Svojstva i primjena polimernih materijala u njihova oporaba u Hrvatskoj

Fudurić, Ana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:009444

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO

ANA FUDURIĆ

SVOJSTVA I PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA I NJIHOVA OPORABA U HRVATSKOJ

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2016.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO

ANA FUDURIĆ

SVOJSTVA I PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA I NJIHOVA OPORABA U HRVATSKOJ

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Tihana Kostadin, mag.ing.mech.

KARLOVAC, 2016.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J. J. Strossmayera 9
HR • 47000 Karlovac • Croatia
tel. +385 (0)47 843-510
fax. +385 (0)47 843-579
e-mail: referada@vuka.hr

HRN EN ISO 9001:2009

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni **/ specijalistički studij**:...STROJARSTVO.....
(označiti)

Usmjerenje:.....PROIZVODNO STROJARSTVO.....Karlovac, ..02.03.2016.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:.....ANA FUDURIĆ..... Matični broj:....0111414016.....

Naslov: SVOJSTVA I PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA I NJIHOVA OPORABA U HRVATSKOJ

.....
Opis zadatka:

U radu je nakon uvoda u teorijskom dijelu potrebno opisati razvoj, vrste i svojstva polimernih materijala. Posebno obraditi mehanička svojstva polimera. Nakon postavke zadatka, u eksperimentalnom dijelu, napraviti ispitivanje statičke vlačne čvrstoće na probnim uzorcima iz 3 izabrane vrste polimernih materijala, opisati te materijale, te napraviti analizu dobivenih rezultata. Također obraditi oporabu polimernih materijala u Hrvatskoj. Na kraju napisati zaključak. Eksperimentalni dio rada odraditi u laboratoriju Veleučilišta. Završni rad urediti prema pravilima VUK.a.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
02.03.2016.	17.06.2016.	28.06.2016.
.....	.....	.....
Mentor:		Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA

Izjavljujem da sam ja – studentica Ana Fudurić, OIB: 03415368777, matični broj: 0111414016, upisana u IV. semestar Specijalističkog diplomskog stručnog studija strojarstva akademske godine 2015./2016., radila ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Tihane Kostadin, mag.ing.mech. kojoj se ovim putem zahvaljujem.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima na potpori tijekom školovanja.

Ana Fudurić

_____

Karlovac, 23.05.2016.

SAŽETAK

Tema završnog rada je Svojstva i primjena polimernih materijala i njihova oporaba u Hrvatskoj. Kod polimera posebno su zanimljiva mehanička svojstva koja se dijele na kratkotrajna i dugotrajna svojstva i ona će biti opisana u nastavku ovog rada.

Postoji nekoliko čimbenika koji utječu na mehanička svojstva, a to su temperatura, vlaga, brzina deformiranja i trajanje opterećenja.

Razvoj i primjena polimernih materijala ima vrlo širok aspekt gledanja, jer se polimeri primjenjuju u svakodnevnom životu. Primjeri prirodnih polimera su polisaharidi, DNA, RNA, celuloza, škrob, dok u sintetske polimere spadaju vlakna, plastika, gume, premazi, boje i ljepila.

U eksperimentalnom dijelu ovog rada provodi se statički vlačni pokus na standardnim ispitnim uzorcima, odnosno epruvetama, koje su normiranog oblika i dimenzija, napravljene iz lauramida, polipropilena (PP) i poli(oksi-metilena) (POM).

Nakon ispitivanja provedena je usporedba materijala obzirom na zahtijevana svojstva. Posebno se obrađuje oporaba polimernih materijala u Hrvatskoj.

Ključne riječi: *polimeri, mehanička svojstva, oporaba.*

SUMMARY

PROPERTIES AND USAGE OF POLYMER MATERIALS AND THEIR RECYCLING IN CROATIA

The theme of this work is Properties and usage of polymer materials and their recycling in Croatia. Particularly interesting with polymers are their mechanical properties, which are divided into short and long term performance and they will be described later in this paper.

There are several things that influence their mechanical properties, and these are temperature, moist, speed of deformation and duration of resistance.

Development and usage of polymer materials has very wide aspect of usage, because polymers are used in every day life. Example of natural polymers are polysaccharides, DNA, RNA, cellulose, starch, fibers, rubber, plastics, coats, colors and glues.

In the experimental part of this work we conduct a static tensile test on standard examples, that is on tubes, which have standard shape and dimension, and are made from lauramid, polypropylene and polyoxymethylene.

After the experiment has been made, we have made a comparison of materials with respect to their complicated properties. We need to put emphasis on recycling of polymer materials in Croatia.

Key words: *polymers, mechanical properties, recycling.*

SADRŽAJ

POPIS SLIKA 6

POPIS TABLICA 9

POPIS OZNAKA 10

POPIS PRILOGA 11

1. UVOD 12

2. RAZVOJ POLIMERNIH MATERIJALA KROZ POVIJEST 13

3. OSNOVNO O POLIMERIMA 17

3.1. Definicija polimera 17

3.2. Podjela polimera 18

3.2.1. Plastomeri 19

3.2.2. Elastomeri 21

3.2.3. Duromeri 22

4. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA 23

4.1. Uvodno o svojstvima polimernih materijala 23

4.2. Mehanička svojstva polimera 24

4.2.1. Utjecaji na mehanička svojstva 29

5. PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA 33

6. POSTAVKA ZADATKA 36

7. EKSPERIMENTALNI DIO 37

7.1. Opis materijala 37

7.1.1. Lauramid 37

7.1.2. Poli (oksi-metilen) 39

7.1.3. Polipropilen 40

7.2. Opis kidalice Shimadzu AG X-plus i programa TrapeziumX 41

7.3. Izrada uzoraka za statički vlačni pokus 46

7.4. Rezultati ispitivanja 50

8. ANALIZA REZULTATA 54

9. OPORABA POLIMERNIH MATERIJALA U HRVATSKOJ 56
10. ZAKLJUČAK.....60
LITERATURA.....61
PRILOZI 63

POPIS SLIKA

Slika 1. Evolucija tehničkih materijala[2] 13

Slika 2. Udjeli korištenja polimera u svijetu 2002.godine[1] 15

Slika 3. Krivulja u razvoju i primjeni materijala[3] 16

Slika 4. Kaučuk[5] 17

Slika 5. Prirodna smola[6] 17

Slika 6. Skijaške cipele od elastoplastomernog poliuretana[7] 18

Slika 7. Primjeri polimera[8] 19

Slika 8. Shematski prikaz makromolekulne strukture osnovnh skupina polimernih materijala[9] 19

Slika 9. Makromolekulna struktura amorfnih plastomera (J.M.Charrier)[10] 20

Slika 10. Makromolekulna struktura kristalastih plastomera (J.M.Charrier) [10] 20

Slika 11. Shematski prikaz istezanja gume[11] 21

Slika 12. Karakteristični dijagram "naprezanje-istezanje" osnovnih skupina polimernih materijala[17] 24

Slika 13. Tipičan σ-ε dijagram polimernog materijala[18] 25

Slika 14. Raščlanjeni dijagram "naprezanje-istezanje" kristalastih plastomera[9] 25

Slika 15. Postupak određivanja modula elastičnosti polimernih materijala[9] 26

Slika 16. Temeljni prikaz ponašanja polimernih materijala pri dugotrajnom statičkom opterećenju (krivulje puzanja i relaksacije polimernih materijala)[9] 27

Slika 17. Prikaz ponašanja polimernih materijala pri dinamičkom opterećenju[9] 28

Slika 18. Analiza podataka iz tablice 7[9] 28

Slika 19. Ovisnost oblika σ-ε krivulja za polikarnobat (PC) o tempratu okoline[20] 29

Slika 20. Ovisnost oblika σ-ε krivulja suhog poliamida (PA 66) o temperaturi okoline[20] 30

Slika 21. Ovisnost vrijednosti sekantnog modula E_s suhog poliamida (PA 66) o temperaturi okoline[20] 30

Slika 22. Utjecaj udjela vlage u poliamidu (PP 66) na oblik σ-ε krivulja[20] 31

Slika 23. Utjecaj brzine deformiranja suhog poliamida (PA 66) na oblik σ-ε krivulja[20] 32

Slika 24. Izgled dijagrama za poliamid (PA 66) pri 23 °C i relativnoj vlazi 50%[20] 32

Slika 25. Čarape[13] 33
Slika 26. Loptica za bejzbol[14] 33
Slika 27. Zvučnik[15] 34
Slika 28. CD disk[16] 34
Slika 29. Stadionska sjedalica: a - od polipropilena, b - od poliamida[19] 35
Slika 30. Poprečni presjek podloge od umjetne trave[19] 35
Slika 31. Zupčanik, zupčasti disk[21] 38
Slika 32. Proizvodnja lančanika[21] 38
Slika 33. Kolotura za žičaru [21] 39
Slika 34. Izrada zupčanika od polioksimetilena[23] 40
Slika 35. Primjena polioksimetilena u automobilskoj industriji[23] 40
Slika 36. Cijevi za vodu[24] 41
Slika 37. Kidalica SHIMADZU AG - X plus 42
Slika 38. Odabir konstantne vlačne sile 43
Slika 39. Postavljanje brzine ispitivanja od 80 N/sec 43
Slika 40. Odabir materijala i dimenzija epruvete – lauramid 44
Slika 41. Odabir materijala i dimenzije epruvete - POM 44
Slika 42. Odabir vrste materijala i dimenzija epruvete-PP 45
Slika 43. Definiranje parametara koji će se mjeriti 45
Slika 44. Standard za izradu epruveta 46
Slika 45. Epruvete lauramida na kojima se vršilo ispitivanje statičkog vlačnog pokusa 47
Slika 46. Dimenzije epruvete - LAURAMID 47
Slika 47. Epruvete polipropilena na kojima se vršilo ispitivanje statičkog vlačnog pokusa 48
Slika 48. Dimenzije epruvete - POLIPROPILEN 48
Slika 49. Epruvete poli(oksi-metilena) na kojima se vršilo ispitivanje statičkog vlačnog pokusa 49
Slika 50. Dimenzije epruvete – POLI(OKSI-METILEN) 49
Slika 51. Epruveta prije ispitivanja 52
Slika 52. Epruveta nakon ispitivanja 52

Slika 53. Epruvete nakon ispitivanja 52

Slika 54. Dijagram epruvete 1-1(a) i epruvete 1-2(b) (LAURAMID).....54

Slika 55. Dijagram epruvete 2-1 (POLIPROPILEN) 54

Slika 56. Diijagram epruvete 3-1(a) i epruvete 3-2(b) (POLI(OKSI-METILEN)).....55

Slika 57. Dijagram podjele oporabe materijala.....56

Slika 58. Proizvodnja poklopaca za mljekarsku industriju[30] 58

Slika 59. PE vrećice[30].....59

Slika 60. PE folije[30].....59

Slika 61. Folije za označavanje[30].....59

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kronološki prikaz događaja koji su omogućili i unaprijedili proizvodnju sintetskih polimernih materijala[1] 14

Tablica 2. Proizvodnja materijala (milijuni tona) u 1990.godini[3].....15

Tablica 3. Pregled nekih svojstava polimernih materijala[3].....23

Tablica 4. Pregled mehaničkih svojstava[9].....24

Tablica 5. Opis ponašanja epruveta od kristalastog plastomera pri vlačnom opterećenju[9].26

Tablica 6. Orijentacijske vrijednosti modula elastičnosti polimernih materijala[9] 26

Tablica 7. Kritična istezanja nekih polimernh materijala (orijentacijske vrijednosti)[9] 28

Tablica 8. Ovisnost vrijednosti modula elastičnosti E i temperature ϑ_g o masenom udjelu vlage u poliamidu (PP 66)[20].....31

Tablica 9. Pregled najzastupljenijih plastomera[20] 37

Tablica 10. Rezultati svih sedam ispitanih epruveta - LAURAMID 50

Tablica 11. Rezultati svih sedam ispitanih epruveta - POLIPROPILEN 51

Tablica 12. Rezultati svih sedam ispitnih epruveta - POLI(OKSIMETILEN) 51

Tablica 13. Simboli koji se nalaze na otpadnoj plastic [26] 57

POPIS OZNAKA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	ZNAČENJE
ABS	-	akrilonitril/butadien/stiren
PA	-	poliamid
PBT	-	poli(butilen-tereftalat)
PC	-	polikarbonat
PE-HD	-	polietilen visoke gustoće
PE-LD	-	polietilen niske gustoće
PMMA	-	poli(metil-metakrilat)
POM	-	poli(oksi-metilen)
PP	-	polipropilem
PS	-	polistiren
PTFE	-	poli(tetrafluoretilen)
PVC	-	poli(vinil-klorid)
SAN	-	stiren/akrilonitril
PF	-	fenol-formaldehidi
UP	-	urea-formaldehidi
MF	-	melamin-formaldehidi
PA 6	-	poliamid 6
ε	mm/mm	istezanje ili relativno produljenje
σ	N/mm^2	naprezanje
E	N/mm^2	modul elastičnosti za određeni materijal
a	mm	debljina epruvete
b	mm	širina epruvete
B	mm	širina glave epruvete
h	mm	visina glave epruvete
L_0	mm	početna mjerna duljina epruvete
L_c	mm	ispitna duljina epruvete
L_t	mm	ukupna duljina epruvete
S_0	mm^2	površina poprečnog presjeka
Re	N/mm^2	granica razvlačenja
Rm	N/mm^2	vlačna ili rastezna čvrstoća
A	%	vrijednost konačnog istezanja

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-1 64

Prilog 2. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-2 65

Prilog 3. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-3 66

Prilog 4. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-4 67

Prilog 5. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-5 68

Prilog 6. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-6 69

Prilog 7. Rezultati ispitivanja - LAURAMID/1-7 70

Prilog 8. Rezultati ispitivanja - PP/2-1.....71

Prilog 9. Rezultati ispitivanja - PP/2-2.....72

Prilog 10. Rezultati ispitivanja - PP/2-3.....73

Prilog 11. Rezultati ispitivanja - PP/2-4.....74

Prilog 12. Rezultati ispitivanja - PP/2-5.....75

Prilog 13. Rezultati ispitivanja - PP/2-6.....76

Prilog 14. Rezultati ispitivanja - PP/2-7.....77

Prilog 15. Rezultati ispitivanja - POM/3-1.....78

Prilog 16. Rezultati ispitivanja - POM/3-2.....79

Prilog 17. Rezultati ispitivanja - POM/3-3.....80

Prilog 18. Rezultati ispitivanja - POM/3-4.....81

Prilog 19. Rezultati ispitivanja - POM/3-5.....82

Prilog 20. Rezultati ispitivanja - POM/3-6.....83

Prilog 21. Rezultati ispitivanja - POM/3-7.....84

1. UVOD

Dugi niz godina smatralo se da su polimeri agregirane, sekundarnim vezama povezane niskomolekularne tvari. Rasprave o polimerima, kako su građeni, te kojih sve vrsta ima, vodile su se sve do 1922. godine, kada je Herman Staudiger, njemački kemičar uveo pojam i naziv makromolekula.

Polimeri imaju jedan poseban stupanj u hijerarhiji materije i odlikuju se posebnim zakonitostima. Proizvodnja polimernih tvorevina temelji se većinom na istodobnom mehaničkom, toplinskom i reološkom ponašanju polimera. To ponašanje je neposredan odraz makromolekulne strukture polimera i pokretljivosti segmenata makromolekulnih lanaca. [10]

Takav oblik gibanja materijalnih čestica svojstven je samo polimerima. Svojstva nekog materijala definiraju se kao reakcije, odnosno promjene stanja ili druge pojave u materijalu, izazvane djelovanjem unutarnjih i/ili vanjskih čimbenika. [10]

Mehanička svojstva dijele se na statička svojstva, dinamička svojstva i svojstva tvrdoće. Statička svojstva odnose se na otpornost koju pojedini materijal pruža prema djelovanju statičkih sila. [31]

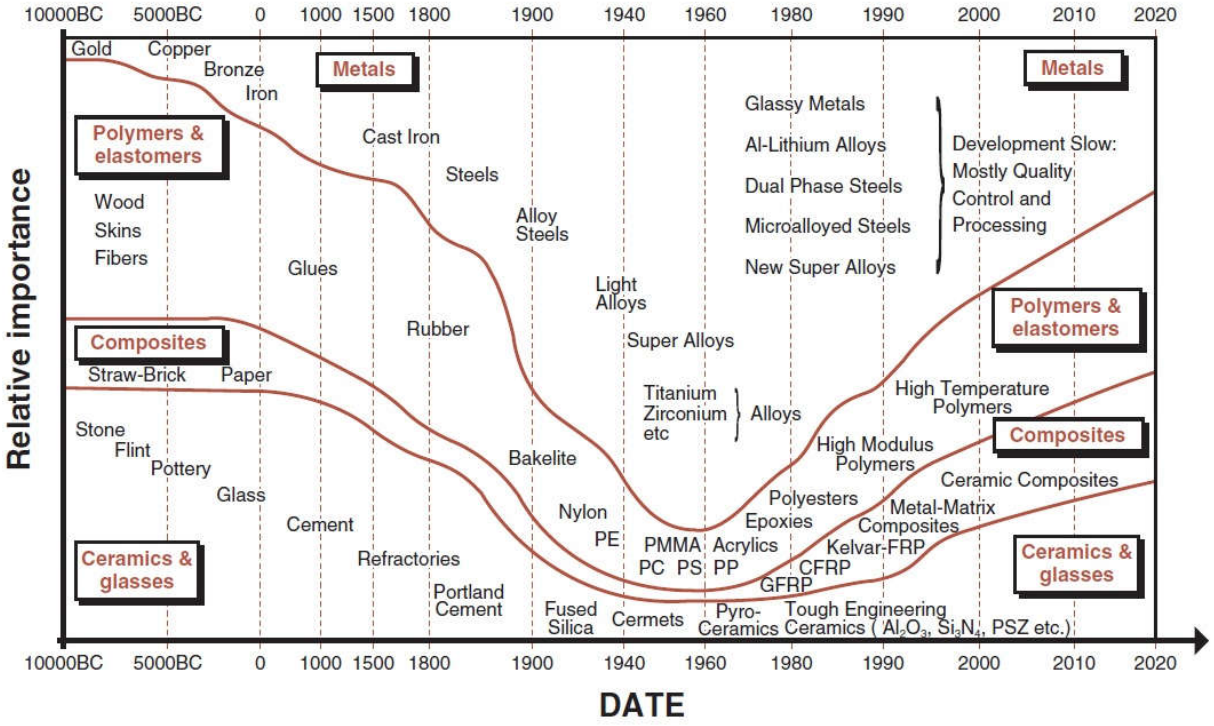
Za ispitivanje čvrstoće koriste se normirani (standardizirani) uzorci, odnosno epruvete. Ispitivanjem normiranog materijala provjerava se ispunjava li taj materijal uvjete iz predviđene norme. [31]

Polimeri imaju dobra mehanička svojstva, nisku cijenu i imaju velike prednosti prilikom odabira materijala. Primjena je široka, jer osim u prehrambenoj industriji ima primjenu u automobilskoj industriji, elektroindustriji, služi za izradu rekreacijske i sportske opreme, primjena je u izradi odjeće i obuće.

2. RAZVOJ POLIMERNIH MATERIJALA KROZ POVIJEST

Polimerni materijali primjenjuju se od postanka čovječanstva, pa sve do današnjih dana kada su otkriveni organski i anorganski polimeri. Prirodni polimeri koriste se za hranu, odjeću, obuću, ogrjev i sl. Razvoj čovječanstva najčešće se uspoređuje s vrstom otkrivenog materijala, koji se koristio za izradu oružja, različitih alata i nakita. [1]

Charles Goodyear 1839. godine zagrijavao je prirodni kaučuk s manjom količinom sumpora i dobio je gumu, pa je time započeo proces vulkanizacije. Prvi sintetski kaučuk nazvan je buna i proizveden je u Njemačkoj tijekom prvog svjetskog rata. U gotovo svim zemljama svijeta između Prvog i Drugog svjetskog rata dolazi do znanstvenih i tehnoloških istraživanja, modifikacija i određivanja strukturnih svojstava polimernih tvari. [1]



Slika 1. Evolucija tehničkih materijala[2]

Slika 1 prikazuje evoluciju tehničkih materijala. Na slici se vidi kako broj materijala od 1940. godine eksponencijalno raste, te je u posljednjih 60-tak godina u primjenu ušlo toliko vrsta materijala koliko u svim prethodnim stoljećima.

Neke procjene govore da danas raspolažemo s 70 000 do 100 000 različitih vrsta materijala. Najveći rast zabilježili su polimerni materijali i to čak od nekoliko milijuna tona 60-tih godina do današnjih oko 200 milijuna tona, s procjenom dvostruke proizvodnje za idućih 30-tak godina. [3]

.

Tablica 1. Kronološki prikaz događaja koji su omogućili i unaprijedili proizvodnju sintetskih polimernih materijala[1]

Godina	Događaj
Prije 1800.	Ljudi su koristili prirodne polimere (vuna, pamuk, koža, svila, lakovi, guma) s vrlo malo modifikacija.
1839.	Charles Goodyear pronašao proces vulkanizacije.
1868.	John Wesley Hyatt izumio celuloid – prvi plastični materijal, jer je bitno promijenjen osnovni materijal (celuloza).
1877.	Fredrich Kekule' predložio lančasti oblik polimera.
1893.	Emil Fischer i Hermann Leuchs predložili lančastu strukturu celuloze i eksperimentalno je dokazali.
1909.	Leo Baekeland objavio je otkriće fenolne smole – prvi polimer dobiven iz potpuno sintetskih materijala.
1924.	Hermann Staudinger – predložio lančastu strukturu potpuno sintetskih polimera.
1925. - 1940.	Adicijskom polimerizacijom sintetizirani – PVC, PMMA, PS, PE, PVAC, PAN, SAN.
1934.	Wallace Carotthes sintetizirao najlon postupkom kondenzacijske polimerizacije.
1940. - 1950.	Kondenzacijskom polimerizacijom proizvedeni PET i nezasićeni poliester.
1955. – 1970.	Proizvedeni mnogi polimeri različitim postupcima – PC, silikoni, acetal, epoksi i poliuretanske smole. Proizvedeni prvi kompozitni materijali upotrebom sintetskih smola i ojačivača (staklena vuna, ugljična vlakna, aramidna vlakna (Kevlar).
1970. – 1990.	Unaprijeđeni postupci dobivanja i svojstava polimera koji su na mnogim mjestima zamijenili metal i drvo.
1990. – 2000.	Proizvedene su sintetske smole vrlo sofisticiranih svojstava kao što su: visokotemperaturna otpornost, niska zapaljivost, osjetljivost na svjetlo, električna vodljivost, biorazgradljivost i biokomatibilnost. Poboljšana svojstva katalizatora koja su omogućila bolja i nova svojstva.

