



UNIVERZITET U ZENICI  
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI  
PREDMET: NEMETALNI MATERIJALI



### **SEMINARSKI RAD**

Određivanje zateznih svojstava plastičnih masa  
prema standardu JUS G.S2.612

Student:  
Kovač Nezir

Predmetni nastavnik:  
V.prof.dr. Nađija Haračić

<i>Sadržaj</i>	<i>Stranica</i>
<b>Uvod i ključne riječi</b>	<b>3</b>
<b>Polimeri i plastične mase</b>	<b>4</b>
<b>Opšte napomene</b>	<b>4</b>
<b>Struktura i ponašanje polimera</b>	<b>5</b>
<b>Plastične mase</b>	<b>6</b>
<b>Prerada plastičnih masa</b>	<b>7</b>
<b>Određivanje zateznih svojstava plastičnih masa prema standardu JUS G.S2.612</b>	<b>11</b>
<b>Predmet standarda</b>	<b>11</b>
<b>Opšta odredba</b>	<b>11</b>
<b>Definicije</b>	<b>12</b>
<b>Epruveta</b>	<b>16</b>
<b>Opšte odredbe za izradu epruveta</b>	<b>19</b>
<b>Kondicioniranje</b>	<b>22</b>
<b>Oprema</b>	<b>22</b>
<b>Brzina ispitivanja</b>	<b>23</b>
<b>Postupak ispitivanja</b>	<b>24</b>
<b>Izračunavanje rezultata</b>	<b>25</b>
<b>Literatura</b>	<b>28</b>

**Ključne riječi:**

- Polimeri
- Plastične mase
- Polimerizacija
- Termoplastika
- Epruvete
- Poliplasti

**Keywords:**

- Polymers
- Plastic masses
- Polymerisation
- Thermoplastic
- Test pieces
- Polyplasts

**UVOD**

*Ovaj seminarski rad obuhvata temu iz predmeta Nemetalni materijali a tema nosi naziv "Određivanje zateznih svojstava plastičnih masa prema standardu JUS G.S2.612". Ovaj standard se odnosi na postupke kojim se utvrđuju i određuju zatezna svojstva plastičnih masa – poliplasta. Sam postupak je standardizovan i odnosi se na ispitivanje u obliku standardnih epruveta koje moraju biti posebno kondicionirane i tretirane, a o kojima ćemo govoriti u sklopu ovog seminarskog rada.*

*U uvodnom dijelu seminarskog rada navedene su opšte informacije o samim plastičnim masama i polimerima, proizvodima od polimera, načinom izrade i same hemijske strukture polimera.*

**Introduction**

*This seminar paper deals with a topic related to the subject – Non-metal materials. The topic is titled: "Determination of plastic mass tensile properties following the JUS G.S2.612 standard". This standard refers to the procedure used for determining the tensile properties of plastic masses – polyplasts. The very procedure is standardized and presents an analysis of investigation results on standard test pieces which must be specially made and treated. This will be further discussed within the paper.*

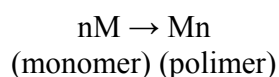
*The introductory part of the seminar paper gives general information on the very plastic masses and polymers, polymer products, production modes and chemical structure of polymers.*

## 1. POLIMERI I PLASTIČNE MASE

### Opšte napomene

*Polimeri* su složene organske supstance koji se dobijaju hemijskom sintezom jednostavnih jedinjenja - monomera. Ova vrsta hemijske sinteze naziva se *polimerizacija*.

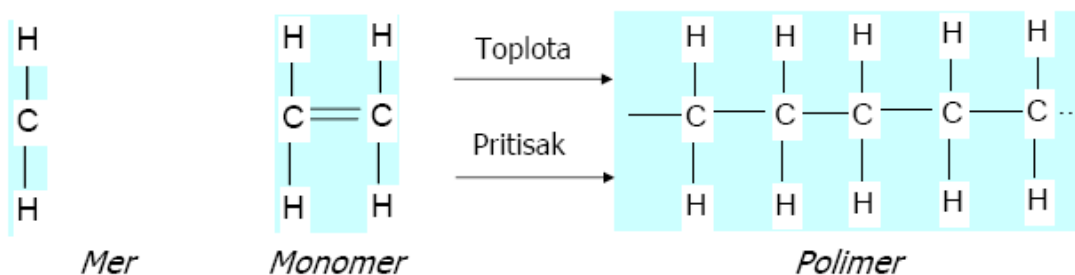
*Polimerizacija* predstavlja reakciju dobijanja polimera iz odgovarajućih monomera, tako da u opštem slučaju važi relacija:



Veličina "n" naziva se stepen polimerizacije.

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

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



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

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

## 1.2. Struktura i ponašanje polimera

Polimeri od značaja za rudarstvo predstavljaju čvrste supstance, koje se dobijaju iz monomera. Monomeri mogu biti u sva tri agregatna stanja - *čvrstom, tečnom ili gasovitom*.

Struktura polimera je u opštem slučaju amorfná, što znači da kod njih ne postoji pravilan raspored čestica.

Prema načinu ponašanja na toploti polimeri se dijele na: *termoplastične* i *termostabilne* polimere.

*1.2.1. Termoplastični polimeri* su polimeri koji se pri zagrijavanju razmekšavaju, a zatim tope. Nakon hlađenja ponovo očvršćavaju zadržavajući osnovna svojstva. Postupak razmekšavanja i stvrđavanja može se ponoviti više puta bez opasnosti od mijenjanja tehničkih karakteristika.

Karakterišu se malim specifičnim masama (1000-1200 kg/m<sup>3</sup>), malom toplotnom provodljivošću i visokom hemijskom otpornošću. U nedostatke im spadaju: nepostojanost na povišenim temperaturama, nizak modul elastičnosti, krtost na nižim temperaturama, sklonost ka starenju itd.

*1.2.2. Termostabilni polimeri* su polimeri koji pokazuju stabilnost na povišenim temperaturama, ali zagrijavanjem mogu samo jednom da omekšaju i pređu u plastično stanje. Na povišenim temperaturama trpe deformacije, dok na visokim temperaturama sagorijevaju.

Za primjenu u građevinarstvu i rudarstvu termoplastični i termostabilni polimeri se ispituju na temperaturama koje odgovaraju području staklastog (čvrstog) stanja, a to su najčešće normalne (radne) temperature u opsegu od -200 do +400C.

