

# UTJECAJ BROJA PRERADA NA SVOJSTVA MATERIJALA

---

**Brek, Ines**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**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:128:116507>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-08**



**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 REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA  
PROIZVODNO STROJARSTVO

INES BRLEK

**PROMJENA SVOJSTAVA POLIMERNIH  
MATERIJALA U ODNOSU  
NA BROJ PRERADA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2020.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA  
PROIZVODNO STROJARSTVO

INES BRLEK

**PROMJENA SVOJSTAVA POLIMERNIH  
MATERIJALA U ODNOSU  
NA BROJ PRERADA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr.sc.Tihana Kostadin, mag.ing.mech.

KARLOVAC, 2020.

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> Trg J.J. Strossmayera 9 HR - 47000, Karlovac, Croatia Tel. +385 - (0)47 - 843-500 Fax. +385 - (0)47 - 843-503 e-mail: dekanat @ vuka.hr	Klasa: 602-11/18-01/ ____  Ur.broj: 2133-61-04-18-01	
	<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>	Datum:	

Ime i prezime	INES BRLEK		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta			
JMBAG			
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)		preddiplomski	<b>Xspecijalistički diplomski</b>
Naziv studija	STROJARSTVO		
Godina upisa	2018.		
Datum podnošenja molbe	13.10.2020.		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: UTJECAJ BROJA PRERADA NA SVOJSTVA MATERIJALA	
Naslov teme na engleskom: INFLUENCE OF THE NUMBER OF TREATMENTS ON THE MATERIAL PROPERTIES	
<p><b>Opis zadatka:</b> Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela. U teorijskom dijelu potrebno je opisati materijale polipropilen (PP) i polietilen visoke gustoće (PE-HD). Također obraditi ispitivanje indeksa tečenja polimernih materijala i ispitivanje vlačne čvrstoće. U eksperimentalnom dijelu rada ispitati uzorke iz navedenih materijala i to iz originalnog materijala, te regenerirati do određenog broja prerada. Napraviti ispitivanje vlačne čvrstoće i indeksa tečenja materijala u skladu sa planom ispitivanja. Napraviti analizu rezultata i odgovarajući zaključak. Rad urediti prema pravilima VUK.</p>	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ja – studentica Ines Brlek, OIB 70656238390, matični broj: 0248074495, radila ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Dr.sc.Tihane Kostadin, mag.ing.mech. kojoj se ovim putem zahvaljujem.

Zahvaljujem se tvrtki DW Reusables na velikoj pomoći i susretljivosti u izradi ovog završnog rada.

Ines Brlek

---

Karlovac, 7.12.2020.

## **SAŽETAK**

Zbog niske cijene, mogućnosti recikliranja i jednostavne prerade, polimerni materijali danas imaju vrlo široku primjenu u svakodnevnom životu ljudi te mogućnost recikliranja, odnosno ponovne upotrebe.

Tema ovog završnog rada je Promjena svojstava polimernih materijala u odnosu na broj prerada. U prvom dijelu rada ukratko je opisana građa i vrste polimernih materijala te njihova svojstva.

U eksperimentalnom dijelu rada pristupilo se statičkom vlačnom pokusu na ispitnim uzorcima, epruветama od PEHD (polietilen visoke gustoće) i PP (polipropilen) u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu te ispitivanju indeksa tečenja originala i regenerata u tvornici DW Reusables, Vojnić.

Nakon provedenog ispitivanja, napravljena je analiza vlačne čvrstoće i indeksa tečenja polaznih ispitnih uzoraka te uzoraka koji su prošli određeni broj prerada.

**Ključne riječi** : polimerni materijali, vlačna čvrstoća, indeks tečenja.

## **SUMMARY – INFLUENCE OF THE NUMBER OF TREATMENTS ON THE MATERIAL PROPERTIES**

Today, polymeric materials have a very broad application in peoples everyday lives due to low cost, recyclability and easy processing methods.

The topic of this final paper is about the change of polymeric material properties in relation to the number of treatments.

The first part of the paper briefly describes the structure and types of polymeric materials and their properties.

In the experimental part of the paper, a tensile strenght test was preformed on test specimens, tubes of PEHD (high density polypropylene) and PP (polyproplene) in the laboratory of the Polytechnic of Karlovac and the testingt of the melt flow rate in the factory DW Reusables, Vojnić.

After the test had been carried out, an analysis of tensile strenght and flow indeks of the initial test samples and samples, that had undergone a number of treatments, was performed.

**Keywords** : polymeric materials, tensile strength, melt flow rate.

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

POPIS OZNAKA

1. UVOD .....	1
2. POVIJESNI RAZVOJ POLIMERNIH MATERIJALA .....	2
3. POLIMERNI MATERIJALI .....	4
3.1. Strukturne karakteristike polimera .....	4
3.1.1. Mikrostruktura polimera .....	5
3.1.1.1. Uređenost makromolekula .....	5
3.1.1.2. Vrste monomera u makromolekuli .....	6
3.1.1.3. Građa makromolekula .....	7
3.1.2. Nadstruktura polimera – vrste .....	8
3.1.2.1. Plastomeri .....	10
3.1.2.2. Elastomeri .....	11
3.1.2.3. Duromeri .....	12
4. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA .....	14
4.1. Mehanička svojstva .....	15
4.2. Toplinska svojstva .....	20
4.3. Tribološka svojstva .....	23
4.4. Kemijska svojstva .....	23
4.5. Električna svojstva .....	23
4.6. Preradbena svojstva .....	24



4.6.1. Reološka svojstva .....	24
5. POSTAVKA ZADATKA .....	29
6. EKSPERIMENTALNI DIO .....	30
6.1. Uvod u eksperimentalni dio - opis materijala.....	30
6.1.1. Polipropilen (PP) .....	30
6.1.2. Polietilen visoke gustoće (PEHD).....	32
6.2. Izrada ispitnih uzoraka - epruveta .....	34
6.3. Označavanje ispitnih uzoraka .....	36
6.4. Plan ispitivanja .....	38
6.4.1. Ispitivanje indeksa tečenja (MFR) .....	40
6.4.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće (RM) .....	43
6.5. Opis opreme .....	45
6.5.1. Injekcijska preša DEMAG ERGOtech 80 .....	45
6.5.2. Mlin za mljevenje plastičnih masa MG – 200 .....	46
6.5.3. Uređaj za ispitivanje indeksa tečenja Dynisco .....	48
6.5.4. Kidalica za ispitivanje vlačne čvrstoće SHIMADZU .....	49
6.6. Rezultati ispitivanja .....	51
6.6.1. Rezultati ispitivanja indeksa tečenja (MFR) .....	51
6.6.2. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće (Rm).....	53
6.7. Analiza rezultata .....	56
6.7.1. Analiza rezultata indeksa tečenja.....	56
6.7.2. Analiza rezultata vlačne čvrstoće.....	58
7. ZAKLJUČAK .....	59
LITERATURA .....	60

## POPIS SLIKA

Slika 1. Polazni polimerni materijal - granule [2]

Slika 2. Kaučuk [4]

Slika 3. Ogrlica bakelit [5]

Slika 4. Struktura polipropilena [8]

Slika 5. Amorfna i kristalasta struktura [9]

Slika 6. Homopolimer [11]

Slika 7. Kopolimeri [12]

Slika 8. Građa makromolekula polimernih materijala [13]

Slika 9. Shematski prikaz makromolekularne strukture osnovnih skupina polimernih materijala [15]

Slika 10. Proizvod od plastomera [16]

Slika 11. Protumatica od elastomera [17]

Slika 12. Drška posuđa od duromera [18]

Slika 13. Skijaška cipela od elastoplastomera [19]

Slika 14. Makromolekularna struktura amorfnih plastomera [20]

Slika 15. Makromolekularna struktura kristalastih plastomera [21]

Slika 16. Shematski prikaz istezanja gume [22]

Slika 17. Shematski prikaz umrežavanja duromera [23]

Slika 18. Dijagram naprežanja-istezanje glavnih skupina polimernih materijala [14]

Slika 19. Dijagram naprežanje - istezanje kristalastih plastomera [14]

Slika 20. Određivanje modula elastičnosti polimernih materijala pri vlačnom opterećenju u uvjetima kratkotrajnog opterećenja [14]

Slika 21. Ponašanje polimernih materijala pri dugotrajnom nepromjenjivom statičkom opterećenju [14]

Slika 22. Ponašanje polimernih materijala pri dinamičkom opterećenju [14]

Slika 23. Analiza podataka iz tablice 6 [14]

Slika 24. Slojevi fluida koji se gibaju jedan preko drugog [28]

Slika 25. Krivulja protoka Newtonovog fluida [28]

Slika 26. Krivulja viskoznosti Newtonovog fluida [28]

Slika 27. Krivulja protoka ne-Newtonovog fluida [28]

Slika 28. Krivulja viskoznosti ne-Newtonovog fluida [28]

Slika 29. Polimerizacija propilena u polipropilen [31]

Slika 30. Proizvodi od polipropilena [32,33]

Slika 31. Polimerizacija etena u polietilen [34]

Slika 32. PE-HD cijevi [36]

Slika 33. Nosiljka za staklenu ambalažu od PE-HD [37]

Slika 34. Epruveta – ispitni uzorak polipropilena

Slika 35. Standard za izradu epruveta ISO 527-2

Slika 36. Označavanje ispitnih uzoraka – epruveta iste faze prerade

Slika 37. Shema plana ispitivanja

Slika 38. Faze prerade pripremljene za ispitivanje indeksa tečenja i vlačne čvrstoće

Slika 39. Uređaj za mjerenje indeksa tečenja

Slika 40. Shema mjerenja indeksa tečenja [39]

Slika 41. Utiskivanje polimera u otvor uređaja za mjerenje MFR-a

Slika 42. Enkoder

Slika 43. Postavljanje ispitnog uzorka u čeljusti kidalice

Slika 44. Opterećenje ispitnog uzorka

Slika 45. Kidanje ispitnog uzorka

Slika 46. Injekcijska preša DEMAG ERGOtech 80 – 200 NC 4

Slika 47. Mlin za usitnjavanje plastičnih masa MG – 200

Slika 48. Uređaj za ispitivanje indeksa tečenja Dynisco LMI 4000

Slika 49. Kidalica Schimadzu AG – X plus

Slika 50. Grafički prikaz indeksa tečenja za polipropilen

Slika 51. Grafički prikaz indeksa tečenja za polietilen visoke gustoće

Slika 52. Grafički prikaz vlačne čvrstoće polipropilena

Slika 53. Grafički prikaz vlačne čvrstoće polietilena visoke gustoće

Slika 54. Izgled ispitnog uzorka polipropilena sa previsokim indeksom tečenja

Slika 55. Izgled ispitnog uzorka polietilena sa preniskim indeksom tečenja

Slika 56. Grafički prikaz usporedbe indeksa tečenja polipropilena i polietilena visoke gustoće

Slika 57. Grafički prikaz usporedbe vlačne čvrstoće polipropilena i polietilena visoke gustoće

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Primjeri češće korištenih polimera [24]

Tablica 2. Pregled svojstava polimernih materijala [14]

Tablica 3. Pregled mehaničkih svojstava [14]

Tablica 4. Opis ponašanja ispitnog tijela od kristalastog plastomera pri vlačnom opterećenju [14]

Tablica 5. Vrijednosti modula elastičnosti polimernih materijala [14]

Tablica 6. Kritična istezanja nekih polimernih materijala [14]

Tablica 7. Označavanje ispitnih uzoraka

Tablica 8. Rezultati ispitivanja indeksa tečenja za propilen (PP)

Tablica 9. Rezultati ispitivanja indeksa tečenja za polietilen visoke gustoće (PEHD)

Tablica 10. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće za polipropilen (PP)

Tablica 11. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće za polietilen visoke gustoće (PEHD)

## POPIS OZNAKA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	ZNAČENJE
$\varepsilon$	mm/mm	istežanje ili relativno produljenje
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	naprezanje
$E$	N/mm <sup>2</sup>	modul elastičnosti
$p$	Pa	tlak
$R_e$	N/mm <sup>2</sup>	granica razvlačenja
$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća
$a$	mm	duljina epruvete
$b$	mm	širina epruvete
$B$	mm	širina glave epruvete
$h$	mm	visina glave epruvete
$L_c$	mm	ispitna duljina epruvete
$L_0$	mm	ukupna duljina epruvete
ABS	-	Akrilni butadien stiren
EU	-	Tetrasulfatni kaučuk
CA	-	Celulozni acetat
CN	-	Celulozni nitrat
CR	-	Polikloroprenski kaučuk
EP	-	Epoksilna smola
NBR	-	Akrilonitril /akrilatni kaučuk
NR	-	Prirodni kaučuk
PA	-	Poliamid

PBT	-	Poli (buten-tereftalat)
PC	-	Polikarbonat
PE	-	Poliетен
PEEK	-	Poli (eter-eter-keton)
PET	-	Poli(етен-tereftalat)
PF	-	Fenol formaldehidna smola
PI	-	Poliimid
PB	-	Polibuten
PIB	-	Poliizobuten
PMMA	-	Poli(metil-metakrilat)
POM	-	Poli(oksimetilan)
PP	-	Polipropilen
PPO	-	Poli(fenilen-oksid)
PPS	-	Poli( fenilen-sulfid)
PS	-	Polistiren
PTFE	-	Poli(tetrafluoretilen)
PUR	-	Poliuretan
PVC	-	Polivinil klorid
PVOH	-	Poli(vinil-alkohol)
SAN	-	Stiren/akrilonitrilna plastika
SBR	-	Stiren- butadienski kaučuk
TPU	-	Elastoplastomerni poliuretan
UP	-	Nezasićena poliesterska smola
$\alpha$	$K^{-1}$	Toplinska rastezljivost

$\gamma$	$K^{-1}$	Toplinsko širenje
$c_p$	$J/KgK$	Specifični toplinski kapacitet
$\lambda$	$W/mK$	Toplinska provodnost
$a$	$m^2/s$	Toplinska difuznost
$b$	$Ws^{1/2}m^{-2}K^{-1}$	Toplinska prodornost
$MFR$	$g/min$	Indeks tečenja (brzina protoka taline)



## 1. UVOD

Tokom 20.-tog stoljeća dolazi do naglog rasta i razvitka polimernih materijala, najprije prirodnih kasnije i sintetičkih. Oni postaju nezamjenjivi i imaju široku primjenu, od proizvodnje igračaka i različitih vrsta cijevi, pa sve do dijelova aviona i medicinskih implantata. Uz metal, drvo, keramiku i staklo, oni su jedna od najzastupljenijih vrsta materijala koja se koristi. Razlog naglog rasta i primjene leži u niskoj cijeni osnovnog materijala, jednostavnoj proizvodnji i adekvatnim svojstvima, a to su: mala gustoća, otpornost na koroziju, dobra sposobnost oblikovanja, dobra klizna svojstva, dobra mehanička svojstva, otpornost na većinu kiselina i lužina, većina ih ne provodi električnu struju i toplinu, pa se koriste kao izolatori.

Pravilno zbrinjavanje polimernog otpada i zaštita okoliša poprima sve veću važnost u današnjem svijetu, te se recikliranje (oporaba) gleda kao vrlo važno područje industrije polimernih materijala. Sve veći značaj dobiva sortiranje polimernog otpada i ponovna prerada u nove gotove proizvode, kao i brojna istraživanja usmjerena u razgradive biopolimere.[1]



Slika 1. Polazni polimerni materijal – granule [2]

## 2. POVIJESNI RAZVOJ POLIMERNIH MATERIJALA

Korištenje polimernih materijala zabilježeno je još u davnoj povijesti kad je čovjek koristio prirodne polimere kao što je vuna, koža, drvo, kaučuk, pamuk, za odjeću, obuću, kao građevinski materijal, oružje, nakit. Kaučuk je bio poznat Američkom stanovništvu puno prije dolaska Europljana.[1]

U 19. i 20. stoljeću dolazi do razvoja sintetskih polimera koji se dobivaju kemijskim procesima polimerizacije.

Henri Braconnot, 1818. godine pronalazi derivat celuloznih spojeva, no kad je 1839. godine Charles Goodyear zagrijavanjem kaučuka i sumpora dobio gumu, započinje proces vulkanizacije čime je omogućena veća primjena kaučuka i gume. U Njemačkoj je proizveden prvi sintetski kaučuk, buna. [3]



Slika 2. Kaučuk [4]

Na slici 2. prikazano je dobivanje prirodnog polimernog materijala, kaučuka.

1845. godine, Cristian Schonbein, njemački kemičar, dobiva nitrat celuloze iz mješavine dušične kiseline, pamuka te sumporne kiseline i dobiva nitrocelulozu za proizvodnju eksploziva. [3]

1855. godine Aleksander Parkes dobiva perkezin, umjetnu smolu iz mješavine nitroceluloze i kamfora, koji se koristi za proizvodnju dugmadi, olovaka, češljeva.

