilen (PP).....	30
6.2. Postupak proizvodnje termostopa iz polipropilena(PP).....	32
7. ANALIZA .....	40
8. ZAKLJUČAK.....	41
LITERATURA.....	42



## POPIS SLIKA:

Slika 1. Udjeli korištenih polimera u svijetu 2002. godine) [4].....	9
Slika 2. Shematska struktura osnovnih skupina polimera.....	11
Slika 3. Nadmolekulna struktura polimera[3].....	12
Slika 4. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava amorfnih plastomera [3].....	12
Slika 5. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava kristalastih plastomera [3].....	13
Slika 6. Tehnička ovisnost mehaničkih svojstava duromera [3].....	14
Slika 7. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava umreženih elastomera [3].....	15
Slika 8. Shematski prikaz strukture elastoplastomera [3].....	17
Slika 9. Kvalitativni nominalni dijagram vlačno naprezanje-istezanje [3].....	18
Slika 10. Deformacija pri opterećivanju i rasterećenju polimernog konstrukcijskog elementa [2].....	19
Slika 11. Usporedba rasteznog modula elastičnosti i gustoće polimera i ostalih materijala [3]....	20
Slika 12. Ovisnost oblika $\sigma$ - $\varepsilon$ krivulja za polikarbonat(PC) o temperaturi okoline [2].....	20
Slika 14. Utjecaj udjela vlage u poliamidu PA 66 na oblik $\sigma$ - $\varepsilon$ krivulja [2].....	21
Slika 15. Utjecaj brzine deformiranja suhog poliamida (PA 66) na oblik $\sigma$ - $\varepsilon$ krivulja [2].....	22
Slika 16. Shematski prikaz ekstrudera.....	25
Slika 17. Dio pužnog vijka sa pripadajućim oznakama.....	25
Slika 18. Tipični raspored valjaka u liniji za kalandriranje [2].....	26
Slika 19. Ovisnost cijene proizvoda o proizvodnim količinama i vrsti proizvodnog postupka [2]...27	27
Slika 20. Kalup za injekcijsko prešanje plastomera [2].....	28
Slika 21. Postrojenje za reakcijsko injekcijsko mješanje poliuretana [2].....	29
Slika 22. Strukture makromolekula polipropilena [1].....	30
Slika 23. Vijčana konformacija izotaktnog polipropilena[1].....	30
Slika 24. Ovisnost naprezanja o istezanju [2].....	31
Slika 25. Ovisnost modula elastičnosti o temperaturi PP [2].....	32
Slika 26. Prikaz ventilirane fasade.....	32
Slika 27. Prikaz detalja podkonstrukcije ventilirane fasade.....	33
Slika 28. Termostop (gotovi proizvod).....	33
Slika 29. Ekstruder Battenfeld.....	34
Slika 30. Pakiranje sirovog polipropilena.....	35
Slika 31. Granule polipropilena.....	35
Slika 32. Lijevak ekstrudera.....	36
Slika 33. Tri zone grijanja na cilindru sa pužnim vijkom.....	36
Slika 34. Presjek ekstrudera.....	37
Slika 35. Prikaz otvorenog alata.....	37
Slika 36. Prikaz zatvorenog alata.....	37
Slika 37. Gotovi proizvod sa viškom materijala.....	38
Slika 38. Drobilica.....	38
Slika 39. Gotovi proizvod – TERMOSTOP.....	39

## POPIS TABLICA:

Tablica 1. <i>Prednosti i nedostaci polimera u odnosu na metale i keramike</i> [4].....	10
Tablica 2. <i>Najvažniji amorfni plastomeri</i> [3].....	13
Tablica 3. <i>Najvažniji kristalasti plastomeri</i> [3].....	14
Tablica 4. <i>Najvažniji duromeri</i> [3].....	15
Tablica 5. <i>Temeljne skupine kaučuka(elastomera)</i> [3].....	16
Tablica 6. <i>Najvažniji elastoplastomeri</i> [3].....	17
Tablica 7. <i>Usporedba mehaničkih svojstava nekih materijala</i> [3].....	19
Tablica 8. <i>Svojstva polipropilena</i> .....	31

**POPIS SIMBOLA:**

<b>SIMBOL</b>	<b>JEDINICA</b>	<b>ZNAČENJE</b>
m	kg	Masa
L	mm	Duljina
t	s	Vrijeme
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća materijala
$\vartheta$	°C	Temperatura
$\vartheta_g$	°C	Temperatura staklastog prijelaza
$\sigma$	MPa	Naprezanje; normalno ili vlačno naprezanje
$\varepsilon$	-	Istezanje(jedinično istezanje)
$\varepsilon_v$	-	Viskozno istezanje
$\varepsilon_{ET}$	-	Entropijsko elastično istezanje(deformacija)
$\varepsilon_u$	-	Ukupno istezanje
$\varepsilon_p$	-	Prekidno istezanje
E	MPa	Rastezni modul elastičnosti
R <sub>e</sub>	MPa	Granica razvlačenja
p	MPa	Srednji dodirni pritisak, tlak
R <sub>a</sub>	μm	Srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti
T <sub>g</sub>	K, °C	Temperatura staklastog prijelaza
T <sub>f</sub>	K, °C	Tecište
T <sub>d</sub>	K, °C	Temperatura razgradnje

## 1. UVOD

Makromolekule su kemijski spojevi vrlo velikih relativnih molekularnih masa koje mogu biti u rasponu od nekoliko tisuća do nekoliko milijuna, tako da su i njihove dimenzije također vrlo velike. Velika većina makromolekula sastavljena je od istovrsnih ponavljanja jedinica pa se tada nazivaju polimerima. Naziv *polimer* grčkog je podrijetla, nastao je od dvije riječi, poli (grč. πολυ) i meros (grč. μέρος). Danas se pod pojmom polimer podrazumijevaju sve sintetski priređene i modificirane makromolekule. Međutim, dugo vremena se smatralo da su polimeri agregirane, asocirane, sekundarnim vezama linearno ili ciklički povezane niskomolekularne tvari. Polimerne tvari se rijetko upotrebljavaju u izvornom obliku, izravno nakon reakcije polimerizacije, već im se prethodno dodaju određeni niskomolekulni spojevi, dodaci odnosno aditivi. Ti spojevi, prisutni i u relativno malim koncentracijama, bitno poboljšavaju jedno ili više njihovih svojstava pa se tako dobivaju tehnički uporabljivi polimerni materijali. [1]

Najrašireniji postupak prerade polimernih materijala je ekstrudiranje. Njegovi su osnovni principi poznati već gotovo dva stoljeća. Ekstrudiranje je proces kontinuiranog protiskivanja zagrijanog i omekšanog polimera kroz mlaznicu. Mehanička svojstva polimernim materijalima određuju se brojnim statičkim i dinamičkim metodama djelovanjem relativno većih ili manjih sila deformacije. Mehanička svojstva polimernih materijala jako ovise o temperaturi. Isti polimerni uzorak, može se ponašati kao krt, rastezljiv ili elastomerni materijal, sve u ovisnosti o temperaturi određivanja, posebno kada je izvedeno pri temperaturi iznad ili ispod staklišta. [1]

## 2. RAZVOJ I PRVE PRIMJENE POLIMERNIH MATERIJALA

Prirodni polimeri se primjenjuju od postanka ljudskog roda do današnjeg dana kad su otkriveni organski i anorganski polimeri. Prirodni polimeri koriste se za hranu, odjeću, obuću, ogrjev i konstrukcijske materijale u obliku škroba, celuloze, vune, kože, pamuka, drveta i prirodnog kaučuka.

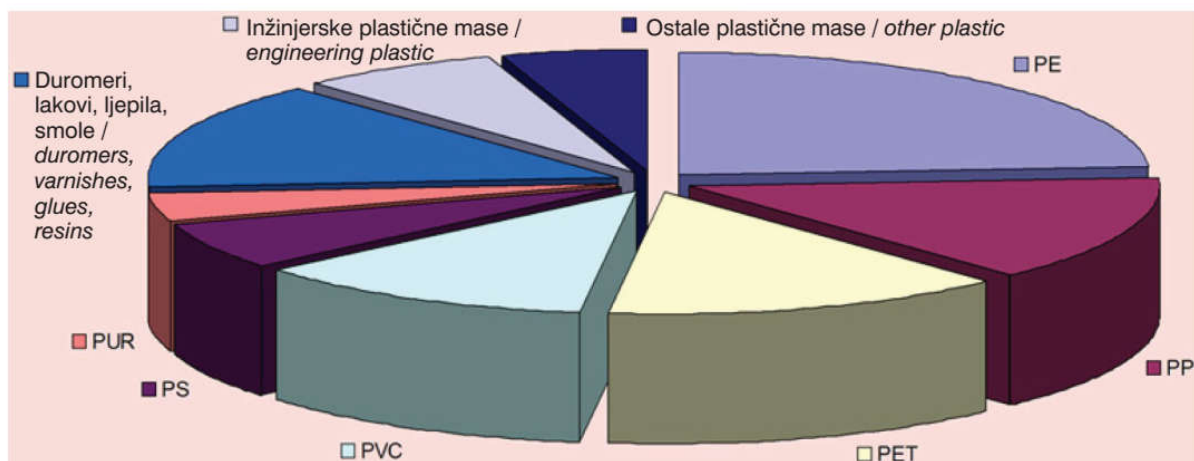
Godine 1839., Charles Goodyear je zagrijavanjem prirodnog kaučuka s malom količinom sumpora dobio gumu. Tim događajem počeo je proces modificiranja prirodnog polimera. U razdoblju između dva svjetska rata u gotovo svim razvijenim zemljama, dolazi do znanstvenih i tehnoloških istraživanja, modifikacija i određivanja strukturnih svojstava polimernih tvari.

Mnogi su 20. stoljeće nazvali "polimerno doba" jer je proizvodnja plastomera premašila proizvodnju čelika, a predviđa se i daljnji porast svjetske proizvodnje sintetskih polimera. Najviše se proizvode polietilen, polipropilen, poli(vinil-klorid) i polistiren.

Polimerni materijali se ubrajaju u najvažnije tehničke materijale današnjice. Osim što služe kao zamjena za uobičajene materijale poput stakla, metala, drveta ili keramike, njihov nagli razvoj u 20. stoljeću ubrzao je i napredak mnogih drugih područja ljudske djelatnosti. Primjena polimernih materijala prisutna je danas u brodogradnji, elektroindustriji, transportu te u području proizvodnje roba široke potrošnje. (Slika 1.)

Uvjeti primjene određuju mehanička, električna, toplinska, magnetska i optička svojstva. Ta svojstva upućuju na materijale određene strukture i kemijskog sastava.

Danas se u svijetu provode vrlo opsežna istraživanja radi dobivanja novih polimernih materijala s posebnim svojstvima; od postojanosti pri visokim radnim temperaturama do velike električne vodljivosti. [4]



Slika 1. Udjeli korištenih polimera u svijetu 2002. godine (ukupno,  $210 \cdot 10^6$  tona) [4]

U današnje vrijeme, u bilo kojoj industriji i proizvodnji se najviše gleda na tehnološki postupak i cijenu proizvoda. Stoga se danas, sve više, materijali poput metala i keramike, gdje je moguće, zamjenjuju polimernim materijalima. Ponajviše zbog cijene sirovina, lakše obrade materijala i na kraju krajeva zbog manje gustoće, tj. mase. Prednosti i nedostaci polimernih materijala u odnosu na metale i keramiku prikazani su u tablici 1. [4]

Tablica 1. *Prednosti i nedostaci polimera u odnosu na metale i keramike* [4]

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
Male gustoće( $\rho$ )	Laka zapaljivost
Dobro prigušenje vibracija	Podložnost starenju
Dobra kemijska postojanost	Utjecaj prerade na svojstva
Dobra otpornost na trošenje	Ovisnost svojstva o vanjskim utjecajima
Mali faktori trenja	Mali modul elastičnosti
Velika rastezna čvrstoća	Tvrdoća
Lako oblikovanje	Neekonomična izrada manjeg broja proizvoda

### 3. OPĆENITO O POLIMERIMA

#### 3.1. Definicija i podjela polimera

Polimeri su tvari građene od makromolekula, golemih molekula sastavljenih od nekoliko stotina do desetak tisuća strukturnih jedinica koje se ponavljaju, tj. dijelova molekula malih, jednostavnih spojeva nazvanih monomeri. Struktura polimera određena je vrstom i brojem monomernih jedinica, njihovom konfiguracijom i konformacijom, te nadmolekularnom strukturom.[1]

Polimerne tvari mogu se sistematizirati na nekoliko načina:

##### 1. Prema podrijetlu

Prirodni polimeri: celuloza, škrob, kaučuk, svila, vuna, pamuk i biopolimeri.

Biopolimeri su prirodni polimeri od kojih su izgrađeni živi organizmi , prije svega bjelančevine, nukleinske kiseline i sl.