Tablica 1 prikazuje kronološki niz događaja koji su omogućili i unaprijedili proizvodnju polimernih materijala.

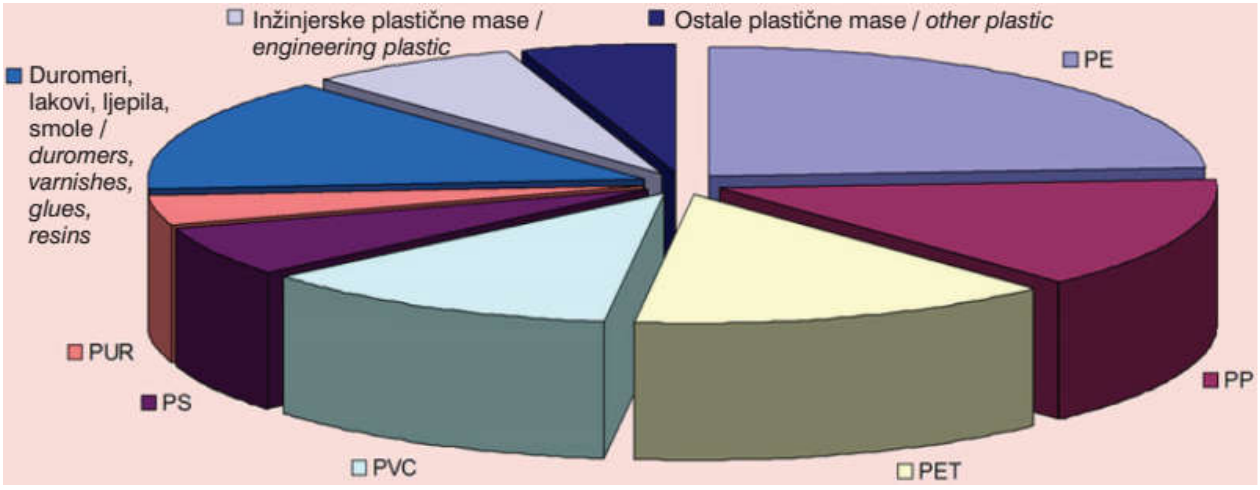
Važno je naglasiti da se polimerni materijali ubrajaju u najvažnije tehničke materijale današnjeg doba iz razloga što služe kao zamjena za uobičajene materijale poput stakla, metala, drveta ili keramike. [1]

Primjeri revolucionarnih primjena materijala zasnovanih na znanstvenim istraživanjima su poluvodiči i silicijev čip u računalu, optička vlakna za prijenos informacija, polimerni kompoziti za gradnju sportskih sprava i zrakoplova, itd. [1]

Tablica 2. Proizvodnja materijala (milijuni tona) u 1990.godini[3]

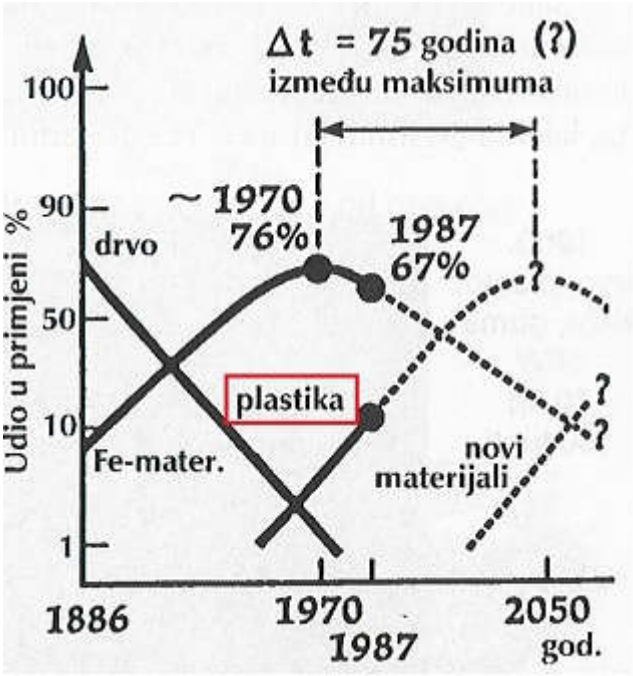
Vrsta materijala	Količina
Beton	950
Materijali na bazi željeza – čelici i ljevovi	800
Polimeri	**200**
Aluminij	16
Bakar	9
Cink	7
Olovo	5
Polimerni kompoziti	**2**
Drvo	2
Nikal	0,7
Magnezij	0,3
Kositar	2
Titan	0,09

Tablica 2 prikazuje proizvodnju materijala tijekom 1990. godine. Vidljivo je da su polimeri zauzeli visoko treće mjesto prema proizvedenoj količini i to čak 200 000 000 tona, a slika 2 prikazuje udio korištenja polimera u svijetu tijekom 2002. godine.



Slika 2. Udjeli korištenja polimera u svijetu 2002.godine[1]

Rezultati istraživanja pokazuju da je 19% polimernih materijala nemoguće zamijeniti alternativnim materijalima. Svjetska proizvodnja polimera 2004. godine premašila je 250 milijuna tona, dok je već 2010. godine dostigla oko 300 milijuna tona. Razlog tome je povećanje životnog standarda i poboljšanje uvjeta življenja u mnogobrojnim razvijenim zemljama te daljnja uspješna zamjena drugim vrstama materijala plastikom. Predviđeno je da će potrošnja polimernih proizvoda u svijetu 2040. godine biti oko 800 milijuna tona. [1]



Slika 3. Krivulja u razvoju i primjeni materijala[3]

Slika 3 prikazuje krivulju razvoja i primjenu pojedinih materijala po S krivulji, te se može uočiti da približno svakih 75 godina pojedine skupine materijala doživljavaju maksimum proizvodnje i primjene. Materijali na bazi željeza imali su maksimum proizvodnje i korištenja oko 1970. godine, a nakon toga nastupila je stagnacija. [3]

3. OSNOVNO O POLIMERIMA

3.1. Definicija polimera

Polimeri su tvari koje se sastoje od makromolekula pa se još nazivaju i makromolekularnim spojevima. Od organskih spojeva u prirodi to su kaučuk, prirodne smole, celuloza, lignin, polisaharidi, škrob, bjelančevine i nukleinske kiseline, odnosno tvari koje su glavnina suhe tvari biljnog i životinjskog svijeta. [4]



Slika 4. Kaučuk[5]



Slika 5. Prirodna smola[6]

Prema postanku polimeri se mogu podijeliti na prirodne ili sintetske (umjetne), a po kemijskom sastavu dijele se na organske i anorganske. Prirodni polimerni materijali mogu se podijeliti na modificirane i nemodificirane. Najvažniji nemodificirani prirodni polimerni materijal je celuloza, zatim slijedi svila, vuna, pamuk, kazein i sl. [4] Modificirani prirodni materijali su celuloza, te guma na osnovi prirodnog kaučuka, prikazano na slici 4 i 5.

3.2. Podjela polimera

Polimeri imaju različita fizikalna i mehanička svojstva koja ovise o velikom broju parametara kao što su kemijski sastav, pravilnost u rasporedu lanaca makromolekula, vrsta i učestalost polarnih grupa, vrsta i broj ogranaka, pojava umrežavanja, prisutnost vodikovih veza, fleksibilnost lanaca, molekulna masa i slično. Polimeri se mogu svrstati u tri skupine promatrajući njihovo ponašanje pri zagrijavanju, a to su:

1. PLASTOMERI;

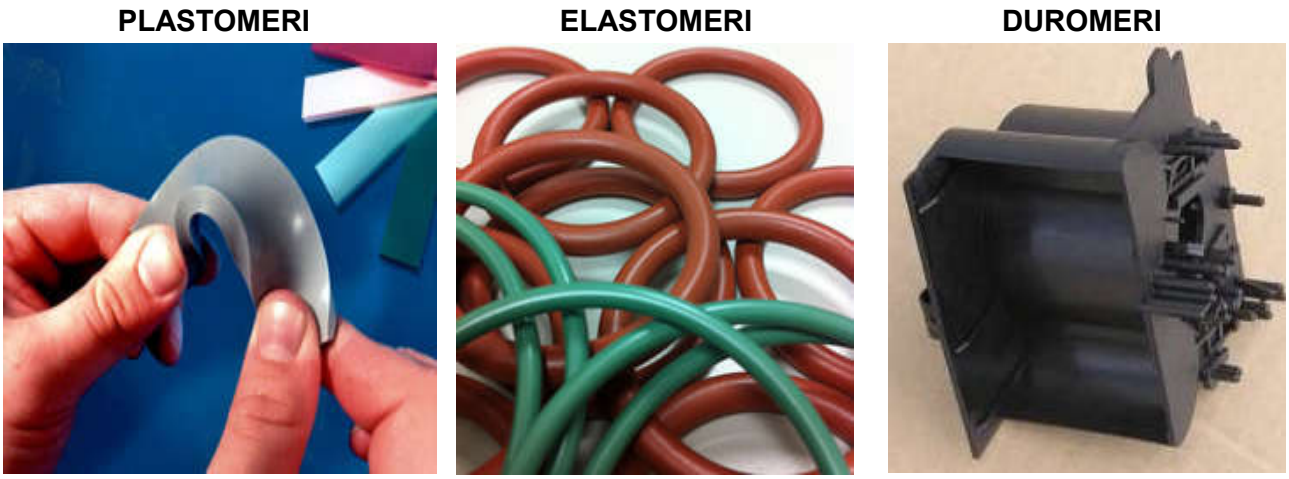
2. ELASTOMERI;

3. DUROMERI.

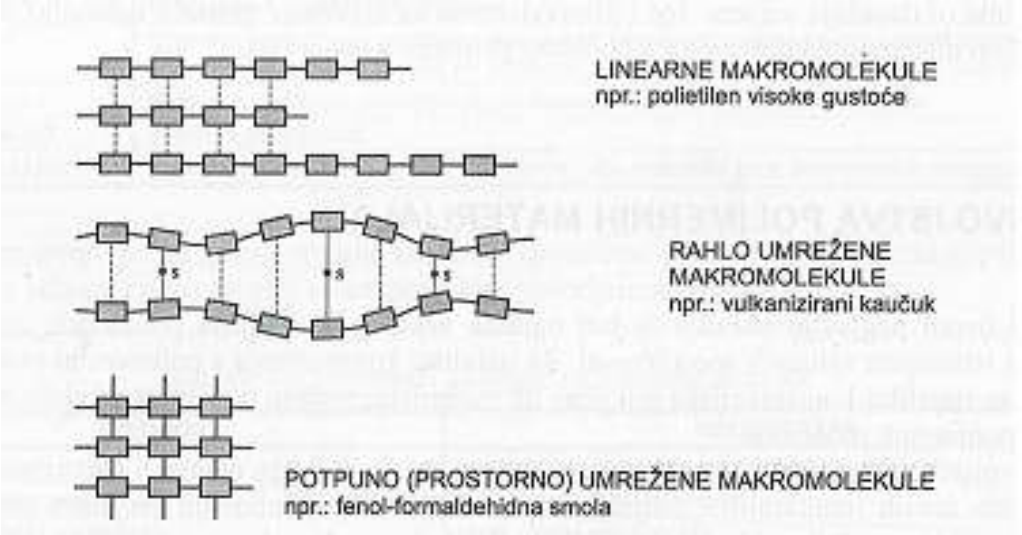
U posljednje vrijeme postoji posebna skupina tzv. ELASTOPLASTOMERI, te je za njih karakteristično da imaju mogućnost prerade kao plastomeri, dok imaju izraženo svojstvo elastičnosti kao elastomeri. Slika 6 prikazuje primjenu elastoplastomera za izradu skijaških cipela, a slika 7 prikazuje primjere plastomera, elastomera i duromera.



Slika 6. Skijaške cipele od elastoplastomernog poliuretana[7]



Slika 7. Primjeri polimera[8]



Slika 8. Shematski prikaz makromolekulne strukture osnovnh skupina polimernih materijala[9]

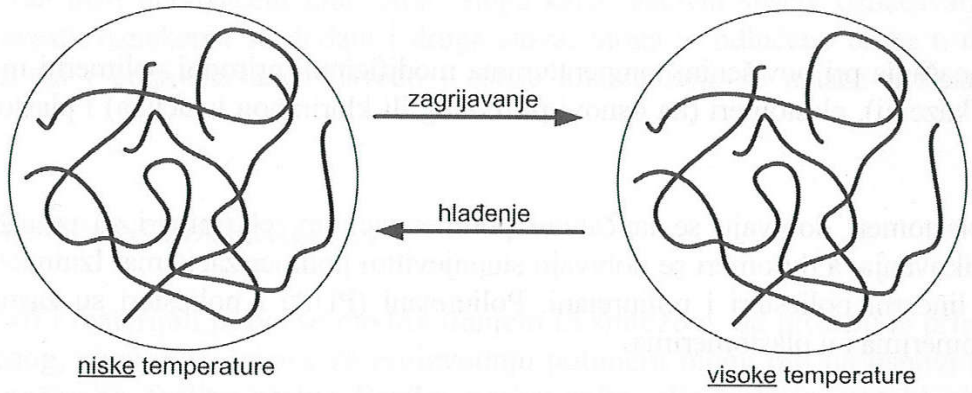
Slika 8 prikazuje shematski prikaz makromolekulne strukture duromera, plastomera i elastomera.

3.2.1. Plastomeri

Prema potrošnji plastomeri su najraširenija skupina materijala dok ih se prema uređenosti dijele na amorfne, kristalaste i kristalne. Plastomeri pri zagrijavanju omekšavaju, porastom temperature raste nepravilno gibanje atoma oko njihovih ravnotežnih položaja i dolazi do prekida veza među atomima. Tijekom hlađenja, sekundarne veze ponovno se uspostavljaju i materijal se vraća u početno stanje. [10]

AMORFNI PLASTOMERI

Slika 9 prikazuje makromolekulnu strukturu amorfnih plastomera, jer se gotovo polovica komercijalno upotrebljivih plastomera po svojim obilježjima makromolekulne strukture svrstava u amorfne plastomere. Karakteristika amorfnih plastomera je da su bez boje i ojačavanja, uglavnom prozirni, krhki i slabije kemijske postojanosti. [10]

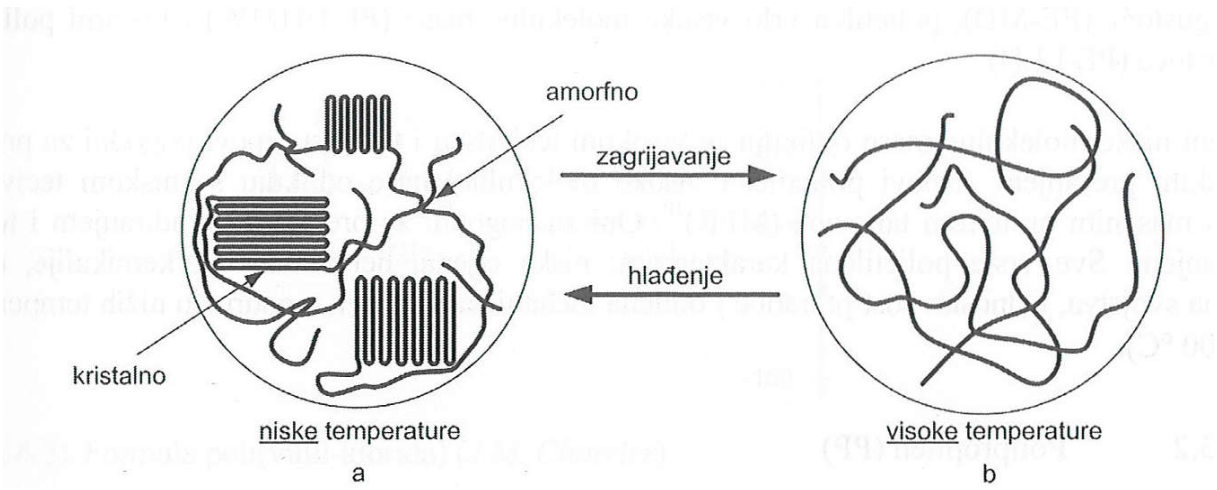


Slika 9. Makromolekulna struktura amorfnih plastomera (J.M.Charrier)[10]

KRISTALASTI PLASTOMERI

Kristalasti plastomeri osim kristalaste faze sadrže i amorfnu. Uzimajući u obzir skladište amorfne faze moguće je razlikovati dvije skupine kristalastih plastomera. U prvu skupinu ubrajaju se polietilen (PE), polipropilen (PP) i poli(oksi-metilen) (POM), a u drugu skupinu ubrajaju se poliamidi (PA) i polikarbonati (PC). [10]

Slika 10 prikazuje makromolekulnu strukturu kristalastih plastomera.



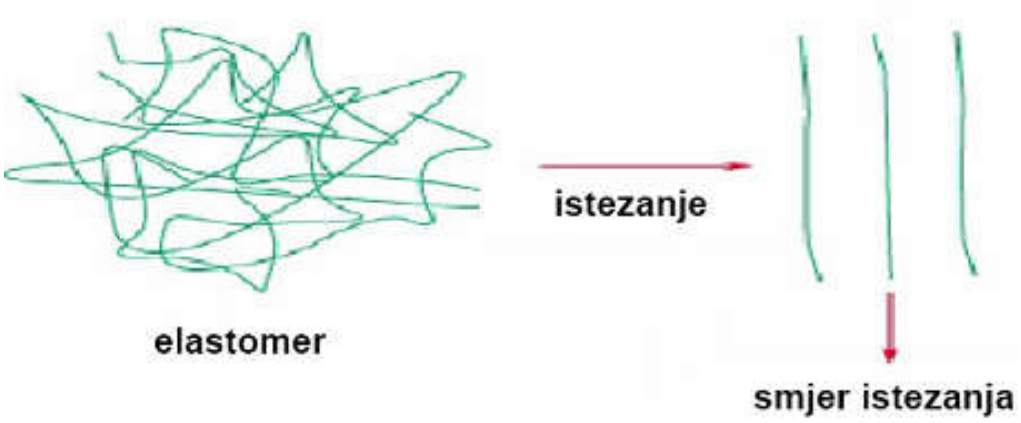
Slika 10. Makromolekulna struktura kristalastih plastomera (J.M.Charrier) [10]

Stupanj kristalnosti utječe na preradbena i uporabna svojstva. Viši stupanj kristalnosti povećava gustoću, tvrdoću, čvrstoću, krutost i postojanost prema otapalima. Kristalasti materijali u pravilu su neprozirni i mogu se pojaviti kao djelomično prozirni, odnosno svjetlopropusni. [10]

3.2.2. Elastomeri

Elastomeri su materijali sa sposobnošću velikih elastičnih deformacija. Osim dobre sposobnosti elastičnosti, gume posjeduju niz drugih svojstava. Elastomeri mogu podnjeti velika istezanja i to čak do više stotina posto pri sobnoj temperaturi, a nakon rasterećenja vraćaju se u početni položaj. [10]

Slika 11 prikazuje istezanje gume.



Slika 11. Shematski prikaz istezanja gume[11]

Građeni su od dugih, linearnih, makromolekulnih lanaca koji su međusobno povezani i slabo umreženi vulkanizacijom. Time se sprječava njihovo plastično oblikovanje, ali ostaje sačuvana pokretljivost dijelova lanaca, što im daje izrazita elastična svojstva. U neopterećenu stanju imaju definirani oblik u koji se gotovo potpuno vraćaju i nakon snažnog djelovanja vanjske sile i jakog izobličenja. Vulkanizacijom, tj. zagrijavanjem s prikladnim, posebno sumpornim spojevima, uz primješavanje različitih dodataka i punila (čađe, oksida silicija, aluminija, titana i cinka), elastomeri se prevode u gumu i mnogobrojne gumene proizvode velike rastezne čvrstoće i elastičnosti. [2]

3.2.3. Duromeri

Duromeri su napravljeni na temelju fenol-formaldehidnih (PF), urea-formaldehidnih (UP) i melamin-formaldehidnih (MF) smola, kojima se dodaju potrebni sastojci. S obzirom na način preradbe, duromeri se dijele na:

- temperaturno aktivirane sustave,
- katalizatorom akti aktivirane sustave,
- duromerne sustave aktivirane smješavanjem. [10]

4. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA

4.1. Uvodno o svojstvima polimernih materijala

Polimerne materijale moguće je opisati s različitim brojem značajki. Tablica 3 prikazuje pregled nekih od svojstava polimerni materijala.

Tablica 3. Pregled nekih svojstava polimernih materijala[3]

Funkcijska (uporabna) svojstva	Naziv svojstva (primjeri)
MEHANIČKA	Čvrstoća, istezljivost, modul elastičnosti
TRIBOLOŠKA	Faktor trenja, otpornost na trošenje
TOPLINSKA	Toplinska provodnost, toplinska rastezljivost, temperatura omekšavanja (plastomeri: metoda po Vicatu), 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.anorganski svojstava)

MEHANIČKA SVOJSTVA

Mehanička svojstva dijele se na kratkotrajna i dugotrajna svojstva. Kratkotrajno opterećenje definira se kao ono opterećenje pri kojem od početka ispitivanja pa do kraja ispitivanja, odnosno loma ne prođe niti znatno više niti znatno manje vremena od minute. [3]

Tijekom dugotrajnog statičkog opterećenja javlja se puzanje, a pri dinamičkom opterećenju umor materijala. [3]

KEMIJSKA POSTOJANOST I TRIBOLOŠKA SVOJSTVA

Polimerni materijali imaju bolju kemijsku postojanost od drugih konstrukcijskih materijala, pa su tako postojaniji i prema djelovanju vode. Među prednostima posebno se ističe kemijska postojanost, te povoljno ponašanje tijekom trenja.