1907. godine, Leo Baekeland stvara prvi potpuno sintetski proizvod bakelit, reakcijom fenola i formaldehida.



Slika 3. Ogrlica bakelit [5]

Na slici 3. prikazan je proizvod od bakelita.

1922. godine Herman Staudinger je predložio teoriju po kojoj se polimer sastoji od dugih lanaca atoma povezanih kovalentnim vezama (Nobelova nagrada).

1934. godine Wallace Carothersa, kondenzacijskom polimerizacijom dobiva najlon.

1963. godine, talijanski kemičar Giulio Natta i njemački kemičar Karl Ziegler dobivaju Nobelovu nagradu za Zeigler-Natta katalizator.

1974. godine, Paul Flory, čiji je rad na polimerima uključivao kinetiku stupnjevite reakcije polimerizacije i lančane reakcije polimerizacije, dobiva Nobelovu nagradu.[3]

### 3. POLIMERNI MATERIJALI

Polimerni materijali su makromolekule nastale međusobnim povezivanjem (kovalentnim vezama) istovrsnih jedinica monomera koji se ponavljaju po nekom pravilu. Nastaju reakcijom polimerizacije, odnosno kemijskim povezivanjem monomera.

Porijeklo riječi :

POLIMER (grč. poly=mnogo + meros=dio),

MONOMER (grč.monos=sam + meros=dio).

Prema postanku polimeri se dijele na prirodne i umjetne (sintetske), prema kemijskom sastavu na organske i anorganske, te prema postupku polimerizacije (lančana ili stupnjevita), svojstvima i primjeni.[6]

#### 3.1. Strukturne karakteristike polimera

Makromolekule polimera imaju lančanu strukturu, atomi ugljika međusobno su povezani kovalentnim vezama.

Strukturne karakteristike po kojima se polimeri razlikuju od drugih materijala te jedni od drugih su :

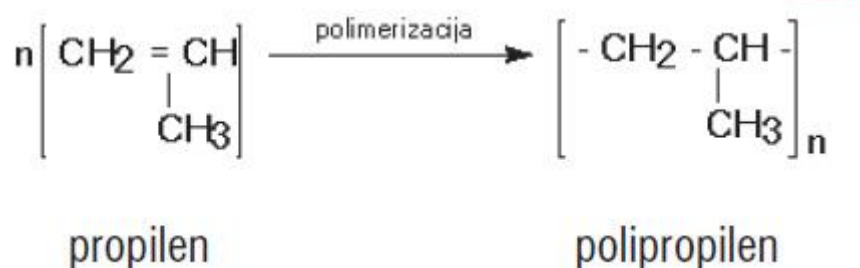
- mikrostruktura – struktura pojedinačnih makromolekula,
- nadstruktura – struktura ukupnog polimera. [7]

### 3.1.1. Mikrostruktura polimera

Mikrostrukturu pojedinačnih makromolekula polimera određuje njena :

- konstitucija – vrste i načini vezanja ponavljanih jedinica,
- konfiguracija – prostorna uređenost atoma ili grupa atoma u molekuli,
- konformacija – prostorni raspored atoma ili grupe atoma stvoren rotacijom

oko jednostruke veze. [7]

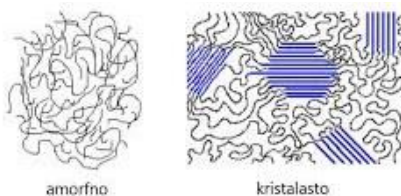


Slika 4. Struktura polipropilena [8]

#### 3.1.1.1. Uređenost makromolekula

Polimeri mogu imati različite vrste uređenosti makromolekularne strukture a to su:.

- AMORFNA struktura - struktura s nepravilno raspoređenim molekulama.
- KRISTALASTA struktura - struktura s pravilno raspoređenim molekulama.
- polimeri mogu imati različite udjele kristalne faze.



Slika 5. Amorfna i kristalasta struktura [9]

Na slici 5. prikazane su amorfna i kristalasta struktura. Naziv amorfni polimer upotrebljava se za polimere koji imaju niži oblik makromolekularne uređenosti, odnosno nemaju trodimenzionalnu kristalnu uređenost.

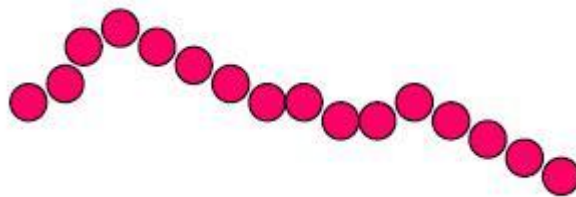
Pojam amorfan se ne može doslovno odnositi na strukturu polimera jer ona ima određeni stupanj uređenosti.

Pojam kristalasti polimer koristimo za polimere koji imaju kristalasto uređena područja u makromolekuli. [10]

### 3.1.1.2. Vrste monomera u makromolekuli

Prema vrsti monomera u makromolekuli, razlikuju se :

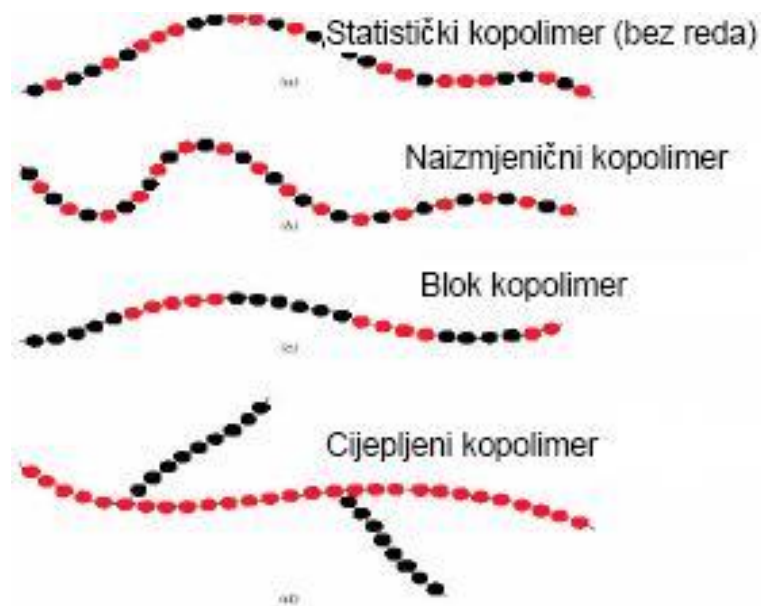
- HOMOPOLIMERI – imaju makromolekulu sastavljenu iz samo jedne vrste monomera. (slika 6.)



Slika 6. Homopolimer [11]

- KOPOLIMERI - makromolekula polimera je nastala povezivanjem dvaju ili više različitih vrsta monomera. (slika 7.) [10]



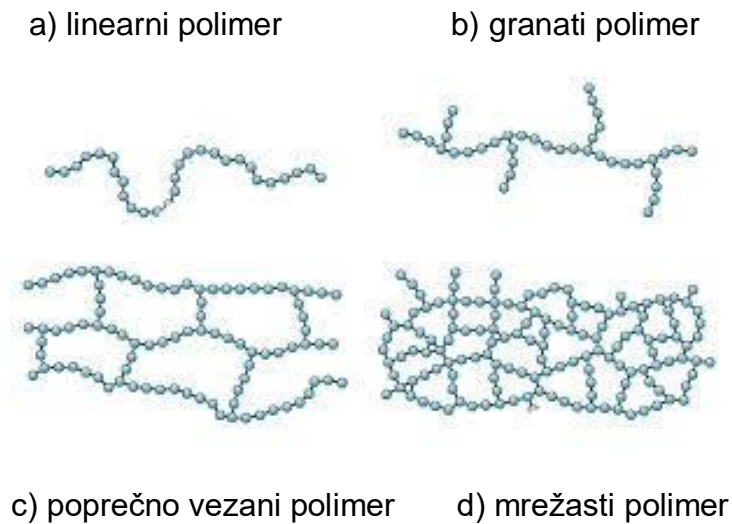


Slika 7. Kopolimeri [11]

### 3.1.1.3. Građa makromolekula

Na slici 8. prikazana je građa makromolekula polimernih materijala po kojoj oni mogu biti :

- a) LINEARNI POLIMERI - monomeri lanaca linearnih polimera povezani su kovalentnim vezama dok su lanci povezani Van der Waalsovima vezama (plastomeri).
- b) GRANATI POLIMERI - imaju mjestimično bočno odvajanje grana koje su kovalentno povezane sa osnovnim lancem (plastomeri).
- c) POPREČNO VEZANI POLIMERI - susjedni lanci ovih polimera povezani su kovalentnim vezama (elastomeri).
- d) MREŽASTI POLIMERI - prostorno umreženu strukturu ovih polimera oblikuju monomeri s tri vezna atoma ugljika (duromeri).[10]



Slika 8. Građa makromolekula polimernih materijala [13]

### 3.1.2. Nadstruktura polimera – vrste

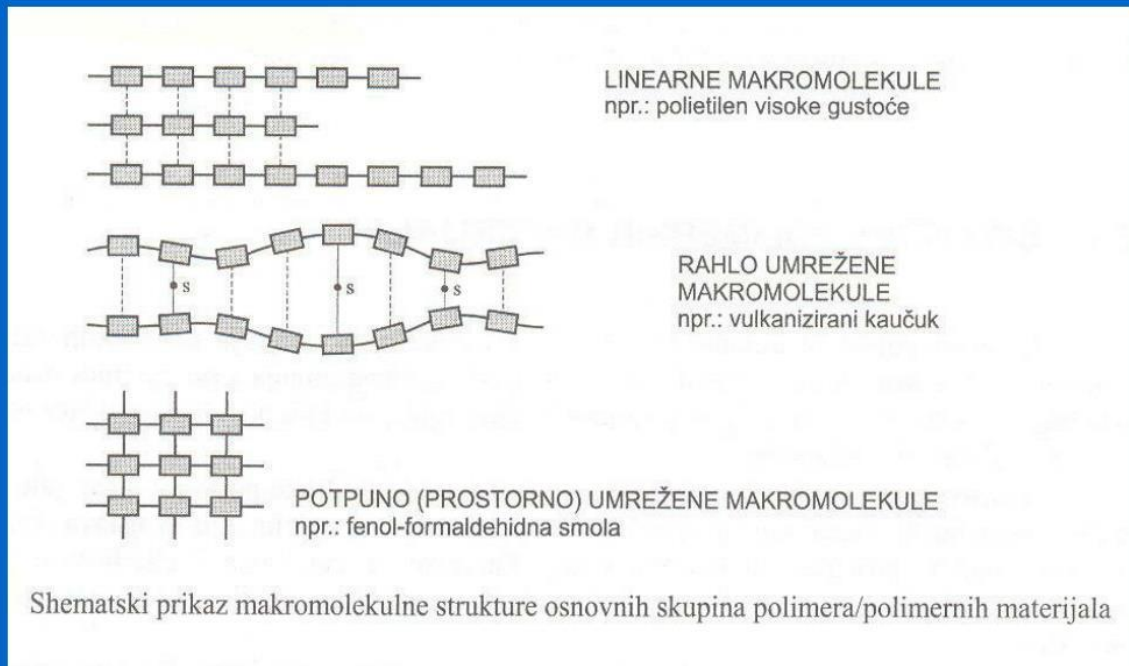
Struktura te ponašanje polimera pri zagrijavanju imaju velik utjecaj na svojstva polimera te često uvjetuju njihovu podjelu, prema kojoj se polimere dijeli u 3 osnovne skupine :

1. PLASTOMERI - zagrijavanjem omekšavaju, a ponovnim dovođenjem na nižu temperaturu ponovno postaju čvrsti.
2. ELASTOMERI - imaju rahlo umreženu strukturu, izraženo svojstvo im je elastičnost, a oblikuju se u omekšanom stanju (gume).
3. DUROMERI - pri zagrijavanju ne mogu omekšati, degradiraju. [14]

U novije vrijeme se počinje spominjati i grupa ELASTOPLASTOMERA, koji se mogu oblikovati na način kao i plastomeri, a istovremeno imaju elastičnost. [14]



## Podjela polimera prema vrsti veza između makromolekula (ponašanju pri zagrijavanju)



Slika 9. Shematski prikaz makromolekularne strukture osnovnih skupina polimernih materijala [15]

Na slikama 10., 11., 12. i 13. prikazani su proizvodi od plastomera, elastomera, duromera i elastoplastomera.



Slika 10. Proizvod od plastomera [16]



Slika 11. Protumatica od elastomera [17]



Slika 12. Drška posuđa od duromera [18]



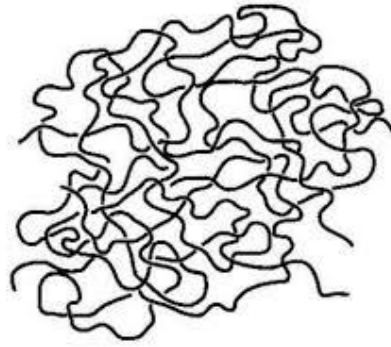
Slika 13. Skijaška cipela od elastoplastomera [19]

#### 3.1.2.1. *Plastomeri*

Plastomeri se sastoje od linearnih ili granatih makromolekula međusobno povezanih slabim Van der Waalsovima. Pri porastu temperature omekšavaju, atomi se počinju nepravilno gibati oko svojih ravnotežnih položaja te se veze između njih prekidaju što omogućava preoblikovanje. Hlađenjem se ponovo uspostavljaju sekundarne veze između atoma. Zbog slabih međumolekularnih veza mogu se ponovno upotrebiti (recikliranje). [14]

Plastomeri mogu imati amorfnu i kristalastu strukturu. Amorfni plastomeri su bez boje, krhki i slabe kemijske postojanosti. Kristalasti plastomeri uz kristalastu imaju i mjestimično amorfnu strukturu. S obzirom na amorfnu strukturu razlikujemo dvije vrste kristalastih plastomera, prvu skupinu čine polietilen (PE), polipropilen (PP), i poli(oksi-metilen) (POM), drugu skupinu čine poliamidi (PA) i polikarbonati (PC). [14]

Veći udjel amorfne faze daje im veću fleksibilnost i obradivost, a veći udjel kristalne faze, veću čvrstoću, tvrdoću, gustoću i otpornost prema otapalima.



Slika 14. Makromolekularna struktura amorfnih plastomera [20]

amorfno područje



kristalno područje

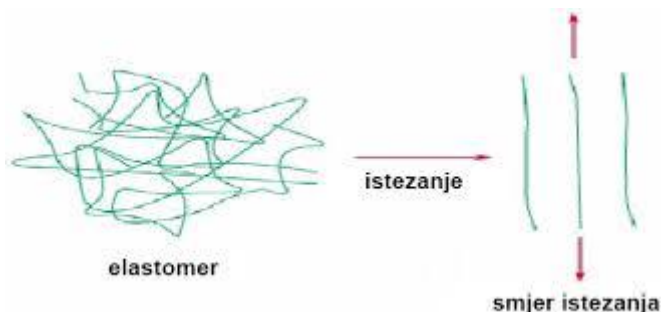
Slika 15. Makromolekularna struktura kristalastih plastomera [21]

Na slikama 14. i 15. prikazane su makromolekularne strukture plastomera, amorfna i kristalasta.