Sa povećanjem temperature, po pravilu dolazi do opadanja čvrstoće  $R_m$  i modula elastičnosti polimera, kao i do povećanja njegove žilavosti.

Kriva  $\sigma$ - $\epsilon$  (naprezanje-izduženje) termostabilnih polimera uglavnom karakteriše monotonost.

Skupljanje polimera zapaža se samo tokom procesa njihovog dobijanja, dok u daljem vremenskom periodu pokazuju stabilnost.

U termoplastične polimere spadaju: *polietilen, polivinilhlorid, polistirol, poliamidi, polimetilmetakrilat, polivinilacetat, poliizobutilen i dr.*

U termostabilne polimere spadaju: *fenolaldehidi, epoksidi, poliestri, poliuretani, silicijum-organski polimeri (silikoni) i dr.*

**Polimeri** se dobijaju polimerizacijom zasićenih i nezasićenih ugljovodonika (etilena, acetilena, izobutilena, vinil hlorida, stirola, fenola i dr.). Proizvode se u praškastom stanju u vidu granula ili u tečnom stanju.

Odlikuju se malom specifičnom masom, relativno malom tvrdoćom i čvrstoćom, vodonepropustljivošću i otpornošću na različite hemijske reagense, ograničenom otpornošću na povišene temperature, otpornošću na mraz itd.

Polimeri se koriste za dobijanje plastičnih masa, hidro i termo izolacionih materijala, materijala porozne strukture (stiropora, poliuretana), ljepila, lakova, vatrostalnih lakova i emajla, vezivnih sredstava, dodaju se betonima u fazi izrade itd.

## 2. PLASTIČNE MASE

U praksi se vrlo rijetko koriste "čisti" polimeri, s obzirom na visoku cijenu polimera. Modifikovanjem svojstava polimera dobija se vrlo širok spektar materijala koji nose opšti naziv *plastične mase*.

U sastav plastičnih masa ulaze:

- *veziva* (neki od polimera),
- *punioci* (inertni materijali),
- *aditivi* .

Kod najvećeg broja plastičnih masa najveći dio otpada na punioce (80-90%), dok polimeri učestvuju sa svega 10 do 20%. Time se znatno smanjuje cijena proizvodnje plastičnih masa. Punioci mogu biti:

- *praškasti* (drveno i kvarcno brašno, kreda, talk, čađ i sl.),
- *vlaknasti* (staklena i organska vuna, azbest i dr.),
- *listasti* (hartija, tkanine, drveni furnir i dr.).

Punioci utiču i na tehnička svojstva plastičnih masa: smanjuju skupljanje i deformabilnost, povećavaju otpornost na povišenim temperaturama, smanjuju gorivost i dr. Punioci koji imaju funkciju armature u materijalu (vlaknasti i listasti) značajno povećavaju zateznu i savojnu čvrstoću, otpornost na atmosferske uticaje itd.

Najčešće korišćeni aditivi koji se dodaju plastičnim masama su: *plastifikatori*, *stabilizatori*, *katalizatori*, *boje*, *supstance za formiranje porozne strukture i dr.*

2.1. **Plastifikatori** su supstance koje se dodaju sa ciljem povećanja plastičnosti mase na normalnim temperaturama. Oni olakšavaju preradu plastičnih masa, snižavajući temperaturu prelaska polimera u visokoplastično stanje. Sadržaj plastifikatora u plastičnim masama može da iznosi i do 50% u odnosu na masu polimera.

2.2. **Stabilizatori** su supstance koje se dodaju plastičnim masama u cilju sprečavanja njihovog starenja.

2.3. Katalizatori su supstance čijim se korišćenjem smanjuje vrijeme očvršćavanja plastične mase. Za bojenje plastičnih masa upotrebljavaju se razni pigmenti ili organske boje. Sadržaj ovih dodataka obično iznosi 3-5% u odnosu na masu polimera.

Porozna struktura plastičnih masa postiže se dovođenjem polimera u pjenasto stanje ili uvođenjem u polimer supstanci koje razvijaju gasove usljed kojih dolazi do ekspanzije mase.

#### 2.4. Osnovna svojstva plastičnih masa

Specifične mase plastičnih masa kreću se od 1000 do 2000kg/m<sup>3</sup>, dok zapreminska masa zavisi od ostvarene poroznosti i kreće se u vrlo širokim granicama.

Plastične mase odlikuju se niskom toplotnom provodljivošću i visokom vrijednošću koeficijenta linearnog širenja (5-10 puta veći nego kod drugih konstrukcionih materijala).

Čvrstoća plastičnih masa može biti vrlo velika, naročito u slučajevima kada je materijal armiran vlaknima ili listovima. Tada zatezna čvrstoća može iznositi 200-300MPa (npr. plastične mase armirane staklenom tkaninom). Čvrstoće pri zatezanju i savijanju su vrlo bliske. Modul elastičnosti plastičnih masa je znatno niži nego kod drugih materijala.

Najveći broj plastičnih masa je otporan prema djelovanju vode i vodenih rastvora kiselina, baza i soli. Međutim, mnoge plastične mase se lahko rastvaraju ili bubre u organskim rastvaračima. Starenje predstavlja vrlo ozbiljan nedostatak mnogih plastičnih masa. Do njega dolazi tokom vremena usljed zagrijavanja, djelovanja svjetlosti, kiseonika i drugih faktora.

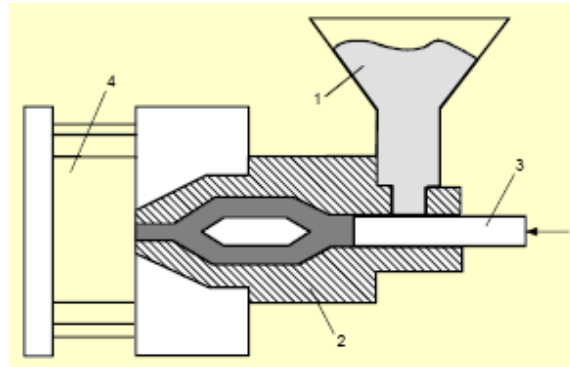
Plastične mase nisu postojane na povišenim temperaturama. Najviše njih podnosi temperaturu 100-2000 °C, dok plastične mase na bazi silikona postojane su i na temperaturama 300-5000 °C. Pri višim temperaturama dolazi do topljenja i sagorevanja plastičnih masa, što predstavlja jedan od njihovih velikih nedostataka.