Najjednostavniji i najčešći postupci ispitivanja i procjene kemijske postojanosti polimernih materijala temelje se na uranjanju uzoraka u izabrana kemijska sredstva. [10]

TOPLINSKO-MEHANIČKA SVOJSTVA

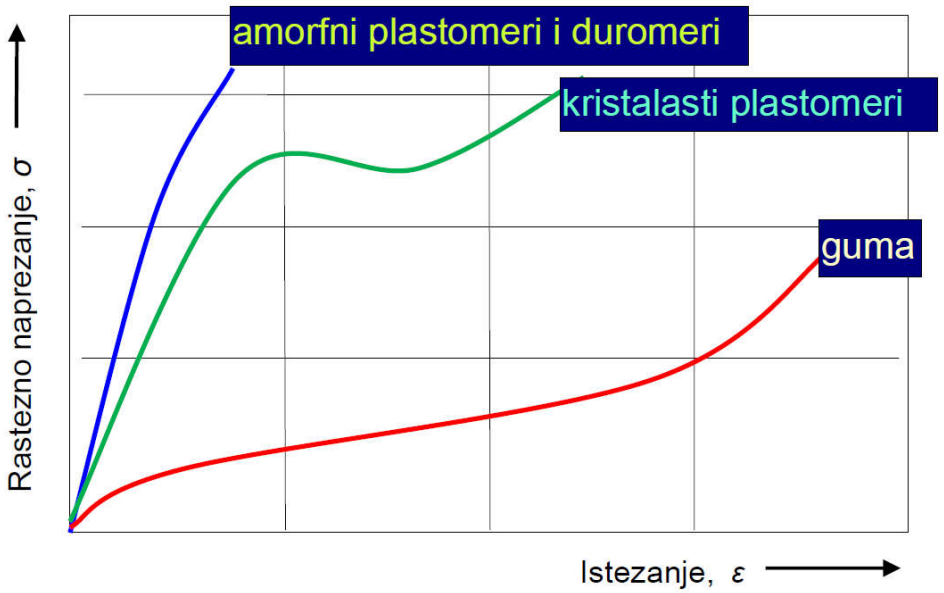
Tijekom procesa proizvodnje polimernih tvorevina važna su toplinska svojstva u cijelom području čvrstog, gumastog i kapljevitog stanja. Vrlo je važno poznavati toplinska svojstva polimera kao što su toplinska rastezljivost, toplinska širljivost, stlačivost, specifičan toplinski kapacitet, toplinska provodnost, specifična entalpija, toplinska difuznost, toplinska prodornost i međusobne veze gustoće, specifičan obujam, tlak, temperatura, stezanje i skupljanje. [10]

4.2. Mehanička svojstva polimera

Kod polimera posebno su zanimljiva mehanička svojstva. Posebno se ističe utjecaj unutarnjih i vanjskih čimbenika na svojstva, dok se posebna pažnja posvećuje utjecaju trajanja opterećenja, a osim toga veliku pažnju treba posvetiti načinu djelovanja opterećenja, brzini djelovanja opterećenja i vanjskim uvjetima, što je prikazano u tablici 4. [9]

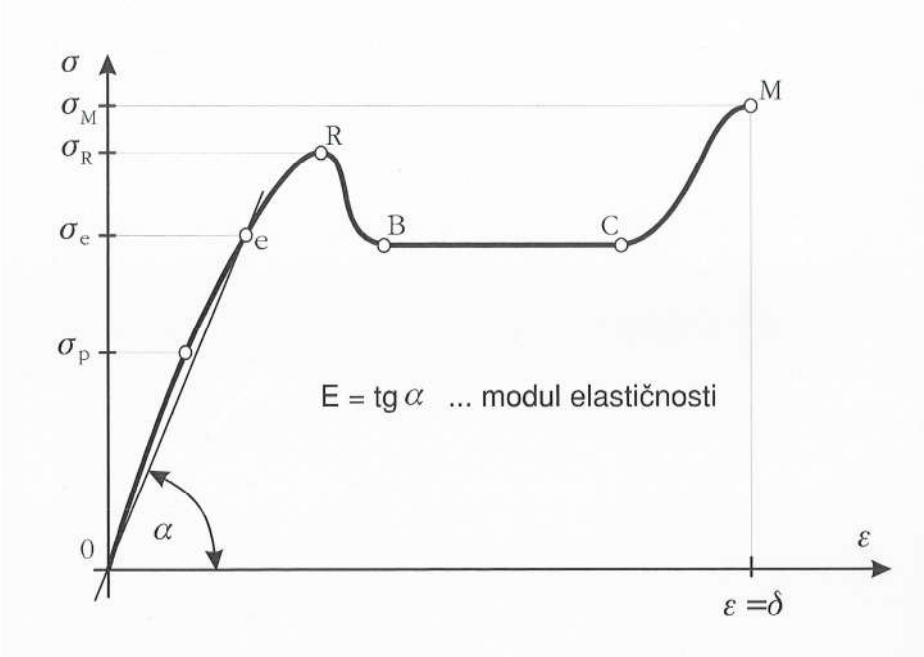
Tablica 4. Pregled mehaničkih svojstava[9]

MEHANIČKA SVOJSTVA			
KRATKOTRAJNA SVOJSTVA		**DUGOTRAJNA SVOJSTVA**	
UDARNO OPTEREĆENJE	STATIČKO OPTEREĆENJE	STATIČKO OPTEREĆENJE	DINAMIČKO OPTEREČENJE
Žilavost	Čvrstoća Modul elastičnosti tvrdoća	Statička izdržljivost (puzanje)	Dinamička izdržljivost (umor materijala)



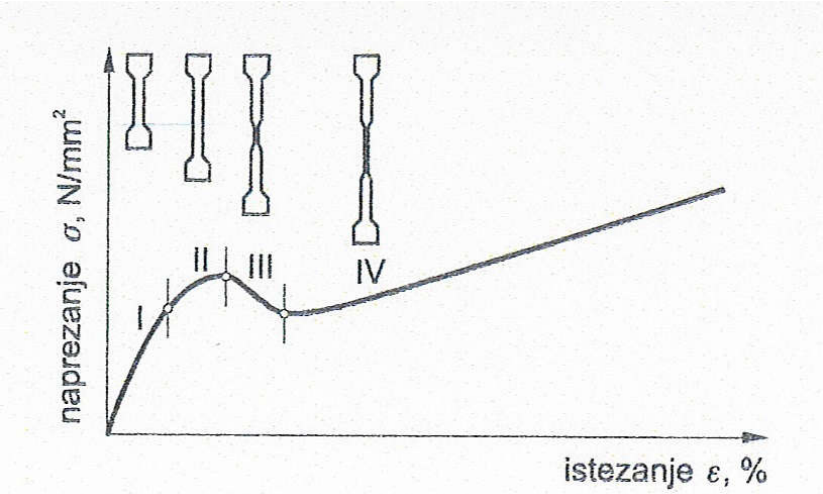
Slika 12. Karakteristični dijagram "naprezanje-istezanje" osnovnih skupina polimernih materijala[17]

Za konstrukcijsku primjenu zanimljiva su mehanička svojstva, te slika 12 prikazuje karakteristični dijagram "naprezanje-istezanje" osnovnih skupina polimera pri vlačnom (kratkotrajnom statičkom) opterećenju.



Slika 13. Tipičan σ-ε dijagram polimernog materijala[18]

Općeniti oblik σ-ε dijagrama polimera prikazan je na slici 13. Oblik σ-ε dijagrama polimera ovisi o brzini nanošenja opterećenja, jer što je veća brzina opterećivanja, to je manje područje puzanja i veći modul elastičnosti. Tijekom ispitivanja određuje se Poissonov koeficijent, te žilavost polimera koja se definira kao površina lika ispod σ-ε krivulje, u području δ. [3]



Slika 14. Raščlanjeni dijagram "naprezanje-istezanje" kristalastih plastomera[9]

Kako bi se bolje uočile specifičnosti polimernih materijala, posebno onih s linearnim makromolekulama, može se prikazati tzv.raščlanjeni dijagram "naprezanje-istezanje" kristalastih plastomera (slika 14). Ponašanje epruveta u pojedinim područjima prikazano je u tablici 5. [9]

Tablica 5. Opis ponašanja epruveta od kristalastog plastomera pri vlačnom opterećenju[9]

PODRUČJE	OPIS PONAŠANJA EPRUVETE
I	Elastično produljenje (cijela duljina epruvete)
II	Plastično produljenje (cijela duljina epruvete)
III	Stvaranje područja kontrakcije (suženje) i pojava očvršćivanja
IV	Širenje područja kontrakcije i daljnje očvršćivanje izazvano izravnavanjem i orijentiranjem makromolekula te lom

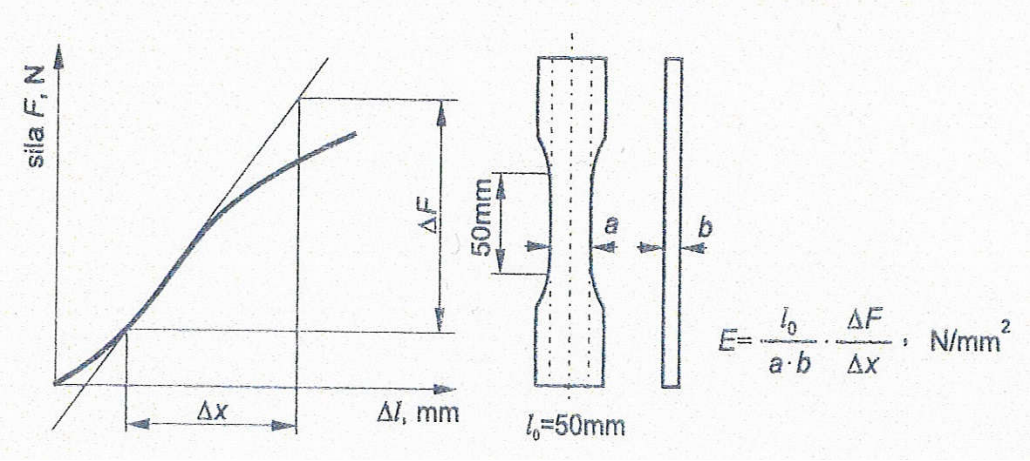
Orijentacijske vrijednosti modula elastičnosti osnovnih skupina polimernih materijala prikazani su u tablici 6. Važno je naglasiti da u tablici 6 kod ojačanih polimernih materijala za koje su u tablici navedene orijentacijske vrijednosti modula elastičnosti radi se o ojačanju staklenim vlaknima uz oko 30% masenog udjela ojačala. [9]

Tablica 6. Orijentacijske vrijednosti modula elastičnosti polimernih materijala[9]

SKUPINA POLIMERNIH MATERIJALA		MODUL ELASTIČNOSTI N/mm^2
PLASTOMERI	amorfni, neojačani amorfni, ojačani	2 100…3 500 oko 7 000
PLASTOMERI	kristalasti, neojačani kristalasti, ojačani	150…3 200 5 000…11 000
ELASTOMERI		50…150
DUROMERI	neojačani ojačani	5 000…12 000 9 000…15 000 i više

Modul elastičnosti kod polimernih materijala vrlo je važan čimbenik, te se u osnovi radi o postupnom povećanju opterećenja (sile koja djeluje na epruvetu) te određivanju pripadnog produljenja. Dijagramom "opterećenje-produljenje" dolazi do mogućnosti uočavanja linearnog područja, te se primjenom odgovarajućih izraza mogu izračunati vrijednosti modula elastičnosti. [9]

Slika 15 prikazuje postupak određivanja modula elastičnosti polimernih materijala pri vlačnom opterećenju.



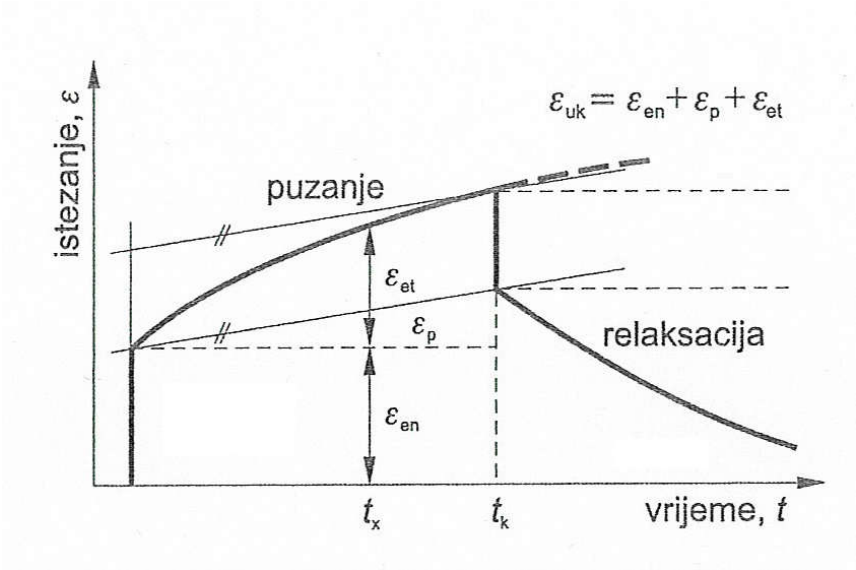
Slika 15. Postupak određivanja modula elastičnosti polimernih materijala[9]

Do sada smo govorili o kratkotrajnim opterećenjima, dok će u nastavku biti prikazano ponašanje polimernih materijala u uvjetima dugotrajnog opterećenja.

Tijekom dugotrajnog opterećenja javlja se puzanje, a pri dinamičkom opterećenju umor materijala. Statičku izdržljivost definiramo kao najveće dugotrajno statičko naprezanje, koje materijal može izdržati beskonačno dugo, a dinamička izdržljivost je ono najveće dinamičko naprezanje koje materijal može izdržati beskonačno veliki broj ciklusa. [9]

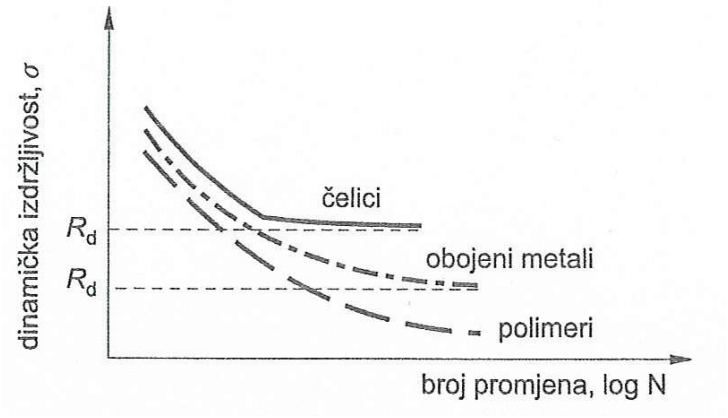
Slika 16 prikazuje ponašanje nekog polimernog materijala pri opterećivanju i nakon rasterećenja. Obzirom da se radi o prikazivanju pomoću dijagrama "istezanje-vrijeme", uočava se tzv.početno istezanje (ε_0), koje nastupa prilikom opterećivanja, a s naprezanjem je povezano preko izraza kojim se definira modul elastičnosti:

$$E=\delta/\varepsilon.$$



Slika 16. Temeljni prikaz ponašanja polimernih materijala pri dugotrajnom statičkom opterećenju (krivulje puzanja i relaksacije polimernih materijala)[9]

Ponašanje polimernih materijala pri dinamičkom naprezanju složena je pojava i u vezi s time treba naglasiti ovisnost mehaničkih svojstava polimernih materijala o temperaturi.



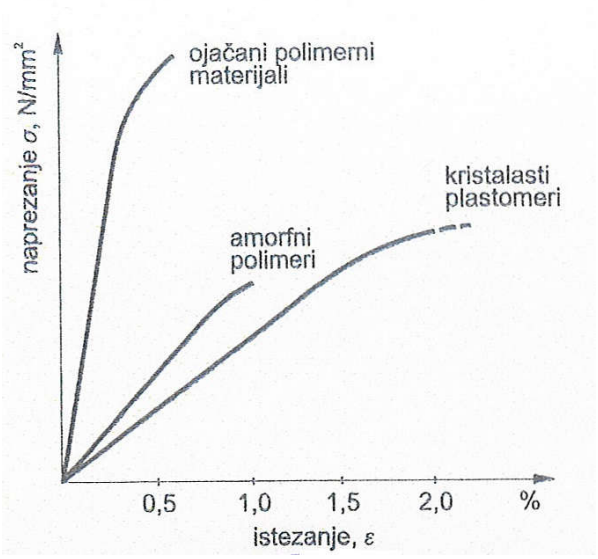
Slika 17. Prikaz ponašanja polimernih materijala pri dinamičkom opterećenju[9]

Prikazom na slici 17 naglašeno je da se kod polimernih materijala treba uzeti u obzir vremenski faktor, tako da se može i treba govoriti o "vremenskoj dinamičkoj izdržljivosti". [9]

Tablica 7 prikazuje kritična istezanja polimernih materijala.

Tablica 7. Kritična istezanja nekih polimernh materijala (orijentacijske vrijednosti)[9]

POLIMERNI MATERIJALI	KRITIČNO ISTEZANJE,%	STANJE
Poli(vinilklorid) – kruti	0,8…1,0	amorfno stanje
Poli(metil-metakrilat)	0,8…1,0	
Polikarbonat	0,8…1,0	
Polistiren	0,2…0,3	
Poli(oksimetilen)	2,0	kristalasto stanje
Poli(propilen)	2,0	
Polietilen niske gustoće	4,0	
Polietilen visoke gustoće	2,0…3,0	
Nezasićena poliesterska smola + ojačalo	0,4…0,6	ojačani duromer



Slika 18. Analiza podataka iz tablice 7[9]

Na slici 18 posebno su označena područja u kojima je obzirom na kritično istezanje (ε_{krit}) moguća konstrukcijska primjena pojedinih skupina polimernih materijala.

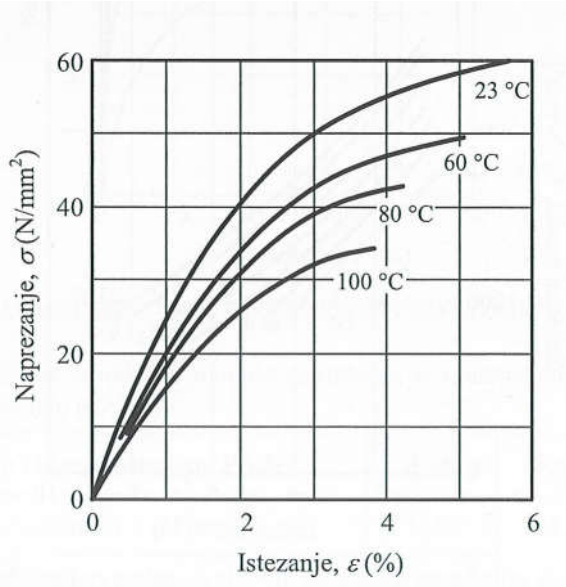
4.2.1. Utjecaji na mehanička svojstva

Utjecaj temperature

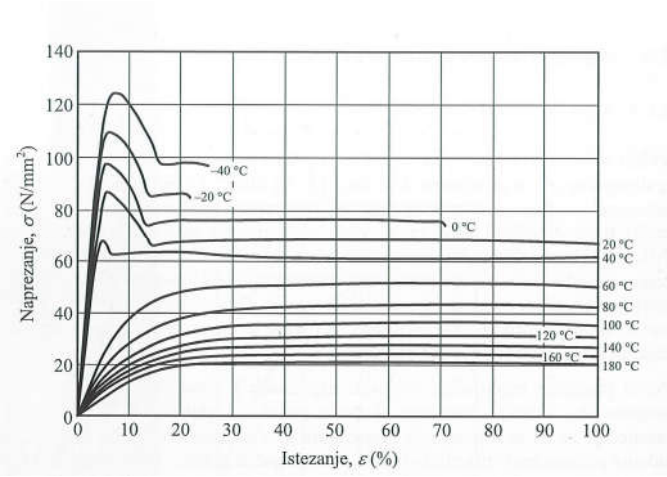
Iz dijagrama σ-ε na slikama 19., 20. i 21 vidljiva je velika ovisnost svojstava polimernih materijala o temperaturi okoline. Na slici 19 prikazana je ovisnost naprezanja i istezanja polikarbonata (PC) pri različitim temperaturama. [20]

S promjenom međusobne ovisnosti naprezanja i istezanja s temperaturom okoline iznad približno 40°C kod suhoga poliamidnog materijala PP 66 počinje se gubiti granica razvlačenja R_e koja je pri nižim temperaturama jasno izražena. [20]

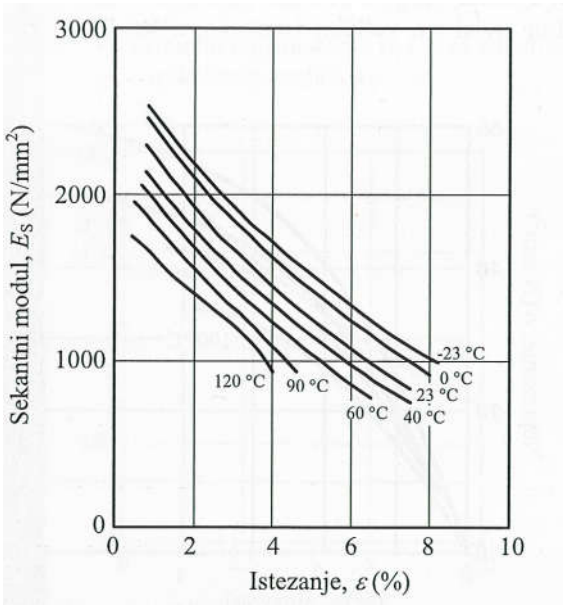
Dijagram na slici 21 prikazuje promjene vrijednosti sekantnog modula E_S s promjenom temperature za suhi PA 66. [20]



Slika 19. Ovisnost oblika σ-ε krivulja za polikarnobat (PC) o tempratu okoline[20]