### 3.1.2.2. *Elastomeri*

Elastomeri imaju rahlo prostorno umrežene makromolekule, imaju sposobnost elastičnih deformacija, podnose velika rastezanja i nakon rasterećenja se vraćaju u početni položaj. Elastomer je polimer koji se pri sobnoj temperaturi može višestruko produljiti, najmanje dvostruko od svoje početne duljine, a prestankom djelovanja opterećenja, vraća se u početni položaj. Elastomeri su netaljivi, netopivi i bubre,

oblikuju se u omekšanom stanju, postupkom vulkanizacije, prije završetka umrežavanja. Postupkom vulkanizacije dodaje im se sumpor kao i različiti dodaci i punila čime se dobivaju različiti proizvodi od gume. [14]

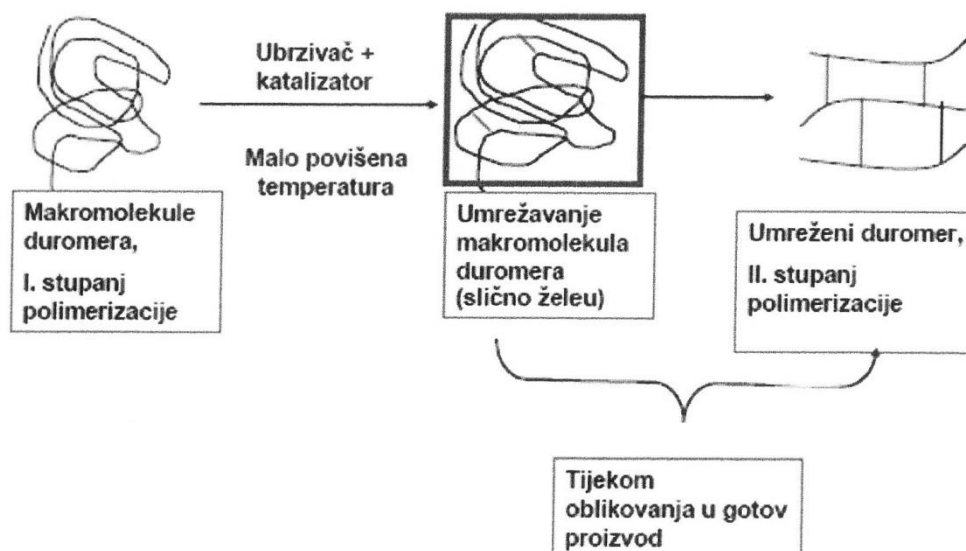


Slika 16. Shematski prikaz istezanja gume [22]

### 3.1.2.3. Duromeri

Duromeri imaju potpuno umreženu strukturu, a makromolekule su im povezane kovalentnom vezom. S obzirom da ne polimeriziraju do umrežavanja već do prvog stupnja polimerizacije, kao sirovina slični su plastomerima. Da bi se dobio gotov proizvod od duromera, preoblikovanje se izvodi iz neumreženog polimera kojem se dodaju katalizator i niskomolekularni spojevi, što dovodi do umrežavanja makromolekula. Pri zagrijavanju duromera dolazi do umrežavanja jer malo ili uopće ne omekšaju. Ne bubre, netopivi su i netaljivi. Zagrijavanjem također dolazi do termodegradacije duromera, odnosno do pucanja kovalentnih veza te ih se zbog toga ne može plastično oblikovati i naknadno preoblikovati.[14]

Na slici 17. prikazano je umrežavanje makromolekula duromera.



Slika 17. Shematski prikaz umrežavanja duromera [23]

U tablici 1. navedeni su neki od najčešćih polimernih materijala koji se danas koriste.

Tablica 1. Primjeri polimernih materijala [24]

Oznaka	Naziv	Vrsta	Oznaka	Naziv	Vrsta
ABS	Akriлни butadien stiren	P	PB	Polibuten	P
EU	Polieter-oksidi Tetrasulfatni kaučuk	E	PIB	Poliizobuten	P
CA	Celulozni acetat	P	PMMA	Poli(metil-metakrilat)	P
CN	Celulozni nitrat	P	POM	Poli(oksimetilan)	P
CR	Polikloroprenski kaučuk	E	PP	Polipropilen	P
EP	Epoksilna smola	D	PPO	Poli(fenilen-oksidi)	P
NBR	Akronitril akrilatni kaučuk	E	PPS	Poli(fenilen-sulfid)	P
NR	Prirodni kaučuk	E	PS	Polistiren	P
PA	Poliamid	P	PTFE	Poli(tetrafluoretilen)	P
PBT	Poli(buten-tereftalat)	P	PUR	Poliuretani	EP
PC	Polikarbonat	P	PVC	Polivinil klorid	P
PE	Polietilen	P	PVOH	Poli(vinil-alkohol)	P
PEEK	Poli(eter-eter-keton)	P	SAN	Stiren/akronitrilna plastika	P
PET	Poli(etilen-tereftalat)	P	SBR	Stiren-butadienski kaučuk	E
PF	Fenol formaldehidna smola	D	TPU	Elastoplastomerni poliuretani	EP
PI	Poliimid	P	UP	Nezasićena poliesterska smola	D

P- plastomeri; E- elastomeri; D- duromeri; EP- elastoplastomeri

## 4. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA

Svojstva materijala se može tumačiti kao reakcije, promjene stanja ili druge pojave u materijalu uzrokovane djelovanjem različitih unutarnjih i vanjskih faktora. Polimerne materijale opisuje se različitim karakteristikama, koje su mjerljiva i brojčano iskaziva svojstva određena nekom od normiranih metoda ispitivanja. [14] Unutarnja i proizvodna svojstva određena su osnovnim materijalom, dok su svojstva proizvoda određena dimenzijama i oblikom proizvoda. Uporabna svojstva polimernih proizvoda ovise o proizvodnim postupcima i uvjetima, jer tijekom proizvodnje dolazi do promjena u molekularnoj i nadmolekularnoj strukturi. [14]

Tablica 2. Pregled svojstava polimernih materijala [14]

<b>Funkcijska (uporabna) svojstva</b>	<b>Naziv svojstva (primjeri)</b>
MEHANIČKA	čvrstoća, istežljivost, modul elastičnosti, tvrdoća, žilavost
TRIBOLOŠKA	faktor trenja, otpornost na trošenje
TOPLINSKA	toplinska vodljivost, toplinska rastežljivost, temperatura omekšavanja (plastomeri; metoda po Vicantu)postojanost oblika pri povišenoj temperaturi (duromeri; metoda po Martensu)
ELEKTRIČNA	električna vodljivost, električni otpor, čvrstoća proboja, dielektrična svojstva
POSTOJANOST	kemijska postojanost
OSTALA SVOJSTVA	gustoća, propusnost svjetla, indeks loma, udio dodataka (npr. anorganskih sastojaka)

Tablica 2. prikazuje preradbena svojstva polimernih materijala, definirana njihovim mehaničkim, toplinskim i reološkim svojstvima. Reologija (znanost o tečenju) proučava ponašanje materijala pod određenim utjecajem sila ili brzina, važan faktor su tlak, vrijeme i temperatura. Reološka svojstva nam daju informacije o mehaničkom ponašanju materijala na temelju čega dobivamo podatke o strukturi materijala. [25]

#### 4.1. Mehanička svojstva

Mehanička svojstva daju podatke kako će se materijal ponašati kad se na njega primjeni određena sila, odnosno mehaničko opterećenje. Tu ubrajamo :

- čvrstoću - otpornost na kidanje i deformaciju pri kratkotrajnom opterećenju
  - od polimernih materijala, najveću čvrstoću imaju plastomeri,
- tvrdoću – otpor prodiranju u površinu materijala (plastomeri i duromeri),
- žilavost - sposobnost materijala da razgradi kratkotrajna udarna naprezanja plastičnom deformacijom i spriječi lom (elastomeri i neki plastomeri),
- modul elastičnosti - predstavlja koliko se izduljeni materijal produljuje ili skraćuje pod djelovanjem neke sile
  - najveće module elastičnosti imaju plastomeri, a najmanje elastomeri,
- istezljivost – sposobnost materijala da se deformira a da pri tome ne pukne (suprotno od krutosti). [26]

Tablica 3. Pregled mehaničkih svojstava [14]

<b>MEHANIČKA SVOJSTVA</b>			
<b>KRATKOTRAJNA SVOJSTVA</b>		<b>DUGOTRAJNA SVOJSTVA</b>	
<b>Udarno opterećenje</b>	<b>Statičko opterećenje</b>	<b>Statičko opterećenje</b>	<b>Dinamičko opterećenje</b>
Žilavost izdržljivost	Čvrstoća Modul elastičnosti  Tvrdoća	Statička izdržljivost  (puzanje)	Dinamička  (umor materijala)

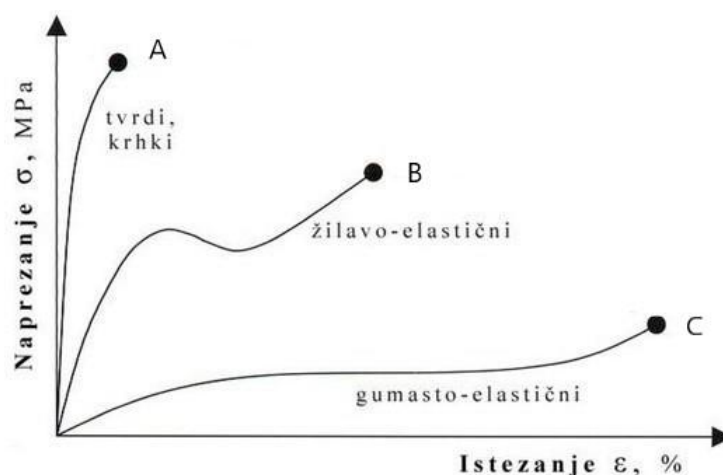
Tablica 3. prikazuje podjelu mehaničkih svojstava koja prema trajanju opterećenja mogu biti kratkotrajna i dugotrajna, a prema vrsti opterećenja, statička i dinamička. [14]

Statička izdržljivost je otpornost materijala u uvjetima statičkog dugotrajnog opterećenja bez loma; ako pri konstantnom opterećenju tijekom vremena materijalu rastu deformacije, to nazivamo puzavost.

Dinamička izdržljivost je otpornost materijala u uvjetima dugotrajnog dinamičkog (promjenjivog) opterećenja bez loma, javlja se umor materijala.[14]

Čvrstoća je mehaničko svojstvo materijala da se odupire djelovanju sile, odnosno otpornost materijala prema deformaciji i lomu. Definira se kao energija (naprezanje) potrebna da dođe do kidanja ili istežanja materijala.

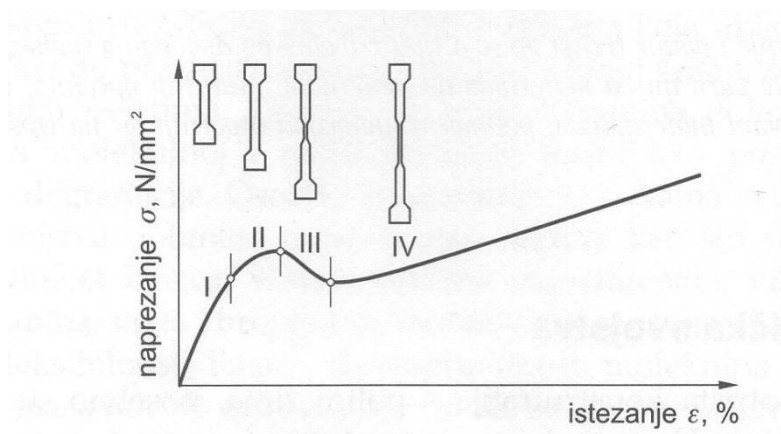
Vlačna čvrstoća eksperimentalno se ispituje statičkim vlačnim pokusom, koji se izvodi na kidalici. Vlačna čvrstoća, prema tome predstavlja naprezanje materijala pri najvećoj sili kod statičkoga vlačnog pokusa. [25]



Slika 18. Dijagram naprežanja-istežanje glavnih skupina polimernih materijala [14]

- A- Amorfni plastomeri i duromeri
- B- Kristalasti plastomeri
- C- Elastomeri





Slika 19. Dijagram naprezanje - istezanje kristalastih plastomera [14]

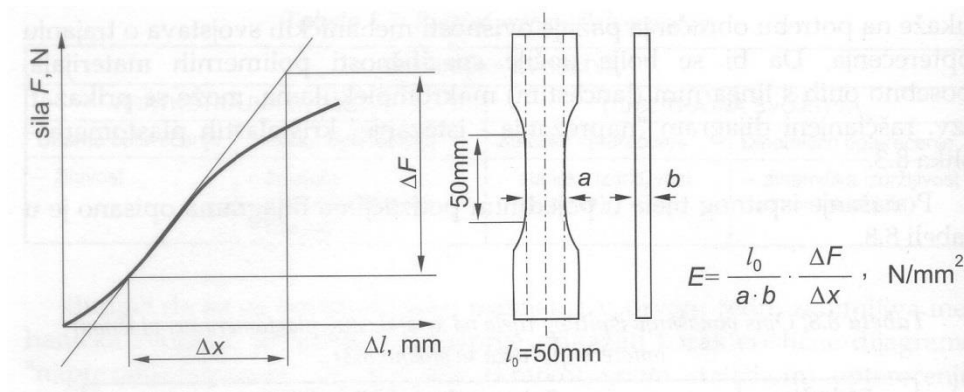
Tablica 4. Opis ponašanja ispitnog tijela od kristalastog plastomera pri vlačnom opterećenju [14]

Područje	Opis ponašanja ispitnog tijela
I	Elastično produljenje (cijela duljina ispitnog tijela)
II	Plastično produljenje (cijela duljina ispitnog tijela)
III	Stvaranje područja kontrakcije (suženje) i pojava očvrskuća
IV	Širenje područja kontrakcije i daljnje očvrscenje izazvano izravnavanjem i orijentiranjem makromolekula te lom

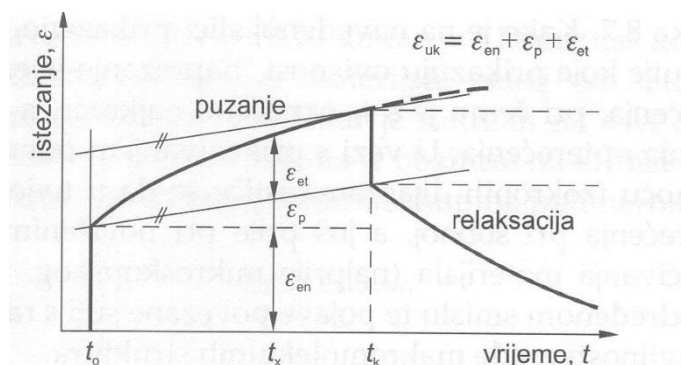
Tablica 5. Vrijednosti modula elastičnosti polimernih materijala [14]

Skupina polimernih materijala		Modul elastičnosti, N/mm <sup>2</sup>
PLASTOMERI	amorfni, neojačani	2 100...3 500
	amorfni, ojačani	oko 7 000
PLASTOMERI	kristalasti, neojačani	150...3 200
	kristalasti, ojačani	5 000...11 000
ELASTOMERI		50...150
DUROMERI	neojačani	5 000...12 000
	ojačani	9 000....15 000 i više

Kod polimernih materijala, modul elastičnosti se ispituje na način da se na materijalu postupno povećava opterećenja i utvrđuje produljenje. Crtanjem dijagrama „opterećenje-produljenje“ izračunavaju se vrijednosti modula elastičnosti.

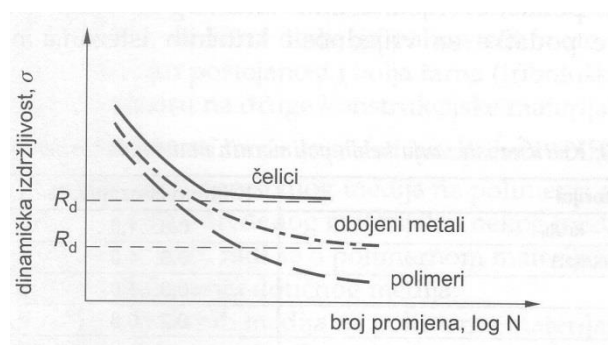


Slika 20. Određivanje modula elastičnosti polimernih materijala pri vlačnom opterećenju u uvjetima kratkotrajnog opterećenja [14]



Slika 21. Ponašanje polimernih materijala pri dugotrajnom nepromjenjivom statičkom opterećenju [14]

Slika 21. prikazuje ponašanje polimernog materijala pri opterećenju i nakon rasterećenja. [14]



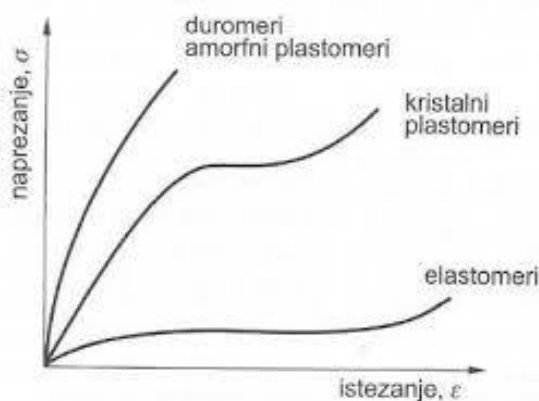
Slika 22. Ponašanje polimernih materijala pri dinamičkom opterećenju [14]

Na slici 22. vidljivo je da kod polimera, važnu ulogu ima vremenski faktor, odnosno da se govori o „vremenskoj dinamičkoj izdržljivosti“. [14]

Tablica 6. Kritična istežanja nekih polimernih materijala [14]

Polimerni materijal	Kritično istežanje,%	Stanje
Poli(vinilklorid)- kruti	0,8.....1,0	amorfno
Poli(metil-metakrilat)	0,8.....1,0	amorfno
Polikarbonat	0,8.....1,0	amorfno
Polistiren	0,2.....0,3	amorfno
Poli(oksimetilen)	2,0	kristalasto
Poli(propilen)	2,0	kristalasto
Polietilen niske gustoće	4,0	kristalasto
Polietilen visoke gustoće	2,0...3,0	kristalasto
Nezasićena poliesterska smola+ojačalo	0,4...0,6	ojačani duromer

U tablici 6. dati su podaci kritičnog istežanja u postotcima za neke polimerne materijale, a na slici 23.nalazi se grafički prikaz dijagrama naprežanje-istežanje za osnovne grupe polimernih materijala.