Sintetski polimeri:

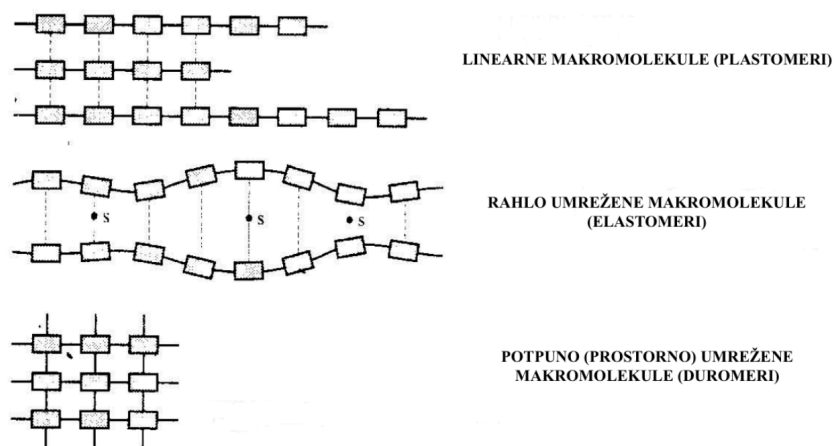
- prema reakcijskom mehanizmu nastajanja: stupnjeviti (postupni, kondenzacijski) i lančani (adicijski)
- prema vrsti ponavljanih jedinica: homopolimeri (jedna vrsta ponavljanih jedinica) i kopolimeri (dvije ili više vrsta ponavljanih jedinica)
- prema oblicima makromolekula: linearne, granate, umrežene i trodimenzionalne [1]

##### 2. Prema ponašanju pri povišenim temperaturama

a) Plastomeri

b) Elastomeri (Slika 2.)

c) Duromeri [6]

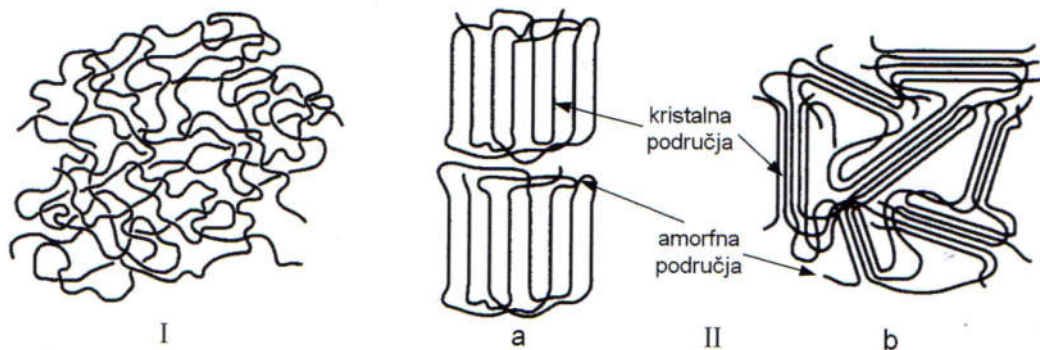


Slika 2. Shematska struktura osnovnih skupina polimera [6]

### 3.1.1. Plastomeri

Plastomeri su taljivi i topljivi polimerni materijali čiju strukturu čine linearne i granate makromolekule. Zagrijavanjem mekšaju, a prije nego se otope, bubre.

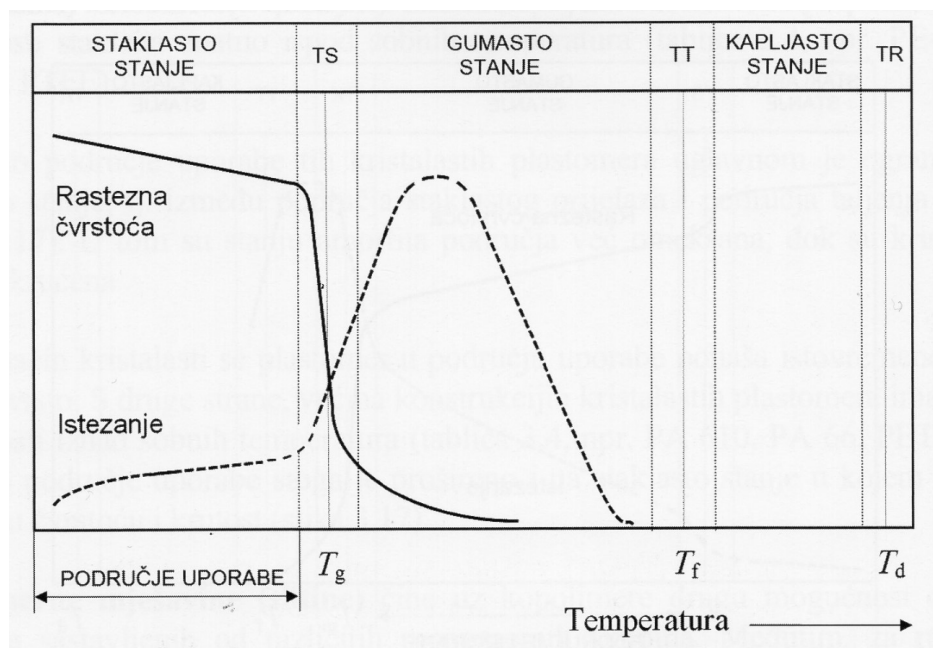
Po potrošnji, plastomeri su najproširenija skupina polimernih materijala. S obzirom na različita uporabna i preradbena svojstva, plastomeri se najčešće razlikuju po stupnju uređenosti strukture. Tako postoje **amorfni** i **kristalasti**, a rjeđe i potpuno **kristalni** plastomeri. Plastomeri se osim po stupnju uređenosti strukture, često klasificiraju i s obzirom na područje njihove primjene u skupinu masovnih, prijelaznih i konstrukcijskih plastomera. (Slika 3.) [3]



Slika 3. Nadmolekulna struktura polimera (I-amorfna, II-kristalasta, a-savijeno kristalizirane lamele, b- usporedno kristalizirane lamele) [3]

### Amorfni plastomeri

Amorfni plastomeri su u nemodificiranom obliku prozirni (transparentni) i pokazuju karakteristična mehanička svojstva u ovisnosti o temperaturi. (Slika 4.) [3]



Slika 4. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava amornih plastomera (TS-područje staklastog prijelaza, TT – područje tečenja, TR – područje razgradnje)[3]



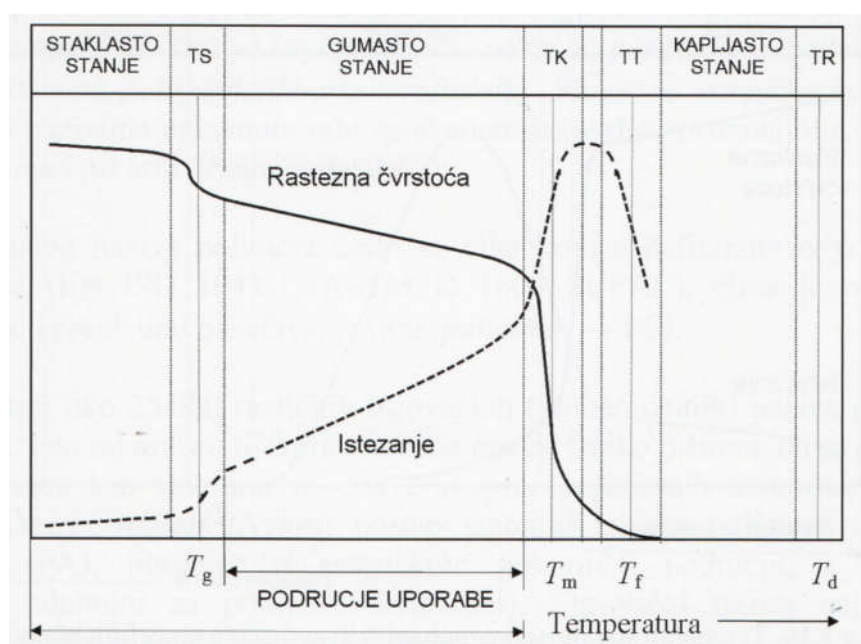
Tablica 2. Najvažniji amorfni plastomeri [3]

Kratica	Naziv	Staklište $\vartheta_g$ [°C]	Skupina (primjena)
PVC	Poli(vinil-klorid)	81	Širokoprimjenjivi plastomeri
PS	Polistiren	100	
CA	Celulozni acetat	105	Prijelazni plastomeri (* $\vartheta_g$ glavne faze)
S/B	Stiren/butadien blok-kopolimer	90*	
ABS	Akronitril/butadien/stiren cijepljeni kopolimer	85*	
SAN	Stiren/akronitril kopolimer	106	
ASA	Akronitril/stiren/akrilat cijepljeni kopolimer	100*	
PMMA	Poli(metil-metakrilat)	105	
PA 6-3-T	Amorfni poliamid	147	Konstrukcijski plastomeri
PC	Polikarbonat	150	
PPE(PPO)	Poli(fenilen-eter) [Poli(fenilen oksid)]	175	
PSU	Polisulfon	190	
PES	Poli(eter-sulfon)	230	
PEI	Poli(eter-imid)	217	
PAI	Poli(amid-imid)	277	

### Kristalasti plastomeri

Kristalasti plastomeri su s obzirom na postojanje uređenih, kristalnih područja u njihovoj strukturi, u nemodificiranom obliku uvijek u određenoj mjeri mutni i neprozirni zbog loma svjetlosti na granicama kristalita. Staklišta kristalastih plastomera mogu se, ovisno o vrsti, nalaziti iznad ili ispod sobnih temperatura. Većina široko primjenjivih i dio prijelaznih kristalastih plastomera ima vrijednosti staklišta znatno ispod sobne temperature.

Praktično područje uporabe tih kristalastih plastomera uglavnom je ograničeno na gumasto stanje, tj. između područja staklastog prijelaza i područja taljenja kristalita (slika 5.). U tom su stanju amorfna područja već omekšana, dok su kristalna još uvijek ukrućeni. [3]



Slika 5. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava kristalastih plastomera (TK – područje taljenja kristalita) [3]

Tablica 3. Najvažniji kristalasti plastomeri [3]

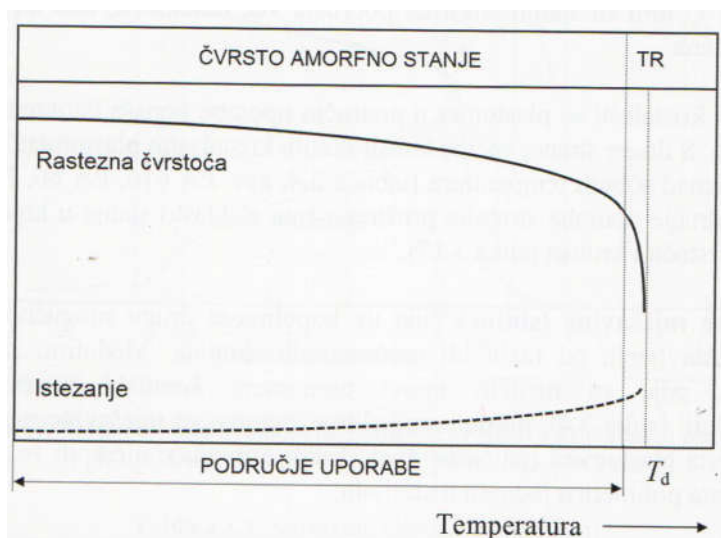
Kratica	Naziv	Staklište $\vartheta_g$ [°C]	Skupina (primjena)
PE-LD	Polietilen male gustoće	-100	Širokoprимjenjivi plastomeri
PE-HD	Polietilen velike gustoće	-115	
PP	Polipropilen	-18	
PTFE	Poli(tertrafluoretilen)	-97	Prijelazni plastomeri
PET	Poli(etilen-tereftalat)	69	
PA 11	Poliamid 11	43	Konstrukcijski plastomeri
PA 12	Poliamid 12	41	
PA 66	Poliamid 6.6	57	
PA 610	Poliamid 6.10	50	
PA 46	Poliamid 4.6	85	
POM	Poli(oksimetilen)	-38	
PBT	Poli(butilen-tereftalat)	22	
PPS	Poli(fenilen-sulfid)	88	
PEEK	Poli(eter-eter-ke-ton)	143	

### 3.1.2. Duromeri

Duromeri su netaljivi i netopljivi polimerni materijali čiju strukturu čine prostorno gusto umrežene makromolekule. Oni, zahvaljujući svojoj prostorno gusto umreženoj strukturi pokazuju tipičnu ovisnost mehaničkih svojstava o temperaturi.