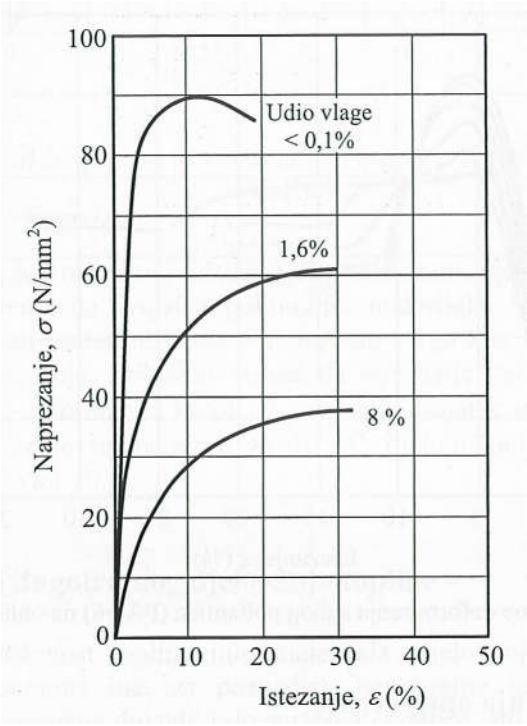
Slika 20. Ovisnost oblika σ-ε krivulja suhog poliamida (PA 66) o temperaturi okoline[20]



Slika 21. Ovisnost vrijednosti sekantnog modula E_s suhog poliamida (PA 66) o temperaturi okoline[20]

Utjecaj vlage

Tipični predstavnici polimernih materijala koji su skloni upijanju vlage su materijali iz skupine poliamida. U pravilu povišeni udio vlage u strukturi polimernih materijala uzrokuje sniženje temperature staklastog prijelaza ϑ_g, a time i pogoršanje njegovih mehaničkih svojstava. Na slici 22 prikazana je σ-ε krivulja za poliamid PA 66 s različitim udjelima vlage u strukturi, dok su u tablici 8 prikazani brojčani podaci. [20]



Slika 22. Utjecaj udjela vlage u poliamidu (PP 66) na oblik σ-ε krivulja[20]

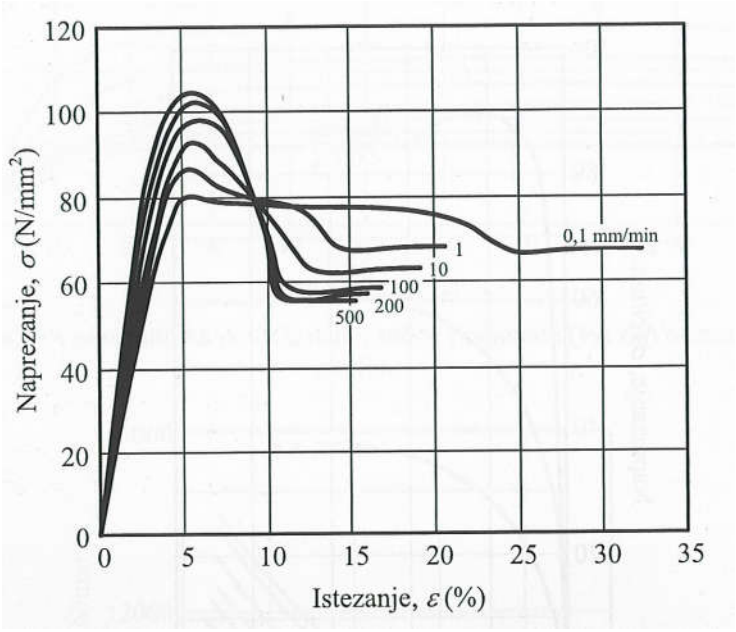
Tablica 8. Ovisnost vrijednosti modula elastičnosti E i temperature ϑ_g o masenom udjelu vlage u poliamidu (PP 66)[20]

MASENI UDIO VLAGE U MATERIJALU PP 66	**0,1%**	**1,6%**	**8%**
Modul elastičnosti E (N/mm$^{2)}$	3350	2150	740
Temperatura ϑ_g (°C)	60	20	-5

Utjecaj brzine deformiranja

Na sposobnost materijala da relaksira novonastale deformacije u svojoj strukturi utječe brzina deformiranja polimernog materijala. [20]

Utjecaj na brzinu deformiranja suhog poliamida (PA 66) prikazan je na slici 23.

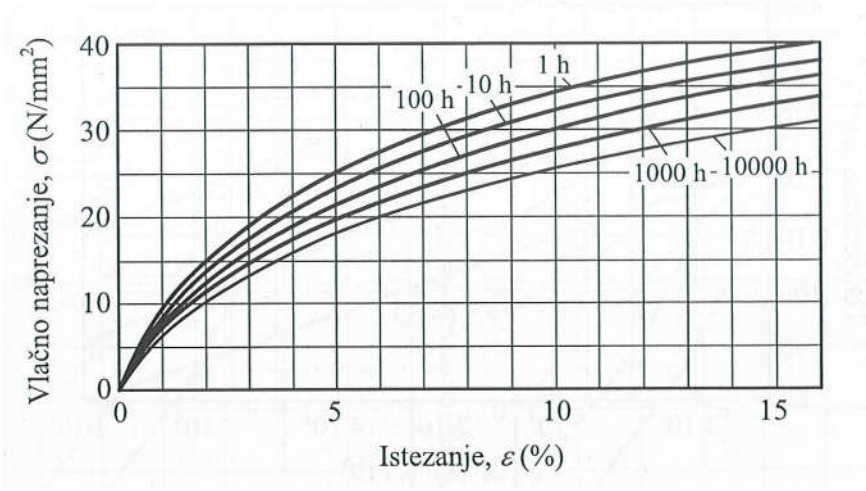


Slika 23. Utjecaj brzine deformiranja suhog poliamida (PA 66) na oblik σ-ε krivulja[20]

Utjecaj trajanja opterećenja

Na mehanička svojstva polimernih materijala znatan utjecaj ima i trajanje opterećenja. Deformacija elemenata izloženog konstantnom naprezanju s vremenom raste i taj se efekt naziva puzanje materijala, a ako je element izložen konstantnoj deformaciji s vremenom će opadati naprezanje koje je u početku u njemu vladalo i taj efekt se naziva relaksacijom. [20]

Slika 24 prikazuje izgled dijagrama s izokronama za poliamid (PA 66) pri 23 °C i relativnoj vlazi 50%.



Slika 24. Izgled dijagrama za poliamid (PA 66) pri 23 °C i relativnoj vlazi 50%[20]

5. PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA

Polimeri imaju specifična svojstva i primjenjuju se gotovo u svim područjima čovjekove djelatnosti i njihova uporaba kontinuirano raste. Danas ne postoji neki moderan proizvod, a da u njemu nema barem malo plastike.



Slika 25. Čarape[13]



Slika 26. Loptica za bejzbol[14]

Slika 25 prikazuje čarape koje su izrađene od istog materijala kao što su puloveri i veste, a mogu se izrađivati i iz najlona i pamuka koji se dobiva od celuloze. Elastični dio kod čarapa izrađuje se iz spandeksa, odnosno poliuretana.

Slika 26 prikazuje lopticu za bejzbol. U loptici se može naći više vrsta polimera, tako da je vanjski sloj koža, šavovi od pamuka, a u unutrašnjosti se nalazi pamuk i prirodna guma.



Slika 27. Zvučnik[15]



Slika 28. CD disk[16]

Primjena polimera u elektronici je široka, jer većina polimera su izolatori, a ne vodiči. Izrađuju se od polietilena i polizoprena, PVC-a, a mogu se izraditi i od poli(vinil-fluorida) kada se zahtjeva velika toplinska postojanost.

Slika 27 prikazuje zvučnik kojemu je konusni dio izrađen od polipropilena. Donji dio izrađen je dijelom od drva, odnosno celuloze, a mrežasto platno na prednjoj strani je od najlona, koje je pričvršćeno na polistirenski okvir. CD diskovi izrađeni su od polikarbonata, a kutija u koju je smješten je od polistirena. (Slika 28)

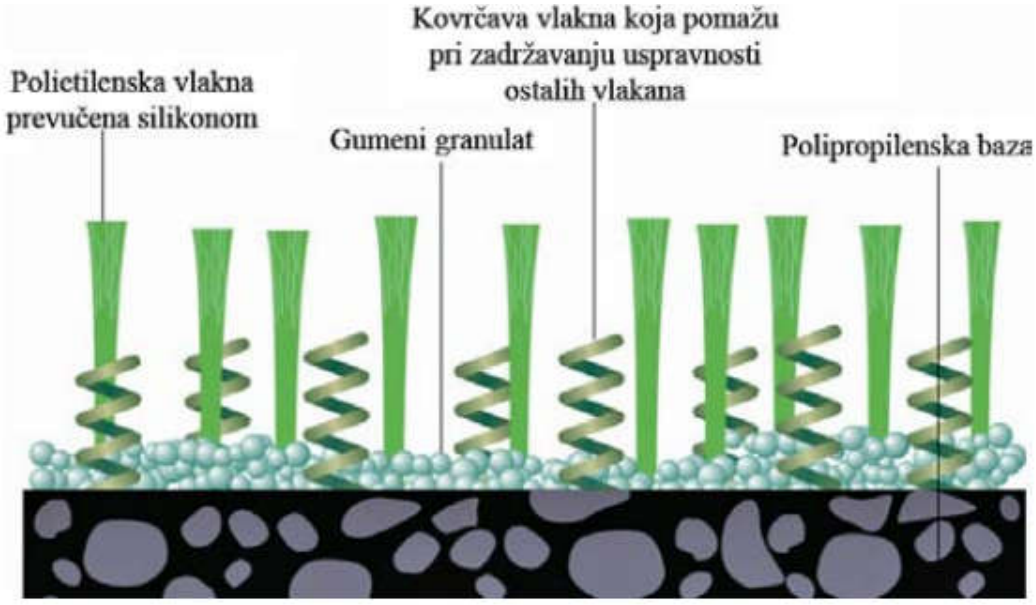
Kako je primjena polimera široka pokazuje i činjenica da je za prošlo svjetsko prvenstvo u nogometu koje je bilo održano u Brazilu, napravljen stadion Arena Corintians u Sao Paulu, čiji je krov bio izrađen od nekoliko slojeva. Prvi sloj je bio valoviti lim izrađen od čelika, preko toga je išla toplinska i zvučna izolacija izrađena od poliizocijanurata (PIR) debljine 38 mm, a na kraju je cijeli krov bio prekriven UltraPly Firestone TPO poliolefinskim plastomerom. [19]

Stadionske sjedalice moraju ispunjavati stroge zahtjeve i tako je talijanska tvrtka RadiciGroup za potrebe Svjetskog nogometnog prvenstva opskrbila brazilske stadione plastičnim sjedalicama izrađenim od PA6 premazanim usporavalom gorenja.(Slika 29) [19]



Slika 29. Stadionska sjedalica: a - od polipropilena, b - od poliamida[19]

Umjetna trava (slika 30) sastoji se od polipropilenske osnove te drenažnog sustava smještenog ispod nje koji je zadužen za odvodnju. Iz nje se izdižu polietilenska vlakna trave koja su prevučena silikonom te izgledaju poput vlati prirodne trave, dok je između vlakana reciklirani gumeni granulat koji služi za ublažavanje udaraca.



Slika 30. Poprečni presjek podloge od umjetne trave[19]

6. POSTAVKA ZADATKA

U teoretskom dijelu opisan je razvoj polimernih materijala kroz povijest. Opisane su vrste polimera, te su opisana svojstva polimernih materijala s naglaskom na mehanička svojstva polimera.

U eksperimentalnom dijelu rada odabrane su tri različite vrste polimera:

- lauramid,
- polipropilen;
- poli(oksi-metilen).

Iz navedenih materijala izrađene se epruvete na kojima su se provodila ispitivanja vlačne čvrstoće.

Obzirom da je recikliranje, odnosno oporaba polimernog materijala u Hrvatskoj na vrlo visokom nivou u nastavku će biti opisano kako je uopće započela oporaba polimera u Hrvatskoj, te na kojem nivou se nalazi danas.

7. EKSPERIMENTALNI DIO

7.1. Opis materijala

Tijekom cijelog rada naglasak je na plastomerima obzirom da su oni najzastupljenija skupina polimera s udjelom od oko 90% u ukupnoj proizvodnji. Neke od karakteristika su da prilikom zagrijavanja dolazi do omekšavanja, tale se i u tom stanju pogodni su za dobivanje proizvoda drugačijih oblika. [20]

Tablica 9 prikazuje najzastupljenije plastomere, dok će u nastavku ovog rada biti detaljno opisane karakteristike i svojstva lauramida, poli(oksi-metilena) i polipropilena.

Tablica 9. Pregled najzastupljenijih plastomera[20]

NAZIV	KRATICA
Akrilonitril/butadien/stiren	ABS
Poliamid	PA
Poli(butilen-tereftalat)	PBT
Polikarbonat	PC
Polietilen visoke gustoće	PE-HD
Polietilen niske gustoće	PE-LD
Poli(metil-metakrilat)	PMMA
Poli(oksi-metilen)	POM
Polipropilen	PP
Polistiren	PS
Poli(tetrafluoretilen)	PTFE
Poli(vinil-klorid)	PVC
Stiren/akrilonitril	SAN

7.1.1. Lauramid

Lauramid spada u skupinu poliamida, te je rezultat višegodišnjeg istraživanja i razvoja. Optimalna kombinacija mehaničkih, kemijskih i fizičkih svojstava daje mu širok spektar upotrebe i svrstava lauramid na nedostižno čelno mjestu u grupi inžinjerske plastike. Lauramid se može oblikovati u bilo koji oblik i može se upotrebljavati u više područja kao na primjer:

- u konstrukciji strojeva i alata,
- u automobilskoj industriji,
- u elektroindustriji,
- prehrambenoj industriji,
- papirnoj industriji.

Lauramid ima vrlo dobra svojstva, a neka od njih su:

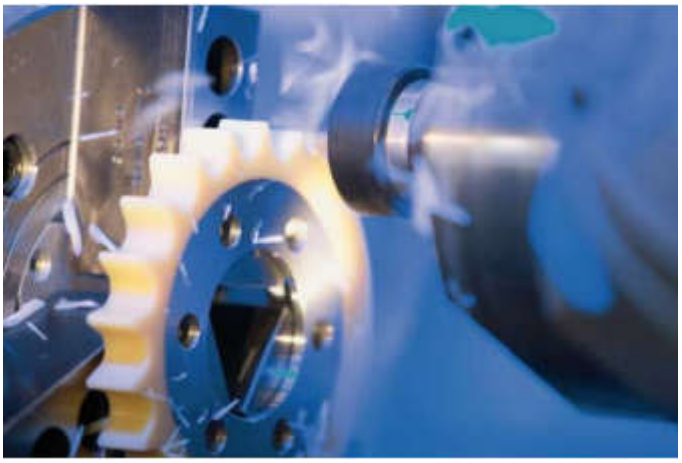
- visoka nosivost i mala težina,
- otporan na trenje i dugovječnost,
- nije osjetljiv na pucanje,
- mali otpor trenja,
- visoka termalna svojstva,
- dobra kemijska i uv otpornost,
- prilagodljiva tvrdoća i sigurno za držanje hrane,
- niža cijena zbog kompaktnog dizajna.

Lauramid je superioran nad ostalim plastikama zbog značajno višeg stupnja polimerizacije koja pretvara lauramid u najstabilniji poliamid na tržištu, upija vlagu, ima visoki homogeni stupanj kristalizacije koji dozvoljava geometrijsko i dimenzijonalno preciznu obradu. [21]

Slike 31, 32 i 33 prikazuju primjenu lauramida u proizvodnji zupčanika, lančanika, zupčastih diskova i kolotura za žičaru.



Slika 31. Zupčanik, zupčasti disk[21]



Slika 32. Proizvodnja lančanika[21]



Slika 33. Kolotura za žičaru [21]

7.1.2. Poli (oksi-metilen)

Poli(oksi-metilen) (POM), poznat i kao poliacetal ili acetal, otkriće je njemačkog kemičara Hermana Staudingera. Poslije njegovog otkrića, polimer nije bio komercijaliziran zbog problema sa toplinskom stabilnosti. [22]

Poli(oksi-metilen) pripada skupini poliacetala i proizvodi se od formaldehida. To je visokokristalasti plastomerni materijal, kojemu stupanj kristalnosti iznosi 75 do 80 %. Ima veliki udio kristalita, visoku čvrstoću i krutost, postojanost dimenzija, žilavost, veliku otpornost na trošenje, povoljan faktor trenja, malo upijanje vode i postojanost prema djelovanju goriva. [9]

Poli(oksi-metilen) ima odličnu čvrstoću, krutost i žilavost, te nizak faktor trenja. Posjeduje dobru dimenzijsku stabilnost, a svoja dobra mehanička svojstva zadržava i pri visokim temperaturama i većoj koncentraciji vlage. Kopolimerni tipovi postojani su prema kipućoj vodi. Također ima dobru dinamičku izdržljivost. Mogućnost predviđanja vrijednosti čvrstoće, žilavosti, puzanja i dinamičke izdržljivosti za široko područje temperatura i dugotrajna opterećenja čini poli(oksi-metilen) idealnim za supstituciju metala. Ima relativno visoku gustoću. Temperatura omekšavanja kreće se oko 110 ºC za neojačane tipove, a za ojačane oko 160 ºC. Ima dobra dielektrična svojstva. Poli(oksi-metilen) je izuzetno postojan prema većini otapala, uljima, ugljikovodicima, nekim kiselinama i alkalijama. Nije higroskopan. Degradira pod djelovanjem jakih kiselina i oksidacijskih agensa. Pri gorenju stvara otrovne pare formaldehida. [9]

S obzirom na nizak faktor trenja primjena je u:

- strojarstvu,
- elektronskoj industriji,
- automobilskoj industriji,
- urarskoj industriji,
- prehrambenoj industriji,
- kemijskoj industriji.



Slika 34. Izrada zupčanika od polioksimetilena[23]



Slika 35. Primjena polioksimetilena u automobilskoj industriji[23]

7.1.3. Polipropilen

Polipropilen pripada skupini masovnih kristalastih plastomera koji posjeduju dobro uravnotežena kemijska, toplinska, mehanička i električna svojstva, a lako se prerađuje. Sintetiziraju se pomoću Ziegler-Natta katalizatora koji omogućavaju dobivanje pravilne strukture (izotaktne i sindiotaktne). Uglavnom se prerađuju injekcijskim prešanjem, puhanjem i toplim oblikovanjem. [9]

Polipropilen ima najnižu gustoću od svih polimera. Uporabna svojstva ovise o tipu polimera, molekulnoj masi, njezinoj razdiobi, morfološkoj građi, te parametrima prerade i zato se dijele na homopolimer i blok kopolimer. [9]

Homopolimerni tipovi postojaniji su prema deformaciji, visoke su krutosti i vlačne čvrstoće, tvrdoće, dobre žilavosti pri sobnim temperaturama i slabe otpornosti prema starenju, nepravilno im je skupljanje u kalupnoj površini i teško se lijepe. Kopolimerni tipovi imaju odličnu žilavost. [9]

Gledajući općenito polipropilen ima malu gustoću, prihvatljivu cijenu, dobra mehanička, toplinska i električna svojstva i veliku elastičnost. [9]

Primjena polipropilena je široka i zbog toga se primjenjuje za izradu tehničkih dijelova i obzirom na mogućnost miješanja i proizvodnju kompozita primjenjuje se u:

- automobilskoj industriji,
- kućanstvu,
- tekstilnoj industriji,
- građevinarstvu,
- zrakoplovnoj industriji.



Slika 36. Cijevi za vodu[24]

7.2. Opis kidalice Shimadzu AG X-plus i programa TrapeziumX

Prilikom ispitivanja materijala statičkim vlačnim pokusom koristila se kidalica Shimadzu AG-X plus mjernog područja do 100 kN. Računalom upravljana kidalica omogućava provođenje ispitivanja i zapisivanja rezultata u elektronskom obliku kao i dobivanje Hookov-a dijagrama na temelju dobivenih rezultata ispitivanja materijala.

Neke specifikacije kidalice Shimadzu AG-X plus:

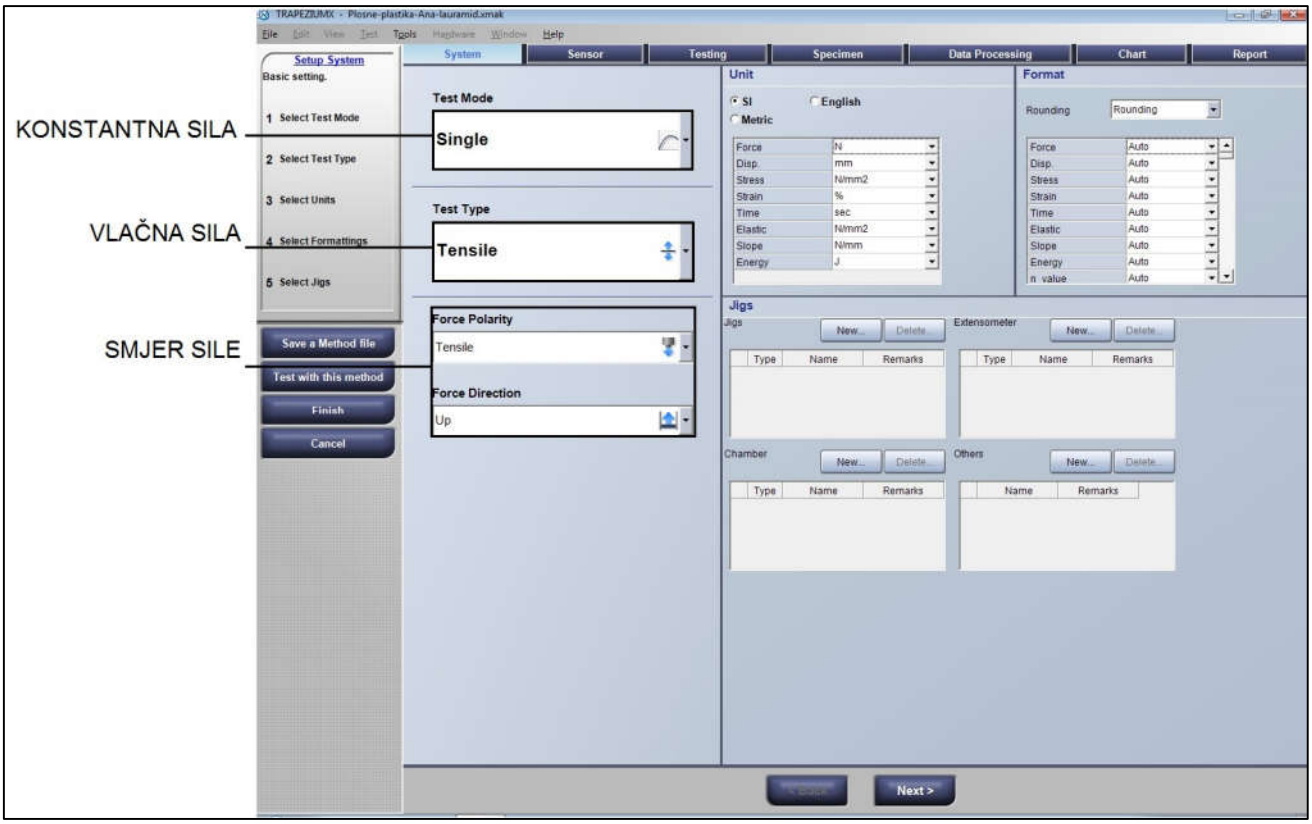
- mjerno područje do 100 kN,
- ispitivanje na vlak, tlak i savijanje,
- mogućnost ispitivanja plosnih epruveta 0-21 mm (100/50 kN),
- mogućnost ispitivanja okruglih epruveta D4-D24 (100/50kN).