### 3. PRERADA PLASTIČNIH MASA

Plastične mase prerađuju se postupcima: *brizganja, kontinualnog brizganja, valjanja i presovanja*.

3.1. **metoda brizganja** podrazumijeva da se termoplastični polimer u vidu granula ubacuje kroz lijevak u cilindar mašine za brizganje, gdje se masa zagrijava do temperature razmekšavanja, a zatim putem klipa brizga - utiskuje u kalup čiji oblik odgovara obliku elementa koji se proizvodi.

Proces se završava hlađenjem elementa i njegovim vađenjem iz kalupa. Na ovaj način proizvode se elementi manjih dimenzija.



Slika 1. - Metoda brizganja

Na slici je:

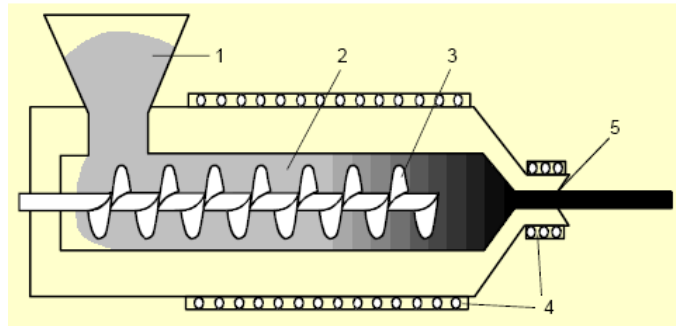
- 1- rezervoar
- 2- cilindar
- 3- klip
- 4- kalup



Slika 2. - Dijelovi dobiveni metodom brizganja

**3.2. proces kontinualnog brizganja** izvodi se na sličnim mašinama uz upotrebu pužne prese, koja razmekšanu masu neprekidno istiskuje kroz usnik. Na ovaj način proizvode se cijevi, trake, profili i sl.



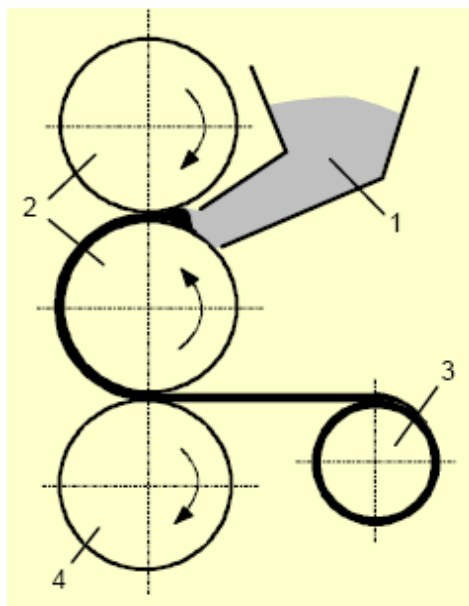


Slika 3. - Šema kontinualnog brizganja

Na slici je:

- 1- rezervoar
- 2- cilindar
- 3- puž
- 4- grijač
- 5- matrica

**3.3. postupak valjanja** izvodi se tako što plastična masa u rastopljenom stanju prolazi kroz sistem valjaka, gdje se vrši njeno valjanje i svodjenje na potrebnu debljinu. Na ovaj način proizvode se jednoslojni i višeslojni materijali koji se isporučuju u rolnama (folije i sl.).

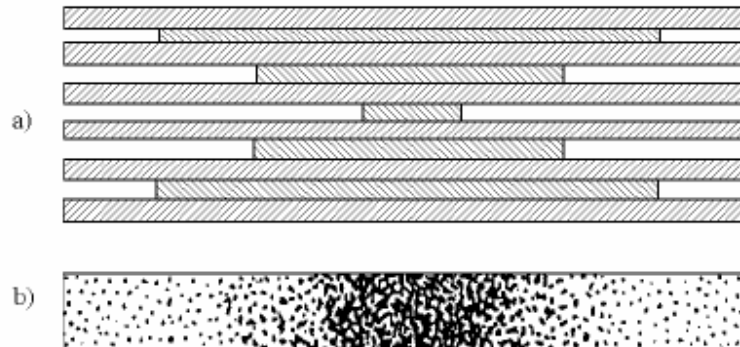


Slika 4. - Šema postupka valjanja (kalandrovanja)

Na slici je:

- 1- rezervoar
- 2- radni valjci
- 3- kalem
- 4- pomoćni valjak

**3.4. postupak presovanja** sastoji se u tome da se rastopljena plastična masa ulijeva u matricu kalupa, a zatim izlaže pritisku gornjeg elementa kalupa (matrice). Dobijeni element se u kalupu hladi određeno vrijeme, a zatim vadi iz njega.



Slika 5. - Postupak presovanja

Više od polovine svih plastičnih masa prerađuje se postupcima brizganja i presovanja (livenja). Proizvodi od termostabilnih masa vade se iz kalupa još dok su vrući, dok predmeti od termoplastičnih masa moraju se prije vađenja hladiti u kalupima određeno vrijeme.

**Termostabilne plastične mase obrađuju se postupcima rezanja.**

**Termoplastične mase** zavaruju se (spajaju) postupcima toplog zavarivanja pod pritiskom. Elementi rudarskih mašina, izloženi velikom habanju i abraziji, prije ugradnje najčešće se podvrgavaju *plastificiranju*.

Kompoziti dobijeni plastificiranjem, tj. nanošenjem plastičnih masa na elemente od čelika ili livenog gvožđa, imaju znatno veću otpornost na habanje i koroziju, postojanost u agresivnoj sredini i dr. Nakon proizvodnje kompozita slijedi "pečenje" na odgovarajućoj temperaturi.

Plastificirani elementi se široko primjenjuju u rudarstvu, npr. radna kola centrifugalnih pumpi, cjevovodi za transport pulpe, krivine i račve cjevovoda, ventili, plastificirani limovi, dijelovi kotrljajućih ležaja itd.

#### 4. ODREĐIVANJE ZATEZNIH SVOJSTAVA PLASTIČNIH MASA PREMA STANDARDU JUS G.S2.612

Ovaj standard nastao je revizijom standarda JUS G.S2.612 iz 1967. godine. Ovaj standard je djelimično u skladu sa prijedlogom standarda Međunarodne organizacije za standardizaciju ISO/DIS 527 iz 1978. godine.