Za razliku od plastomera, u strukturi duromera prevladava gusta prostorna umreženost makromolekula primarnim (kemijskim) vezama, tvoreći tako amorfnu nadmolekulnu strukturu. Stoga su pri sobnim temperaturama duromeri ukrućeni i malo deformabilni. Pritom takve karakteristike zadržavaju u čitavom području uporabe, koje je praktično proteže sve do temperature razgradnje.

Kada jednom duromerna prepolimerna smjesa (tijekom preradbe) postigne prostorno umreženu strukturu nije je više moguće, za razliku od plastomera, zagrijavanjem omekšati i rastaliti. Nastaje duromerni materijal, duromer. Duromeri neznatno bubre i nije ih moguće otopiti. [3]



Slika 6. Tehnička ovisnost mehaničkih svojstava duromera [3]

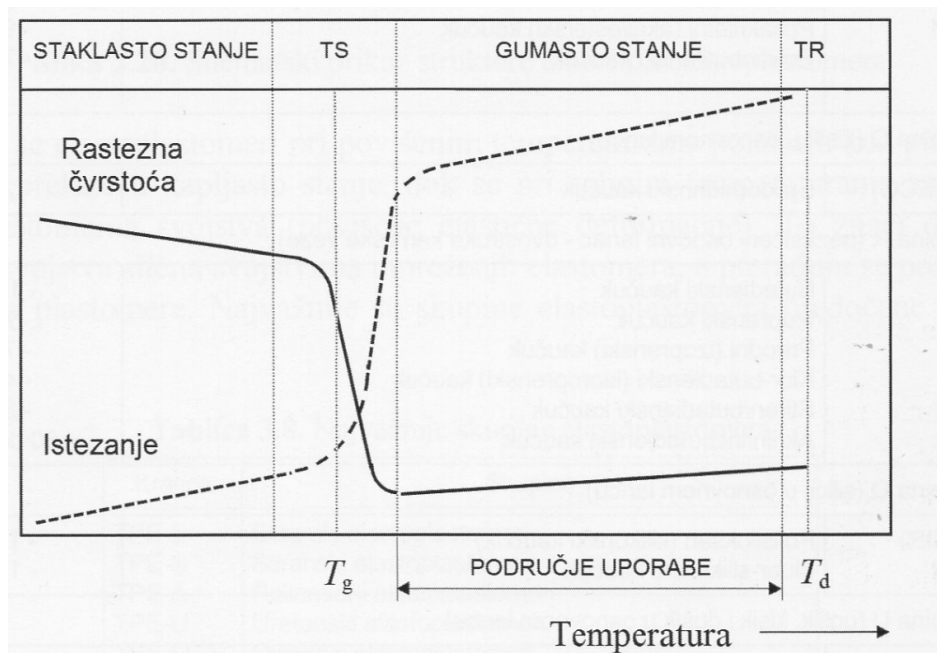
Tablica 4. Najvažniji duromeri [3]

Kratica	Naziv
PF	Fenol-formaldehidna smola
UF	Urea-formaldehidna smola
MF	Melamin-formaldehidna smola
UP	Nezasićene poliesterske smole
PDAP	Poli(dialilftalatna) smola
SI	Silikonska smola
EP	Epoksidne smole

### 3.1.3. Elastomeri

Elastomeri su polimerni materijali čiju strukturu čine rahlo (djelomice) kemijski ili fizikalno umrežene makromolekule. Bubre u otapalu, a tipična im je karakteristika postojanje vrlo visokih vrijednosti (povratljivih) mehaničkih deformacija. Kemijski umreženi elastomeri su netaljivi i netopljivi, dok se fizikalno umreženi elastomeri mogu rastaliti.

U tu skupinu polimernih materijala ubrajaju se kemijski umreženi elastomeri ili gume i fizikalno umreženi elastomeri ili elastoplastomeri. U oba slučaja radi se u rahlo međusobno umreženim makromolekulama koje uglavnom tvore amorfnu nadmolekulnu strukturu. [3]



Slika 7. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava umreženih elastomera [3]

#### Kemijski umreženi elastomeri (gume)

Osnovni sastojak kemijski umreženih elastomernih materijala (gumâ) jest neumrežena polimerna tvar – kaučuk. Postoje prirodni kaučuk (NR) i brojne vrste sintetskih kaučuka. Na temelju vrste kaučuka kao osnovnog sastojka, daju se nazivi i čitavom elastomernom materijalu.

Sve vrste kaučuka odnosno elastomera na njihovoj osnovi moguće je, s obzirom na kemijsku strukturu osnovnom makromolekularnog lanca, svrstati u nekoliko temeljnih skupina predočenih tablicom 5. Vrijednosti staklišta umreženih elastomera znatno su ispod sobnih temperatura. [3]

Tablica 5. *Temeljne skupine kaučuka(elastomera)* [3]

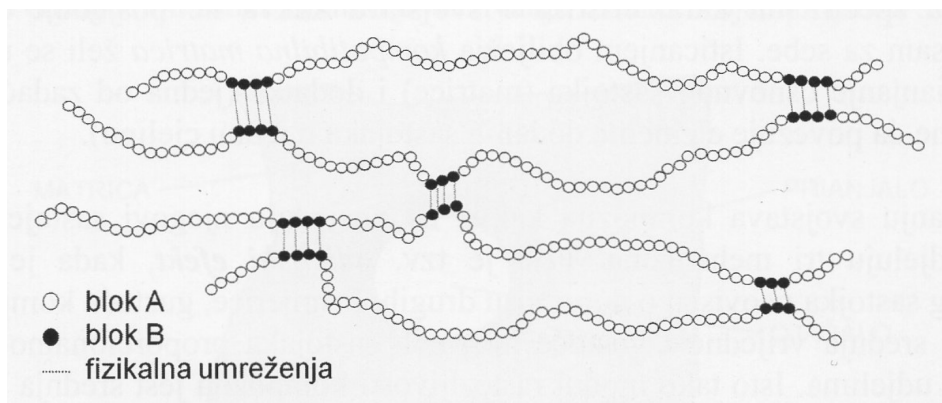
Kratica	Naziv	Staklište $\theta_g$ [°C]
<b>Skupina M (zasićeni osnovni lanac – jednostruke kemijske veze)</b>		
<b>EPDM</b>	Etilen/propilen/dienski kaučuk	-60 do -35
<b>IIR</b>	Butilni (izobutilen/izoprenski) kaučuk	-38
<b>FCM</b>	Fluorni kaučuk	-90
<b>ACM</b>	Poliakrilatni (akril/esterski) kaučuk	-90
<b>PIB</b>	Poliizobutilenski kaučuk	-70
<b>Skupina O (kisik u osnovnom lancu)</b>		
<b>CO (ECO)</b>	Epiklorhidrinski kaučuk	-20
<b>Skupina R (nezasićeni osnovni lanac – dvostruke kemijske veze)</b>		
<b>BR</b>	Butadienski kaučuk	-102
<b>IR</b>	Izoprenski kaučuk	-73
<b>NR</b>	Prirodni (izoprenski) kaučuk	-73
<b>CR</b>	Klor-butadienski (kloroprenski) kaučuk	-40
<b>SBR</b>	Srtiren/budatienski kaučuk	-35
<b>NBR</b>	Akrlinitril/budatienski kaučuk	-60 do -30
<b>Skupina Q (silicij u osnovnom lancu)</b>		
<b>SI (SIR)</b>	Polisiloksan (silikonski kaučuk)	-115
<b>FSIR</b>	Fluor-silikonski kaučuk	-115
<b>Skupina U (ugljik, kisik i dušik u osnovnom lancu)</b>		
<b>PUR</b>	POoliuretanski kaučuk	-40
<b>ASM</b>	Alkilen-sulfidni kaučuk	-60

### 3.1.4. Elastoplastomeri (TPE)

Elastoplastomeri (eng. Thermoplastic Elastomers) su posebna skupina blok-kopolimera kod kojih su jedne skupine mera (A) plastomernog tipa, a druge skupine mera (B) elastomernog tipa (slika 8.). Nužno je pritom da staklišta plastomernih blokova bude iznad staklišta elastomernih. Odlikuju se mogućnošću prerade kao i plastomeri, a imaju izraženo svojstvo elastičnosti, kao elastomeri.

S obzirom na strukturu plastomernih blokova razlikuju se amorfni i kristalasti elastoplastomeri. Kod amornih elastoplastomera, plastomerni blokovi imaju staklišta iznad sobnih temperatura, a elastomerni blokovi ispod sobnih temperatura.

Kod kristalastih elastoplastomera, plastomerni blokovi ovisno o vrsti plastomera mogu imati staklišta ispod ili iznad sobnih temperatura, ali redovito iznad staklišta elastomernih blokova. Plastomerni blokovi međusobno su povezani sekundarnim vezama. Ta mjesta u strukturi elastoplastomera predstavljaju rahla fizikalna umreženja, osjetljiva na toplinske utjecaje. Neki od najvažnijih elastoplastomera nabrojani su u tablici 6. [3]



Slika 8. Shematski prikaz strukture elastoplastomera [3]

Tablica 6. Najvažniji elastoplastomeri [3]

Kratica	Naziv
TPE-E	Esterski elastoplastomeri
TPE-S	Stirenski elastoplastomeri
TPE-A	Poliamidni elastoplastomeri
TPE-U	Uretanski elastoplastomeri
TPE-O	Olefinski elastoplastomeri
TPE-V	Etilen/propilen/dienski elastoplastomeri

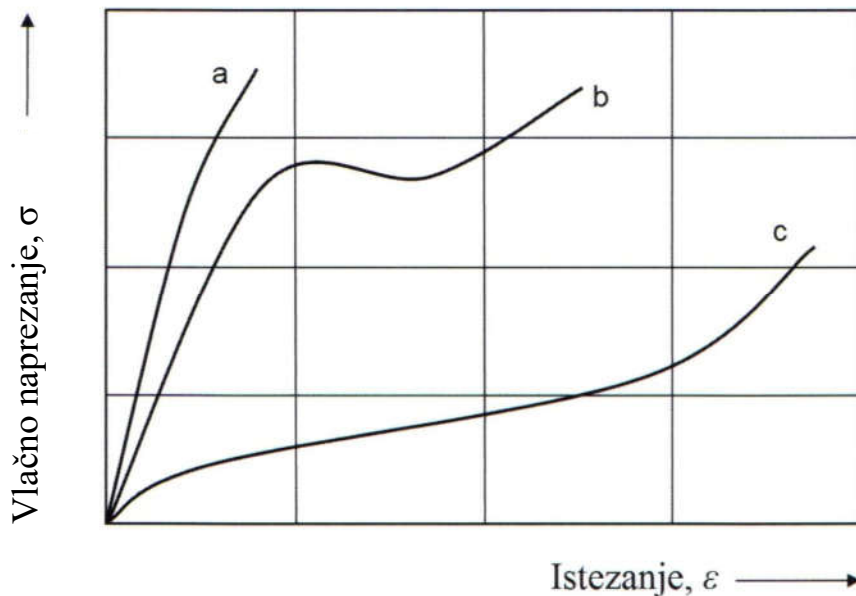
## 4. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA

Konačna, uporabna svojstva polimernog proizvoda ne ovise samo o vlastitim svojstvima polimera, već i o postupku i tijeku izradbe. Dakle, o proizvodnim i preradbenim svojstvima. Polimerna tijela, zahvaljujući svojoj makromolekularnoj strukturi, različitih su i specifičnih uporabnih svojstava (mehaničkih, toplinskih, triboloških, električnih itd.) Pritom su ta svojstva izrazito ovisna o nizu utjecajnih veličina, od kojih su najznačajnije:

- vrsta opterećenja (kratkotrajna, dugotrajna),
- način opterećivanja (statičko, dinamičko),
- brzina opterećivanja,
- temperatura,
- medij (vlaga, agresivni medij),
- toplinsko-reološka prošlost (način i uvjeti preradbe),
- mehanička (deformacijska) prošlost (uvjeti prethodnih opterećivanja). [3]

### 4.1. Mehanička svojstva

Mehanička su svojstva najviše zanimljiva s konstrukcijskog stajališta. Posebnosti mehaničkih svojstava polimera moguće je uočiti već pri jednoosnom pokusu vlačnog naprezanja pri sobnim temperaturama (Slika 9.). Pri ispitivanju mehaničkih svojstava materijala uobičajeno je sva naprezanja svoditi na početni poprečni presjek ispitnog tijela (eprovete). To su tzv. nazivna naprezanja, a dijagrami kojima se predočuje njihova funkcijska ovisnost, npr. dijagram nazivno vlačno naprezanje-istezanje (slika 9.), nazivaju se nominalnim dijagramima. [3]