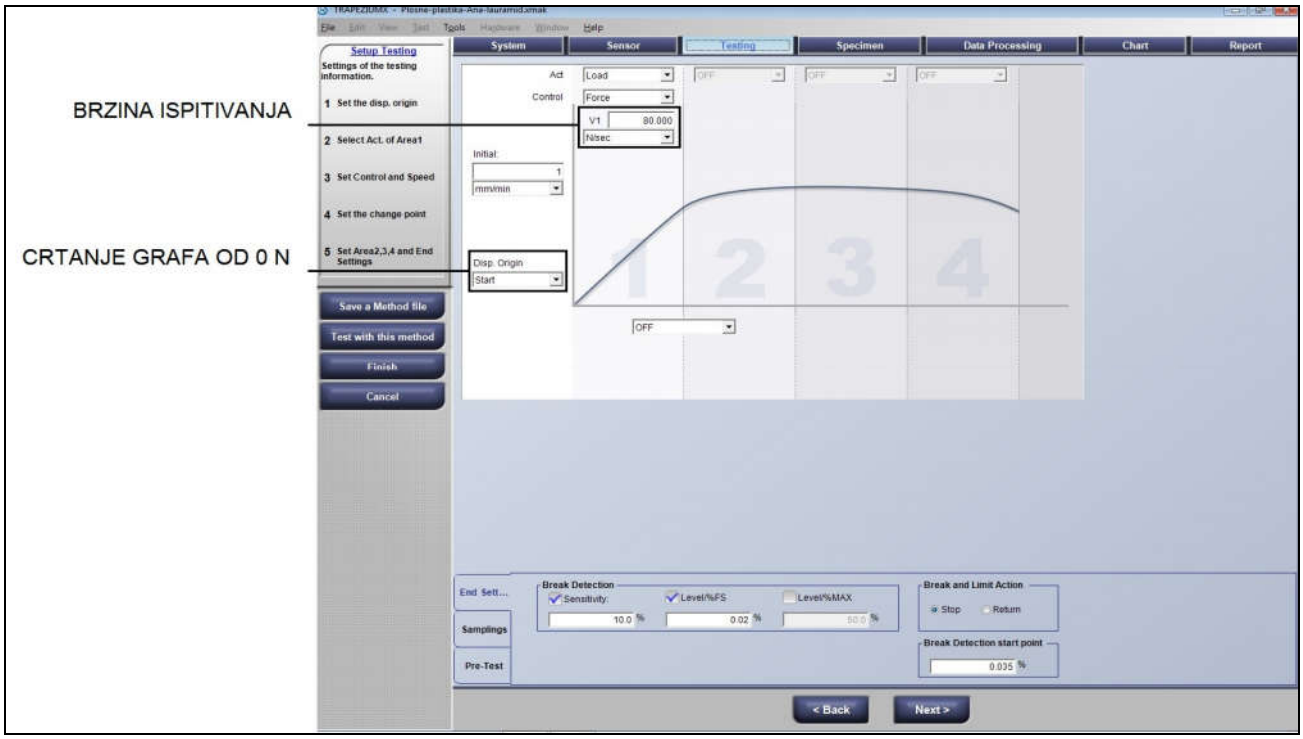
Slika 37. Kidalica SHIMADZU AG - X plus

Kidalica SHIMADZU AG-X tijekom svog ispitivanja koristi program TrapeziumX. Tijekom ispitivanja važno je da se u programu odabere tip, odnosno način ispitivanja, a u ovom slučaju radi se o vlačnom ispitivanju, konstantne sile (slika 37 i 38).

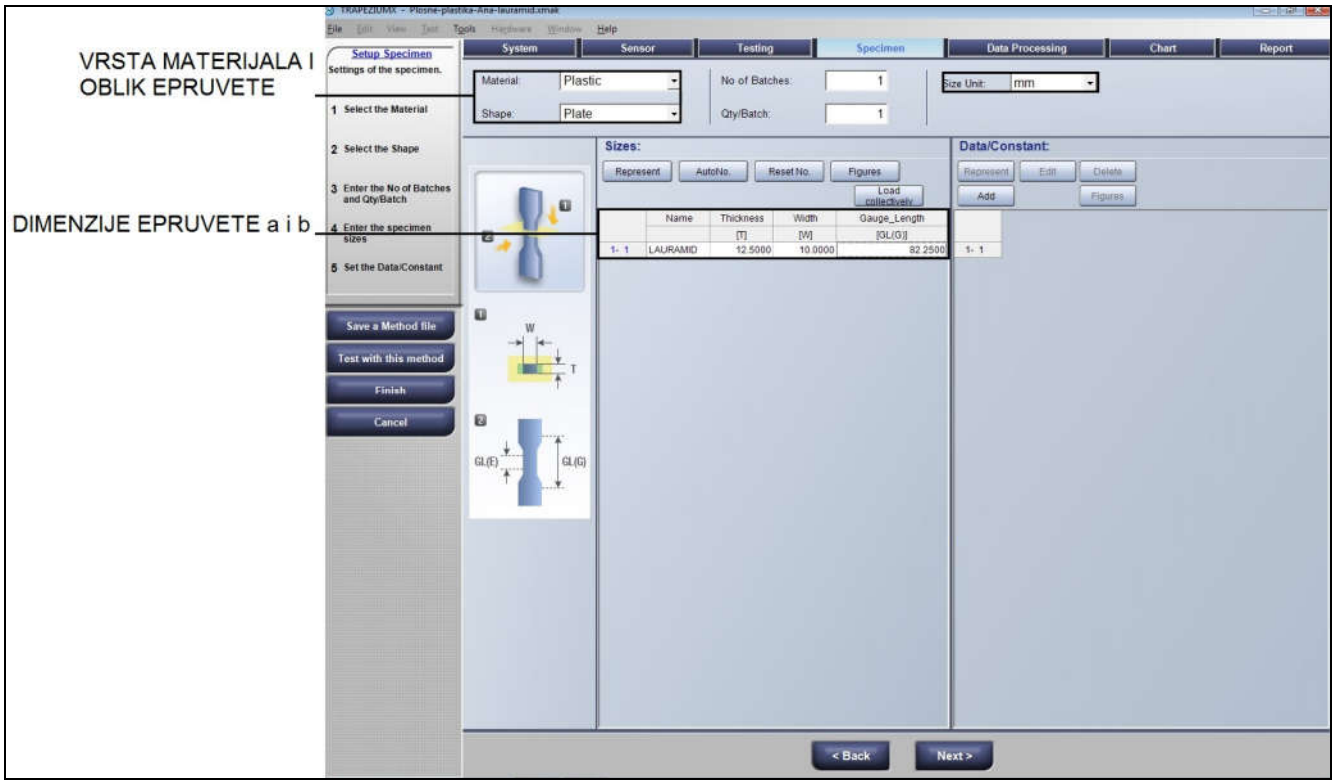
Slika 39 prikazuje da se za ispitivanje koristila brzina od 80 N/sec. Slike 40, 41 i 42 prikazuju vrstu materijala, oblik i dimenzije epruveta, a slika 43 prikazuje koji su se parametri mjerili prilikom ispitivanja.



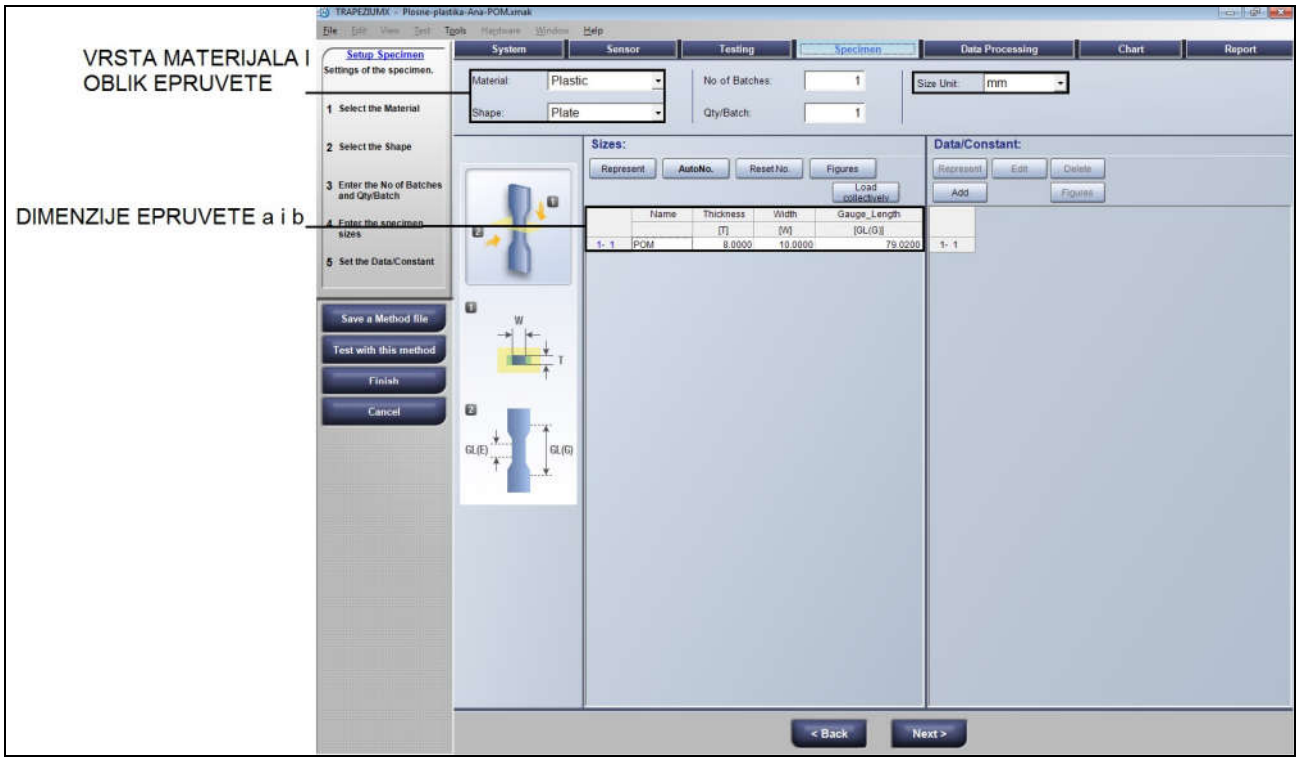
Slika 38. Odabir konstantne vlačne sile



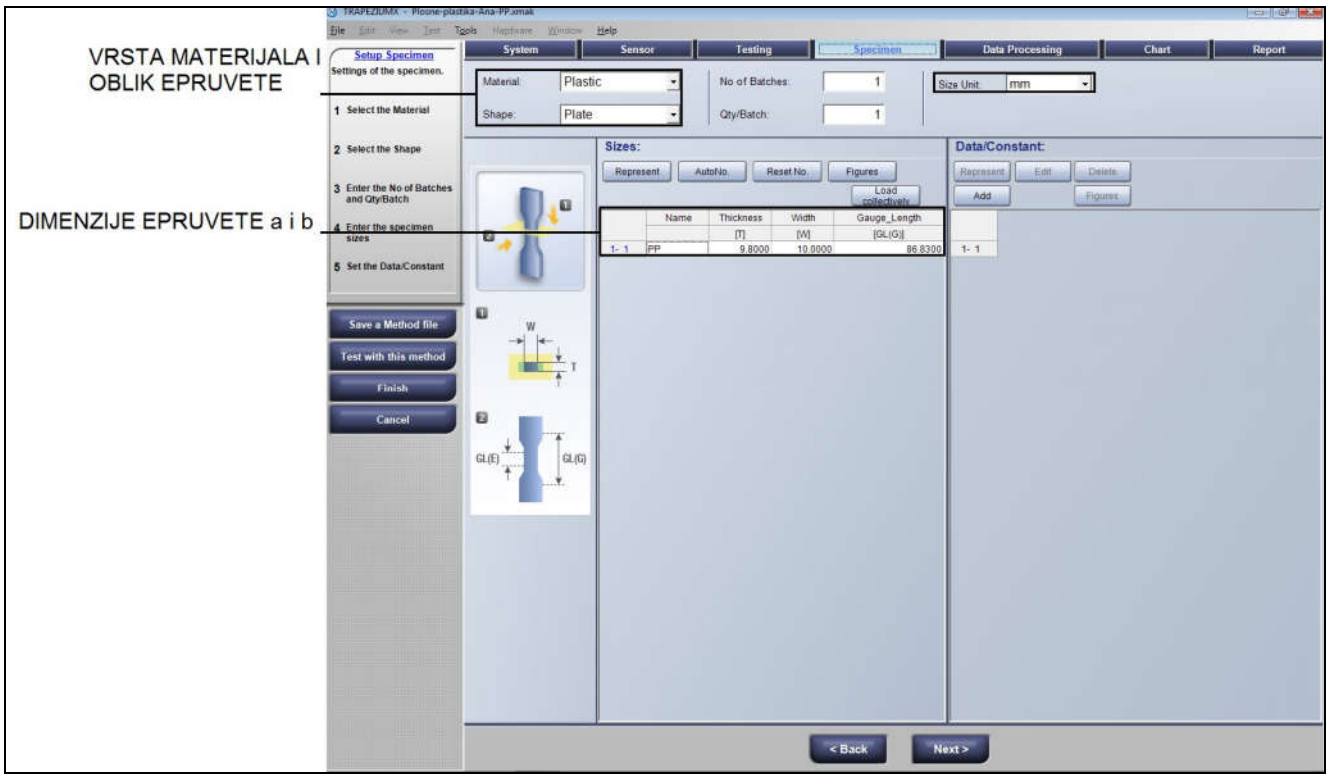
Slika 39. Postavljanje brzine ispitivanja od 80 N/sec



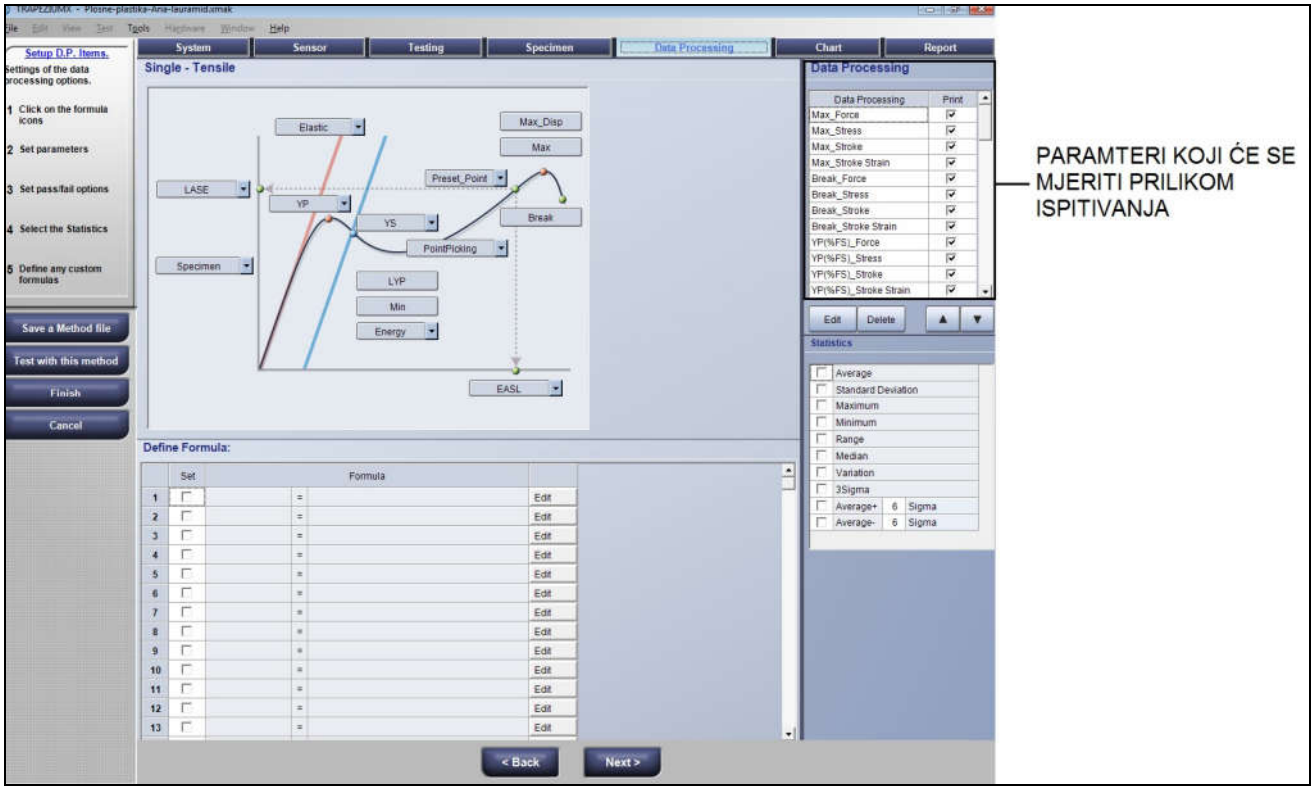
Slika 40. Odabir materijala i dimenzija epruvete – lauramid



Slika 41. Odabir materijala i dimenzije epruvete - POM



Slika 42. Odabir vrste materijala i dimenzija epruvete-PP

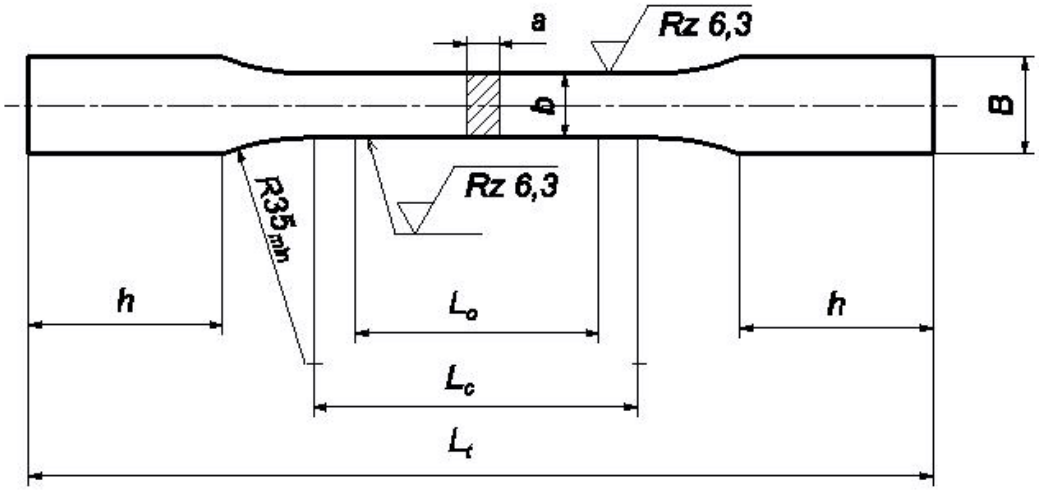


Slika 43. Definiranje parametara koji će se mjeriti

7.3. Izrada uzoraka za statički vlačni pokus

Za ispitivanje vlačne čvrstoće korištena je plosnata epruveta oblika E napravljena prema standardu. Ipak, treba napomenuti da epruvete nisu u cijelosti izrađene prema standardu obzirom da su ploče iz kojih su se izrađivale epruvete bile deblje od standarda.