##### 4.1. Predmet standarda

4.1.1. Ovim standardom se utvrđuju postupci za određivanje zateznih svojstava plastičnih masa (poliplasta) u obliku standardnih epruveta, koje su prethodno kondicionirane (kao i prethodno tretirane) na određenoj temperature i relativnoj vlazi, pri određenoj brzini ispitivanja.

4.1.2. Postupak ispitivanja dat u ovom standardu primjenjuje se na sljedeće vrste materijala:

- a) savitljive ploče od termoplastičnih masa, dobivene ekstruzijom ili direktnim presovanjem,
- b) krute ploče od termoplastičnih ili termoreaktivnih masa, dobivene ekstruzijom ili direktnim presovanjem,
- c) krute termoplastične materijale za injekciono presovanje, uključujući one sa punilom i vlaknom ojačane materijale,
- d) ojačane ploče od termoplasta,
- e) industrijske i dekorativne laminate, sa organskim ojačanjem, u obliku ploče,
- f) termoreaktivne mase koje sadrže neorgansko punilo radi ojačanja u obliku nesređenih vlakana, tkane tkanine iz grube pređe, tkane tkanine iz fine pređe ili tkanih paralelnih monofilamenata "rovinga",

4.1.3. Postupak ispitivanja dat u ovom standardu ne primjenjuje se za određivanje zateznih svojstava sljedećih materijala:

- ploča ili folija čija je debljina manja od 1 mm; za ove materijale mora se primjeniti standard JUS G.S2.734,
- tvrde plastične mase sa ćelijama; za ove materijale mora se primjeniti standard JUS G.S2.817,
- mehke elastične plastične mase sa ćelijama; za ove materijale primjenjuje se standard JUS G.S2.424,
- plastificirane tkanine (vještačke kože); za ove materijale primjenjuje se standard JUS G.S2.704.

##### 4.2. Opšta odredba

4.2.1. Metoda data u ovom standardu služi za kontrolu kvaliteta prema kojoj za određen materijal prihvata ili odbacuje, a također i za istraživanje i razvoj.

- 4.2.2. Zatezna svojstva zavise od načina izrade epruveta, brzine ispitivanja i uslova okoline u kojima se vrši ispitivanje. Zbog toga, kada se vrše precizna upoređenja rezultata, ovi faktori se moraju pažljivo kontrolisati.
- 4.2.3. Zatezna svojstva poliplasta moraju se ispitati u širokom rasponu brzina i uslova okoline, zbog njihove osjetljivosti prema istezanju i uslovima okoline. Uticaji ovih uslova moraju se ispitati kada se njihova svojstva žele primjeniti u svrhe gdje su ta svojstva značajna.

### 4.3. Definicije

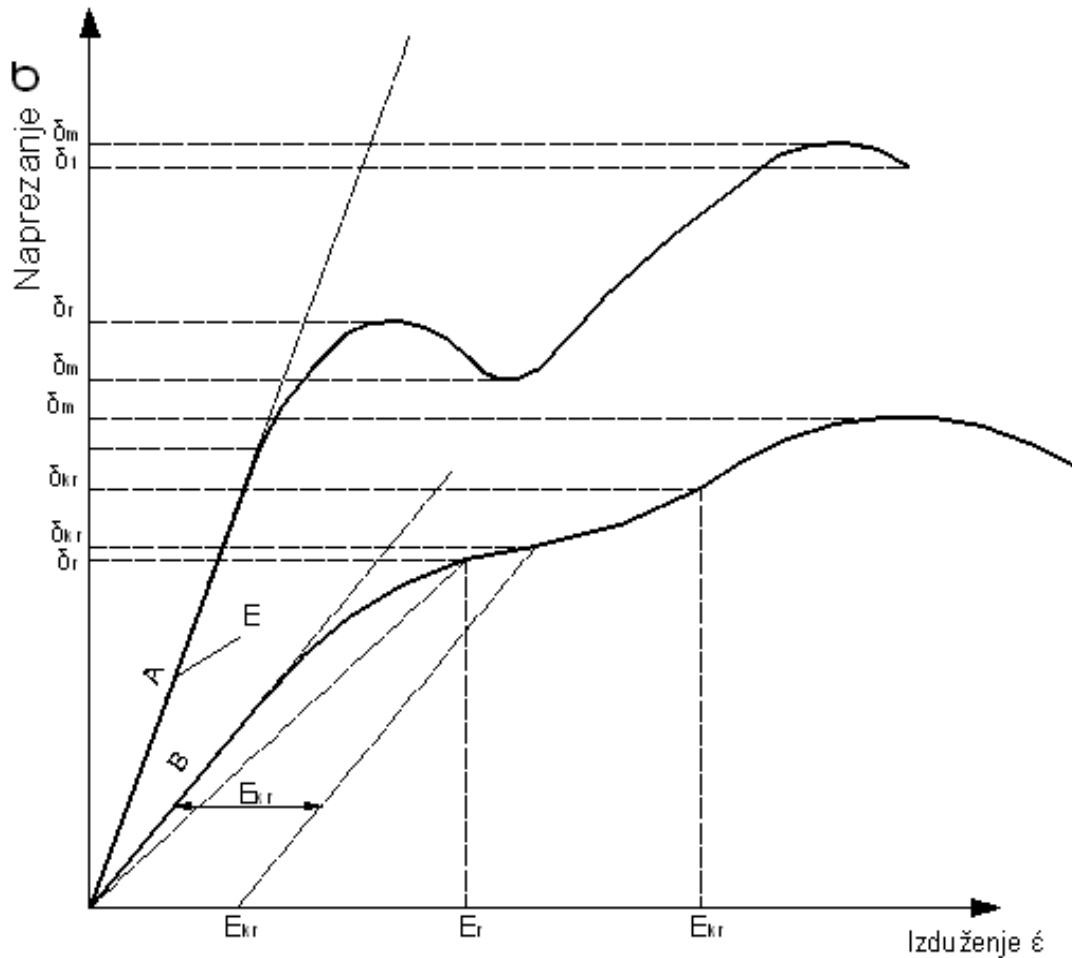
- 4.3.1. “Zatezno naprezanje” (nazivno)  $R$  – zatezna sila (opterećenje)  $F$  na jedinicu početne površine najmanjeg poprečnog presjeka epruveta  $A_0$ , u bilo kom trenutku ispitivanja i izračunava se po obrascu:

$$[R] = \frac{F}{A_0}$$

- 4.3.2. Zatezna čvrstoća (nazivna)  $R_m$  - najveće zatezno naprezanje (nazivno) koje izdrži epruveta za vrijeme ispitivanja pri dejstvu najveće sile  $F_m$  i izračunava se po obrascu:

$$R_m = \frac{F_m}{A_0}$$

- 4.3.3. Prekidna čvrstoća  $R_1$  – zatezno naprezanje u trenutku kidanja epruvete.
- 4.3.4. Granica razvlačenja  $R_r$  – zatezno naprezanje u onoj tački na krivoj naprezanje – izduženje, u kojoj dolazi do povećanja jediničnog izduženja bez povećanje naprezanja (vidi krivu A na slici 1).