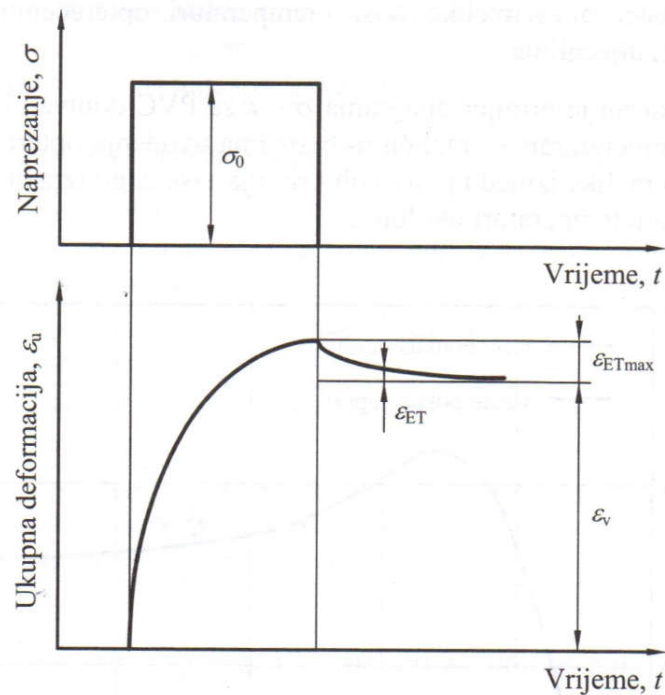
Slika 9. Kvalitativni nominalni dijagram vlačno naprezanje-istezanje (a-amorfnih plastomera i duromera, b-kristalasti plastomera, c-elastomera) [3]

Ponašanja polimera kvalitativno predočena slikom 9., vrijede u uvjetima kratkotrajnih, dovoljno sporih opterećivanja i pri sobnim temperaturama. Pri izmijenjenim uvjetima opterećivanja i ponašanje polimera bitno se mijenja. Na mehaničke karakteristike polimernih materijala najznačajnije utječu temperatura i vrijeme. Za razliku od metala, kod polimera osim faznog prijelaza iz čvrstog u kapljasto stanje, karakterističan je i prijelaz iz energijski elastičnog (staklastog) u entropijski elastično stanje. Posljedice tog prijelaza i promjene svih svojstava, od kojih su promjene mehaničkih najznačajnije sa stajališta konstrukcijske primjene polimera. [3]

Mehanička svojstva i ponašanje polimernih materijala definiraju se vrijednostima parametara materijala koji se određuju normiranim ispitnim postupcima koji su slični onima kojima se ispituju metali (određivanje vlačne čvrstoće, određivanje udarne čvrstoće i sl.) Budući da okolni uvjeti imaju veliki utjecaj na svojstva polimernih materijala, vrijednosti tih parametara materijala valjani su samo za uvjete u kojima je ispitivanje izvršeno. [2]

Prilikom primjene polimera u konstrukcijske svrhe treba poznavati i uzimati u obzir način deformiranja opterećenog elementa. Prilikom opterećivanja pri kojem je naprezanje  $\sigma_0$  konstantno, ukupna deformacija (istezanje)  $\epsilon_0$  ovisi o trajanju djelovanja sile. Naziva se viskoelastičnom budući da se sastoji od sljedećih komponenti (Slika 10.):

- viskozna deformacija (istezanje)  $\epsilon_v$  nepovratna je temperaturno i vremenski ovisna pojava;
- entropijska elastična deformacija (istezanje)  $\epsilon_{ET}$  vremenski je ovisna pojava i povratna (reverzibilna). Od trenutka prestanka naprežanja entropijska se elastična deformacija smanjuje. [2]



Slika 10. Deformacija (istezanje) pri opterećivanju i rasterećenju polimernog konstrukcijskog elementa [2]

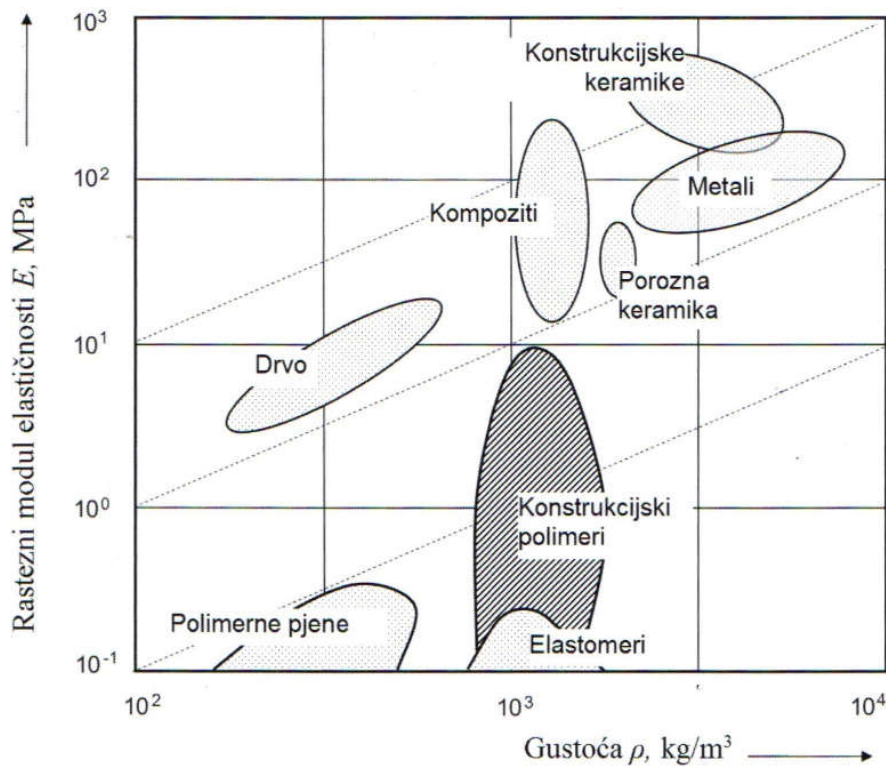
U usporedbi s drugim materijalima polimeri se odlikuju niskom gustoćom (800 do 2200 kg/m<sup>3</sup>), što su nekoliko puta manje vrijednosti nego kod metala. Čvrstoća neojačanih polimera relativno je mala i uobičajeno je za red veličine (oko 10 puta) manja od čvrstoće metala. Krutost polimernih materijala (modul elastičnosti) manja je za jedan do dva reda veličine (10 do 100 puta) (Slika 11.).

Nasuprot tome, polimeri imaju povišenu istezljivost (duromeri 1 do 3%, plastomeri 3 do 80%, a elastomeri i do 1000%). Tablicom 7. predložene su teorijske i eksperimentalne vrijednosti modula elastičnosti i vlačne čvrstoće nekih materijala pripremljenih u obliku monokristalnih vlakana.

Ojačavanjem polimera (kompozitni materijali) moguće je znatno povećati njihovu čvrstoću i krutost i smanjiti istezljivost. [3]

Tablica 7. Usporedba mehaničkih svojstava nekih materijala [3]

Materijal	Modul elastičnosti, MPa			Vlačna čvrstoća, MPa		
	Teorijski	Eksperimentalni		Teorijska	Eksperimentalna	
		Vlakna	Materijal		Vlakna	Materijal
PE-HD	300000	100000	1000	27000	1500	30
PP	50000	20000	1600	16000	1300	38
PA 66	160000	5000	2000	27000	1700	50
Staklo	80000	80000	70000	11000	4000	55
Čelik	210000	210000	210000	21000	4000	1400
Aluminij	76000	76000	76000	7600	800	600

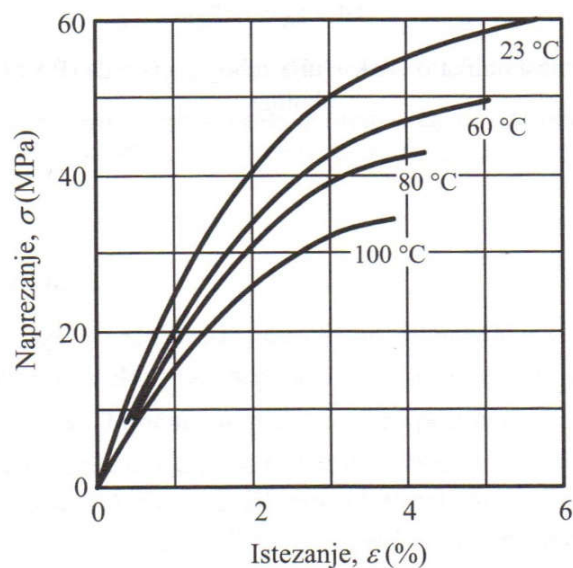


Slika 11. Usporedba rasteznog modula elastičnosti i gustoće polimera i ostalih materijala [3]

#### 4.1.1. Utjecaji na mehanička svojstva

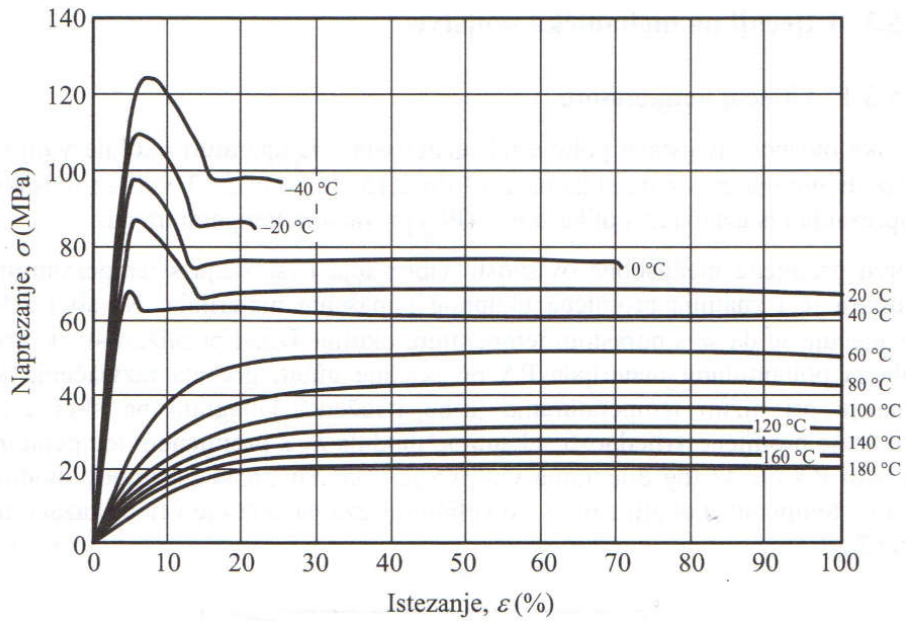
##### UTJECAJ TEMPERATURE

Pored promjene međusobne ovisnosti napreznja i istežanja s temperaturom, moguća je i znatnija promjena ukupnog ponašanja materijala. Velika ovisnost svojstava polimernih materijala o temperaturi okoline vidljiva je iz dijagrama  $\sigma$ - $\epsilon$  na slici 12. i slici 13. [2]



Slika 12. Ovisnost oblika  $\sigma$ - $\epsilon$  krivulja za polikarbonat(PC) o temperaturi okoline [2]

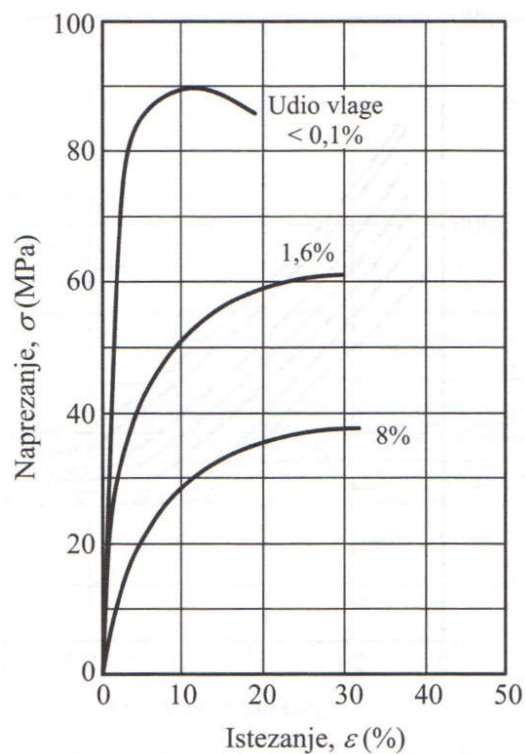




Slika 13. Ovisnost oblika  $\sigma$ - $\varepsilon$  krivulja suhog poliamida (PA 66) o temperaturi okoline [2]

## UTJECAJ VLAGE

Povišeni udio vlage u strukturi polimernih materijala u pravilu uzrokuje sniženje temperature staklastog prijelaza  $\vartheta_g$ , a time i pogoršanje njegovih mehaničkih svojstava. Tipični su predstavnici polimernih materijala sklonih upijanju vlage materijali iz skupine poliamida. Na slici 14. prikazan je  $\sigma$ - $\varepsilon$  dijagram za poliamid PA 66 s različitim udjelima vlage u strukturi. [2]