Slika 23. Analiza podataka iz tablice 6 [14]

## 4.2. Toplinska svojstva

Najznačajnija toplinska svojstva polimera su:

TOPLINSKA RASTEZLJIVOST -  $\alpha$ ,

Definira se kao promjena duljine u funkciji temperature pri konstantnom tlaku. [27]

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \left( \frac{\Delta l}{\Delta T} \right)_p \quad (1)$$

$l_0$  je duljina kod temperature  $T_0$ .

TOPLINSKO ŠIRENJE -  $\gamma$ ,

Odnosi se na promjenu specifičnog obujma ( $v$ ) s temperaturom ( $T$ ) kod stalnog tlaka

( $p$ ). [27]

$$\gamma = \frac{1}{v_0} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{1}{v_0} \left( \frac{v - v_0}{T - T_0} \right)_p \quad (3)$$

## STLAČIVOST POLIMERA - $\chi$ ,

Predstavlja mijenjanje gustoće ( $\rho$ ) i tlaka ( $p$ ) pri konstantnoj temperaturi ( $T$ ). [27]

$$\chi = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T \quad (4)$$

$$\chi = -\frac{1}{v_0} \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \quad (5)$$

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

## SPECIFIČNI TOPLINSKI KAPACITET - $c_p$

Predstavlja količinu topline koja je potrebna za rast temperature od 1 Kelvina za jediničnu masu tvari. [27]

$$C_p = \frac{dQ}{mdT} \quad (7)$$

Za amorfne plastomere vrijedi izraz:

$$C_p = \left( \frac{m_1}{m_m} \right) C_{p1} + \left( \frac{m_2}{m_m} \right) C_{p2} \quad (8)$$

Gdje je  $Q$  - količina topline,  $T$  - temperatura a  $m$ -masa. [27]

## TOPLINSKA PROVODNOST - $\lambda$ ,

Predstavlja količinu topline koju se u određenom vremenu može provesti kroz tijelo pri određenoj temperaturi. [27]

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (9)$$

gdje je  $q$  – toplinski tok,  $k$ - toplinska provodnost,  $\partial T / \partial x$  – temperaturni gradijent koji ide kroz tijelo. [27]

## TOPLINSKA DIFUZNOST – $a$

Toplinska difuznost predstavlja brzinu promjene temperature tijela. [27]

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_p} \quad (10)$$

## TOPLINSKA PRODORNOST - $b$

Mjera brzine kojom topline prodire u tijelo.

$$b = \sqrt{\lambda C_p \rho} \quad (11)$$

$C_p$ -specifični toplinski kapacitet,  $\lambda$  toplinska provodnost te  $\rho$  gustoća tvari. [27]

### **4.3. Tribološka svojstva**

Tribologija je interdisciplinarna znanost, koja proučava otpor gibanja dvaju dodirnih površina koji za posljedicu ima trošenje površine materijala i faktora trenja.

Zadatak i cilj tribologije je ukloniti, smanjiti i kontrolirati te posljedice.

Pod pojmom tribološka svojstva materijala misli se na njihovu otpornost na trošenje i mali faktor trenja, a važna su za korištenje polimera u konstrukcijske svrhe.

Prednosti koje polimerni materijali imaju nad drugim konstrukcijskim materijalima su:

- nema mikro-zavarivanja spojeva,
- neravnine i udubine se popunjavaju produktima trošenja polimera,
- strane čestice ne narušavaju konstrukciju. [26]

### **4.4. Kemijska postojanost**

Jedna od najbitnijih prednosti polimernih materijala nad ostalim materijalima je njihova kemijska otpornost, koja proizlazi iz idućih svojstava polimera :

- otpornost na djelovanje agresivnog medija na polimer,
- sporije djelovanje agresivnih medija u odnosu na druge materijale,
- određena djelovanja agresivnih medija su povratni procesi, kao npr. bubrenje.

Najopasnije kemijsko djelovanje agresivnih medija javlja se u pukotinama polimera. [26]

### **4.5. Električna svojstva**

Polimerni materijali loše provode električnu struju te se najčešće koriste kao izolacijski materijal. Najznačajnije električno svojstvo polimera je dielektrična konstanta, a s obzirom da imaju niske vrijednosti, dobri su izolatori. Njihove vrijednosti su najviše određene kemijskom strukturom polimera. Osim strukture,

važni čimbenici električnih svojstava polimera su temperatura, mehaničko opterećenje, nečistoće, vlaga. Međutim, zbog onečišćenja i vlage površina polimernih materijala može biti dobar vodič. Stoga se kao veličina za ocjenu električnih svojstava koristi površinski otpor, koji treba iznositi oko  $10^{10} \Omega$  ili više. Važno svojstvo su i dielektrični gubitci, odnosno gubitci energije koja se u materijalu pretvaraju u toplinu. Zahvaljujući svojim dielektričnim i izolacijskim svojstvima, polimeri imaju veliki značaj i udio u elektrotehničkoj i elektroničkoj industriji. [26]

#### **4.6. Preradbena svojstva**

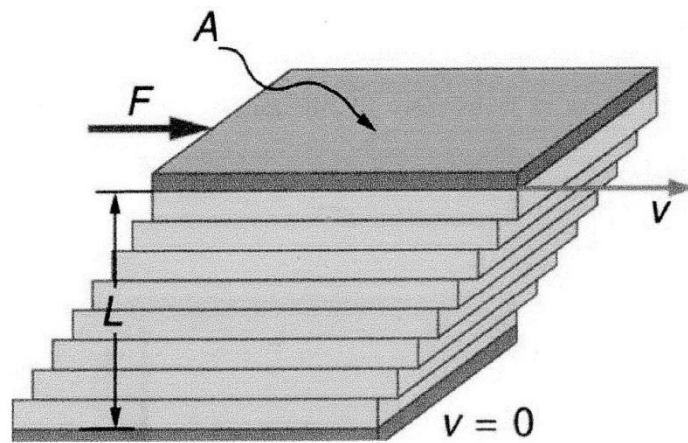
Preradbena svojstva polimernih materijala temelje se na njihovim mehaničkim, toplinskim i reološkim svojstvima. Zbog promjene strukture deformacija i nekih kemijskih reakcija, svojstva gotovog polimernog proizvoda mogu se bitno razlikovati od polaznog materijala. [26]

##### **4.6.1. Reološka svojstva polimera**

Reološka svojstva opisuju tok fluida i deformacije koje nastaju pod utjecajem smičnih sila, te se tako može predvidjeti mehaničko ponašanje materijala iz kojeg dobivamo podatke o strukturi materijala. [28]

Viskoznost prikazujemo kao otpor protoku ili smicanju slojeva unutar nekog materijala ( omjer smične sile i smične brzine).





Slika 24. Slojevi fluida koji se gibaju jedan preko drugog [28]

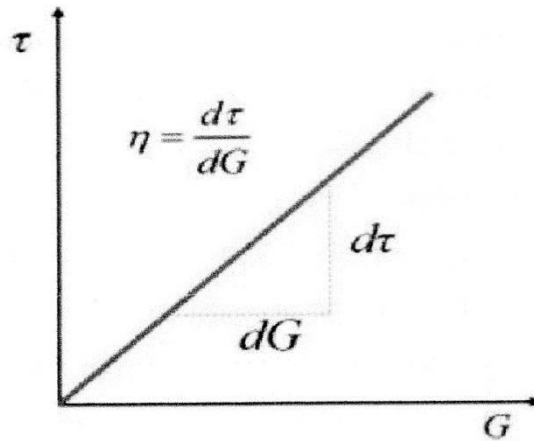
Na Slici 24. vidimo slojeve fluida između dvije ploče. Sloj fluida uz ploču kreće se istom brzinom kao i ploča, dok zbog trenja na ostale slojeve djeluje smična sila te se oni kreću brzinom proporcionalnom visini sloja  $L$ .

Promjenom parametara ( temperatura, brzina smicanja, tlak, vrijeme), mijenja se i viskoznost materijala. [32]

## NEWTONOVI I NENEWTONOVI FLUIDI

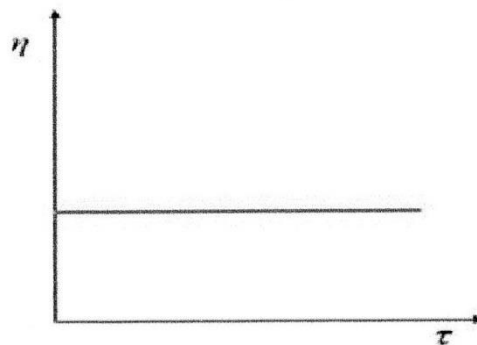
Newtonovski fluidi imaju linearnu ovisnost smičnog naprežanja o smičnoj brzini, dok se fluidi sa nelinearnom ovisnosti krivulje protoka smatraju ne-Newtonovskim fluidima.

Povećanjem temperature se kod Newtonovih tekućina viskoznost smanjuje.



Slika 25. Krivulja protoka Newtonovog fluida [28]

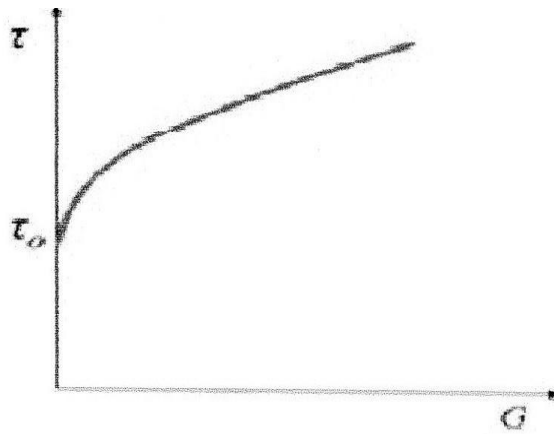
Sa krivulje na slici 25. očitavamo da se promjenom smične brzine viskoznost ne mijenja.



Slika 26. Krivulja viskoznosti Newtonovog fluida [28]

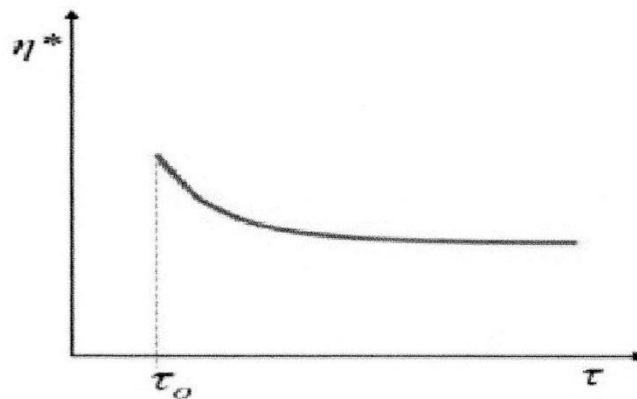
Slika 26. prikazuje odnos smične sile i viskoznosti te se može vidjeti da će viskoznost bez obzira na dužinu vremena primjene smične sile biti ista. Najbolji primjer Newtonovog fluida je voda.

Kod ne-Newtonovskih fluida viskoznost ovisi o djelovanju smične sile, odnosno viskoznost se smanjuje povećanjem brzine smicanja. Polimere ubrajamo u ne-Newtonovske fluide.



Slika 27. Krivulja protoka ne-Newtonovog fluida [28]

Na slici 27. vidimo da kod ne-Newtonovskih fluida krivulja ne prolazi kroz ishodište, već je početna točka naprezanja u  $\tau_0$ , razlog tome su međumolekularne sile u fluidu.



Slika 28. Krivulja viskoznosti ne-Newtonovog fluida [28]

Na slici 28. uočavamo kako djelovanjem smične sile kod ne-Newtonovog fluida pada viskoznost.

## INDEKS TEČENJA ( MFR)

Indeks tečenja (brzina protoka taline) je ispitivanje polimerne taline za određivanje svojstva tečenja pod određenom temperaturom i određenim naprezanjem, pomoću uređaja za ispitivanje indeksa tečenja, plastifikatora. Mjerna jedinica za indeks tečenja je g/10 min.

Ispitivanjem indeksa tečenja dobivaju se potrebne informacije za kontrolu kvalitete u proizvodnoj i prerađivačkoj industriji polimernih materijala, odnosno daju uvid u ponašanje i protok taline u obradi. Indeks tečenja je obrnuto proporcionalan molekularnoj masi, smanjenjem molekularne mase povećava se indeks tečenja i obrnuto. Indeks tečenja koristiti se i kao pokazatelj čvrstoće s obzirom da je molekularna masa polimernog materijala povezana sa čvrstoćom. [29]

## 5. POSTAVKA ZADATKA

U prvom dijelu Završnog rada razrađena je građa i vrste polimernih materijala, te su navedena osnovna svojstva polimernih materijala. Detaljnije su razrađena mehanička, toplinska i reološka svojstva (preradbena svojstva).

Za eksperimentalni dio odabrane su dvije vrste plastomera, polipropilen i polietilen visoke gustoće. Iz navedenih polaznih plastomera napravljen je veći broj epruveta postupkom injekcijskog prešanja, u tvrtci DW Reusables. Dio napravljenih epruveta ja zadržan, dio samljeven u mlinu, čime se dobio prvi regenerat, te se ponovilo injekcijsko prešanje. Isti postupak se ponovio više puta te je dobiven veći broj regenerata kako bi se utvrdio najveći broj mogućih prerada do kojih će materijali zadržati potrebna svojstva.

U tvrtci DW Reusables ispitivao se indeks tečenja, a u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu, vlačna čvrstoća epruveta od polaznog materijala i njegovih regenerata.

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

### 6.1. Uvod u eksperimentalni dio - Opis materijala

U eksperimentalnom dijelu Završnog rada bit će opisani polimerni materijali, polipropilen (PP) i polietilen visoke gustoće (PEHD) iz skupine plastomera kod kojih kod zagrijavanja (PP 230 °C, PEHD 190 °C) dolazi do omekšavanja te taljenja pri čemu ne dolazi do promjene kemijske strukture već samo promjene agregatnog stanja. Ispitivat će se njihov indeks tečenja ( $MFR$ ) i vlačna čvrstoća ( $R_m$ )

#### 6.1.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen je kristalasti plastomer koji se dobiva polimerizacijom propilena pri niskoj temperaturi i tlaku uz Ziegler-Natta katalizator ( Slika 30.). Sličan je polietilenu visoke gustoće (PEHD), veće je tvrdoće, vlačne čvrstoće i toplinske postojanosti. Lako se prerađuje, najčešće injekcijskim prešanjem i ekstrudiranjem. [30]



Slika 29. Polimerizacija propilena u polipropilen [31]

Jedan je od najlakših polimernih materijala, ima malu gustoću, dobre je žilavosti, dobar je električni izolator, ima visoku elastičnost, postojan je prema djelovanju vode, organskih otapala, ima dobra mehanička svojstva. Nije postojan prema jakim oksidansima. Podnosi više temperature od polietilena, no manje je otporan na niske temperature.

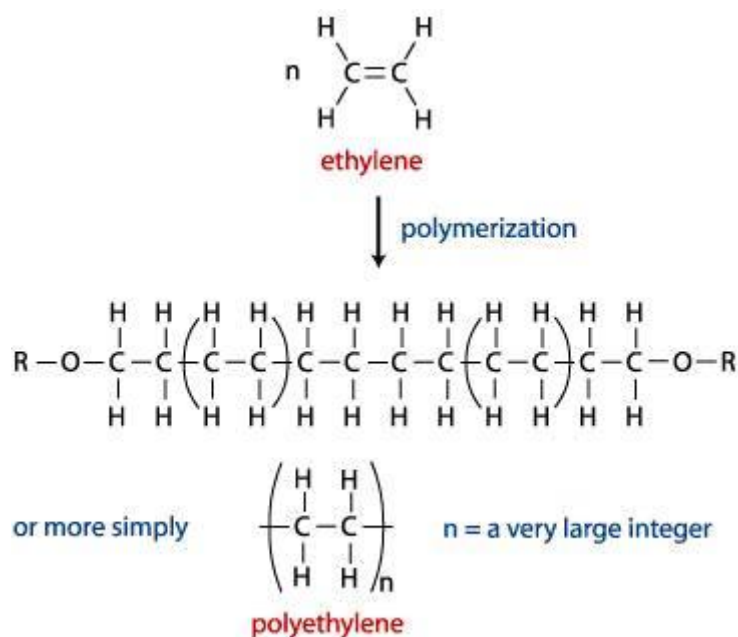


Slika 30. Proizvodi od polipropilena [32,33]

Primjena polipropilena je vrlo široka. Koristi se za izradu tehničkih dijelova i to pri višim opterećenjima nego polietilen. S obzirom na mogućnosti miješanja, velike su mogućnosti kombiniranja svojstava i primjene pa se od polipropilena izrađuju električni dijelovi, dijelovi kod kemijskih postrojenja, šuplja tijela, cijevi, spremnici, dijelovi armatura, dijelovi postojani prema vrućoj vodi, igračke, posude u kućanstvu, tehnički dijelovi strojeva za pranje rublja i posuđa, u tekstilnoj i automobilskoj industriji kod interijera vozila, u građevinarstvu, zrakoplovnoj industriji, za izradu različitih vrsta ambalaže. [14].