Slika 6. – Dijagram naprezanje-izduženje

*Napomena:* Granicu razvlačenja imaju samo oni materijali čija kriva naprezanje-izduženje pokazuje jasan nagib jednak nuli (tangenta u toj tački ima koeficijent pravca ravan nuli). Neki materijali imaju dvije takve tačke. Prva se naziva *gornjom* granicom razvlačenja, a druga *donjom* granicom razvlačenja.

- 4.3.5. Konvencionalna granica razvlačenja  $\sigma_{kr}$  - zatezno naprezanje u onoj tački na krivoj naprezanje-izduženje, u kojoj tu krivu siječe prava koja je paralelna sa početnim linearnim dijelom krive naprezanje-izduženje a pomjerena je od koordinatnog početka (ishodišta) za određeni iznos izduženja.

*Napomena:* Određivanje konvencionalne granice razvlačenja korisno je za one materijale čija kriva jediničnog izduženja nema jasne granice razvlačenja, već u tom području ima blagu promjenu.

- 4.3.6. Konvencionalna granica zatezanja  $\sigma_{kz}$  – naprezanje pri kojem kriva naprezanje-izduženje odstupa od pravolinijskog dijela pri utvrđenom procentu jediničnog izduženja (to je zatezno naprezanje koje odgovara unaprijed određenom jediničnim izduženju, vidi krivu B na slici 1).
- 4.3.7. Mjerna dužina  $l_0$  – prvobitna (početna) dužina između mjernih oznaka (linija) epruvete (tj. razmak nezategnute epruvete) na kojoj se određuju promjene dužine pri zatezanju.
- 4.3.8. Izduženje  $\Delta l$  – povećanje početne mjerne dužine epruvete.
- 4.3.9. Jedinično izduženje (istezanje)  $\varepsilon$  - promjena jedinice početne dužine epruvete mjerene između mjernih linija i izračunava se po obrascu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

4.3.10. Procentualno jedinično izduženje  $\varepsilon_x$  – jedinično izduženje izraženo u % (gdje se umjesto x stavlja odgovarajuća oznaka).

*Napomena:* Mjerenje jediničnog izduženja i naprezanja ima smisla samo ako ne nastaje neujednačeno sužavanje epruvete između mjernih linija. S obzirom da to sužavanje nije ujednačeno na čitavoj dužini epruvete unutar mjernih linija, te vrijednosti imaju samo kvalitativno značenje poslije postizanja granice razvlačenja (ukoliko je ista uopšte izražena). Ako se materijal isteže još dalje iza razvlačenja, u tom slučaju određuje se granica zatezanja do koje se vrši ispitivanje.

- 4.3.11. Procentualno jedinično izduženje na granici razvlačenja  $\varepsilon_r$  – izduženje nastalo na mjerenoj dužini epruvete pri naprezanju na granici razvlačenja, izražava se kao promjena mjerne dužine u %.
- 4.3.12. Procentualno jedinično izduženje pri kidanju  $\varepsilon_1$  ili pri najvećem opterećenju  $\varepsilon_m$  – jedinično izduženje mjerene dužine epruvete pri kidanju ili pri najvećem opterećenju, izraženo u %.
- 4.3.13. Granica proporcionalnosti – najveće naprezanje koje materijal može izdržati, a da ne dođe do odstupanja od proporcionalnosti između naprezanja i jediničnog izduženja (Hukov zakon).

*Napomena:* Tačno određivanje granice proporcionalnosti i granice elastičnosti kod poliplasta teško se može precizno odrediti i zato se umjesto tih granica najčešće mjeri samo granica razvlačenja (konvencionalna granica razvlačenja).

4.3.14. Granica elastičnosti – najveće naprezanje koje materijal može izdržati bez trajnog izduženja a koje nastane poslije potpunog prestanka dejstva zatezne sile.

4.3.15. Modul elastičnosti pri zatezanju  $E$  (Jungov modul) – odnos između zateznog naprezanja i odgovarajućeg jediničnog izduženja unutar granice proporcionalnosti.

*Napomena:* Kod mnogih plastičnih masa odnos naprezanje-izduženje ne odgovara Hukovom zakonu u cijelom elastičnom području, odstupanja postoje čak pri naprezanjima znatno ispod granice razvlačenja. Za takve materijale nagib tangente prema krivoj naprezanje-izduženje pri malom izduženju se obično uzima kao modul elastičnosti.

4.3.16. Tangentni modul elastičnosti – nagib tangente na krivoj naprezanje-izduženje u bilo kojoj tački ispod granice elastičnosti za one materijale koji se ne pokoravaju Hukovom zakonu čak ni pri vrlo malom opterećenju.

*Napomena:* Odnos između jediničnog izduženja i naprezanja kod poliplasta ne pokorava se uvijek Hukovom zakonu čak ni kod vrlo malih opterećenja, i zato se najčešće mjeri sekantni modul elastičnosti jer tangentni nije od praktične koristi.

4.3.17. Sekantni modul elastičnosti – odnos između naprezanja i izduženja u bilo kojoj tački krive ili odnos između promjene naprezanja i odgovarajućeg izduženja između bilo koje dvije tačke krive.