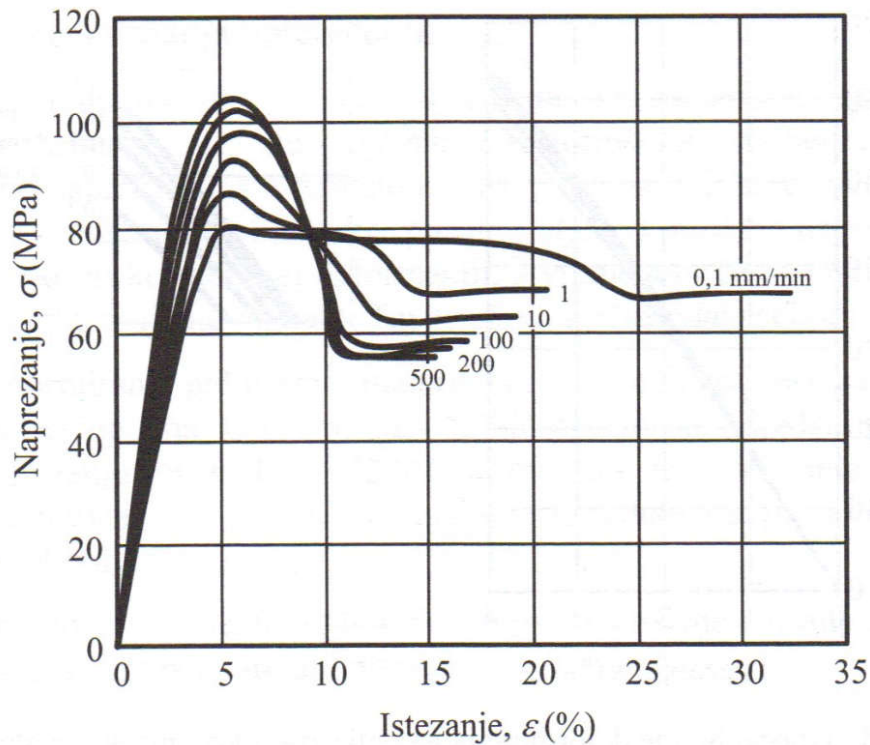


Slika 14. Utjecaj udjela vlage u poliamidu PA 66 na oblik  $\sigma$ - $\varepsilon$  krivulja [2]

## UTJECAJ BRZINE DEFORMIRANJA

Brzina deformiranja polimernog materijala utječe na sposobnost materijala da relaksira novonastale deformacije u svojoj strukturi. S povećanom brzinom deformiranja konstrukcijskog elementa od polimernih materijala ta se sposobnost relaksacije smanjuje, što za posljedicu ima povećanje vrijednosti granice razvlačenja  $R_e$ . (slika 15.)

Brzina deformiranja ima manji utjecaj na svojstva polimernih materijala koji imaju temperaturu staklastog prijelaza  $\vartheta_g$  iznad temperature primjene, a veći utjecaj kad je temperatura  $\vartheta_g$  ispod temperature primjene. [2]



Slika 15. Utjecaj brzine deformiranja suhog poliamida (PA 66) na oblik  $\sigma$ - $\epsilon$  krivulja [2]

## 5. POSTUPCI PROIZVODNJE POLIMERNIH PROIZVODA

### 5.1. Uvodno o proizvodnji polimernih materijala

Zajedno s razvojem novih vrsta i tipova polimernih materijala, s vremenom su se razvijali novi i prilagođavali postojeći proizvodni procesi i postupci kojima se polimerni materijali oblikuju u konačni proizvod. Za uspješno konstruiranje proizvoda kao i za njihovo funkcioniranje u skladu sa zahtjevima, nužno je dobro poznavanje svojstava i značajki preradbenih postupaka. Kod rada s polimerima, način izrade je jedan od čimbenika koji ima veliki utjecaj na svojstva i ponašanje materijala proizvoda, odnosno na ponašanje proizvoda u cjelini.

Pri proizvodnji polimernih proizvoda nužno je imati na umu sljedeće:

- Polimerizat treba ovisno o slučaju oplemeniti smješavanjem dodataka, tako da se tijekom postupka postigne ujednačena viskoznost taljevine
- Praoblikovanje polimera vrši se različitim postupcima prerade, a razlikuju se dvije velike skupine: kontinuirani postupci i ciklični postupci
- Konačni se oblik i stabilnost dimenzija polimernog proizvoda pri preradi plastomera postižu hlađenjem, a kod prerade duromera i elastomera njihovim umreživanjem
- Polimerni materijali od kojih se izrađuju proizvodi nisu idealni, kao što nisu ni metalni. Tako su svojstva i značajke polimernog proizvoda nakon proizvodnje podložna dodatnim promjenama. [2]

### 5.2. Preradba polimernih materijala

Proizvodnja poluproizvoda i gotovih proizvoda od polimernih materijala zasniva se na izradbenim postupcima praoblikovanja i preoblikovanja svojstvenima za tu vrstu materijala, te postupcima odvajanja (obrada odvajanjem čestica, kao npr. piljenje, glodanje ili bušenje), povezivanja (zavarivanje, lijepljenje), prevlačenja površine i mijenjanja svojstava materijala. Za postupke praoblikovanja rabi se i izraz preradba materijala, ali se zbog najšire zastupljenosti tih postupaka tako naziva mnogo šira skupina izradbenih postupaka. Za postupke preoblikovanja i odvajanja uobičajen je zajednički naziv obrada materijala. [5]

Praoblikovanjem (izvornim oblikovanjem) se od bezobličnih se tvari (plin, kapljevina, prašak, vlakna, strugotine) dobiva kompaktno tijelo, pritom se postiže povezanost među česticama i stvara se materijal. Praoblikovanje plastomera i elastoplastomera temelji se na promjeni njihova stanja zagrijavanjem i hlađenjem. Pri praoblikovanju duromera i umreživih elastomera, stvaranje materijala prostorno umrežene strukture povezano je s jednom od polireakcija ili reakcijom umreživanja, pri kojoj istodobno nastaje i makrogeometrijski oblik tvorevine. Tako se izrađuju poluproizvodi (npr. ekstrudirane cijevi ili kalandrirani trakovi) ili izradci (npr. otpresci ili odljevci). [5]

Preoblikovanjem se priprema, dobivenomu jednim od postupaka preoblikovanja, mijenja oblik, uz eventualno očvršćivanje. Najvažniji su postupci preoblikovanja toplo i hladno oblikovanje, puhanje i izvlačenje. Od postupaka toplog oblikovanja najrasprostranjenije je razvlačenje, koje se može provoditi mehaničkim pritiskanjem, tlakom zraka ili djelovanjem podtlaka, te njihovom kombinacijom. Puhanje šupljih tijela ciklički je postupak preoblikovanja priprema djelovanjem stlačenoga zraka u šuplje tijelo koje učvršćuje svoj oblik hlađenjem. Ovisno o načinu izrade priprema razlikuju se ekstruzijsko i injekcijsko puhanje. [5]

Prema trajanju izrade polimerne tvorevine, postupci preoblikovanja mogu biti:

- kontinuirani: ekstrudiranje, kalandriranje i kontinuirano prevlačenje,
- ciklički: lijevanje, srašćivanje u kalupu i prešanje (izravno, posredno i injekcijsko).

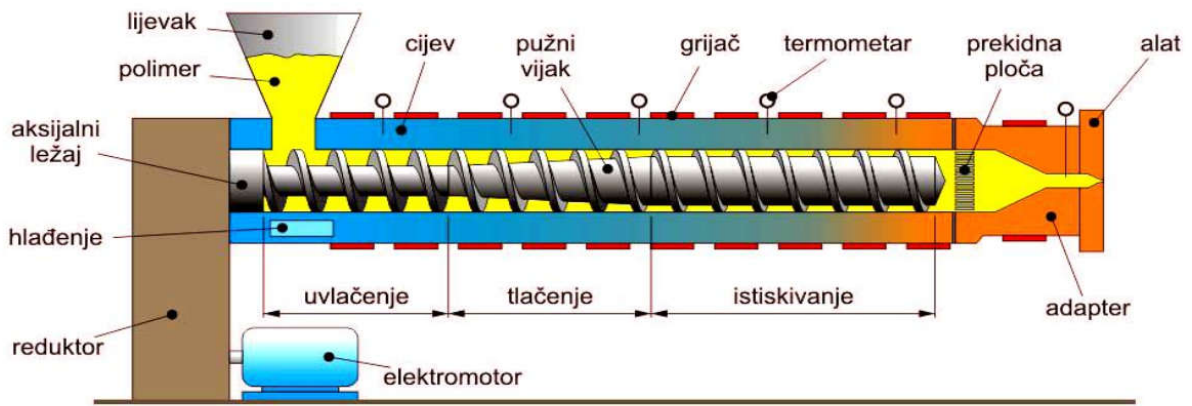
Najvažniji postupci preoblikovanja su:

- toplo i hladno oblikovanje
- puhanje šupljih tijela
- izvlačenje i stezanje

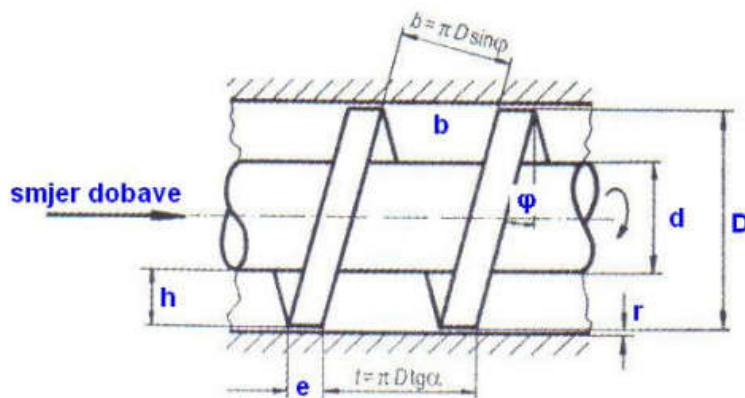
### **5.2.1. Ekstrudiranje**

Ekstrudiranje je najprošireniji postupak preradbe polimernih materijala. Ovim se postupkom izrađuju tzv. beskonačni proizvodi ili poluproizvodi (ekstrudati), tj. takvi kojima sve dimenzije nisu konačne ili točno određene. To su najčešće krute i gipke cijevi, razni profili, obloženi kabeli itd. [5]

To je proces kontinuiranog protiskivanja zagrijanog i omekšanog polimera kroz mlaznicu (dizu). Postupak ekstrudiranja pomoću ekstrudera s pužnim vijkom je najrašireniji i njime se proizvodi najveći dio ekstrudiranih proizvoda. Cijevi izrađene ovim postupkom mogu biti promjera od 1 do 1500 mm, debljina stijenki ekstrudiranih proizvoda kreće se od nekoliko mikrometara do 75 mm. Proizvodna linija za spomenuti postupak sastoji se od ekstrudera i pripadajućeg alata, zatim od opreme za prihvat ekstrudiranog profila i opreme za naknadno hlađenje i očvršćivanje dobivenog oblika. Glavni dio ekstrudera je komora za taljenje, cilindričnog oblika u kojoj su smješteni jedan ili više pužnih vijaka koji su vrlo kruto aksijalno uležišteni radi podnošenja opterećenja koja se javljaju prilikom potiskivanja i miješanja, često, vrlo viskozna taljevine. [2]



Slika 16. Shematski prikaz ekstrudera [7]



Slika 17. Dio pužnog vijka sa pripadajućim oznakama [7]

Geometrija pužnog vijka:  $D$  – promjer pužnog vijka [mm]

$d$  – promjer jezgre pužnog vijka [mm]

$h$  – visina navoja [mm]

$e$  – širina zavojnice [mm]

$b$  – širina navoja [mm]

$\varphi$  – kut uspona [°]

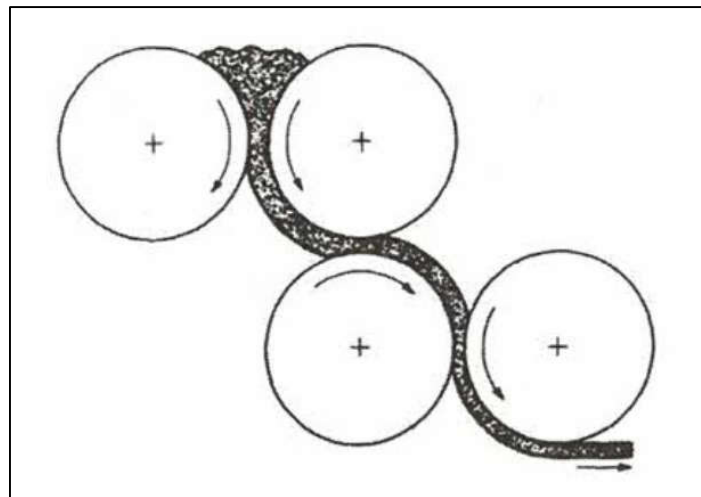
$r$  – razmak između pužnog vijka i cilindra za taljenje [mm]

Pužni vijak ima tri osnovne funkcije:

- a) **Potiskivanje polimerne taljevine** duž komore za taljenje ekstrudera pod čime se podrazumijeva i prethodno stlačivanje taljevine.
- b) **Taljenje polimernog materijala** do kojeg dolazi zbog intenzivnog trenja između metalnih dijelova ekstrudera (komora za taljenje, vijak) i polimera te samog polimera.
- c) **Miješanje polimerne taljevine**, čime se postiže dovoljno dispergiranje raznih dodataka koji su dodani polimerizatu te homogenizacija sastava i temperature taljevine koja se potiskuje kroz otvor alata.