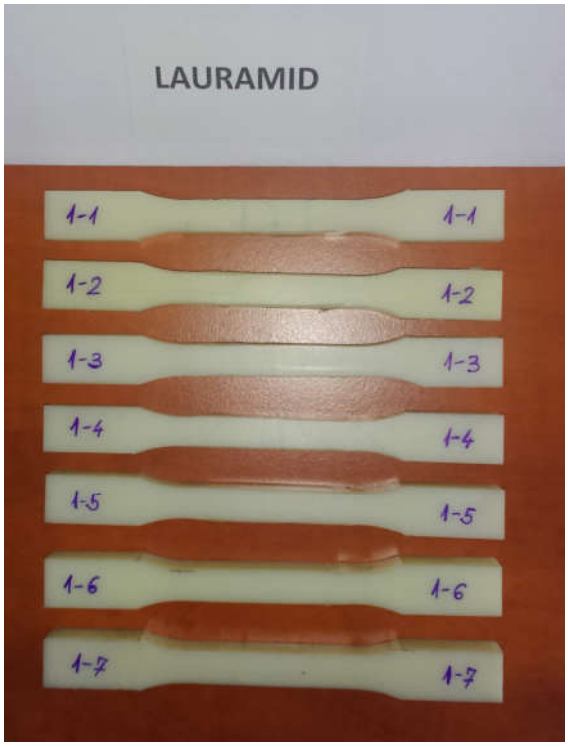
Standard epruvete E



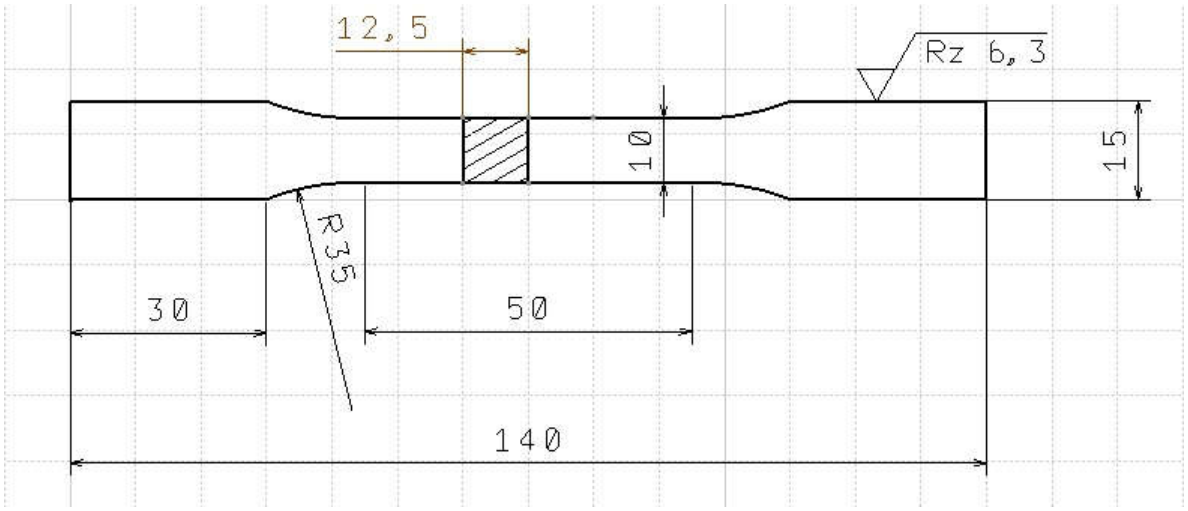
Slika 44. Standard za izradu epruveta

a – debljina epruvete, mm
b – širina epruvete, mm
B – širina glave epruvete (≈1,2 b + 3 mm)
h – visina glave epruvete (≈2 b + 10 mm)
L_0 – početna mjerna duljina epruvete, mm
L_c – ispitna duljina epruvete
($L_c \geq L_0 + 1{,}5\sqrt{S_0}$), mm
L_t – ukupna duljina epruvete, mm

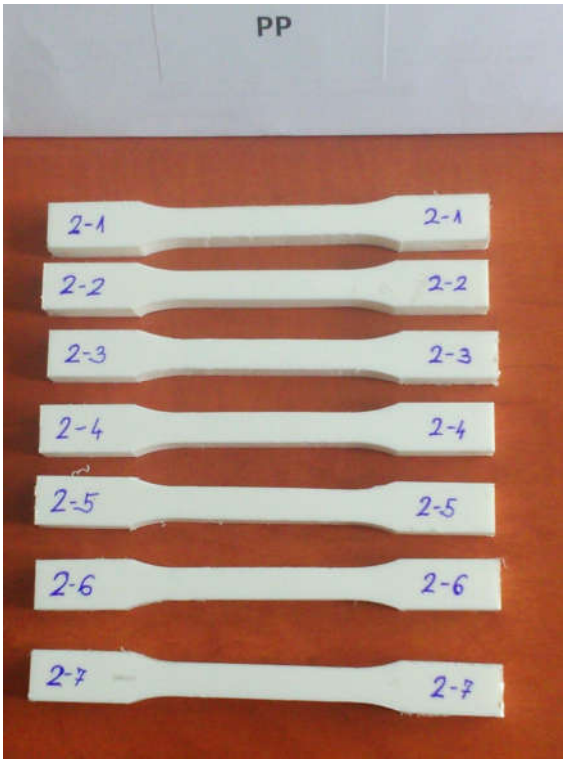
Za svaki materijal izrađeno je po sedam epruveta koje su označene brojčano i prikazane su na slikama 45, 47 i 49, a slike 46, 48 i 50 prikazuju dimenzije epruveta.



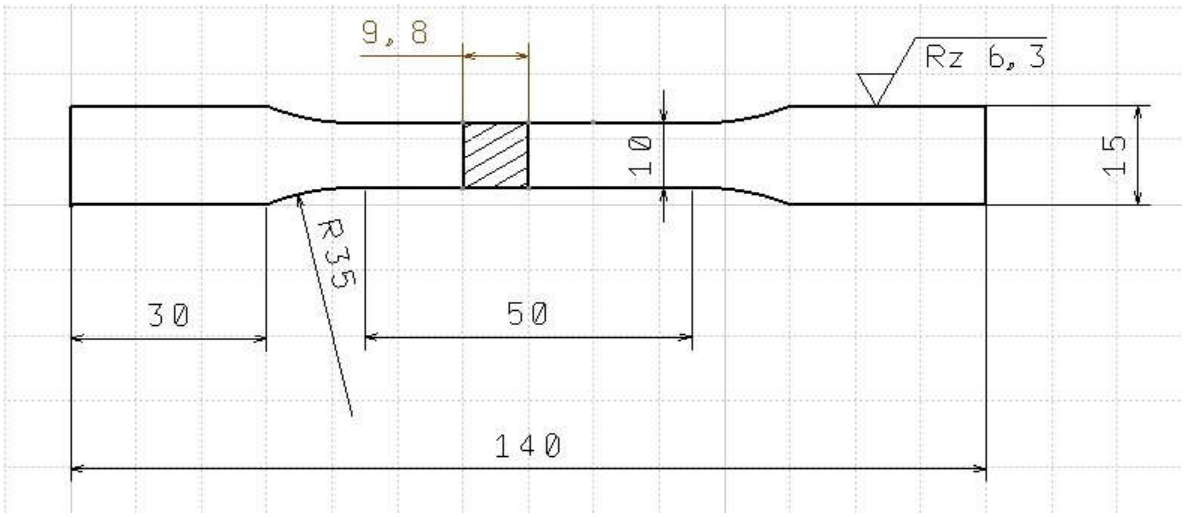
Slika 45. Epruvete lauramida na kojima se vršilo ispitivanje statičkog vlačnog pokusa



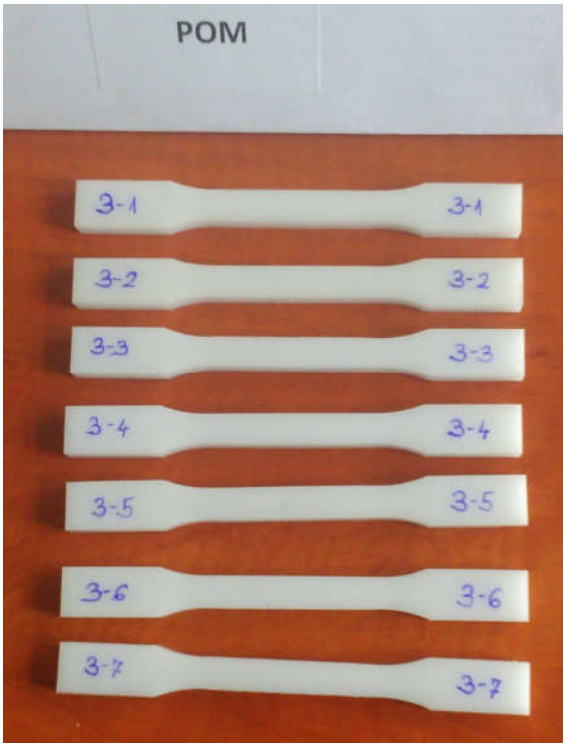
Slika 46. Dimenzije epruvete - LAURAMID



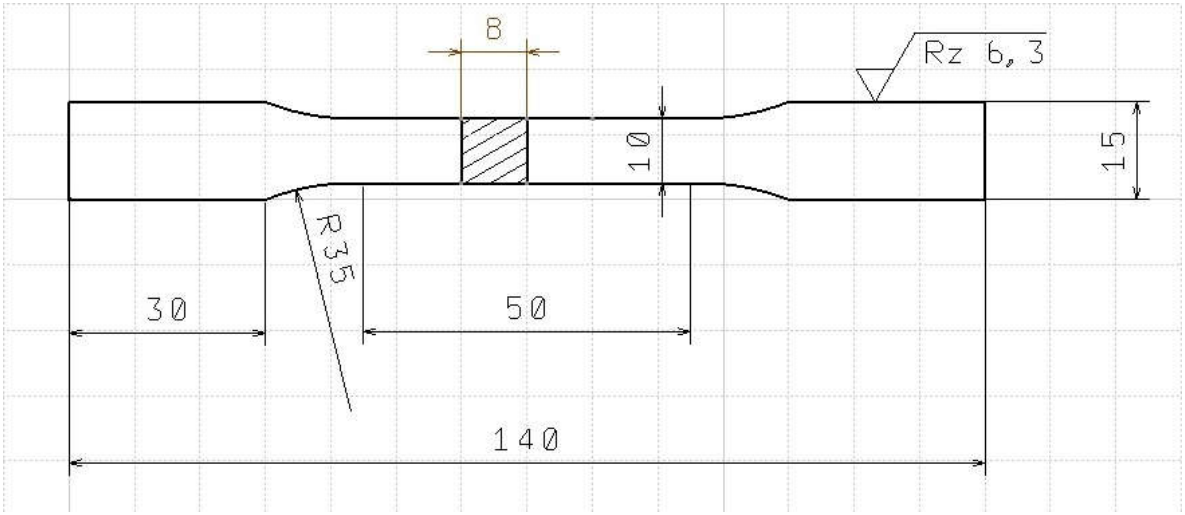
Slika 47. Epruvete polipropilena na kojima se vršilo ispitivanje statičkog vlačnog pokusa



Slika 48. Dimenzije epruvete - POLIPROPILEN



Slika 49. Epruvete poli(oksi-metilena) na kojima se vršilo ispitivanje statičkog vlačnog pokusa



Slika 50. Dimenzije epruvete – POLI(OKSI-METILEN)

7.4. Rezultati ispitivanja

Za izračun granice razvlačenja, vlačne čvrstoće i izduženja koristile su se slijedeće formule:

$S_0 = a \cdot b$ površina poprečnog presjeka

$\varepsilon = \frac{\Delta L_u}{L_0} \left[\frac{mm}{mm}\right]$ vrijednost istezanja nakon kidanja

$Re = \frac{F_e}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2}\right]$ granica razvlačenja

$A = \varepsilon_u \cdot 100\%$ vrijednost konačnog istezanja (izduženje)

$Rm = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2}\right]$ vlačna ili rastezna čvrstoća

U tablicama 10, 11 i 12 dani su rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće.

Tablica 10. Rezultati svih sedam ispitanih epruveta - LAURAMID

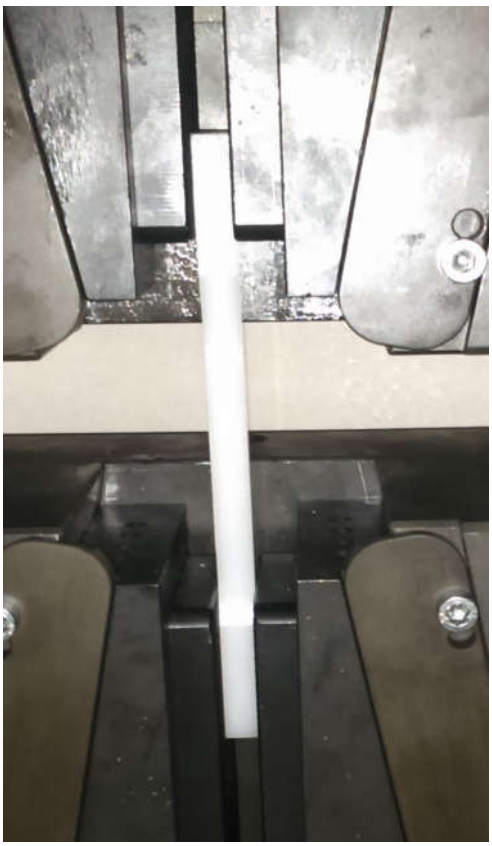
	Najveća sila Fm [N]	**Granica razvlačenja Re [N/mm^2]**	**Vlačna čvrstoća Rm [N/mm^2]**	**Izduženje A [%]**
ZAHTIJEVANO			**51-58**	**15-20**
1-1	7405.93	40.4696	58.0858	15.7536
1-2	6973.87	36.4347	54.6970	13.3597
1-3	7288.39	41.3329	57.1639	14.7716
1-4	6963.89	37.7843	54.6187	14.4782
1-5	7430.76	38.3542	58.2805	13.7686
1-6	6855.15	36.5382	53.7659	16.2023
1-7	7253.95	39.4136	56.8937	17.0243

Tablica 11. Rezultati svih sedam ispitanih epruveta - POLIPROPILEN

	Najveća sila Fm [N]	Granica razvlačenja Re [N/mm^2]	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm^2]	Izduženje A [%]
ZAHTIJEVANO			**31-41**	**12-16**
2-1	4016.05	22.7944	40.9801	13.0529
2-2	3812.27	20.3199	38.9007	12.5836
2-3	3852.51	19.0884	39.3113	12.4157
2-4	3856.26	19.4216	39.3496	12.5291
2-5	3882.57	21.6727	39.6180	13.7665
2-6	3710.30	19.4298	37.8602	14.0210
2-7	4030.42	20.3199	38.9007	12.5836

Tablica 12. Rezultati svih sedam ispitnih epruveta - POLI(OKSIMETILEN)

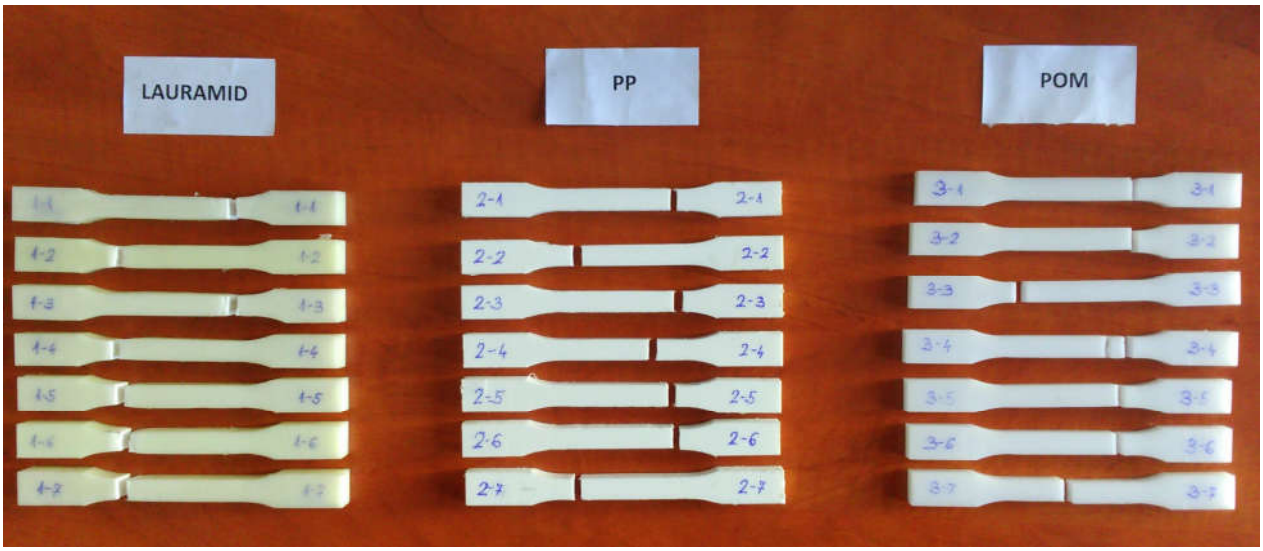
	Najveća sila Fm [N]	Granica razvlačenja Re [N/mm^2]	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm^2]	Izduženje A [%]
ZAHTIJEVANO			**62-70**	**10 min.**
3-1	5622.69	53.5075	70.2836	11.4690
3-2	5774.80	54.7465	72.1850	7.9987
3-3	5345.09	52.2739	66.8136	15.5130
3-4	5504.23	48.6950	68.8028	13.5080
3-5	5464.36	48.6900	68.3045	17.4799
3-6	5534.35	51.6464	69.1793	12.5915
3-7	5145.53	52.2455	64.3192	11.8246



Slika 51. Epruveta prije ispitivanja



Slika 52. Epruveta nakon ispitivanja



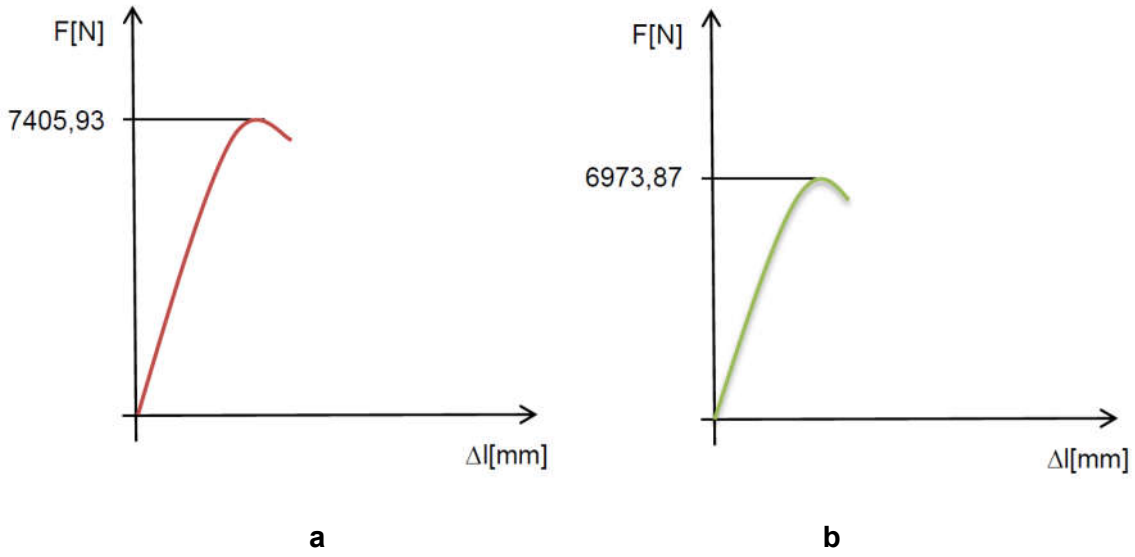
Slika 53. Epruvete nakon ispitivanja

Slika 51 prikazuje izgled epruvete postavljene u pakne kidalice prije ispitivanja, a slika 52 prikazuje izgled epruvete nakon ispitivanja. Slika 53 prikazuje epruvete lauramida, PP-a i POM-a nakon ispitivanja.

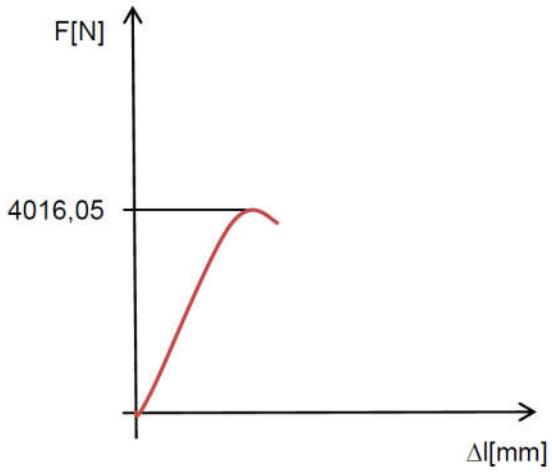
8. ANALIZA REZULTATA

Po završetku mjerenja, nakon zapisanih svih rezultata i uspoređivanja zahtijevane vlačne čvrstoće i izduženja s dobivenim rezultatima može se zaključiti slijedeće:

Prilikom ispitivanja lauramida zahtijevana svojstva vlačne čvrstoće iznose između 51 i 58 N/mm^2, a izduženje je između 15 i 20 %. Uspoređivanjem dobivenih rezultata može se zaključiti da su epruvete 1-1, 1-6 i 1-7 zadovoljile na ispitivanju, dok epruvete 1-2, 1-3, 1-4 i 1-5 imaju odgovarajući vlačnu čvrstoću, ali vrijednosti izduženja ne odgovaraju zahtijevanoj vrijednosti. Slika 54 prikazuje primjer dijagrama epruvete 1-1(a) i dijagram epruvete 1-2(b).



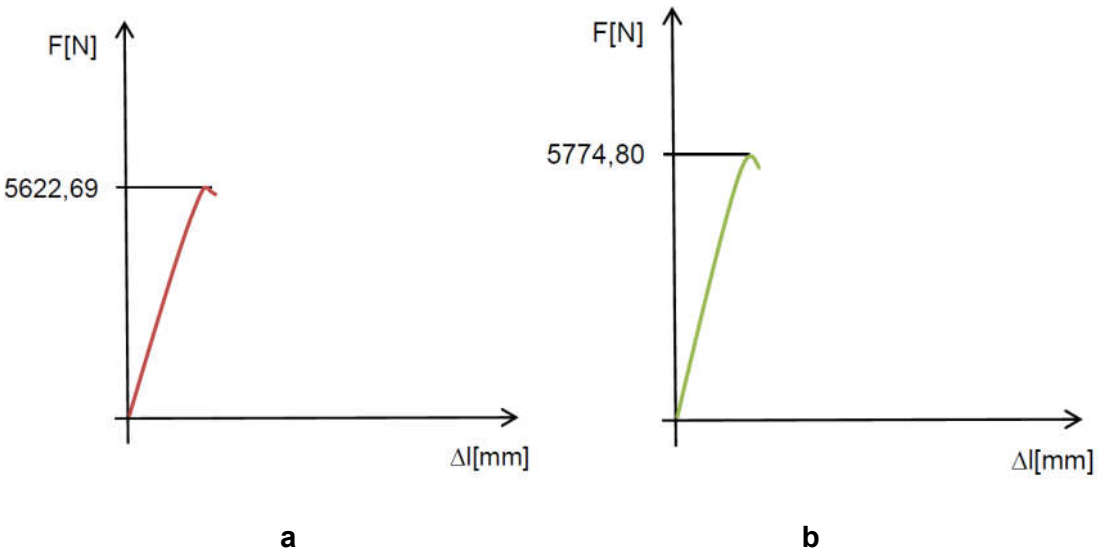
Slika 54. Dijagram epruvete 1-1(a) i epruvete 1-2(b) (LAURAMID)



Slika 55. Dijagram epruvete 2-1 (POLIPROPILEN)

Ispitivanjem polipropilena epruvete 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6 i 2-7 zadovoljile su zahtijevane vrijednosti vlačne čvrstoće i izduženja, slika 55.