### 6.1.2. Polietilen visoke gustoće (PEHD)

Polietilen je jedan od najčešće korištenih polimera. Na slici 31. prikazano je dobivanje polietilena polimerizacijom etena u polietilen .



Slika 31. Polimerizacija etena u polietilen [34]

S obzirom na gustoću polietilen dijelimo na:

1. Polietilen niske gustoće, PE-LD,
2. Linearni polietilen niske gustoće, PE-LLD,
3. Polietilen visoke gustoće,
4. Polietilen ultra visoke molekularne mase, PE-UHMW,
5. Polietilen srednje gustoće, PE-MD,
6. Polietilen vrlo niske gustoće, PE-UHMW,
7. Umreženi polietilen, PE-X,

Svojstva polietilena između ostalog određuje i njegova gustoća. Porastom gustoće povećava se njegovo talište a s time i većina mehaničkih svojstava, među njima vlačna čvrstoća, tvrdoća, kemijska postojanost, krutost, prekidno istezanje, otpor

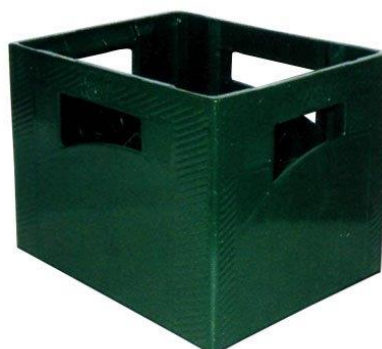


prema puzanju, propusnost kapljevina i plinova. Ali sa porastom gustoće smanjuje se i žilavost, savitljivost, prozirnost, otpornost prema nastajanju napuklina od naprezanja. [35]

Polietilen visoke gustoće (PE-HD) ima dobru žilavost, visok modul elastičnosti, nepropusan je za većinu kemikalija, dobar električni izolator. Otporan je prema vodi i većini kemikalija, a na sobnoj temperaturi je netopljiv u otapalima. Na svojstva polietilena ne utječe slana voda, slani i kiseli tereni, te gradski i industrijski otpad, što ga čini osobito pogodnim za ugradnju u onečišćena tla. Najviše se koristi u proizvodnji folija koje često služe i kao ambalažni materijal za farmaceutske, prehrambene, tekstilne i druge proizvode (od običnih ručnih vrećica do folije koja nakon odmotavanja i zagrijavanja čvrsto obuhvati predmet i poprimi njegov oblik). Polietilen služi i za izradbu različitih kutija i posuda za kućanstvo, vreća, velikih industrijskih spremnika, unutrašnjih obloga teretnih brodova, vodovodnih i dr. cijevi, za izolaciju električnih kabela, impregnaciju tekstilnih vlakana i papira, kao polietilensko vlakno. [35]



Slika 32. PE-HD cijevi [36]



Slika 33. Nosiljka za staklenu ambalažu od PE-HD [37]

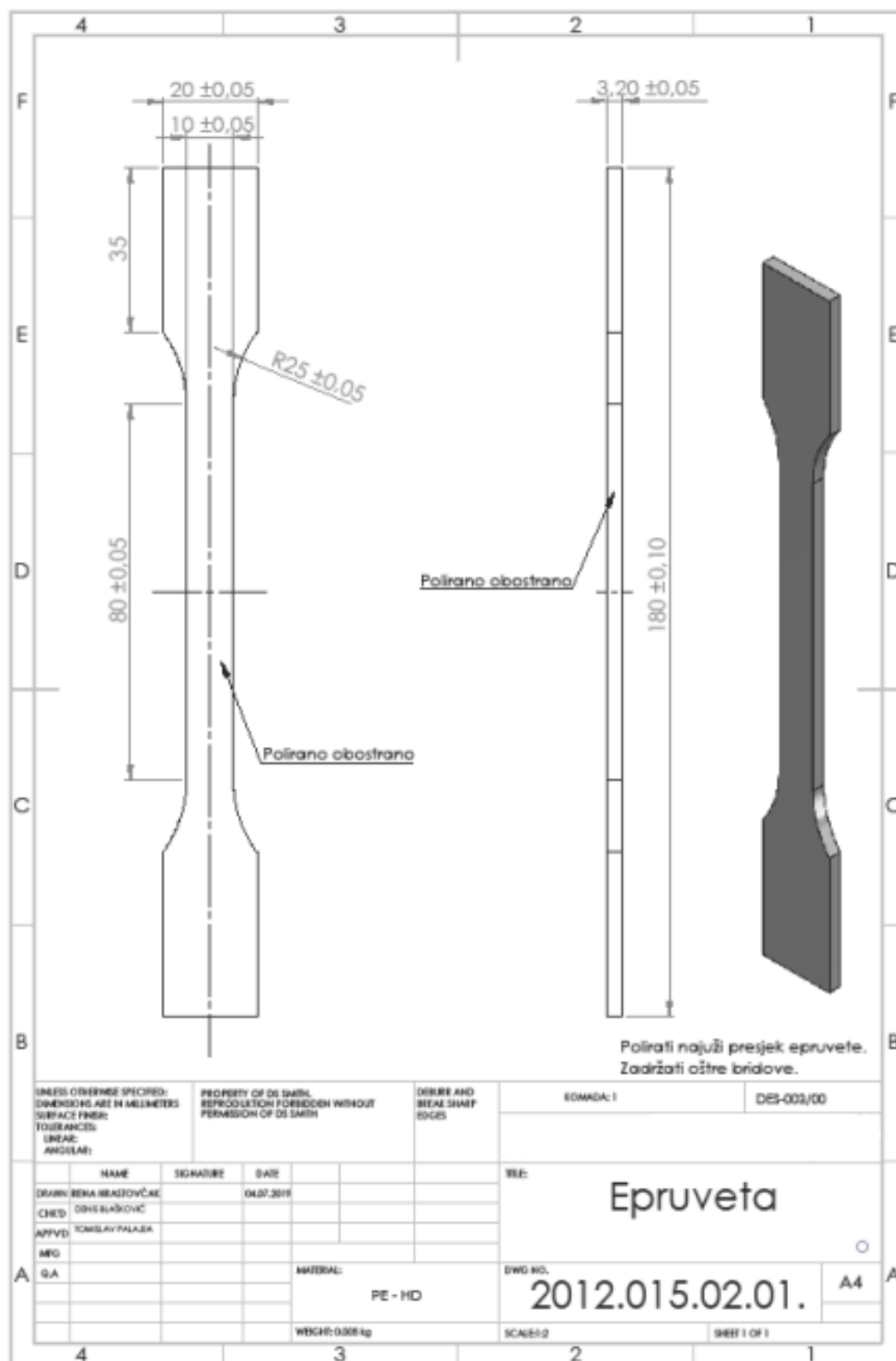
## 6.2. Izrada ispitnih uzoraka – epruveta

Injekcijsko prešanje najvažniji je ciklički postupak preradbe polimera, pripada postupcima praoblikovanja ili pravljenja čvrstog tijela, pri čemu se postiže povezanost među česticama, stvara se građa materijala. Općenito injekcijsko prešanje plastomera definira se kao ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem plastomerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak, postaje hlađenjem podobna za vađenje iz kalupne šupljine. Osnovni polimerni materijali koji se prerađuju u DW Reusables-u su plastomeri: PE-HD, PP i PA. U jedinici za pripremu taljevine i ubrizgavanje vrši se priprema plastomerne taljevine. Temperature prerade u ovisnosti o tipu plastomera kreću se od 180-280°C. Takva taljevina ubrizgava se u kalupnu šupljinu, hladi se i proizvod poprima konačni oblik. Hlađenje otpreska vrši se tehnološkom vodom temperature 17-18 °C, u rashladnom sustavu zatvorenog tipa. [38]



Slika 34. Epruveta – ispitni uzorak polipropilena

Ispitni uzorci – epruvete izrađene su prema standardu ISO 527 - 2, postupkom injekcijskog prešanja.



Slika 35. Standard za izradu epruveta ISO 527-2

Dimenzije ispitnih uzoraka :

Debljina epruvete  $3,20 \pm 0,05$  mm (*a*)

Širina epruvete  $10 \pm 0,05$  mm (*b*)

Širina glave epruvete  $20 \pm 0,05$  mm (*B*)

Visina glave epruvete 35 mm (*h*)

Ispitna duljina epruvete  $80 \pm 0,05$  mm ( $L_c$ )

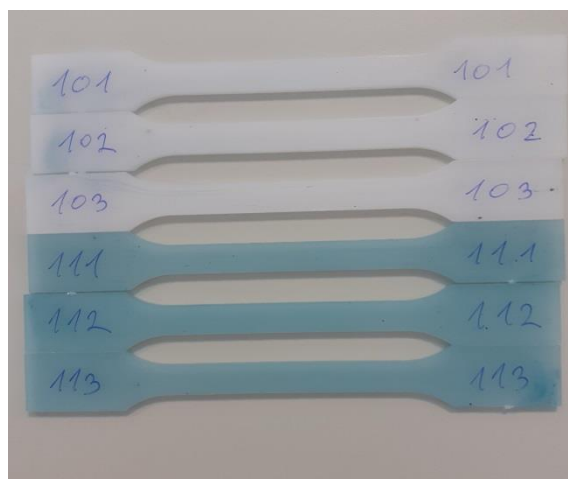
Ukupna duljina epruvete  $180 \pm 0,1$  mm ( $L_0$ )

### 6.3. Označavanje ispitnih uzoraka

U tablici 7. predstavljen je način označavanja ispitnih uzoraka od polipropilena i polietilena visoke gustoće po fazama prerade.

Tablica 7. Označavanje ispitnih uzoraka

<b>BROJ NA 1. MJESTU OZNAKA MATERIJALA</b>	<b>BROJ NA 2. MJESTU OZNAKA FAZE PRERADE</b>	<b>BROJ NA 3. MJESTU REDNI BROJ EPRUVETA</b>
1 = PP	0 = ORIGINAL	1 = PRVA EPRUVETA
2 = PEHD	1 = PRVI REGENERAT	2 = DRUGA EPRUVETA
	2 = DRUGI REGENERAT	3 = TREĆA EPRUVETA
	3 = TREĆI REGENERAT	
	4 = ČETVRTI REGENERAT	

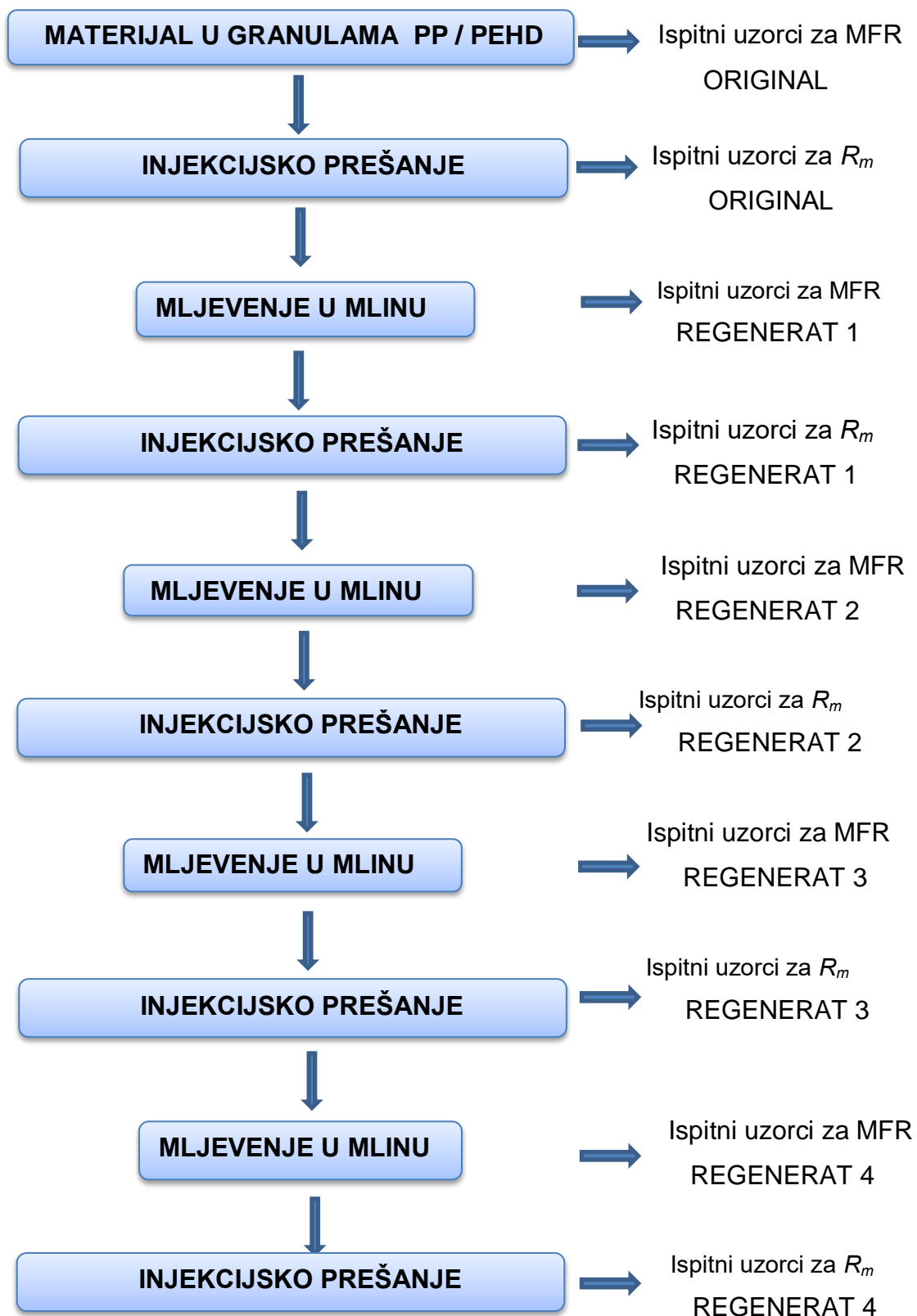


Slika 36. Označavanje ispitnih uzoraka - epruveta iste faze prerade

Na slici 36. prikazano je označavanje tri ispitna uzorka - epruveta od polipropilena, original i 1. regenerat, potrebnih za ispitivanje vlačne čvrstoće.

## 6.4. Plan ispitivanja

Na slici 37. prikazani su postupci i redoslijed dobivanja uzoraka za ispitivanje indeksa tečenja i vlačne čvrstoće..