### 5.2.2. Kalandriranje

Kalandriranje se također smatra kontinuiranim postupkom praoblikovanja, a zasnovano je na 'propuštanju' prethodno dovoljno zagrijanog i izmiješanog visokoviskoznog polimera između npr. četiri horizontalna, međusobno suprotno rotirajuća čelična vijka (slika 18.). Taljevina se uslijed rotacije i prijanjanja za jedan od valjaka prenosi do sljedećeg para valjaka koji su međusobno manje razmaknuti, sve do završnog para koji oblikuje kalandrirani trak i daje mu konačne izmjere. Zahvaljujući tom postepenom smanjivanju presjeka, moguće je njegovu konačnu debljinu održavati u vrlo uskim tolerancijama. Na taj način se proizvode polimerni filmovi, folije i ploče debljine od nekoliko milimetara i širine do osam metara. Uz to moguće je izrađivati i jednoslojne polimerne folije ojačane raznim vlaknima, kao i višeslojne, od nekoliko vrsta polimera koje se zatim mogu dodatno oblikovati nekim drugim postupcima. [2]



Slika 18. Tipični raspored valjaka u liniji za kalandriranje [2]

### 5.2.3. Prešanje

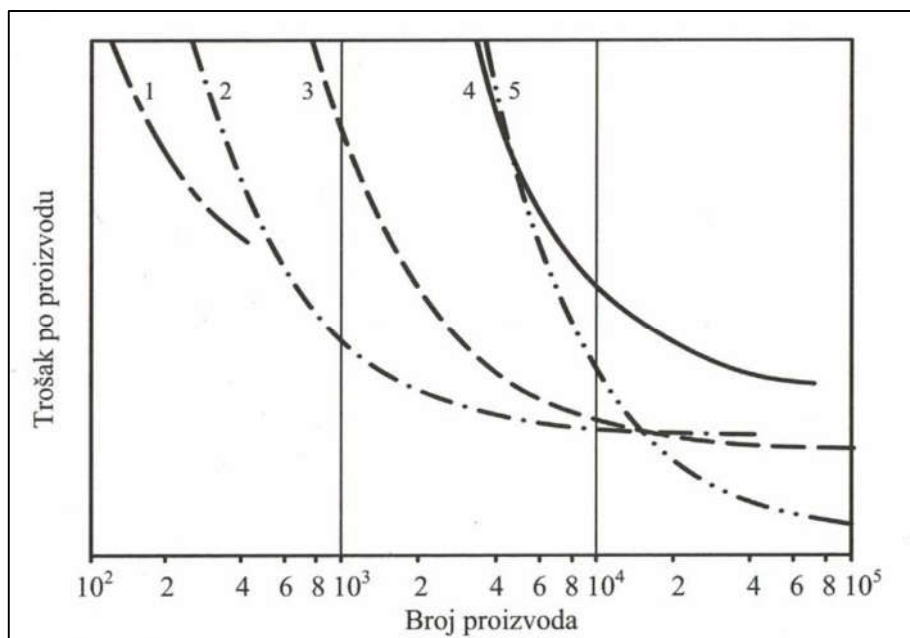
Prešanjem se u najvećem broju slučajeva izrađuju pojedinačni proizvodi (otpresci), osim u slučajevima kada njihove male izmjere dopuštaju da se u kalup smjesti više njih i da se odjednom proizvodi više proizvoda. Proizvodni ciklus se ponavlja ovisno o potrebama odnosno o količinama proizvoda koje se žele proizvesti. Postupci prešanja u osnovi se zasnivaju na dovođenju polimerne taljevine u kalup u kojem se ona raspoređuje i poprimi oblik kalupne

šupljine. Polimerna taljevina ostaje u kalupu dok se ne skruti u dovoljnoj mjeri da nakon izbacivanja iz kalupa sigurno zadrži oblik i izmjere dane kalupnom šupljinom. Za dovođenje taljevine u kalup i/ili njezino raspoređivanje po njemu primjenjuje se pritisak, zbog čega se i cijela skupina postupaka naziva prešanjem. [2]

Kalupi kojima se oblikuje otpresak pojavljuju se u nekoliko tipičnih konfiguracija:

- a) Otvoreni kalup – ovom vrstom kalupa oblikuje se samo ona površina proizvoda koja je u izravnom dodiru sa stijenkom kalupa.
- b) Kalup sa žigom i gnijezdom – žig i gnijezdo nakon zatvaranja kalupa oblikuju šupljinu koja se ispunjava polimernom taljevinom, čime se u potpunosti definira cijela površina otpreska.

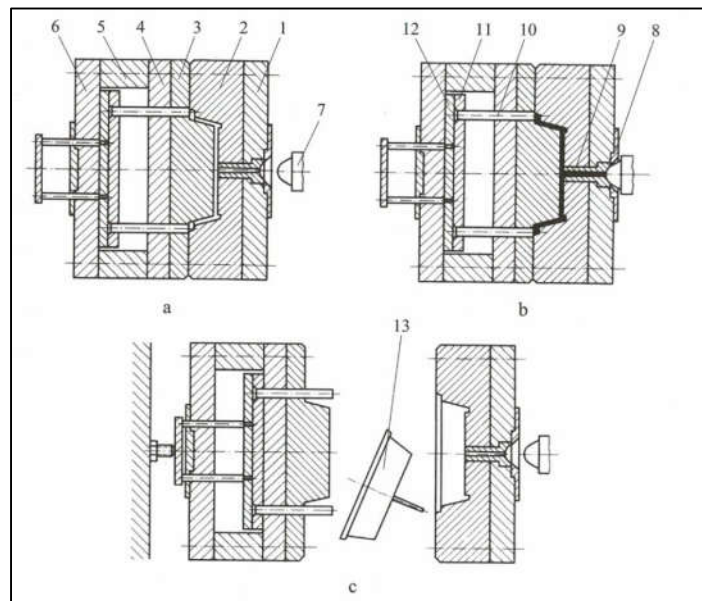
Broj postupaka koji su zasnovani na prešanju, relativno je velik, tako da je u nekim slučajevima moguće odabrati i više postupka koji bi omogućavali uspješnu izradu gotovog proizvoda. Jedan od najvažnijih čimbenika za odabir postupka prešanja je visoka cijena strojeva i kalupa – pogotovo kod kompliciranih proizvoda. Visoka cijena opreme i kalupa izravno utječe i na cijenu krajnjeg proizvoda pa su potrebne količine proizvoda jedan od osnovnih parametara prilikom odabira odgovarajućeg postupka, također odabir postupka je uvjetovan i potrebnim odnosno zahtijevanim tolerancijama izmjera proizvoda. U obzir treba uzeti činjenicu da su određeni proizvodni postupci prikladniji za određene materijale kao i za određene izmjere, oblike i konfiguracije proizvoda. Slika 19. prikazuje ovisnost cijene pojedinačnog proizvoda – u ovom slučaju polimernih podložaka – o proizvodnim količinama i o vrsti odabranoga proizvodnog postupka. Cijena proizvoda uključuje trošak materijala, kalupa, strojeva i radne snage. [2]



Slika 19. Ovisnost cijene proizvoda o proizvodnim količinama i vrsti proizvodnog postupka:  
 1 – toplo preoblikovanje s drvenim kalupom; 2 – toplo preoblikovanje s dvostrukim aluminijskim kalupom; 3 – ekstruzijsko puhanje u jednom kalupu; 4 – toplo preoblikovanje pločastog pripremkama; 5 – injekcijsko prešanje[2]

#### 5.2.4. Injekcijsko prešanje

Postupak injekcijskog prešanja pogodan je za izradu dijelova od materijala iz skupina plastomera, duromera i elastomera. Nužnu opremu za taj postupak čine stroj, ubrizgavalica koja, između ostalog ima zadatak pripreme polimerne taljevine te njezino ubrizgavanje u kalupnu šupljinu. Na slici 20. prikazan je kalup prilikom procesa prešanja plastomera: a) zatvoreni kalup; b) ubrizgavanje; c) otvoreni kalup, vađenje otpreska [2]



Slika 20. Kalup za injekcijsko prešanje plastomera [2]

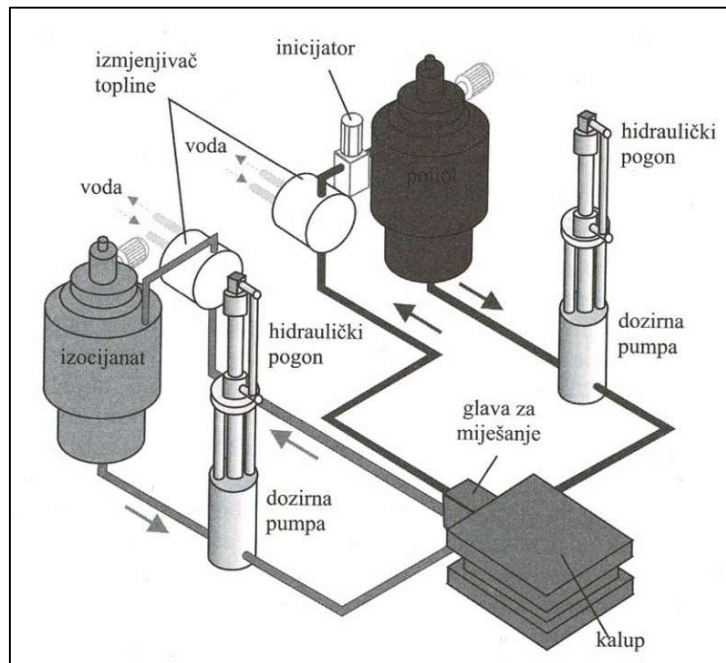
Kalup se u osnovi sastoji od dvaju pomičnih dijelova koji, kada su zatvoreni, odnosno međusobno sklopljeni, tvore šupljinu koja u potpunosti definira geometriju budućeg proizvoda. Radi kontrole zagrijavanja i sprečavanja toplinske razgradnje polimera ili njegove prerane polimerizacije, temperatura stijenke kalupne šupljine mora se održavati u propisanim granicama. Zbog toga se kalup temperira vodom ili uljem koji cirkuliraju kroz posebne u njemu izrađene kanale i provrte za temperiranje. Dodavanjem raznih pomičnih umetaka i jezgri u kalup moguće je oblikovati i vrlo komplicirane i složene proizvode, ali to dovodi do znatnog poskupljivanja samog kalupa i potrebe za dodatnom opremom kojom se upravlja tim dodacima. Tlakovi koji se javljaju u kalupnoj šupljini mogu narasti do 200 Mpa, a hrapavost površine koja se može postići injekcijskim prešanjem je  $Ra\ 0.02 - 0.04\ \mu m$ . Visoka cijena elemenata sustava za injekcijsko prešanje zahtijeva velike količine proizvoda kako bi se takvo ulaganje moglo opravdati, tako da se broj proizvoda u seriji u pravilu kreće od nekoliko desetaka tisuća komada do nekoliko milijuna. [2]

#### 5.2.5. Reakcijsko injekcijsko prešanje

Ovaj postupak predstavlja modifikaciju osnovnog procesa injekcijskog prešanja, a najčešće se njime izrađuju proizvodi od poliuretanskih, epoksidnih i poliamidnih materijala. Reakcijsko injekcijsko prešanje je i bolje prilagođeno radu s duromernim materijalima koje osnovnim injekcijskim prešanjem nije moguće praoblikovati. U kalupnu se šupljinu kroz dvije



blisko smještene mlaznice ubrizgavaju dva osnovna reaktivna sastojka (izocijanat i polioli, slika 21.) pri čemu dolazi do turbulentnog strujanja, njihovog međusobnog miješanja i polimerizacije. Glavna karakteristika kod ovog postupka je niska viskoznost kapljevine zbog čega se za ispunjavanje kalupa koriste znatno manji pritisci nego kod injekcijskog prešanja, a iznose 0.35 – 0.5 Mpa. Budući da se u ovom postupku kalup ispunjava kapljevnom, potrebno ga je puniti od dna prema vrhu kako bi se spriječilo zadržavanje zraka u nekim njegovim dijelovima. Zbog oslobađanja topline prilikom polimerizacije kalupi se, radi dobrog hlađenja, izrađuju od metala. Time se lakše održava propisano temperaturno polje i sprečava preuranjeno reagiranje polimernih sastojaka u kalupu. Ovim se postupkom najčešće izrađuju veći proizvodi kao što su automobilski odbojnici, kontrolne ploče i razna kućišta. Na slici 21. prikazana je shema postrojenja za reakcijsko injekcijsko prešanje poliuretana. [2]