4.3.18. Brzina ispitivanja (zatezanjem) – brzina razdvajanja stega za vrijeme ispitivanja.

4.3.19. Brzina naprezanja – promjena zateznog naprezanja (nazivnog) u jedinici vremena.

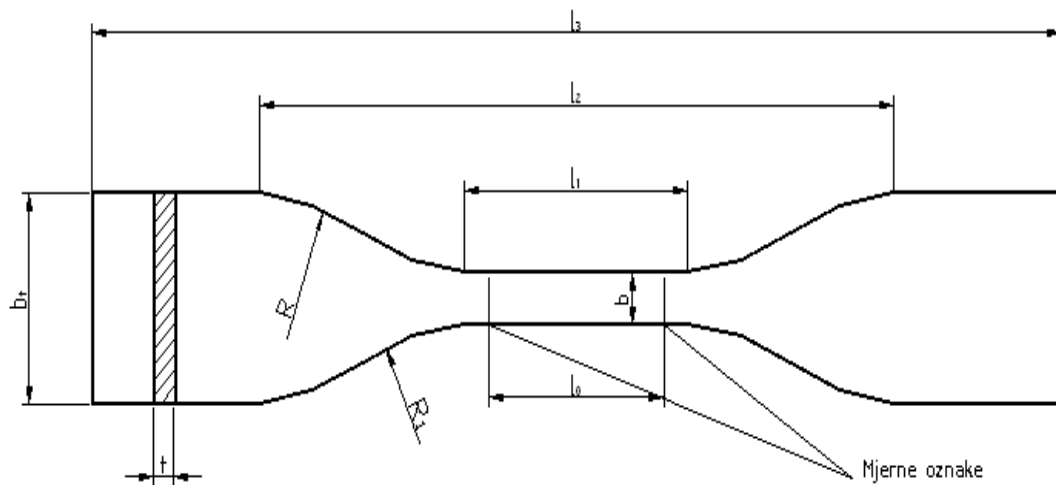
4.3.20. Brzina istezanja – promjena zateznog istezanja u jedinici vremena, iz brzine ispitivanja ne može se odrediti brzina istezanja, jer se može jako razlokovati.

4.3.21. Kruti poliplasti – poliplasti čiji je modul savijanja veći od 700 MPa, a to odgovara Jangovom modulu 1000 MPa.

#### 4.4. Epruveta

##### 4.4.1 Oblik i mjere

4.4.1.1. Za ispitivanje zateznih svojstava primjenjuju se tri tipa epruveta prikazane na slikama 7 do 9. Oblik epruvete zavisan je od vrste poliplasta. Većina epruveta su oblika dvostrukog zvana, a razlikuju se po dimenzijama zavisno od materijala za koji su namijenjeni. Epruvete sa paralelnim stranicama primjenjuju se za pojedine materijale koji su ojačani vlaknima.



Slika 7. – epruveta tipa A

Na slici je:

$l_3$  – ukupna dužina epruvete, najmanje 115 mm

$R$  – veliki radijus  $25 \pm 2$  mm

$b_1$  – širina krajeva  $25 \pm 1$  mm

$l_0$  – razmak između mjernih oznaka  $25 \pm 1$  mm



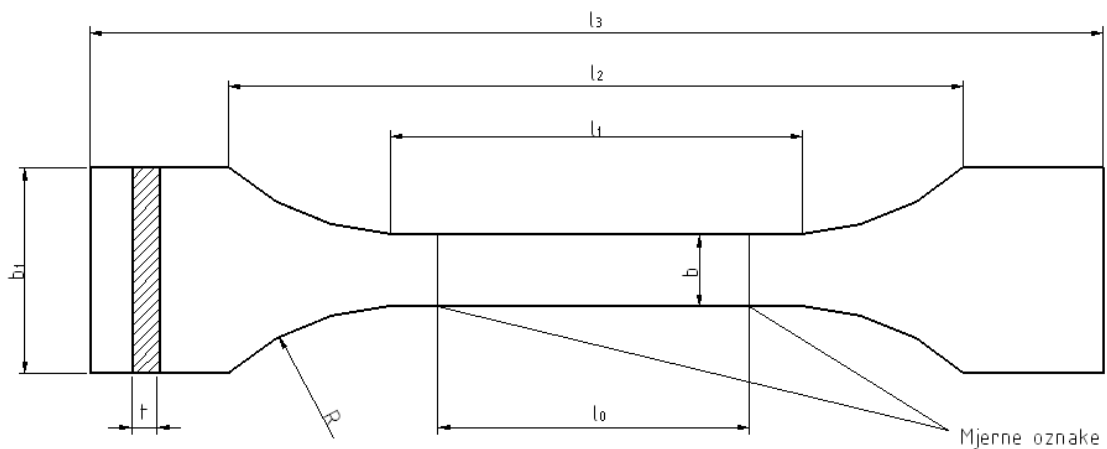
$l_1$  – dužina suženog paralelnog dijela  $33\pm 2$  mm

$l_2$  – početni razmak između stega  $80\pm 5$  mm

$b$  – širina suženog paralelnog dijela  $6\pm 0,4$  mm

$t$  – debljina: najmanje 1 mm, najviše 3 mm preporučene debljine 2 mm.

$R_1$  – mali radijus  $14\pm 1$  mm



Slika 8. – epruveta tipa B

Na slici je:

$l_3$  – ukupna dužina, najmanje 150 mm

$b_1$  – širina krajeva  $20\pm 0,6$  mm

$l_2$  – dužina suženog paralelnog dijela  $60\pm 0,5$  mm

$b$  – širina suženog paralelnog dijela  $10\pm 0,5$  mm

$R$  – radijus, najmanje 60 mm

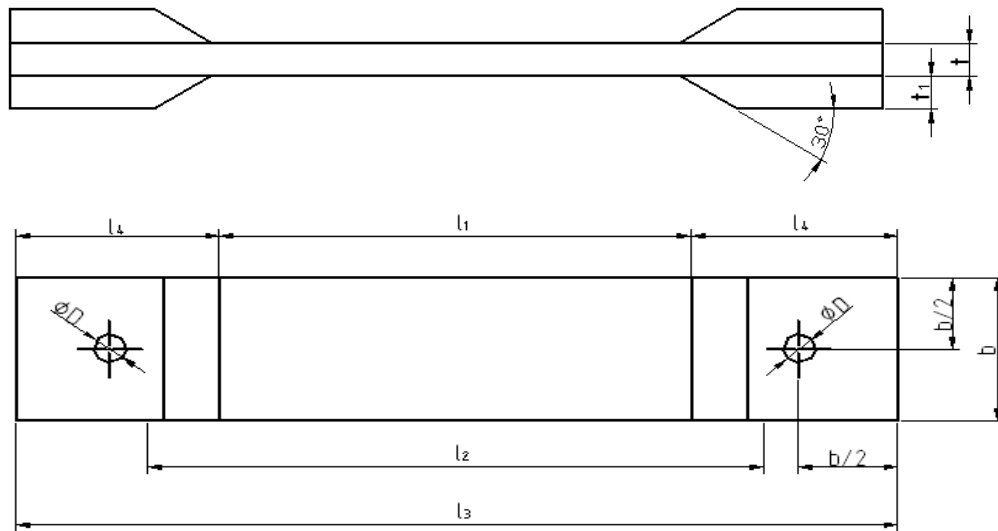
$l_0$  – razmak između mjernih oznaka  $50\pm 0,5$  mm

$l_2$  – početni razmak između stega  $115\pm 5,0$  mm

$t$  – debljina: - za epruvete izrađene mašinskom obradom: najmanje 1mm, najviše 10mm, preporučena debljina 4mm;

- za presovane (direktne ili injekcione) epruvete 4mm.