Epruvete poli(oksi-metilena) 3-1, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6 i 3-7 zadovoljile su zahtijevane vrijednosti vlačne čvrstoće i izduženja, dok epruveta 3-2 nije zadovoljila zahtijevanu vrijednost izduženja koja iznosi minimalno 10%. Slika 56 prikazuje dijagram epruvete 3-1(a) i dijagram epruvete 3-2(b).



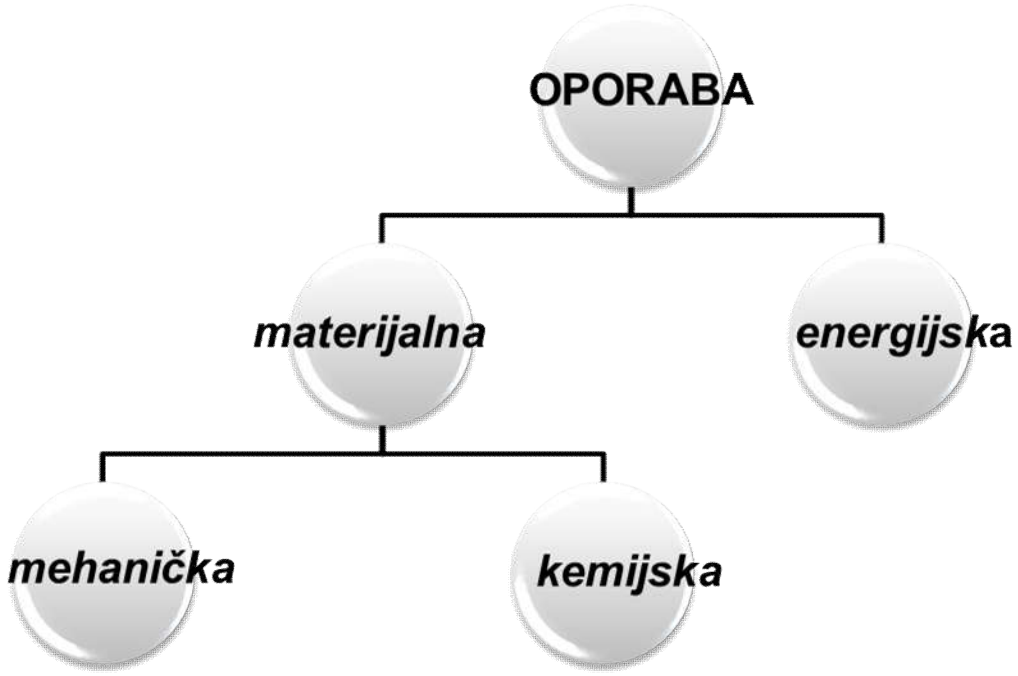
Slika 56. Dijagram epruvete 3-1(a) i epruvete 3-2(b) (POLI(OKSI-METILEN))

Uspoređivanjem rezultata mjerenja pojedinih materijala s obzirom na njihovu primjenu može se zaključiti da lauramid zahtijeva visoku čvrstoću i zbog toga se koristi u automobilskoj industriji, građevinarstvu, brodogradnji, prehrambenoj i kemijskoj industriji. Polipropilen se primjenjuje za izradu tehničkih dijelova s obzirom na dobra mehanička svojstva, izrađuju se šuplja tijela, spremnici, cijevi, igračke i posude u kućanstvu, dok poli(oksi-metilen) ima izvrsnu čvrstoću i karakterisitčno je što zadržava svoja dobra mehanička svojstva i pri visokim temperaturama. Primjenjuje se za izradu ležajeva i zupčanika.

9. OPORABA POLIMERNIH MATERIJALA U HRVATSKOJ

Značenje pojma obrade i oporabe materijala opisano je u Zakonu o održivom gospodarenju otpadom NN94/13 koji je na snazi od 23.srpnja 2013. godine. [32]

Oporaba otpada je svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u tvornici ili u širem gospodarskom smislu. [25]



Slika 57. Dijagram podjele oporabe materijala

Slika 57 prikazuje dijagram podjele oporabe. Obilježja koja su karakteristična za mehaničku oporabu su usitnjavanje polimernih proizvoda i njihovo pretvaranje u polimerni materijal ili korištenje kao dodataka, a kemijska oporaba definira se kao postupak razlaganja usitnjenog polimernog materijala i/ili proizvoda na početne sastojke, sintetski plin ili ulje. Energijskom oporabom polimerni otpadni materijal i tvorevine spaljuju se uz dobivanje korisne toplinske energije ili bez nje. [10]

Tablica 13 prikazuje simbole koji se nalaze na otpadnoj plastici i navedeni su primjeri gdje se navedeni simboli mogu pronaći.

Tablica 13. Simboli koji se nalaze na otpadnoj plastic [26]

OZNAKA	OPIS	PRIMJER	SIMBOL
PET	polietilen tereftalat	boce za bezalkoholna pića	
PE-HD	polietilen visoke gustoće	šampon, deterđent, boce mlijeka	
PVC	polivinil klorid	boce ulja, cijevi za vodu, prozorski okviri	
PE-LD ili LDPE	polietilen niske gustoće	posude za hranu, vrećice za kupovinu, čepovi	
PP	polipropilen	čašice od jogurta, slamke za piće	
PS	polistiren	posude za hranu, pribor za jelo	
Ostali višeslojni (laminirani) materijali	ostala plastika	u ovu kategoriju spadaju svi plastični predmeti koji nisu specificirani u kategorijama od 1-6	

Tijekom pristupanja Hrvatske Europskoj Uniji dogovoreno je da se do 1.siječnja 2013. godine mora osigurati odvojeno sakupljanje biootpada, a do 1.siječnja 2015. godine odvojeno sakupljanje papira, metala, plastike, stakla, električnog i elektroničkog otpada, otpadnih baterija i akumulatora, otpadnih vozila, otpadnih guma, otpadnih ulja, građevnog otpada, otpadnog tekstila i medicinskog otpada.

Recikliranje je održivo samo u slučajevima kada se na izlazu može postići kvalitetan reciklat, kada postoji tržište na kojem se može dobro prodati i kada se ostali dijelovi otpada mogu iskoristiti za energijsku oporabu, posebno u slučajevima kada je otpad izmiješan. Njemačka je dobar primjer koja u svojem sustavu gospodarenja otpadom ima zastupljene razne opcije oporabe. Po gradovima u Hrvatskoj sve se više postavljaju spremnici za odvojeno sakupljanje plastičnog otpada, a na nekim mjestima postavljaju se spremnici za odvojeno sakupljanje biootpada, crni spremnici sa zelenim poklopcima za odvojeno sakupljanje staklenog otpada i crni spremnici s plavim poklopcem za odvojeno sakupljanje papira. Tvrtka Eko Velebit iz Gračaca dobila je nacionalnu koncesiju za sakupljanje i oporabu plastičnog otpada na deset godina, ali tada se postavilo pitanje isplativosti takvog načina postupanja s plastičnim otpadom, jer isplativo je jedino ako su otpadni tokovi čisti i odvojeni po vrstama. [27]

Polimerni materijali promijenili su sliku svijeta i omogućili proizvodnju novih proizvoda koji su proizašli iz mašte ambicioznih inženjera te su omogućili tehnološki napredak više nego ijedan drugi materijal do sada. Unatoč svemu tome, inovativni potencijal polimernih materijala još je na početku, stoga se može reći da 21.stoljeće pripada polimernim materijalima. Svaki proizvod pa tako i onaj načinjen od polimera ima svoju završni fazu kada postaje otpad. U tom trenutku neophodno je imati strategiju upravljanja otpadom. Polimerni materijal nudi tri različite mogućnosti zbrinjavanja i to kroz mehaničku reciklažu, kemijsku reciklažu te energetsku oporabu. [28]

Otpadna ambalaža od plastike predstavlja jedan od značajnih izazova u zaštiti okoliša zbog velikih količina u kojima nastaje. Oporaba i recikliranje ambalaže od plastike može biti izvor tehnoloških inovacija i stvaranja novih radnih mjesta uz istovremeno očuvanje prirodnih i energetskih resursa te smanjenja količine otpada koji se odlaže na odlagalištima. Devedeset posto plastike koja se danas koristi, dobiva se iz neobnovljivih fosilnih izvora. Proces recikliranja u potpunosti je zaokružen u smislu da se otpadna ambalaža sortira i reciklira pri čemu se dobiva granulirani materijal koji se daljnjim postupkom proizvodnje pretvara u nove gotove proizvode, ovisno o potrebama tržišta. [29]

U Hrvatskoj postoji nekoliko tvrtki koje se bave oporabom plastike. Primjer je tvrtka u sjeverozapadnoj Hrvatskoj koja se bavi preradom polietilenske ambalaže (P.E. folija, termoskupljajućih folija, vrećica za široku upotrebu u domaćinstvu i industriji), obuhvaća i proizvodnju aluminijske ambalaže namijenjene mljekarskoj industriji. Slika 58 prikazuje primjenu proizvodnje poklopaca za mljekarsku industriju. Slike 59, 60 i 61 prikazuju nove proizvode koji su se dobili oporabom plastike.



Slika 58. Proizvodnja poklopaca za mljekarsku industriju[30]



Slika 59. PE vrećice[30]



Slika 60. PE folije[30]



Slika 61. Folije za označavanje[30]

10. ZAKLJUČAK

U završnom radu naglasak je bio na mehaničkim svojstvima, te se iz obrađenog može zaključiti da svojstva materijala ovise o strukturi materijala. Polimerni materijali imaju različita svojstva i dodaju im se različiti dodaci za njihovo poboljšavanje, te se zbog toga na prilično jednostavan način mogu dobiti željene karakteristike.

Promatrajući rezultate ispitivanja epruveta izrađenih od tri različita polimerna materijala, mogli bismo zaključiti da se radi o potpuno različitim skupinama materijala. Upravo ta različitost je jedan od ciljeva ovoga rada.

Karakteristično mehaničko svojstvo kod nekih skupina polimernih materijala pri ispitivanju statičkim vlačnim pokusom je da su maksimalna sila F_m i sila loma F_k istih vrijednosti ili postoji neznatna razlika.

Zbog široke primjene može se reći da su oni materijali budućnosti, te su značajni istraživački napori usmjereni na razvoj biorazgradljivih polimera, što znači da će biti prirodno uništivi i biti će građeni na osnovi ili s dodacima škroba, celuloze, lignina i proteina.

Upravo je ta biorazgradljivost polimera od vrlo velikog učinka, jer je pojam oporabe polimera u Hrvatskoj na vrlo visokom nivou. Plastični otpad ima negativan utjecaj na okoliš, ali postali smo svjesni da je polimerni materijal vrijedna sirovina za recikliranje,a razvoj procesa recikliranja doprinosi održivom razvoju.

Iznimno je važno da se dobro organizira sustav prikupljanja otpada, te je potrebno educirati i poticati potrošače na skupljanje i oporabu svih vrsta polimernih materijala.

LITERATURA

[1] Bonato, J., Šabalja, Đ.: *Tehnologijski razvoj i prve primjene polimernih materijala*, Scientific Journal of Maritie Research, 26/2(2012), str./pp.307-31

[2]Ashby, M.F.: *Materials Selection in Mechanical Design*, Elsevier Butterworth Heinemann, 2005.

[3] Filetin, T.: *Pregled razvoja i primjene suvremenih materijala*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2000.

[4] Čatić, I.: *Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1990.

[5]https://www.google.hr/search?q=kau%C4%8Duk&espv=2&biw=1366&bih=667&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi37reT_K7LAhXqIJoKHSBtD_gQ_AUIBigB#tbm=isch&q=kau%C4%8Duk+drvo&imgrc=_

[6]https://www.google.hr/search?q=kau%C4%8Duk&espv=2&biw=1366&bih=667&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi37reT_K7LAhXqIJoKHSBtD_gQ_AUIBigB#tbm=isch&q=prirodna+smola&imgrc=ktARGsgnACBKzM%3A

[7]https://www.google.hr/search?q=kau%C4%8Duk&espv=2&biw=1366&bih=667&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi37reT_K7LAhXqIJoKHSBtD_gQ_AUIBigB#tbm=isch&q=skija%C5%A1ke+cipele

[8] http://www.prochima.it/pages/elastomeri%20poliuretanici.htm

[9] Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J.: *Svojstva i primjena materijala*, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.

[10] Rogić, A., Čatić, I., Godec, D.: *Polimeri i polimerne tvorevine*, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 1990.

[11] http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Podjela%20polimeria.pdf

[12] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17532

[13]https://www.google.hr/search?q=biciklisti%C4%8Dke+hla%C4%8De&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjjsb3v8LPLAhVHXhQKHdwID_UQ_AUIBygB&biw=1366&bih=667#tbm=isch&q=%C4%8Darape&imgrc=mDCIC-bcGN_COM%3A

[14]https://www.google.hr/search?q=biciklisti%C4%8Dke+hla%C4%8De&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjjsb3v8LPLAhVHXhQKHdwID_UQ_AUIBygB&biw=1366&bih=667#tbm=isch&q=loptica+za+bejzbol&imgdii=C9lQ9bnQzIIvfM%3A%3BC9lQ9bnQzIIvfM%3A%3BU_NcBXWzRo09yM%3A&imgrc=C9lQ9bnQzIIvfM%3A

[15]https://www.google.hr/search?q=biciklisti%C4%8Dke+hla%C4%8De&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjjsb3v8LPLAhVHXhQKHdwID_UQ_AUIBygB&biw=1366&bih=667#tbm=isch&q=zvu%C4%8Dnik&imgrc=1Elbrc3-k8DQ2M%3A

[16]https://www.google.hr/search?q=biciklisti%C4%8Dke+hla%C4%8De&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjjsb3v8LPLAhVHXhQKHdwID_UQ_AUIBygB&biw=1366&bih=667#tbm=isch&q=cd&imgrc=JYzFIwD0DHftLM%3A

[17] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1337197700_0_mat_2_2012_treci_dio.pdf

[18] gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Gradjevinski materijali/web/POLIMERNI MATERIJALI.pdf

[19] Boršić, S., Pilipović, J., Pilipović, A.: *Svjetsko nogometno prvenstvo u Brazilu – polimerni materijali u nogometu*, Polimeri, Vol.34, Svezak 4, 2013.godina

[20] Križan, B., Basan, R.: *Polimerni konstrukcijski elementi*, Udžbenici Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2009.

[21] http://www.h-l-t.asia/files/124/Handtmann_Brochure_ENG31.pdf

[22] http://www.resinex.hr/polimer-vrste/pom.html
[23] http://matplastik.com/eng/portfolio/polioksimetilen-pom/#prettyPhoto
[24]https://www.google.hr/search?q=polioksimetilen&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiAtorJjebLAhUGApoKHfrEBWkQ_AUIBigB#tbm=isch&q=polipropilenske+cijevi&imgrc=AVY_7IDSmmgIAM%3A
[25] http://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom
[26] https://www.fsb.unizg.hr/otpad/otpad_plastika.php
[27] Rujnić-Sokele, M.: *Gospodarenje komunalnim i plastičnim otpadom u Europskoj uniji*, Polimeri, Vol.33., Svezak 1,2012. Godina
[28] Pehnec Pavlović, G.: *Plastika – previše vrijedna da bi se bacila*; stručni rad za XI međunarodni simpozij GOSPODARENJE OTPADOM-ZAGREB
[29] Anić Vučinić, A., Vujević, D., Ptiček Siročić, A., Bede, Z., Špoljarić, E., Melnjak, I.: *Mogućnosti materijalne oporabe ambalaže od plastike*, XIII. Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom, Zagreb, 2014.godine.
[30] http://www.viplast-vip.hr/hr/2-uncategorised/7-folije-galerija.html
[31] Sonički, N.: *Mehanička svojstva materijala*, Materijali I, Veleučilipte u Karlovcu, Karlovac, 2011.
[32] Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN94/13)

PRILOZI

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

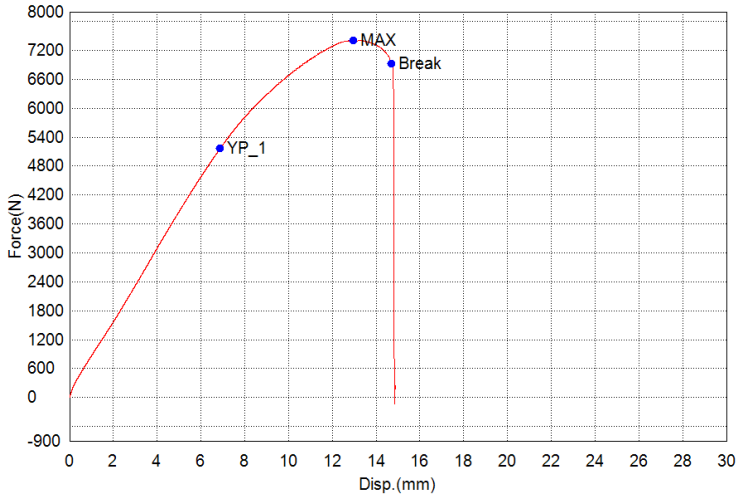
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	Završni rad
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1-1
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-1	7405.93	58.0858	12.9574	15.7536

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-1	6931.54	54.3651	14.7070	17.8809

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-1	5159.87	40.4696	6.87127	8.35413

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-1	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

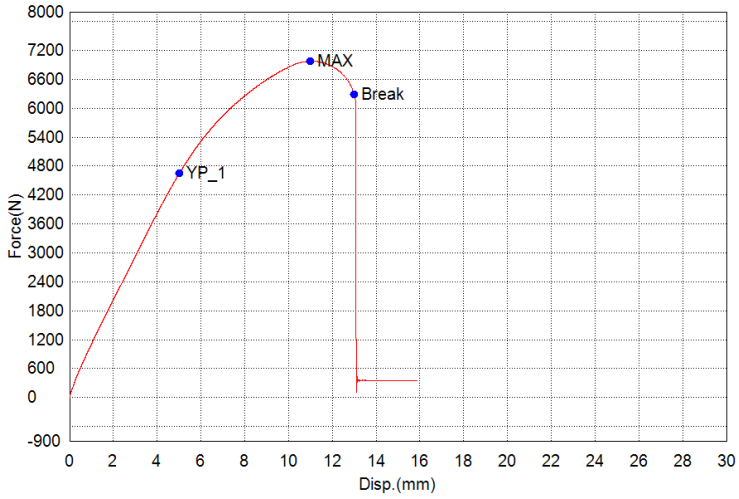
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1-2
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-2	6973.87	54.6970	10.9884	13.3597

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-2	6295.00	49.3725	12.9887	15.7917

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-2	4645.43	36.4347	5.01069	6.09202

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-2	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

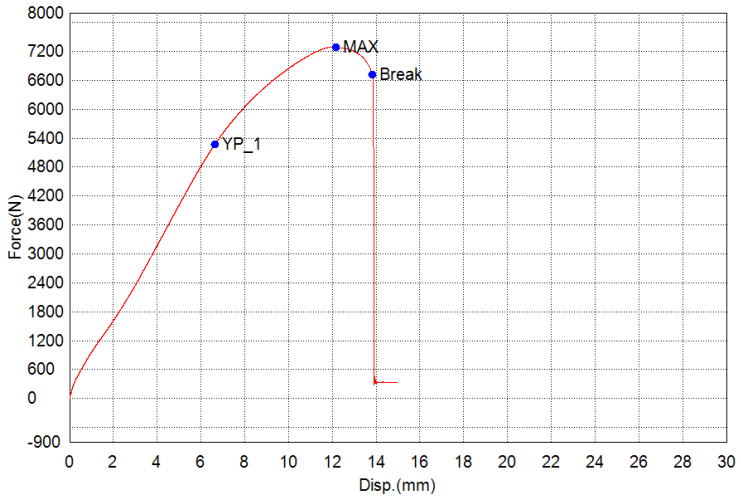
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1-3
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-3	7288.39	57.1639	12.1497	14.7716

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-3	6725.50	52.7490	13.8167	16.7984

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-3	5269.94	41.3329	6.64092	8.07406

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-3	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

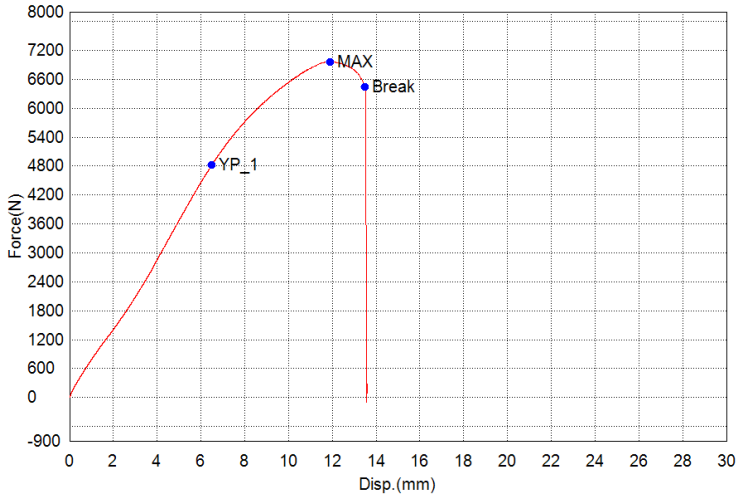
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1-4
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-4	6963.89	54.6187	11.9083	14.4782

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-4	6449.43	50.5838	13.4702	16.3771

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-4	4817.50	37.7843	6.49379	7.89519

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-4	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

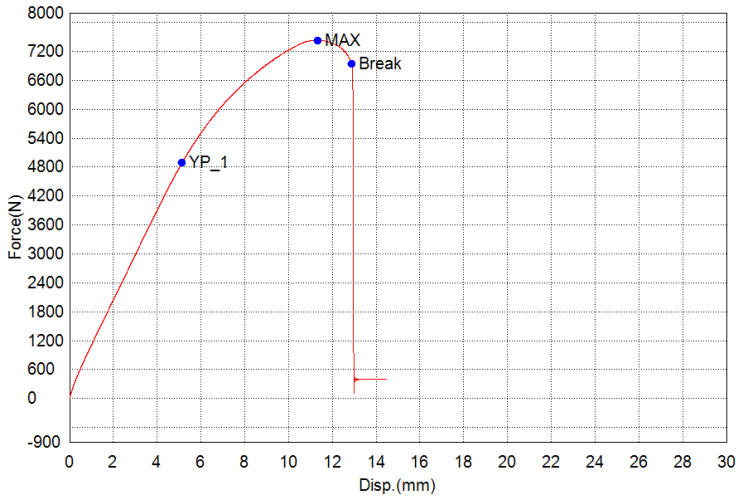
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1–5
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1–5	7430.76	58.2805	11.3247	13.7686