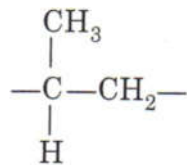


Slika 21. Postrojenje za reakcijsko injekcijsko miješanje poliuretana [2]

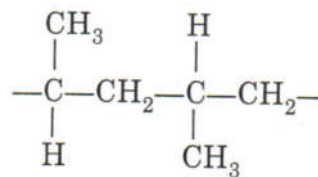
## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

### 6.1. OPIS MATERIJALA - POLIPROPILEN (PP)

Polipropilen je plastomer linearnih makromolekula s ponavljanim jedinicama  $--CH(CH_3)--CH_2--$ . Strukture makromolekula polipropilena razlikuju se s obzirom na steričku orijentaciju metilnih skupina. Tada stereoponavljane jedinice mogu biti izotaktne ili sindiotaktne (Slika 22.), dok se polipropilen bez stereoponavljanih jedinica naziva ataktni polipropilen. [1]



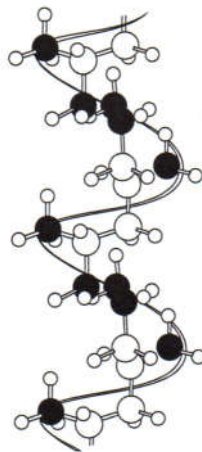
a) Izotaktne



b) Sindiotaktne

Slika 22. Strukture makromolekula polipropilena [1]

Poželjno je da polipropilen sadrži što veći udio izotaktne strukture jer tada lanci makromolekula tvore spiralnu, vijčanu konformaciju koja pogoduje procesu kristalizacije, što je i preduvjet dobrim svojstvima polipropilena. (Slika 23.) [1]



Slika 23. Vijčana konformacija izotaktnog polipropilena [1]

Komercijalni polipropilen sadrži do 90% izotaktnih sekvencija sa stupnjem kristalnosti 60-70%, što ovisi i o ranijoj toplinskoj obradbi (proizvodna prošlost). Polipropilen je jedan od najlakših polimernih materijala, gustoća mu je 0.90-0.91 g/cm<sup>3</sup>, također ima i visoko talište, 160-170 °C, koje omogućuje njegovu upotrebu u relativno širokom temperaturnom području. S povećanim udjelom ataktne strukture smanjuje se tvrdoća, čvrstoća, gustoća, krutost, postojanost izmjera i tecljivost taljevine polipropilena. Mnoga svojstva polipropilena slična su svojstvima polietilena visoke gustoće (PEHD). Međutim, polipropilen ima višu tvrdoću i vlačnu čvrstoću, elastičniji je, prozirniji i sjajniji uz podjednaku propusnost za plinove i pare. Nedostatak polipropilena je malen udarni rad loma, posebno pri niskim temperaturama. Čisti

polipropilen izvrstan je električni izolator zahvaljujući nepolarnom karakteru makromolekula, vrlo je postojan prema djelovanju vode, organskih otapala, maziva i anorganskih kemikalija. Međutim, nepostojan je prema jakim oksidansima pa je podložan oksidacijskoj razgradnji. [1]

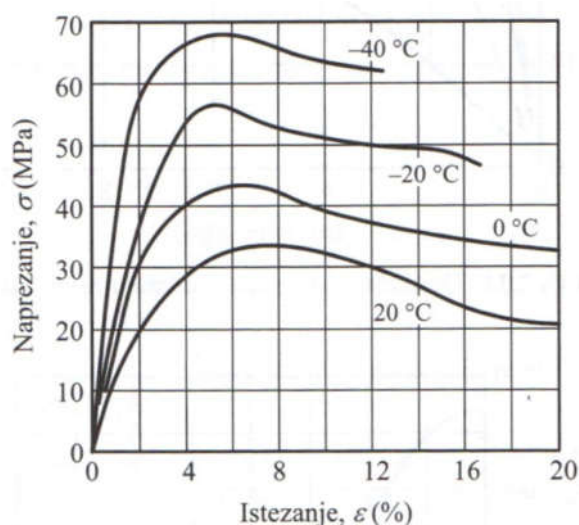
Za proizvodnju polipropilena postoji nekoliko tehničkih postupaka, koji se razlikuju vrstom katalizatora, medijem polimerizacije, načinom kontrole molekulnih masa i načinom uklanjanja ataktnog polimera. Svaki se postupak sastoji od nekoliko faza: pripreve katalizatora, polimerizacije te uklanjanja ataktnog proizvoda, ostatka katalizatora i otapala. Raznolike mogućnosti primjene polipropilena proizlaze iz njegovih uravnoteženih svojstava, mogućnosti kopolimerizacije, modifikacije i lakoće preradbe. Za razliku od drugih poliolefina, polipropilen lagano tvori kompozitne materijale s anorganskim punilima. U praksi se polipropilen najčešće upotrebljava kao vlaknasti materijal, a zatim kao plastomer. [1]

### SVOJSTVA POLIPROPILENA:

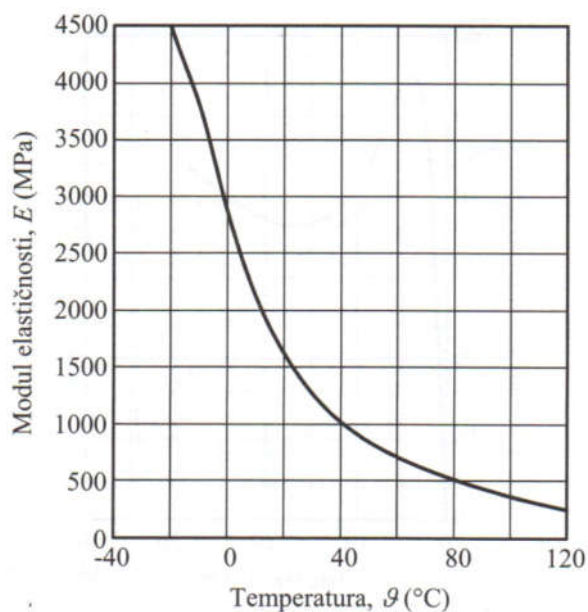
Tablica 8. Svojstva polipropilena

Polipropilen (PP)			
Struktura:	Granične temperature primjene:	Svojstva:	Primjena:
kristalasta $\vartheta_g \approx 5^\circ\text{C}$ $\vartheta_m \approx 160\text{-}165^\circ\text{C}$	kratkotrajno $\approx 140^\circ\text{C}$ dugotrajno $\approx 90^\circ\text{C}$	Dobra mehanička svojstva, postojanost na korozivne kemijske utjecaje, dobra električka svojstva, povećana sklonost krhkom lomu pogotovo pri niskim temperaturama.	Razni spremnici, cijevi i cijevni spojevi, dijelovi kućanskih aparata.

Ovisnost napreznja o istezanju i modula elastičnosti o temperaturi prikazane su na slikama 24 i 25.



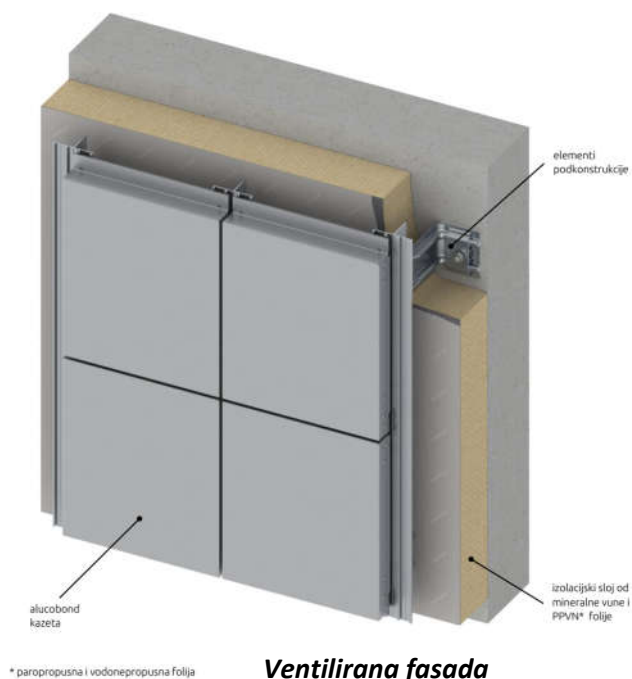
Slika 24. Ovisnost napreznja o istezanju [2]



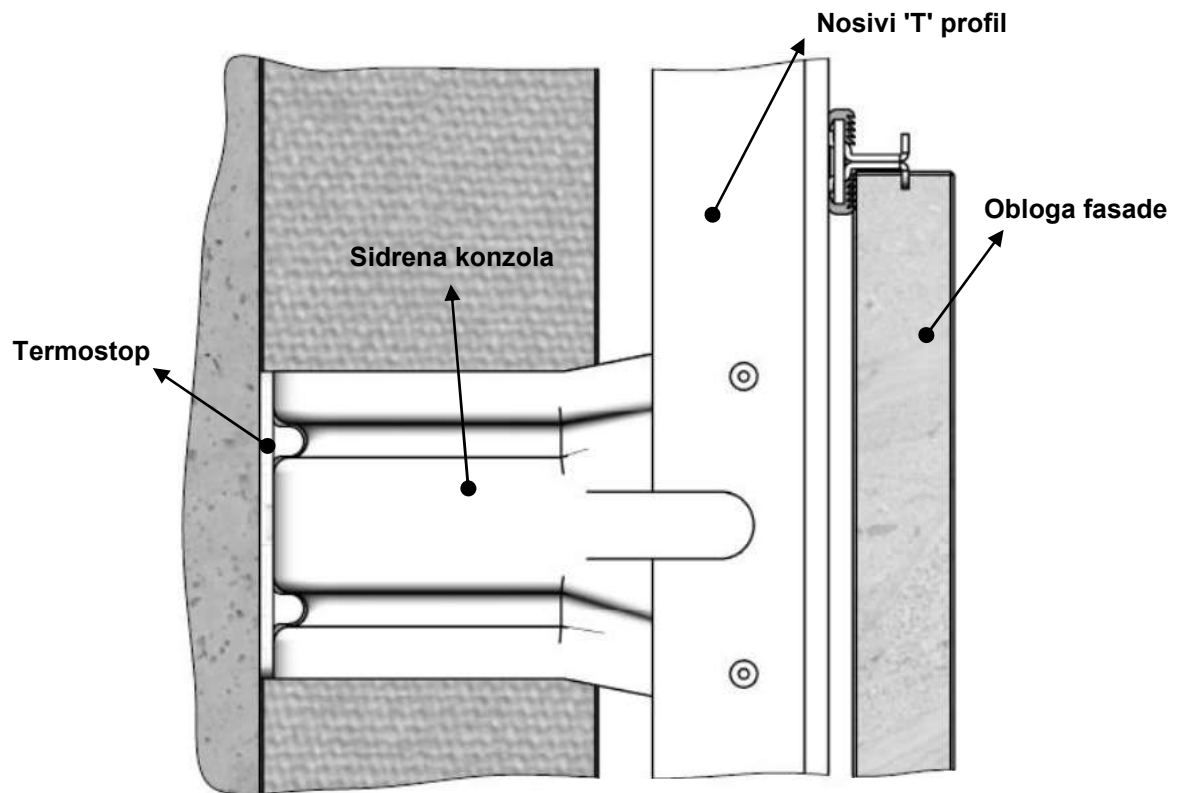
Slika 25. Ovisnost modula elastičnosti o temperaturi PP [2]

## 6.2. POSTUPAK PROIZVODNJE TERMOSTOPA IZ POLIPROPILENA(PP)

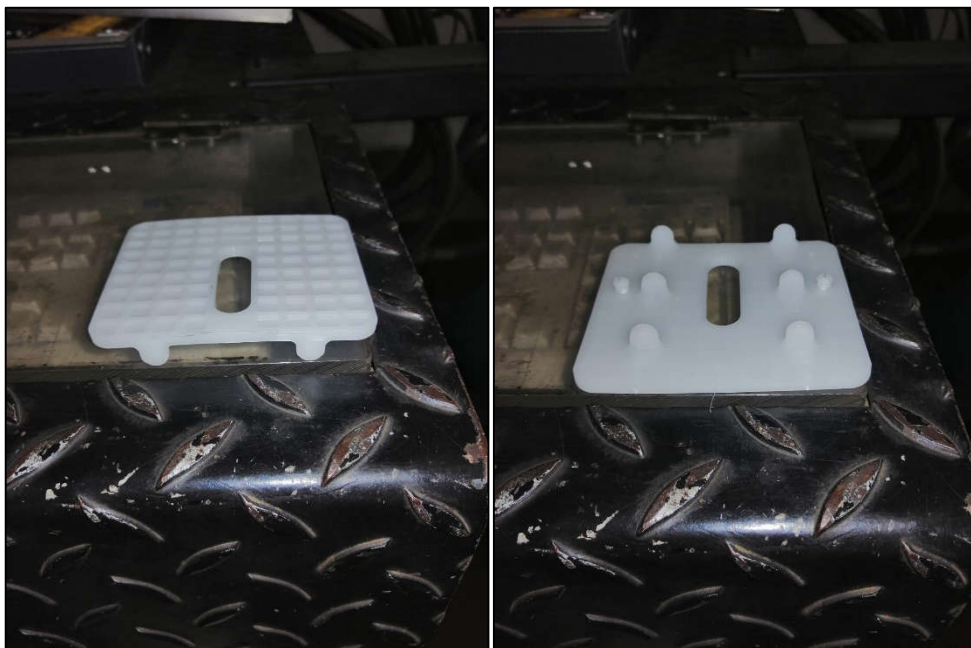
Spomenuti proizvod od polipropilena čiji se postupak proizvodnje opisuje u ovom radu, tzv. termostop, konkretno se koristi u graditeljstvu kod montaže ventiliranih fasada. Točnije, njegova svrha je prekid 'hladnog mosta' između konzole na koju je fiksirana podkonstrukcija ventilirane fasade (slika 26.) i zida na kojem se ta konzola nalazi (zid kuće, zgrade). Dakle, termostop se spaja sa sidrenom konzolom te se zajedno s njom fiksira vijkom na zid. (slika 27.)