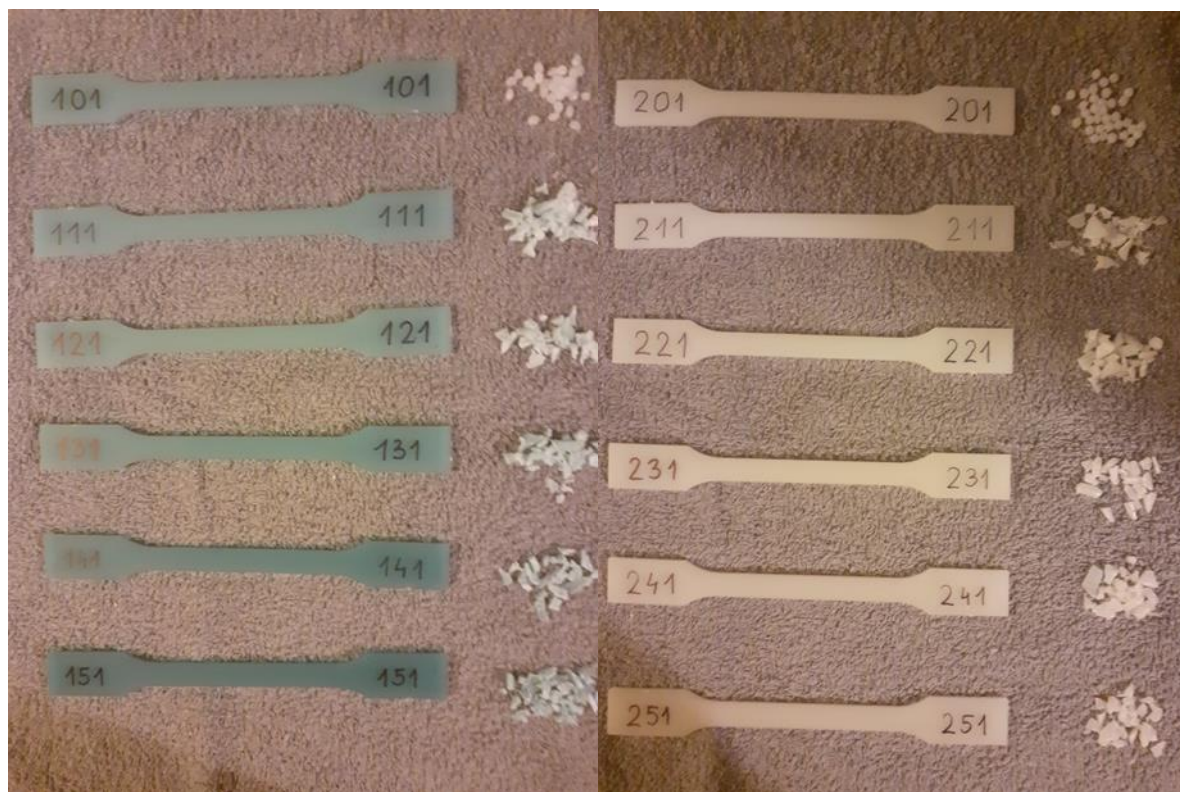


Slika 37. Shema plana ispitivanja

U prvoj fazi prerade koristili su se tvornički proizvedeni materijali (original PP, odnosno original PEHD). Dio originala je ostavljen za ispitivanje indeksa tečenja. Injekcijskim prešanjem je od tvorničkog materijala napravljeno veći broj epruveta (ispitnih uzoraka označenih original PP, odnosno original PEHD), od kojih su tri ostavljene za ispitivanje vlačne čvrstoće na kidalici a ostatak je samljeven u mlinu te je dobiven regenerat 1.

Dio regenerata 1 ostavljen je za ispitivanje indeksa tečenja, a od ostatka su injekcijskim prešanjem napravljeni novi ispitni uzorci (epruvete) za ispitivanje vlačne čvrstoće na kidalici, te je ponovljeno usitnjavanje u mlinu i dobiven regenerat 2.

Isti postupak ponovljen je do regenerata 4 za materijale polipropilen i polietilen visoke čvrstoće.



Slika 38. Faze prerade pripremljene za ispitivanje indeksa tečenja i vlačne čvrstoće

Na slici 38. prikazani su ispitni uzorci polipropilena i polietilena od originala do 4. regenerata pripremljeni za ispitivanje indeksa tečenja i vlačne čvrstoće.

#### 6.4.1. Ispitivanje indeksa tečenja (MFR)

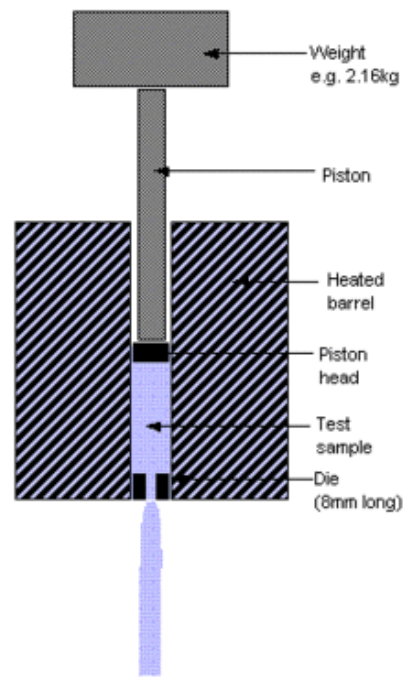
Ispitivanje indeksa tečenja rađeno je u tvrtki DW Reusables, Vojnić, na uređaju Dynisco LMI 4000.

Proces mjerenja MFR-a :

1. Pomoću tipki na displayu uređaja unose se osnovni podaci : vrsta i naziv polimernog materijala te temperatura zagrijavanja (PP - 190°C, PEHD 230 °C).
2. 4 do 5 g polipropilena, odnosno polietilena visoke gustoće utiskuje se pomoću klipa u otvor promjera 2 mm i dužine 8 mm te se uzorak zagrijava na zadanu temperaturu (PP - 190°C, PEHD 230 °C), do pojave naredbe ready na zaslonu uređaja. ( )
3. Pojavom naredbe ready, uređaj je spreman i započinje zagrijavanje uzorka koje traje 300 sekundi.
4. Po završetku zagrijavanja enkoder, senzor uređaja za mjerenje protoka taline, se postavlja u položaj za mjerenje, na klip se postavlja standardni uteg od 2,16 kg.
5. Nakon određenog vremena dobiva se i ispisuje podatak o iznosu indeksa tečenja.

Granična vrijednost MFR za polipropilen (PP) se kreće od 5 do 25 a za polietilen visoke gustoće (PEHD) od 6 do 10.





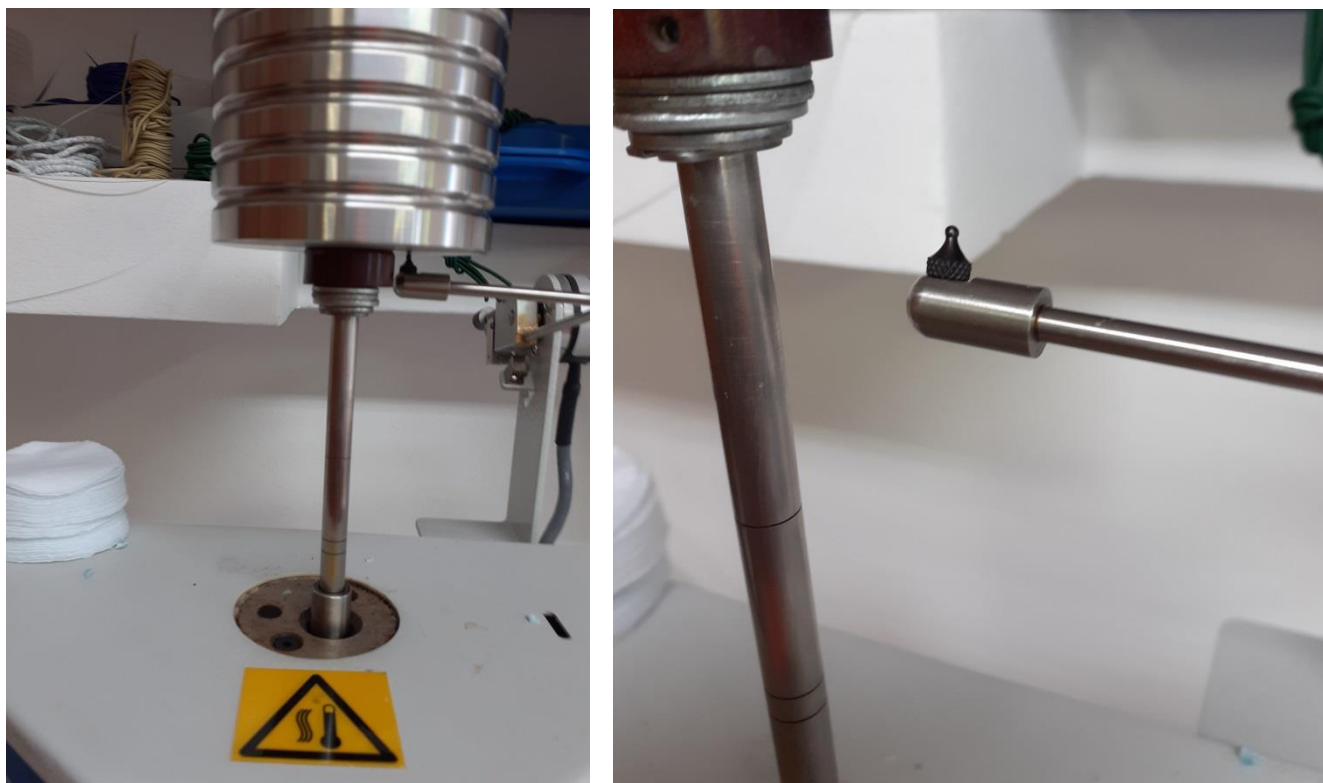
Slika 39. Uređaj za mjerenje indeksa tečenja      Slika 40. Shema mjerenja MFR [39]

Na slici 39. prikazan je uređaj za mjerenje indeksa tečenja, a na slici 40. shematski prikaz istog uređaja .



Slika 41. Utiskivanje polimera u otvor uređaja za mjerenje MFR-a

Na slici 41. prikazan je postupak unošenja originala ili regenerata u uređaj za ispitivanje indeksa tečenja.



Slika 42. Enkoder

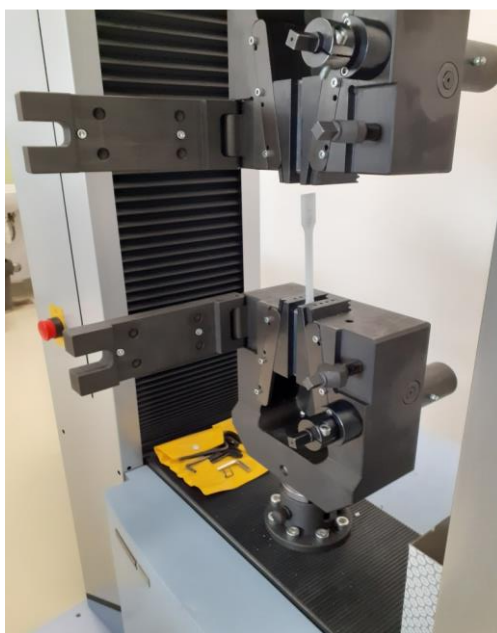
Na slici 42. prikazan je enkoder, odnosno senzor uređaja koji mjeri indeks tečenja.

## 6.4.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće

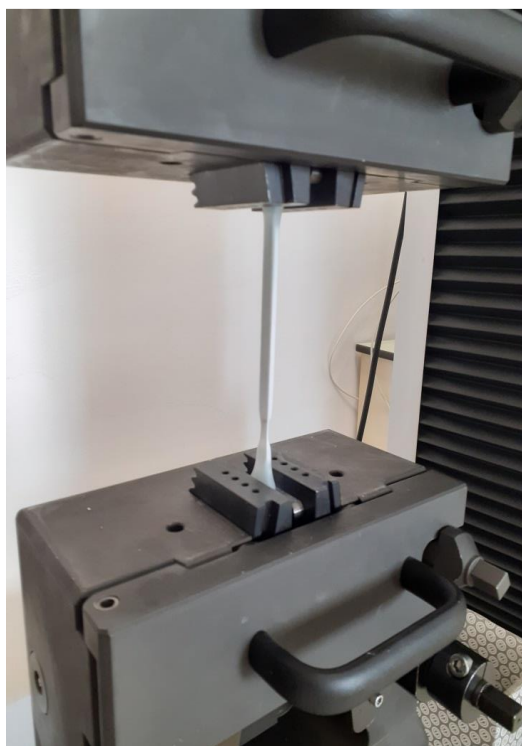
Ispitivanje vlačne čvrstoće rađeno je na kidalici Shimadzu AG – X plus u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu.

Postupak za izvođenje ovog ispitivanja obuhvaća :

1. Unos podataka u program kidalice,
  - unos načina ispitivanja u program (vlačna čvrstoća),
  - odabir konstantne sile,
  - postavljanje brzine ispitivanja (80 N/sec),
  - unos vrste materijala i dimenzija ispitnog uzorka – epruvete,
  - definiranje parametara koji će se mjeriti i ispitivati (najveća sila, granica razvlačenja, vlačna čvrstoća, izduženje).
  
2. Izvođenje postupka kidanja ispitnih uzoraka :
  - postavljanje ispitnog uzorka u čeljusti kidalice (Slika 43.),
  - opterećenje ispitnog uzorka prema zadanim parametrima (Slika 44.),
  - kidanje i lom ispitnog uzorka (Slika 45.),
  - ispis traženih podataka i graf.



Slika 43. Postavljanje ispitnog uzorka u čeljusti kidalice



Slika 44. Opterećenje ispitnog uzorka



Slika 45. Kidanje ispitnog uzorka

## 6.5. Opis opreme

### 6.5.1. Injekcijska preša

Ispitni uzorci epruvete rađeni su na injekcijskoj preši DEMAG ERGOtech 80 – 200 NC 4



Slika 46. Injekcijska preša DEMAG ERGOtech 80 – 200 NC 4

Karakteristike Injekcijske preše DEMAG ERGOtech 80 – 200 NC 4 :

Promjer vijka	25 mm
Duljina valjka	580 mm
Širina valjka	590 mm
Tlak ubrizgavanja	2400 bara
Zapremina ubrizgavanja	61,3 ccm
Težina ubrizgavanja PS	94 g



Sila zatvaranja	800 kN
Veličina ploča kalupa	580 x 590 mm
Udaljenost između stupova	400 x 400 mm
Hod otvora kalupa	450 mm
Minimalna visina kalupa	250 mm
Sila izbacivanja naprijed/nazad	41,2 kN
Instalirana snaga grijanja	5,1 kW
Kapacitet spremnika	250 lit
Dimenzije stroja	3900 x 1400 x 1900 mm
Snaga	27,1 kW

#### 6.5.2. Mlin za usitnjavanje plastičnih masa MG-200

Mlin služi za usitnjavanje plastomera različitih oblika, na primjer neispravnih otpresaka, šupljih predmeta izrađenih puhanjem, traka, cijevi, šipki.

Debljina presjeka predmeta koji se usitnjava ovisi o vrsti materijala i obliku presjeka te može biti najviše 6 – 8 mm. U mlinu nije dozvoljeno istovremeno usitnjavati predmete različitih materijala ili predmete s metalnom armaturom.



Slika 47. Mlin za usitnjavanje polimernih masa MG – 200

Karakteristike mlina MG-200 :

Ulazni otvor	350x300 mm
Nazivni kapacitet	120-200 kp/sat
Zaštita električnog motora i oblik	P33 oblik B 3
Snaga elektromotora	7,5 kW
Tip elektromotora	ZK132M
Napon elektromotora	3x380V
Frekvencija elektromotora	50 Hz
Broj okretaja elektromotora	1440 o/min
Promjer rezanja	300 mm
Širina rezanja	350 mm
Broj rotirajućih noževa	3
Broj nepomičnih noževa	2
Težina mlina	650 kg

### 6.5.3. Uređaj za ispitivanje indeksa tečenja Dynisco LMI 4000

Putem tipki se u uređaj unose osnovni podaci o vrsti polimernog materijala te temperatura zagrijavanja polimera (PP 190°C, PEHD 230 °C).



Slika 48. Uređaj za ispitivanje indeksa tečenja Dynisco LMI 4000

Karakteristike uređaj za ispitivanje indeksa tečenja Dynisco LMI 4000 :

Radna temperatura	do 425°C
Kontrola temperature	± 0,1°C
Točnost mjerača vremena	0,001 sec
Točnost pomaka	± 0.025mm preko 25,4 mm
Uteg	nehrdajući čelik, ±0,5%
Težina utega	2,16 kg
Dimenzije uređaja	300 x 350 x 570 mm
Težina uređaja	21 kg
Potrošnja električne energije	400 W max



#### 6.5.4. Kidalica za ispitivanje vlačne čvrstoće Schimadzu AG – X plus

Za ispitivanje vlačne čvrstoće korištena je kidalica Schimadzu AG – X plus mjernog područja do 100 kN. Kidalicom se upravlja te vrši ispitivanje pomoću računala i računalnog programa TrapeziumX u koji se unose podaci o tipu i načinu ispitivanja.

Karakteristike kidalice za ispitivanje vlačne čvrstoće Schimadzu AG – X plus :

- mjerno područje do 100 kN,
- omogućuje ispitivanje na vlak, tlak i savijanje,
- omogućuje ispitivanje plosnatih epruveta od 0-21 mm (100/50 kN),
- omogućuje ispitivanje okruglih epruveta D4-D24 (100/50 kN).