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1–5	6944.82	54.4691	12.8708	15.6484

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1–5	4890.16	38.3542	5.14477	6.25504

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1–5	–.–	–.–	–.–	–.–



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

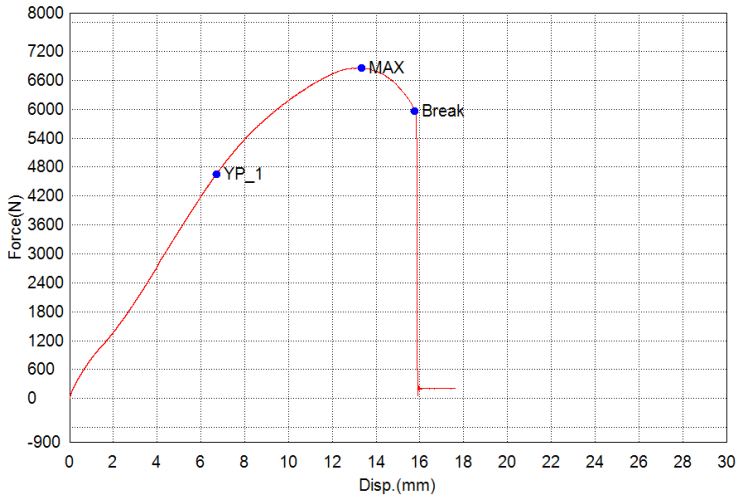
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1-6
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-6	6855.15	53.7659	13.3264	16.2023

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-6	5960.18	46.7465	15.7664	19.1688

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-6	4658.62	36.5382	6.71573	8.16502

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-6	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

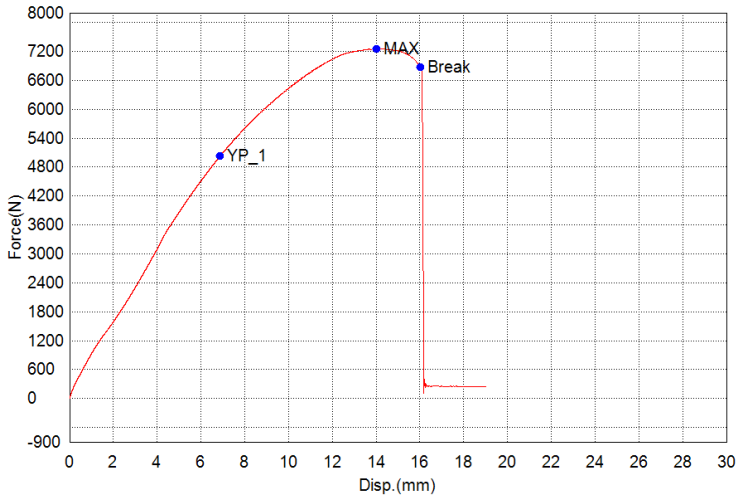
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	LAURAMID	**Količina**	1-7
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-7	7253.95	56.8937	14.0025	17.0243

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-7	6867.47	53.8625	16.0124	19.4680

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-7	5025.23	39.4136	6.87317	8.35643

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1-7	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

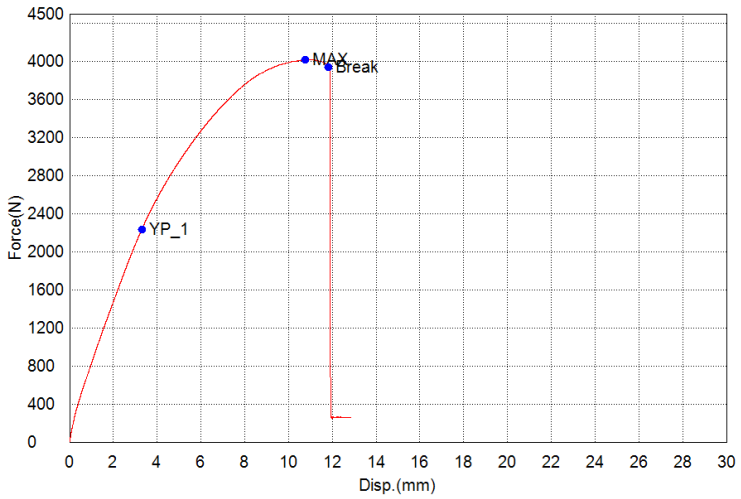
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2-1
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-1	4016.05	40.9801	10.7464	13.0529

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-1	3937.05	40.1740	11.8393	14.3803

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-1	2233.86	22.7944	3.29952	4.00768

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-1	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

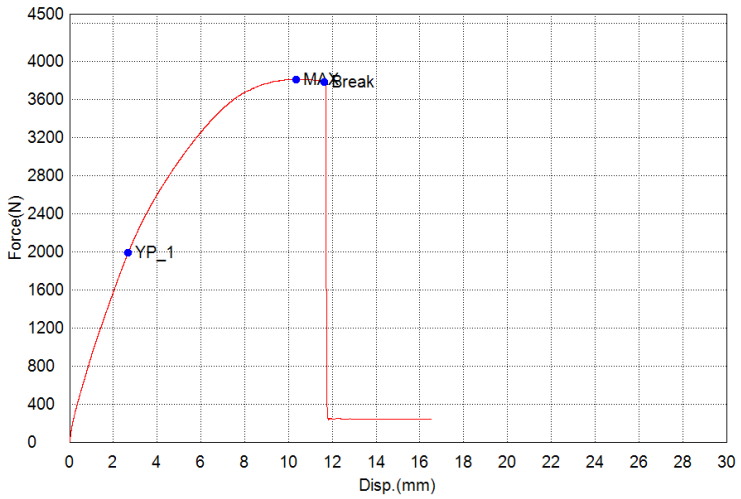
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2-2
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-2	3812.27	38.9007	10.3601	12.5836

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-2	3780.48	38.5763	11.6286	14.1244

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-2	1991.35	20.3199	2.68442	3.26056

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-2	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

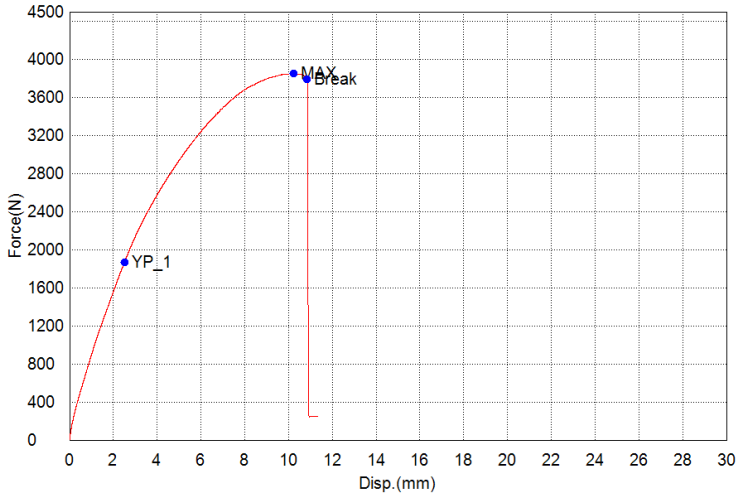
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2-3
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-3	3852.51	39.3113	10.2219	12.4157

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-3	3786.55	38.6382	10.8272	13.1510

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-3	1870.66	19.0884	2.51063	3.04947

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-3	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

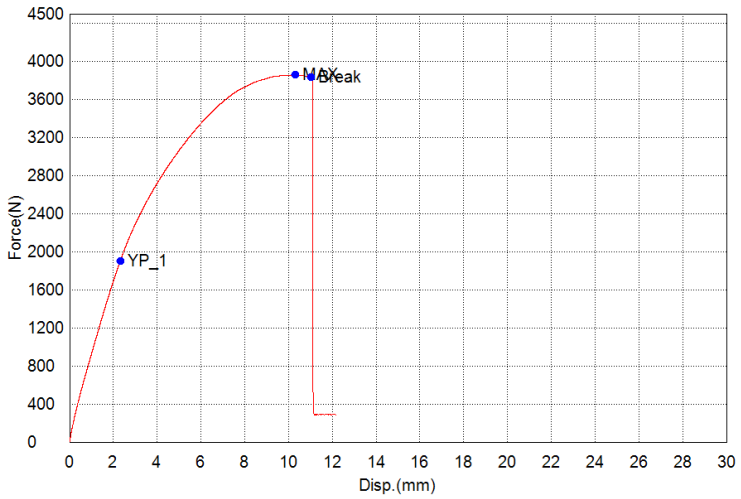
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2-4
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-4	3856.26	39.3496	10.3152	12.5291

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-4	3831.70	39.0990	11.0228	13.3886

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-4	1903.31	19.4216	2.31542	2.81236

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-4	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

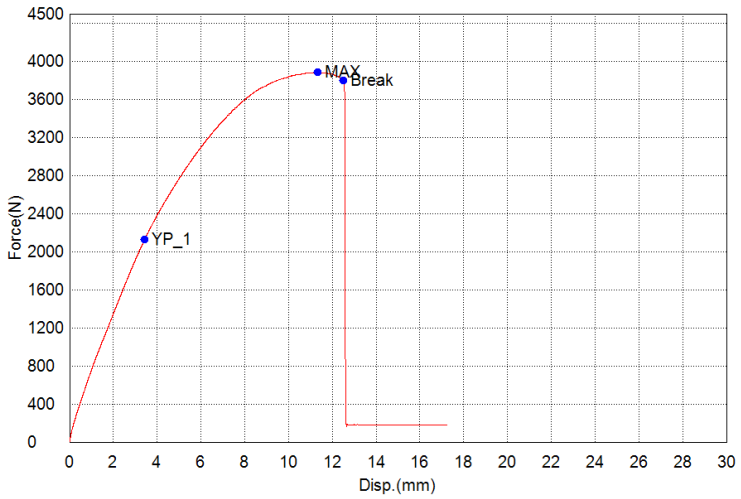
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2–5
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2–5	3882.57	39.6180	11.3340	13.7665

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2–5	3801.95	38.7954	12.4885	15.1688

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2–5	2123.93	21.6727	3.42417	4.15908

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2–5	–.–	–.–	–.–	–.–



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

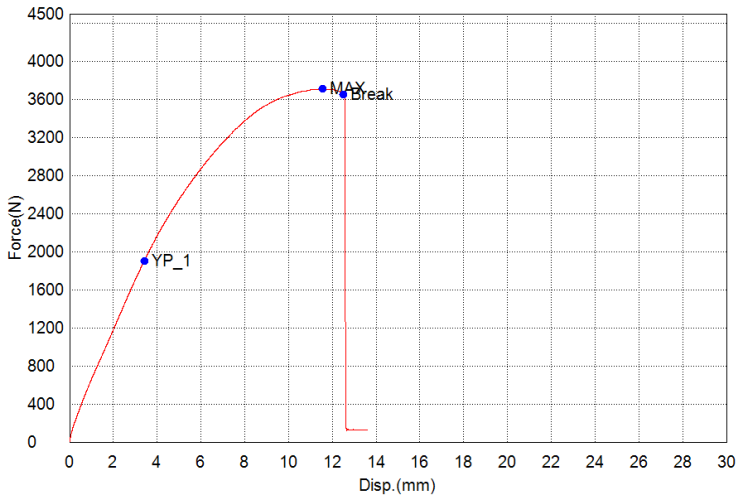
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2-6
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-6	3710.30	37.8602	11.5435	14.0210

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-6	3651.91	37.2643	12.5107	15.1958

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-6	1904.12	19.4298	3.41585	4.14898

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-6	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

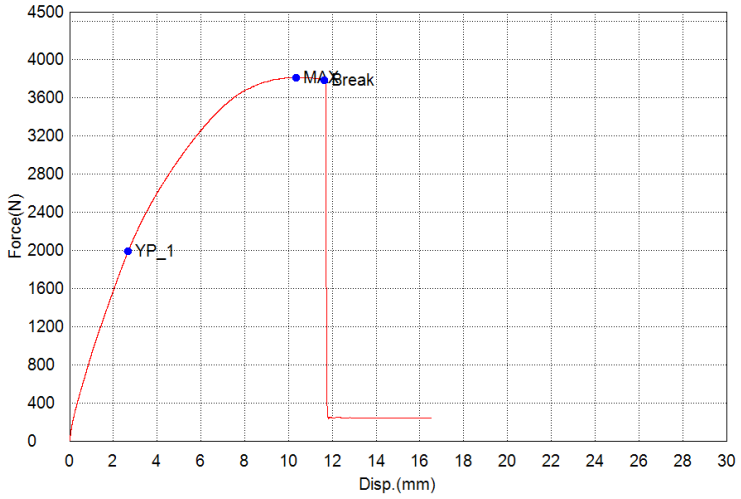
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	PP	**Količina**	2-7
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-7	3812.27	38.9007	10.3601	12.5836

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-7	3780.48	38.5763	11.6286	14.1244

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-7	1991.35	20.3199	2.68442	3.26056

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2-7	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

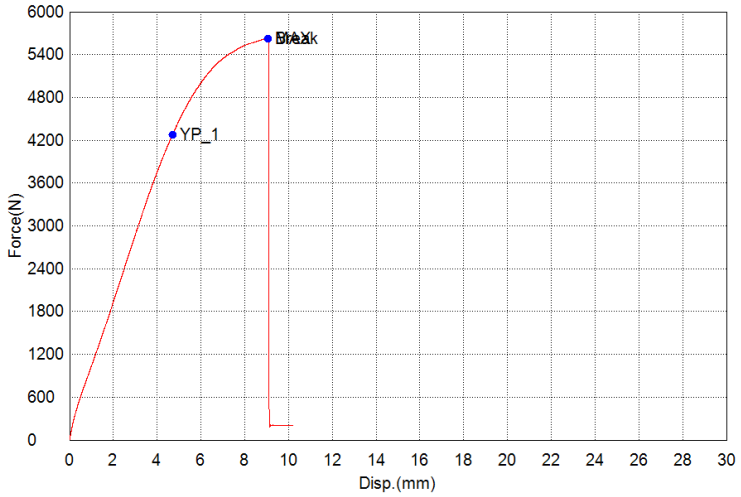
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3-1
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-1	5622.69	70.2836	9.06283	11.4690

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-1	5622.40	70.2800	9.06952	11.4775

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-1	4280.60	53.5075	4.70483	5.95398

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-1	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

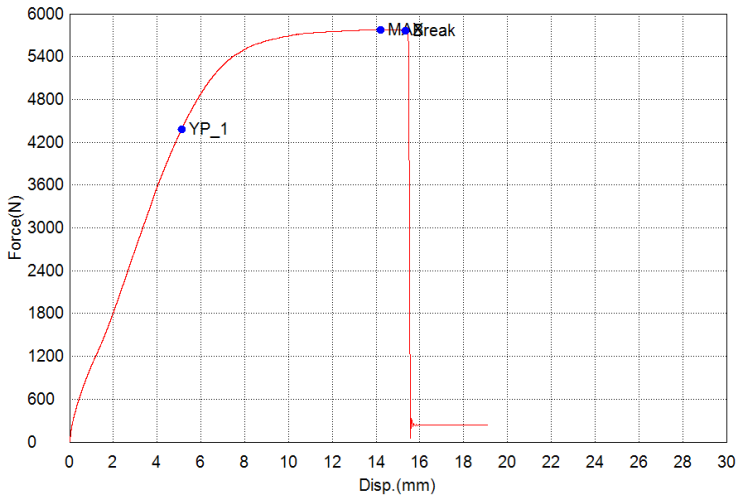
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3-2
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-2	5774.80	72.1850	14.2226	17.9987

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-2	5763.37	72.0422	15.3504	19.4260

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-2	4379.72	54.7465	5.11473	6.47270

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-2	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

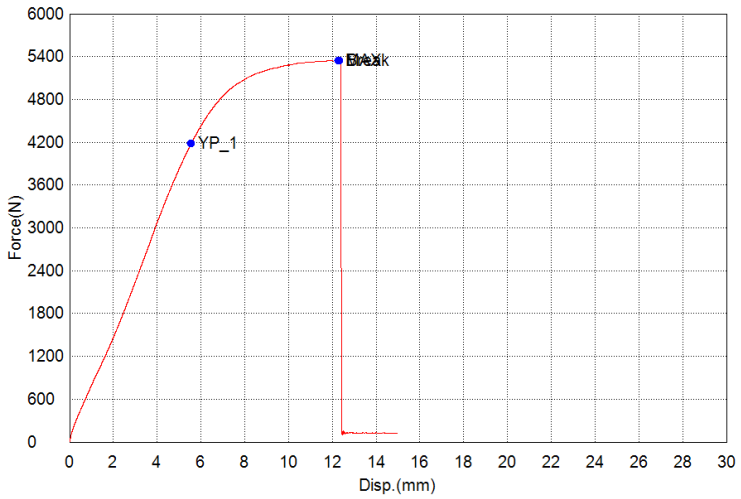
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3-3
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-3	5345.09	66.8136	12.2583	15.5130

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-3	5344.23	66.8029	12.3083	15.5762

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-3	4181.91	52.2739	5.55650	7.03176

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-3	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

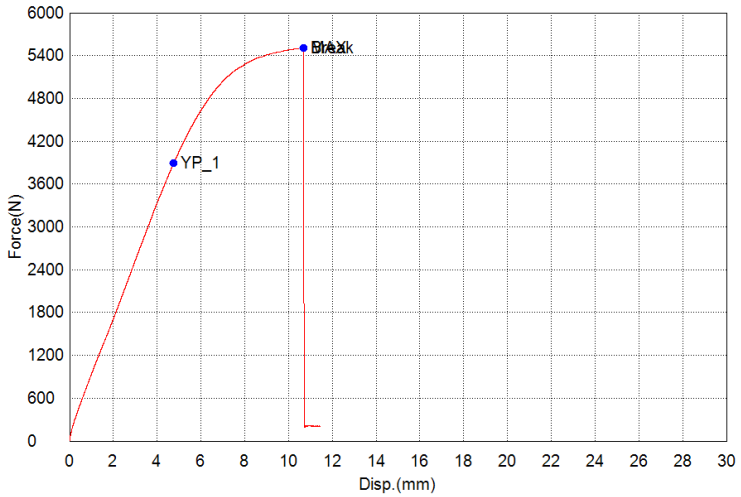
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3-4
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-4	5504.23	68.8028	10.6740	13.5080

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-4	5504.23	68.8028	10.6740	13.5080

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-4	3895.60	48.6950	4.76196	6.02627

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-4	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

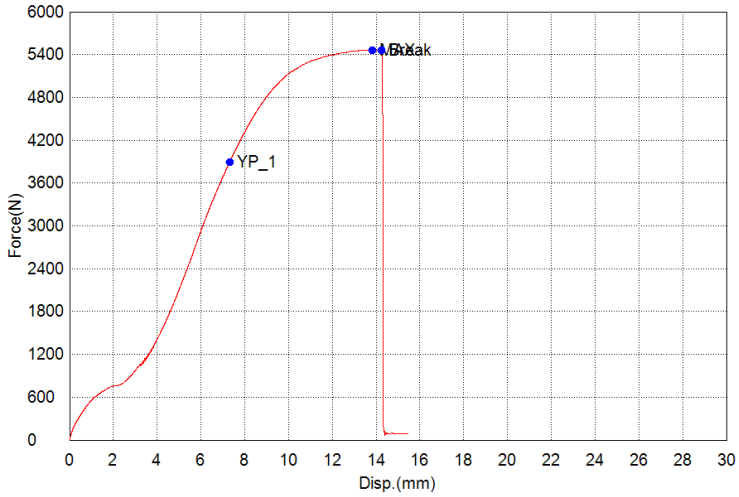
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3–5
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3–5	5464.36	68.3045	13.8126	17.4799

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3–5	5459.37	68.2422	14.2395	18.0202

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3–5	3895.20	48.6900	7.31731	9.26008

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3–5	–.–	–.–	–.–	–.–



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

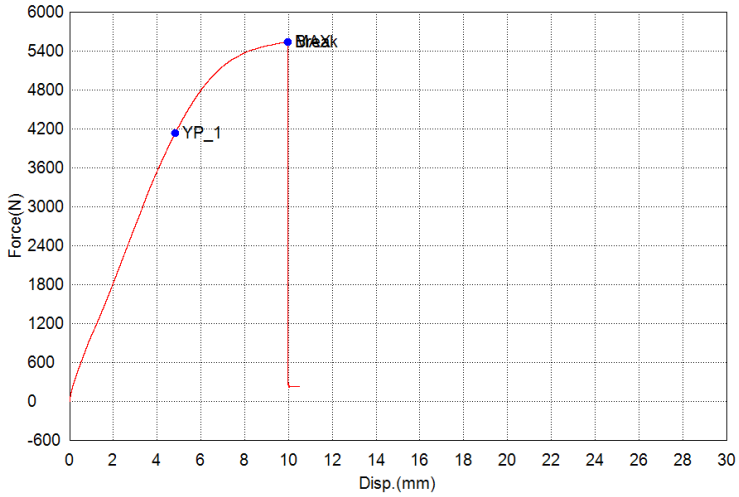
Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3-6
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-6	5534.35	69.1793	9.94979	12.5915

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-6	5534.35	69.1793	9.94979	12.5915

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-6	4131.71	51.6464	4.82833	6.11027

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-6	-.-	-.-	-.-	-.-



IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

Radni nalog		**Naručitelj**	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		**Narudžba br.**	
Materijal	POM	**Količina**	3-7
Norma		**Tehnički propis**	
Broj šarže		**Broj probe**	
Dimenzija		**Toplinska obrada**	
Predmet		**Brzina ispitivanja**	80 N/sec
Datum ispitivanja	11.03.2016.	**Norma**	

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-7	5145.53	64.3192	9.34381	11.8246

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-7	5145.53	64.3192	9.34381	11.8246

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke Strain
Parameters	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-7	4179.64	52.2455	6.07217	7.68434

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
3-7	-.-	-.-	-.-	-.-