Slika 26. Prikaz ventilirane fasade



Slika 27. Prikaz detalja podkonstrukcije ventilirane fasade



Slika 28. Termostop (gotovi proizvod)

Faze procesa:

- paljenje stroja te dovođenje na radnu temperaturu,
- priprema sirovog materijala te usipavanje u lijevak,
- grijanje polipropilena u tri zone,
- brizganje polipropilena pužnim vijkom te pritiskom iz hidromotora u kalup,
- nakon punjenja kalupa i hlađenja, gotovi komad se izbacuje iz kalupa/stroja.

Ovaj gotov proizvod se izrađuje na ekstruderu marke Battenfeld kojim se numerički upravlja. Sirovi materijal polipropilena koji se koristi za izradu termostopa je pakiran u vrećama od 25 kg te granule koje se usipavaju u lijevak ekstrudera imaju pretežno sferni oblik te oblik zrna riže veličine 3-4 mm. Dakle možemo reći da je prvi korak u ovom procesu, paljenje stroja te dovođenje istog na radnu temperaturu, a nakon toga usipavanje sirovog materijala u lijevak stroja.



Slika 29. Ekstruder Battenfeld

Na sljedećim slikama je pobliže prikazan sirovi materijal te dio stroja u koji se isti usipava prije taljenja i brizganja u kalup.



Slika 30. Pakiranje sirovog polipropilena

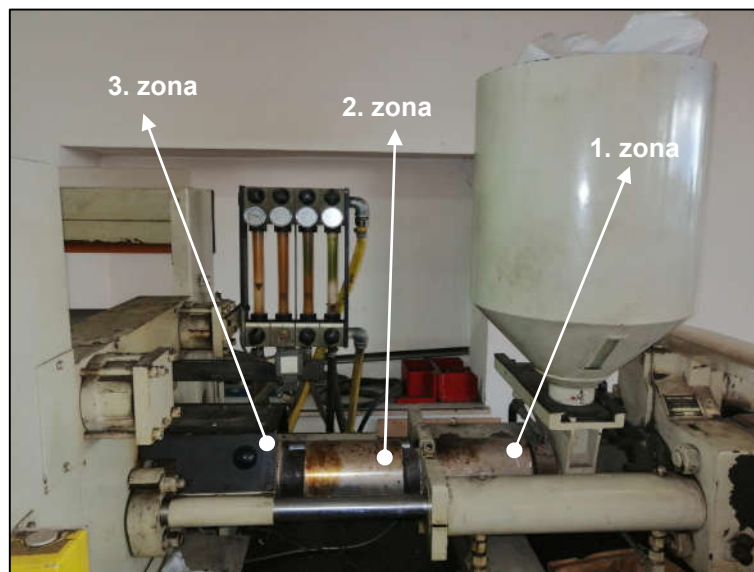


Slika 31. Granule polipropilena



Slika 32. Lijevak ekstrudera

Nakon usipanja sirovog materijala u lijevak, granule polipropilena ulaze u cilindar sa pužnim vijkom koji se sastoji od tri zone koje se griju, ali na različitim temperaturama. Tri zone grijanja su zbog toga da se materijal jednolikim zagrijavanjem te istodobno i taljenjem pužnim vijkom dovede do alata, a da se pritom ne ošteti pužni vijak u cilindru što bi bio slučaj da se materijal odmah u prvoj fazi zagrije do točke tališta. (slika 33.)

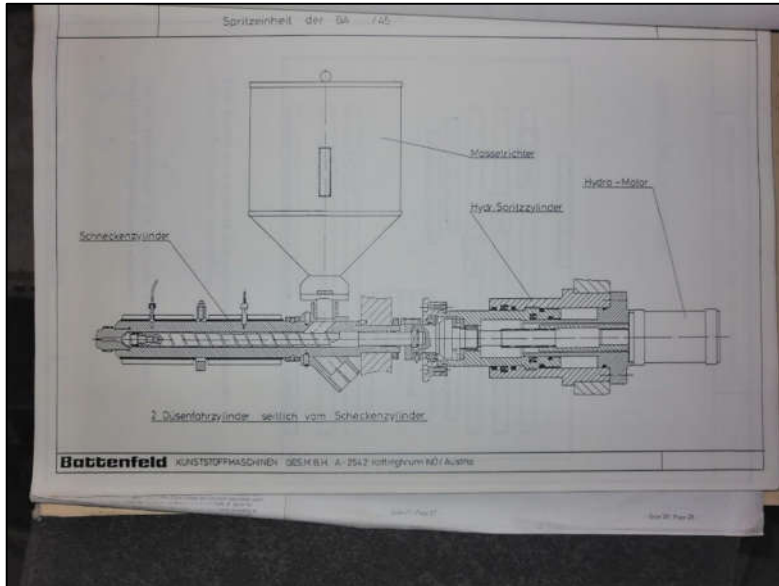


Slika 33. Tri zone grijanja na cilindru sa pužnim vijkom

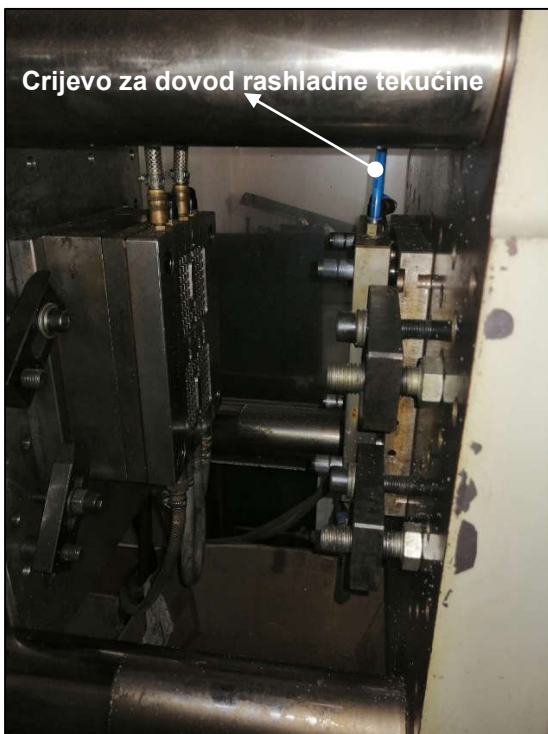
U prvoj zoni grijanja cilindra, materijal se grije na temperaturi od 90 do 100°C, ta prva zona se istovremeno i hladi da bi materijal u idealnom stanju, preko pužnog vijka stigao do druge zone grijanja. U drugoj zoni materijal se grije na temperaturama od 120 do 150°C dok se u trećoj zoni materijal grije na temperaturi od 150 do 200°C. Iz treće zone grijanja materijal



preko brizgalice ulazi u kalup koji se također hladi te poprima konačni oblik. Hlađenje prve zone cilindra sa pužnim vijkom te kalupa je vodom. Ovaj se cijeli proces vrši preko hidrauličnog pogona, a tlak u cilindru je oko 60 bara za ovaj proizvod. Cijeli proces izrade jednog termostopa traje otprilike 45-50 sekundi. Na kraju procesa se gotovi proizvod iz alata izbacuje hidraulično. Na slici 35. i 36. je prikazan kalup u koji se brizga polipropilen te se iz njega dobiva gotovi, željeni proizvod. Prikazan je u otvorenom i zatvorenom načinu.



Slika 34. Presjek ekstrudera



Slika 35. Prikaz otvorenog alata



Slika 36. Prikaz zatvorenog alata



Slika 37. Gotov proizvod sa viškom materijala



Slika 38. Drobilica



Slika 39. Gotov proizvod - *TERMOSTOP*

Nakon završenog procesa, dobije se kao što je prije spomenuto gotov proizvod, ali on na sebi ima višak materijala. Taj višak materijala ostaje na njemu od uljevnih kanala, on se kida, a nakon kidanja se baca u drobilicu (slika 38.) gdje se melje te se u sljedećim procesima miješa sa novim materijalom od 10 do 15% od ukupne mase novog materijala. Veći omjer miješanja previše bi utjecao na mehanička i kemijska svojstva zbog čega bi svojstva bila nepovoljna.

## 7. ANALIZA

Materijal za proizvodnju termostopa, polipropilen (PP) se u procesu proizvodnje pojavljuje u dva agregatna stanja. U krutom stanju, u obliku granula se nalazi u lijevku stroja, a u tekućem se nalazi u cilindru ekstrudera koji se grije u tri zone. Krute granule ulaze u prvu zonu grijanja cilindra na temperaturu od 50 do 80°C gdje se materijal počinje topiti te nakon toga ulazi u drugu zonu grijanja koja se grije na temperaturi od 150°C, a nakon druge zone ulazi u treću zonu koja se grije na 180°C. Polipropilen se u ovom postupku grije postepeno u tri zone da bi se spriječilo izgaranje materijala i postigla se homogena smjesa kojom se dobiva željeni oblik gotovog proizvoda.

S obzirom na to koliko je postupak dobar i isplativ još uvijek postoji mjesto za poboljšanje. Dakle teži se tome da iz procesa izlazi gotov proizvod bez otpada (uljevnih kanala), a to se može postići sistemom brizganja preko toplinskih brizgalica gdje nema uljevnih kanala pa stoga nema ni otpada.

Termostop se, kao gotovi proizvod koristi isključivo u građevini kod montaže ventiliranih fasada. On se spaja s konzolom koja se fiksira na zid radi prekida termičkog mosta.

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu naglasak se stavio na svojstva i strukturu polimernih materijala. Oni imaju različita svojstva te se njihove karakteristike mogu poboljšati na vrlo jednostavan način dodavanjem različitih dodataka.

U eksperimentalnom dijelu gdje se opisivao kompletni postupak proizvodnje termostopa iz polipropilena, vidi se da ima mjesta za poboljšanja jer se na gotovom proizvodu nalazi višak materijala koji ostaje od uljevnih kanala. Taj višak materijala se mora kidati te nakon toga drobiti u drobilici da bi se opet mogao koristiti u daljnjim procesima. Dakle, što se tiče viška materijala na gotovom proizvodu još se uvijek može unaprijediti proces koji bi davao proizvod bez otpada što bi značilo potpuno iskorištenje sirovog materijala.

Široka primjena polimera u današnjoj industriji i životu može svrstati polimere u materijale budućnosti, koji zbog svojih svojstava, male gustoće te relativno lake prerade gdje se mogu dobiti proizvodi veoma zahtjevne geometrije, sve češće zamjenjuju materijale kao što su drvo, metal i keramika.

## LITERATURA

- [1] Zvonimir Janović: Polimerizacije i polimeri, 1997.
- [2] Mladen Šercer, Božidar Križan, Robert Basan: Konstruiranje polimernih proizvoda, 2009.
- [3] Raos, Pero; Šercer, Mladen: Teorijske osnove proizvodnje polimernih tvorevina, Slavonski Brod/Zagreb: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2010
- [4] Bonato, J., Šabalja, Đ.: Tehnologijski razvoj i prve primjene polimernih materijala, Scientific Journal of Maritie Research, 26/2(2012), str./pp.307-31
- [5] Hrvatska tehnička enciklopedija: 10.svezak, 1986.
- [6] Tihana Kostadin: Interna skripta, Prerada polimera
- [7] Emi Govorčin Bajsić: Interna skripta, Prerada polimera, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2017.