Slika 49. Kidalica Schimadzu AG – X plus

## 6.6. Rezultati ispitivanja

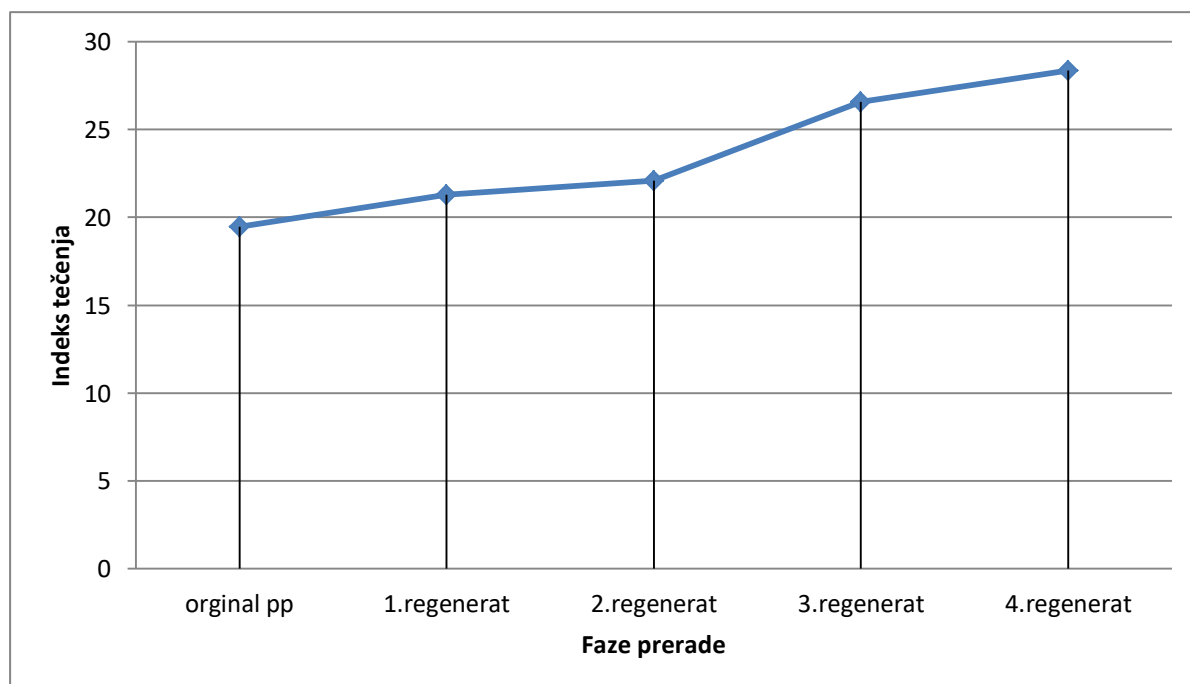
### 6.6.1. Rezultati ispitivanja indeksa tečenja (MFR )

Granične vrijednosti indeksa tečenja za polipropilen kreću se od 5 – 25 g/10 min.

U tablici 7. dati su rezultati ispitivanja indeksa tečenja za polipropilen, a na slici 50. nalazi se grafički prikaz tih istih rezultata.

Tablica 8. Rezultati ispitivanja indeksa tečenja za polipropilen (PP)

	Temperatura [ °C]	Vrijeme taljenja [ s]	Indeks tečenja [ g/10 min]	Opterećenje [Pa]
original PP	229,9	5.11	19.48	19510
1.regenerat	230,1	4.62	21.29	19510
2.regenerat	230,2	4.51	22.09	19510
3.regenerata	230,1	3.82	<b>26.56</b>	19510
4.regenerat	230,1	3.43	<b>28.35</b>	19510



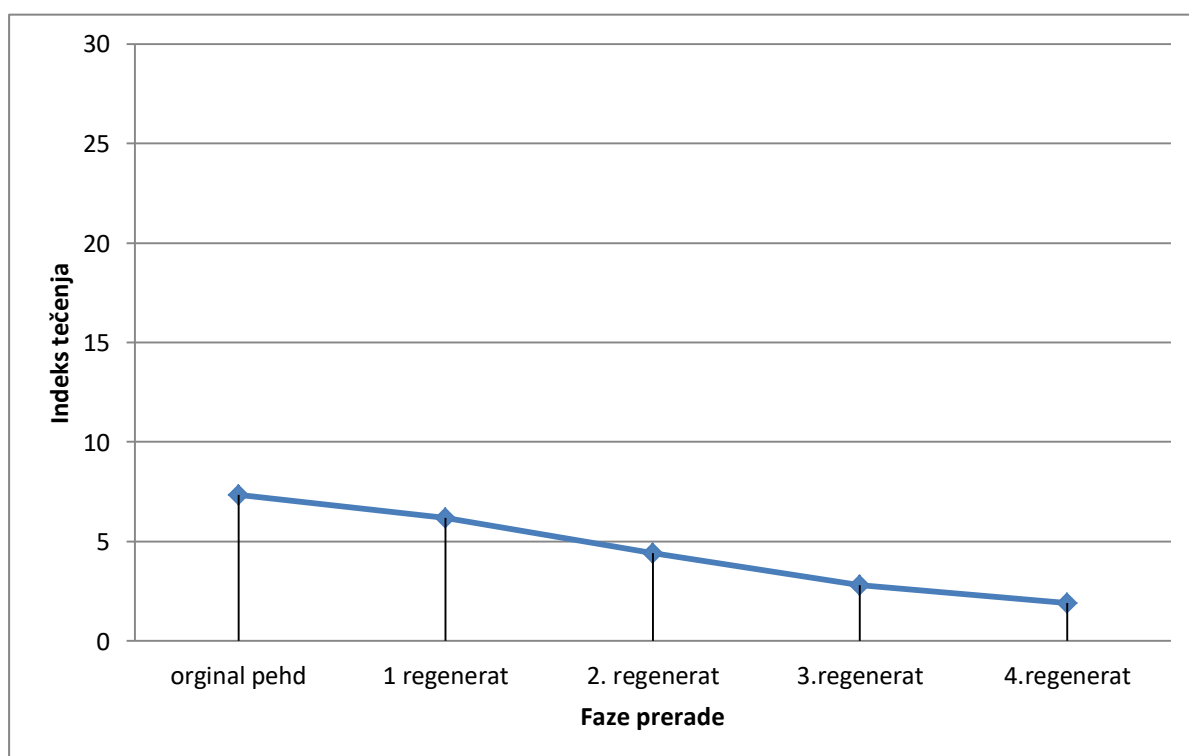
Slika 50. Grafički prikaz indeksa tečenja za polipropilen

Granične vrijednosti indeksa tečenja za polietilen kreću se od 6 – 10 g/10 min.

U tablici 8. dati su rezultati ispitivanja indeksa tečenja za polietilen visoke gustoće, a na slici 51. nalazi se grafički prikaz tih istih rezultata.

Tablica 9. Rezultati ispitivanja indeksa tečenja za polietilen visoke gustoće (PEHD)

	Temperatura [°C]	Vrijeme taljenja [s]	Indeks tečenja [g/10 min]	Opterećenje [Pa]
original PEHD	190,0	14.12	7.327	19510
1.regenerat	190,1	16.55	6.187	19510
2.regenerat	190,1	23.11	4.427	19510
3.regenerata	190,0	36.82	<b>2.808</b>	19510
4.regenerat	190,0	53.97	<b>1.900</b>	19510



Slika 51. Grafički prikaz indeksa tečenja za polietilen visoke gustoće

## 6.6.2. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće (R<sub>m</sub>)

Prilikom ispitivanja vlačne čvrstoće koristile su se sljedeće formule:

$$S_o = a \cdot b \text{ [mm]} \quad \text{površina poprečnog presjeka ispitnog uzorka} \quad (12)$$

$$R_m = F_m / S_o \quad \text{[N/mm}^2\text{]} \quad \text{vlačna čvrstoća} \quad (13)$$

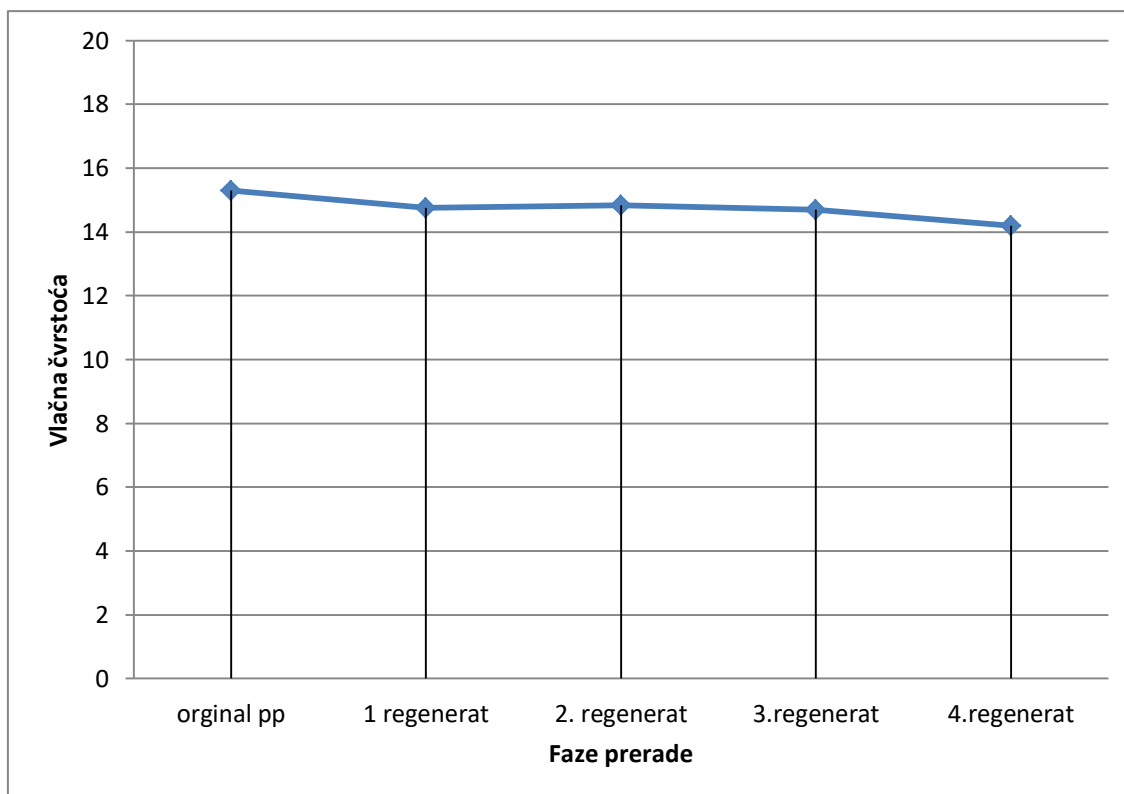
$$R_k = F_k / S_o \quad \text{[N/mm}^2\text{]} \quad \text{prekidna čvrstoća} \quad (14)$$

$$\varepsilon = \Delta l / l_o \cdot 100 \% \quad \text{istežanje nakon kidanja} \quad (15)$$

Tablica 10. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće za polipropilen (PP)

	<b>Maksimalna Sila</b>	<b>Vlačna Čvrstoća</b>	<b>Sila Kidanja</b>	<b>Prekidna Čvrstoća</b>	<b>Produljenje</b>	<b>Istežanje</b>
	<b><math>F_m</math> [N]</b>	<b><math>R_m</math> [N/mm]</b>	<b><math>F_k</math> [N]</b>	<b><math>R_k</math> [N/mm]</b>	<b><math>\Delta l</math> [mm]</b>	<b><math>\varepsilon</math> [%]</b>
original pp	1009,53	15,2959	843,096	12,7742	27,6124	39,7873
1.regenerat	974,576	14,7663	910,838	13,8006	18,4343	20,7127
2.regenerat	978,708	14,8289	690,254	10,4584	33,9285	40,8778
3.regenerat	970,586	14,7059	769,266	11,6555	37,0680	42,6070
4.regenerat	936,572	14,1905	874,265	13,2464	19,9351	23,4530

U tablici 10. dati su rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće polipropilena, a na slici 52. nalazi se grafički prikaz tih rezultata.

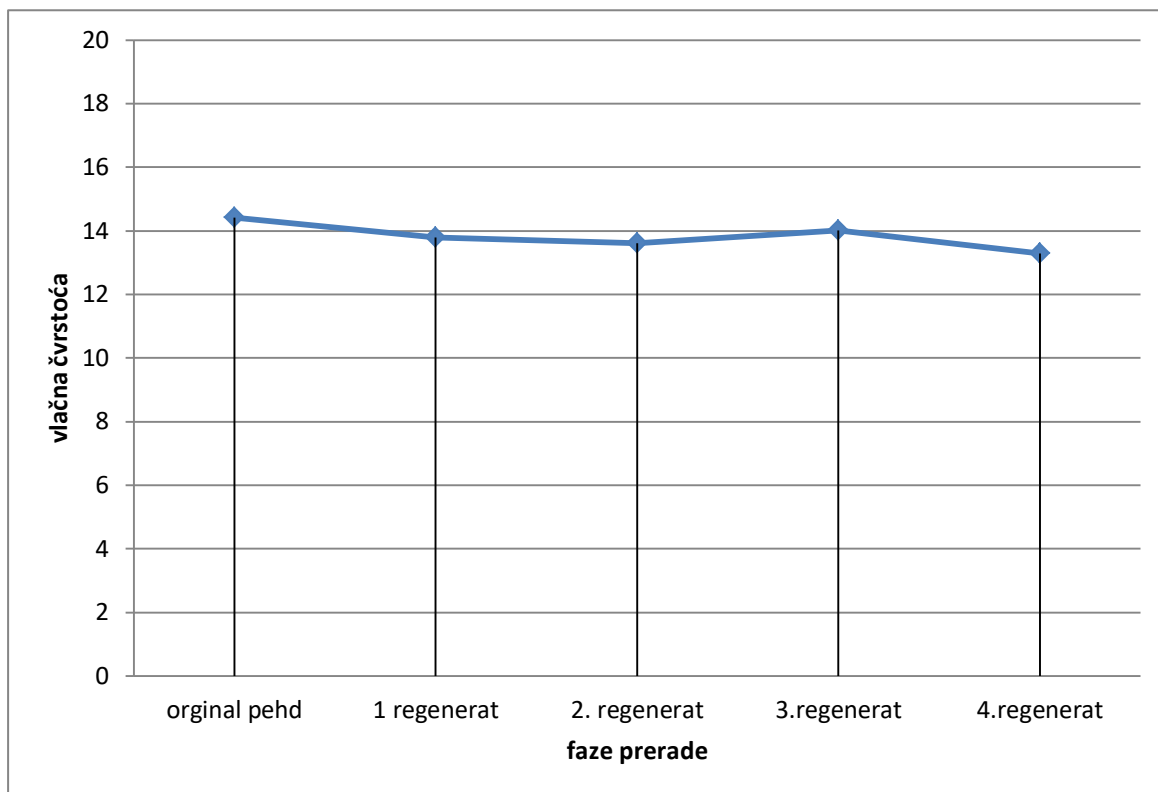


Slika 52. Grafički prikaz vlačne čvrstoće za polipropilen

Tablica 11. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće za polietilen visoke gustoće (PEHD)

	Maksimalna Sila $F_m$ [N]	Vlačna Čvrstoća $R_m$ [N/mm]	Sila Kidanja $F_k$ [N]	Prekidna Čvrstoća $R_k$ [N/mm]	Produljenje $\Delta l$ [mm]	Istezanje $\varepsilon$ [%]
original pehd	1009,19	14,4171	541,131	7,73044	35,4559	46,6526
1.regenerat	965,484	13,7926	554,339	7,91913	32,0503	45,7862
2.regenerat	952,069	13,6010	499,868	7,14098	34,4342	45,9122
3.regenerat	980,568	14,0081	803,789	11,4827	42,9745	63,1977
4.regenerat	929,658	13,2808	617,790	8.82558	42,7350	57,7500

U tablici 11. dati su rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće polietilena visoke gustoće, a na slici 53. nalazi se grafički prikaz tih rezultata.



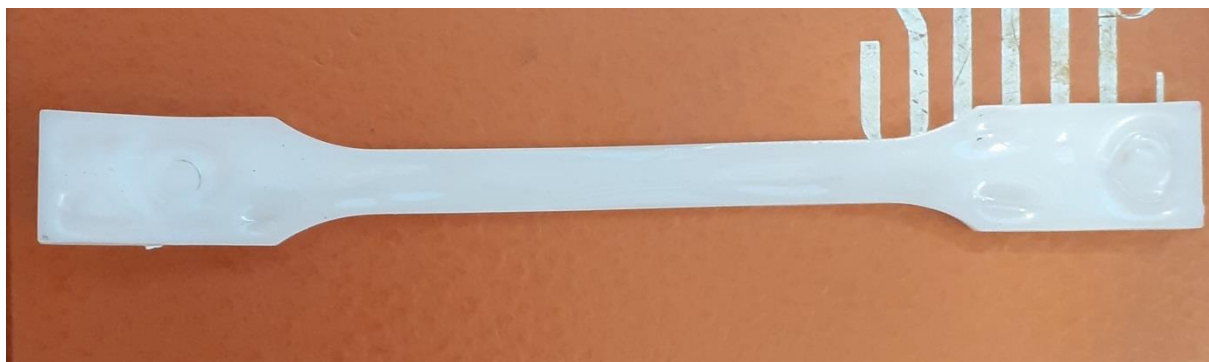
Slika 53. Grafički prikaz vlačne čvrstoće za polietilen visoke gustoće

## 6.7. ANALIZA REZULTATA

### 6.7.1. Analiza rezultata indeksa tečenja

Kod ispitivanja indeksa tečenja polipropilena, zahtjevane granične vrijednosti iznose 5 – 25 g/10 min. Uspoređivanjem rezultata dobivenih ispitivanjem vidljivo je da original te 1. i 2. regenerat ispunjavaju postavljene uvjete. Regenerati 3. i 4. ne ispunjavaju postavljene uvjete, indeks tečenja raste iznad gornje dozvoljene granice te se smatraju škartom i ne mogu se vratiti u ponovnu preradu, odnosno proizvodnju novih proizvoda.