Debljina suženog paralelnog dijela epruvete nigdje ne smije odstupati više od 2% od srednje vrijednosti.



Slika 9 – epruveta tipa C

Na slici je:

$l_3$  – ukupna dužina, najmanje 250 mm

$l_1$  – dužina između ojačanih dijelova epruvete  $150 \pm 5$  mm

$b$  – širina  $25 \pm 0,5$  ili  $50 \pm 0,5$  mm

$t$  – debljina najmanje 2 mm, najviše 10 mm

$l_4$  – dužina ojačanih dijelova, najmanje 50 mm

$l_2$  – razmak između stega  $170 \pm 5$  mm

$D$  – debljina rupe za centriranje 3 mm

Za pojedinačno oblikovane epruvete od materijala oblikovanih pritiskom, debljina između krajeva (na dužini  $l_1$ ) ne smije odstupati više od 2% od srednje vrijednosti.

Četiri krajnja dijela epruvete ( $t_1$ ) ne smiju biti tanja od 3mm i izrađuju se od istog ili sličnog materijala od koga je pripremljena epruveta (slika 9).

Pri ispitivanju materijala ojačanih rastresitim staklenim vlaknima, krajnji dodatni dijelovi se mogu izostaviti, izuzev pri neslaganju rezultata ispitivanja.

#### 4.4.1.2 Izbor tipa epruvete određen je vrstom poliplasta i načinom izrade epruveta.

Tip epruveta i debljina epruveta utvrđeni su u pojedinačnim standardima za određeni poliplast. Ukoliko nema takvih podataka primjenjuju se uslovi utvrđeni u tabeli.

Tabela 1. – uslovi za ispitivanje zatezanjem

Vrsta poliplasta	Tip epruvete	Način izrade	Najpogodnija debljina u mm	Brzina ispitivanja
Savitljive ploče od termoplastičnih masa, dobivene ekstruzijom ili direktnim presovanjem	A (slika 7)	Isjecanje iz ploča pomoću šablona	2	E F G H
Kruti termoplastični materijali za injekciono presovanje, uključujući one sa punilom i vlaknom ojačane materijale.	B (slika 8)	Injekcionim presovanjem	4	A <sub>1</sub> B D E F
Krute ploče od termoplastičnih i termoreaktivnih masa, dobivene ekstruzijom ili direktnim presovanjem, kao i industrijski i dekorativni laminate.	B (slika 8)	- mašinskom obradom iz ploča ili - direktnim presovanjem ili - injekcionim presovanjem	4	A A <sub>1</sub> B C D E F
Termoreaktivne mase sa dodacima: - sa neorganskim punilom kao i ojačanja u obliku grubih vlakana; - sa neorganskim punilom kao i ojačanja u obliku tkanina. Ojačane ploče od termoplasta	C (slika 9)	Isjecanjem iz ploča	2	A <sub>1</sub> B C
	B (slika 8)	Isjecanjem iz ploča		
	C (slika 9)	Isjecanjem iz ploča		

## 5. Opšte odredbe za izradu epruveta

5.1. Metode (postupci) izrade epruveta utvrđeni su standardima JUS G.S2.603, JUS G.S2.604, JUS G.S2.605, JUS G.S2.606 i JUS G.S2.607. U pojedinačnom standardu za određeni materijal utvrđena je metoda koja se mora primjeniti za taj materijal. Ukoliko nema takvih podataka primjenjuju se uslovi utvrđeni u prethodnim tačkama.

Sve površine epruvete moraju biti bez pukotina, ogrebotina ili drugih nedostataka. Epruvete koje se izrađuju iz gotovih proizvoda uzimaju se sa ravnih površina ili ako takvih površina nema onda sa površina koje imaju što manju zakrivljenost.

Epruvetama izrađenim od poliplasta sa ojačanjem, debljina se ne smije smanjivati mašinskom obradom, izuzev ako se to ne može izbjeći. Rezultati dobiveni na epruvetama čije su površine mašinski obrađene ne mogu se upoređivati sa rezultatima dobivenim na epruvetama čije površine nisu mašinski obrađene.

## 5.2. Pravac ispitivanja određen je uzdužnom osom epruvete.

Svojstva nekih materijala mogu se jako razlikovati u raznim pravcima ploče, zbog anizotropije izrađenih ploča. Radi toga moraju se izraditi dvije grupe epruveta čije su uzdužne ose paralelne i pod pravim uglom na pravac anizotropije. Ova dva pravca se obično mogu razlikovati na ploči ili na osnovu vidljivih tragova ili na osnovu poznavanja načina izrade ploča.

## 5.3 Mjerne oznake na epruvetama moraju se obilježiti sredstvom koje ne utiče na ispitivani materijal (tuš, mastilo i slično).

Obilježavanje mjernih oznaka ne smije se vršiti grebanjem, probijanjem ili utiskivanjem epruvete a razmak mjernih oznaka mjeri se sa tačnošću od 1% ili većom.

*Napomena:* Geometrijski oblik epruvete i način učvršćivanja znatno utiču na raspodjelu naprezanja za vrijeme ispitivanja. Ta raspodjela se mijenja i ako se upotrebljava proporcionalna epruveta srazmjernih dimenzija. Rezultati dobiveni na različitim oblicima epruveta ne mogu se međusobno upoređivati. Takođe i odnos veličine epruvete i brzina ispitivanja utiču na rezultate ispitivanja.

5.4. Ako se iz nekih razloga ne može primjeniti standardna epruveta tipa B, upotrebljava se proporcionalna epruveta čije su dimenzije proporcionalne dimenzijama na slici 7 (npr. u odnosu  $\frac{1}{2}$  ili  $\frac{1}{5}$ ), tada se mora izabrati takva brzina ispitivanja da je paralelni dio podvrgnut istoj brzini istezanja kao i standardna epruveta.