Previsoki indeks tečenja uzrokovat će razlijevanje taline polipropilena u kalupu injekcijske preše, ispunit će se zračni kanali i šupljine a otpresak neće imati zahtjevane dimenzije (slika 54.).



Slika 54. Izgled ispitnog uzorka sa previsokim indeksom tečenja

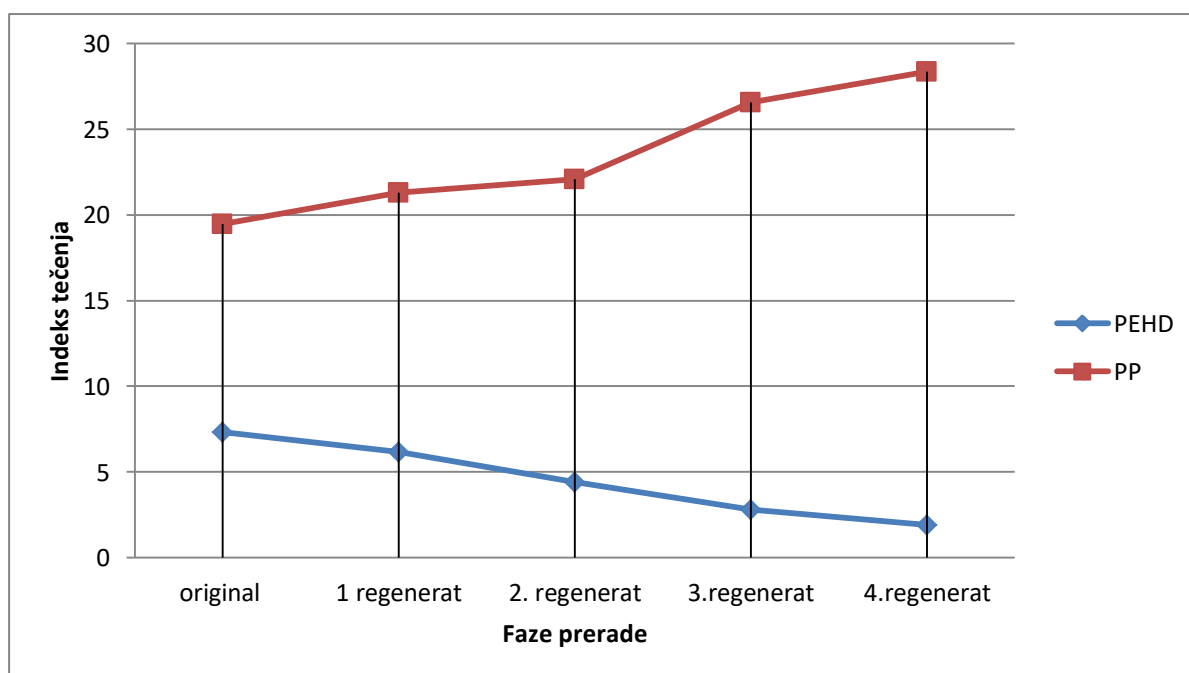
Kod ispitivanja indeksa tečenja polietilena, zahtjevane granične vrijednosti iznose 6 – 10 g/10min. Uspoređivanjem rezultata dobivenih ispitivanjem vidljivo je da original te 1. regenerat ispunjavaju postavljene uvjete. Indeks tečenja za regenerat 2. iznosi 4.427 g/min, i ne ispunjava zahtjeve, no miješanjem sa originalom u omjeru 50 : 50, postiže se zadovoljavajući indeks tečenja te je moguća daljnja prerada, odnosno proizvodnja. Vrijednost indeksa tečenja niža od 4 g/min nije financijski isplativa za daljnju preradu te se upućuje ovlaštenim organizacijama za prikupljanje i zbrinjavanje polimernog otpada.



Preradama polietilena visoke gustoće, indeks tečenja pada, što će imati za posljedicu slabo i nepotpuno popunjavanje kalupa (slika 55.).



Slika 55. Izgled ispitnog uzorka sa pre niskim indeksom tečenja

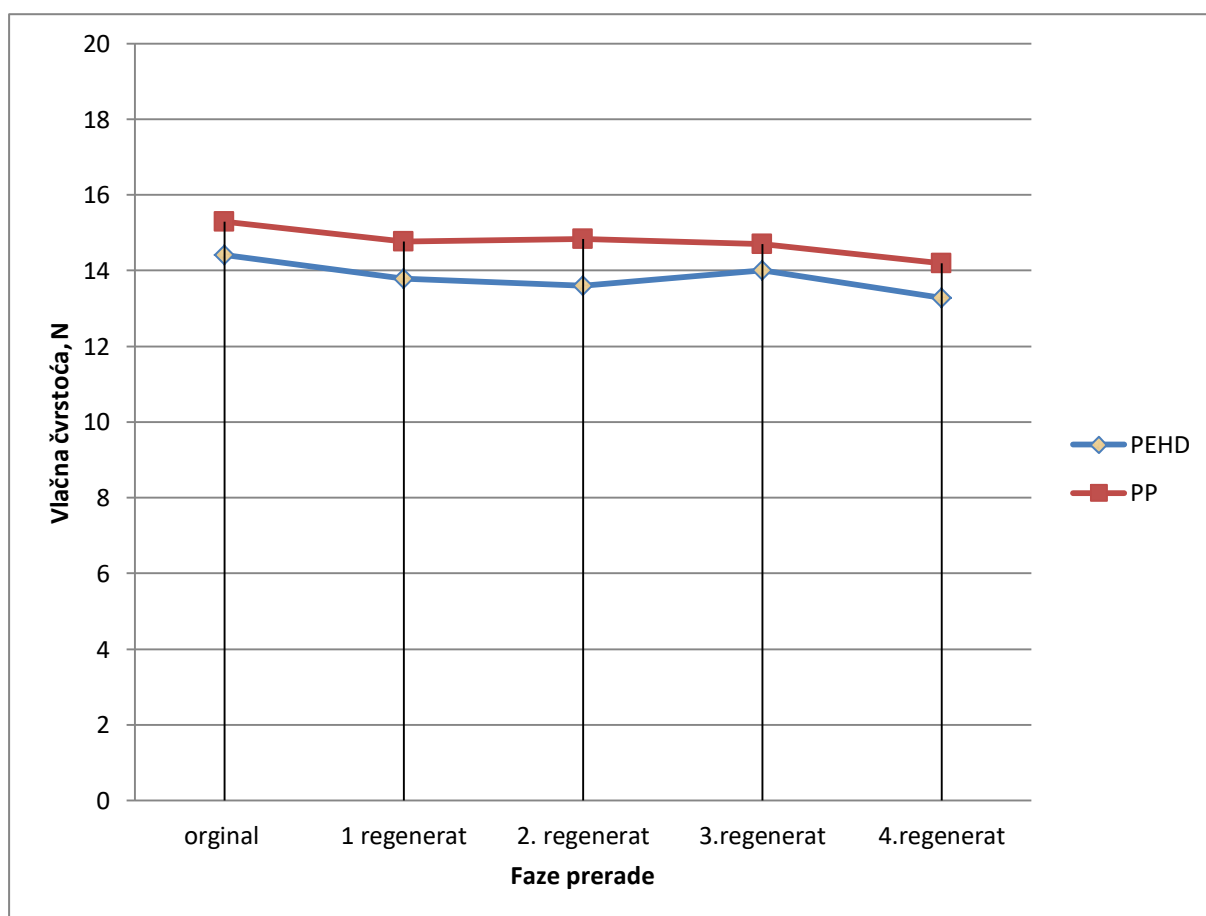


Slika 56. Grafički prikaz usporedbe indeksa tečenja polipropilena i polietilena visoke gustoće

Slika 56. prikazuje usporedbu indeksa tečenja polipropilena i polietilena s obzirom na broj prerada.

## 6.7.2. Analiza rezultata vlačne čvrstoće

Mjerenjem vlačne čvrstoće originala i regenerata utvrđeno je da broj faza prerade polipropilena ne utječe značajno na iznos vlačne čvrstoće, bilježi se vrlo blagi pad. Kao i kod polipropilena, tako i kod originala i regenerata polietilena visoke gustoće, broj faza prerade ne utječe bitno na iznos vlačne čvrstoće, bilježi se vrlo blagi pad. Navedene analize vlačne čvrstoće za oba materijala su grafički prikazane na slici 57.



Slika 57. Grafički prikaz usporedbe vlačne čvrstoće polipropilena i polietilena visoke gustoće

## 7. ZAKLJUČAK

Tema ovog završnog rada bila je ispitati i utvrditi broj mogućih prerada polipropilena i polietilena visoke gustoće, na kojima će ovi plastomeri zadržati dozvoljeni indeks tečenja i vlačnu čvrstoću.

Rezultati ispitivanja pokazali su da s preradama od originala do 4. regenerata, indeks tečenja kod polipropilena (PP MOPLN540P) raste, od početnog 19,48 do 28,35 g/min. Analizom rezultata utvrđeno je da s 2. regeneratom (22,09 g/min.) prestaje mogućnost daljnje prerade, jer će se rastaljeni polipropilen razljevati kroz šupljine kalupa što će imati za posljedicu greške u dimenzijama i obliku otpreska.

Kod polietilena visoke gustoće (PE KT10000) rezultati ispitivanja su pokazali da indeks tečenja s preradama, od originala do 4. regenerata pada, od početnog 7,327 do 1,900 g/min. Analizom je utvrđeno da se prerada osim kod originala i 1. regenerata može izvoditi i s 2. regeneratom uz uvjet mješanja s originalom.

Kod ispitivanja indeksa tečenja uređaj na istom uzorku vrši tri mjerenja, te daje srednju vrijednost koja se i koristila u ovom završnom radu.

Drugi dio ispitivanja odnosio se na utjecaj vlačne čvrstoće na broj prerada.

Analizom je utvrđeno da vlačna čvrstoća kod oba materijala bilježi blagi pad i nema značajan utjecaj na broj prerada ovih plastomera.

Iz ovog ispitivanja može se zaključiti da broj prerada ne utječe bitno na vlačnu čvrstoću, ali utječe na indeks tečenja materijala.

## LITERATURA

[1] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49183>,

(pristupljeno 29.8.2020.)

[2] <https://uz.all.biz/img/uz/catalog/126749.jpeg> (pristupljeno 29.8.2020.)

[3] [file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/259\\_bonato\\_sabalja%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/259_bonato_sabalja%20(1).pdf)

(pristupljeno 29.8.2020.)

[4] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT4DfBuPX9rUHF9dEhmPm7qJeYVcupUEJsRQg&usqp=CAU> (pristupljeno 1.9.2020.)

[5] [https://www.gebraucht-kaufen.de/sh-img/Bakelit-Oliven-Kette-rot-Bakelite-Schmuck-BERNSTEIN\\_bakelit%2Bschmuck.jpg](https://www.gebraucht-kaufen.de/sh-img/Bakelit-Oliven-Kette-rot-Bakelite-Schmuck-BERNSTEIN_bakelit%2Bschmuck.jpg) (pristupljeno 01.09.2020.)

[6] *Podloge za predavanja*, Veleučilište u Karlovcu, Dr.sc.Tihana Kostadin, mag.ing.mech.,2018.

(pristupljeno 01.09.2020.)

[7] Kovačićek, F. Španiček, Đ.,: *Materijali-osnove znanosti o materijalima*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000

[8] <https://images.app.goo.gl/npzeYQM6FqXPPqWT7>

(pristupljeno 15.09.2020.)

[9] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQmDav80uUqD5rr1F2GHT0SmDyM7qYjf3dTgQ&usqp=CAU> (pristupljeno 15.09.2020.)

[10] <http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20/Podjela%20polimeria.pdf>

(pristupljeno 15.09.2020.)

[11] <https://docplayer.gr/docs-images/69/61608778/images/5-0.jpg>

(pristupljeno 15.09.2020.)

[12] <https://docplayer.gr/docs-images/87/96898289/images/49-0.jpg> (pristupljeno 17.09.2020.)

[13] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSwA2UCcWLECPllme51r0mJVCj0ZfcLURgFBQ&usqp=CAU> (pristupljeno 17.09.2020.)

[14] Filetin, T., Kovačićek, F., Indof, J.,: *Svojstva i primjena materijala*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.

[15] <https://images.app.goo.gl/vTRZUNXdBAdEGxMn8>

(pristupljeno 17.09.2020.)

[16] <https://images.app.goo.gl/qtojcJVawm89qvni9>

(pristupljeno 17.09.2020.)

[17] <https://images.app.goo.gl/b2Za3JL9Pwx2KRjFA>

(pristupljeno 23.09.2020.)

[18] <https://images.app.goo.gl/LBZQrsueds3HqUti7>

(pristupljeno 25.09.2020.)

[19] <https://www.mysportsphoto.jp/moiwa/bimages/20200503101255.jpg>

(pristupljeno 25.09.2020.)

[20] <https://images.app.goo.gl/oyypZy5Jzf2qbJFU9>

(pristupljeno 25.09.2020.)

[21] <https://images.app.goo.gl/Sj3C4hzoAk6bfxGLA>

(pristupljeno 26.9.2020.)

[22] <https://images.app.goo.gl/ri7i4u6JXupHHuRz9>

(pristupljeno 28.09.2020.)

[23] <https://images.app.goo.gl/V3VUqgjc7Zq7hhBCA>

(pristupljeno 28.09.2020.)

[24] [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQFDxeweMo0ngzy2ypaAzvw\\_IVO-4agn1VTMg&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQFDxeweMo0ngzy2ypaAzvw_IVO-4agn1VTMg&usqp=CAU)

(pristupljeno 28.09.2020.)

[25] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=13558>

(pristupljeno 28.09.2020.)

[26] [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/polimerni\\_materijali\\_preradba.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/polimerni_materijali_preradba.pdf)

(pristupljeno 28.09.2020.)

[27] [https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Prerada\\_polimera.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Prerada_polimera.pdf)

(pristupljeno 3.10.2020.)

[28] <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:886260>

(pristupljeno 3.10.2020.)

[29] <http://m.hr.lr-test.com/info/plastic-test-tips-melt-flow-rate-35798577.html>

(pristupljeno 3.10.2020.)

[30] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49209>

[31] <https://korak.com.hr/wp-content/uploads/2017/03/k07-vlakna-2.jpg>

(pristupljeno 4.10.2020.)

[32] [https://www.biroteka.si/14370-34328-home\\_dm/selotejp-ac-2520-master-48-x-66-m.jpg](https://www.biroteka.si/14370-34328-home_dm/selotejp-ac-2520-master-48-x-66-m.jpg)

(pristupljeno 4.10.2020.)

[33] <https://decorexpro.com/images/article/orig/2017/11/plyusy-i-minusy-kovrov-iz-polipropilena-20.jpg>

(pristupljeno 4.10.2020.)

[34] <https://www.tehnologijahrane.com/wp-content/uploads/2008/09/polietilen.JPG>

(pristupljeno 4.10.2020.)

[35] [http://gasket.hr/documents/PE\\_tablica.pdf](http://gasket.hr/documents/PE_tablica.pdf) (pristupljeno 5.10.2020.)

[36] <https://images.app.goo.gl/ytKfaGWgFbuuEzzAA>

(pristupljeno 5.10.2020.)

[37] <https://images.app.goo.gl/dgRZTIQwG7C1i18p9>

(pristupljeno 5.10.2020.)

[38] *Podloge za tehnološki proces klasičnog injekcijskog prešanja*, DW reusables , Vojnić, 2010

[39] [https://media.springernature.com/lw785/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-319-91713-9\\_11/MediaObjects/451422\\_1\\_En\\_11\\_Fig1\\_HTML.png](https://media.springernature.com/lw785/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-319-91713-9_11/MediaObjects/451422_1_En_11_Fig1_HTML.png)

(pristupljeno 5.10.2020.)