5.5. Isjecanje oblikovanim reznim alatom se primjenjuje za isjecanje epruveta iz savitljivih materijala u obliku ploča.

Ploča se položi na podupirač od mekog materijala, čija je površina ravna i postavljena na čvrstu površinu.

Oblikovan rezni alat, oblikovan nož čija je oštrica oblika epruvete, prema slici 7, postavi se na ploču i pomoću prese jednim udarcem se isjeca epruveta.

Oštrica oblikovanog noža mora biti oštra i bez ureza.

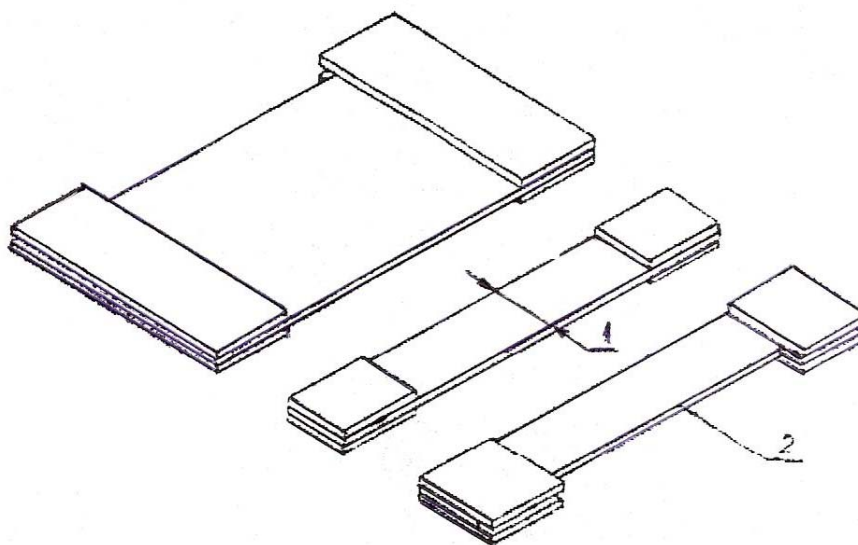
5.6. Epruvete prema slici 8 pripremaju se injekcionim presovanjem ili direktnim presovanjem. Uslovi presovanja karakteristični su za svaku pojedinu masu i utvrđeni su u pojedinačnim standardima za te mase.

Pri pripremi kalupa mora se imati u vidu skupljanje otpreska. Presovane epruvete iz termoplasta sa ojačanjima izložena su orijentaciji vlakana i stoga mogu dati nepravilno visoke vrijednosti.

Za ovakve materijale prvo se mora pripremiti pravougaona epruveta i iz nje se glodanjem ili brušenjem izrađuje epruveta utvrđenog oblika. Presovanje se mora primjeniti kada druge metode izrade nisu pogodne. Sa epruvete se moraju odstraniti vrhovi, bez oštećenja epruvete.

5.7. Rezanje mašinskom obradom se primjenjuje pri izradi epruveta iz krutih ploča, otpresovanog komada i laminata. Epruveta prema slici 8 se izrađuje mašinskom obradom pravougaonog komada pomoću brzrotirajućeg visokofrekventnog noža vođenog pomoću oblikovanog šablona (vidi JUS G.S2.603).

Pravougaona epruveta prema slici 9 isjeca se pomoću odgovarajuće testere (npr, cirkularnom testerom sa karbidnom ili dijamantskom oštricom ili sa karborundnim točilom). Pravougaone epruvete se isjecaju iz komada ploča najmanje dužine 250mm, a čija je širina takva da omogućuje isjecanje više epruveta.



Slika 10.

Na slici je:

1 – utvrđena širina

2 – odsječen dio koji se odbacuje

Na krajeve trake učvrste se komadi za pričvršćivanje u stege prema slici 10. Krajevi za učvršćivanje su od istog materijala kao i trake epruvete.

Kao vezivno sredstvo za ojačanja krajeva primjenjuje se epoksidni lijepak, koji očvršćava na hladno.

Primjenjeni lijepak mora imati veće izduženje pri kidanju nego ispitivani materijal. Prije lijepljenja, površine koje se lijepe blago se ohrapave finim abrazivnim papirom.

Epruveta sa zalijepljenim krajevima ostavi se preko noći pod pritiskom. Zatim se iz većeg komada cirkularnom testerom isjecaju pojedinačne epruvete. Kada se iz jedne deblje ploče isjeca standardna debljina epruvete, samo jedna strana se smije obrađivati.

Brzina mašinske obrade zavisi od ispitivanog materijala. Za vrijeme mašinske obrade epruveta se ne smije pregrijati, a ako se primjenjuje hlađenje ono ne smije uticati na materijal koji se obrađuje. Sve površine epruvete moraju biti bez vidljivih pukotina, ogrebotina ili drugih nedostataka. Zaostali tragovi od mašinske obrade ili slobodni krajevi vlakana grubih laminata moraju se poravnati finim abrazivnim sredstvom.

*Napomena:* Pri mašinskoj obradi epruvete moraju se preduzeti sve mjere predostrožnosti da bi se odstranila prašina i da nebi nadraživala kožu.

#### 5.8. Broj epruveta

- 5.8.1 Ispituje se najmanje 5 epruveta za svaki ispitivani pravac epruvete.
- 5.8.2. Epruvete koje su oštećene prilikom pripremanja, kao i one koje se kidaju izvan mjernih oznaka, moraju se odstraniti i zamijeniti drugima.
- 5.8.3. Epruvete sa paralelnim stranicama koje se kidaju na udaljenosti manjoj od 10mm od stege ili kliza u stegama moraju se odbaciti i zamijeniti drugima.

## 6. Kondicioniranje

Epruvete se kondicioniraju i ispituju pri standardnim uslovima utvrđenim u standardu JUS G.S0.050. Drugi uslovi kondicioniranja koji se moraju primjeniti za neke poliplaste utvrđeni su u standardima za te materijale.

## 7. Oprema

### 7.1 Mašina za ispitivanje zatezanjem

7.1.1 Za ispitivanje zatezanjem koristi se mašina za ispitivanje zatezanjem (kidalice) sa stegama, koje se mogu razdvajati jednom ili više brzina (ako to zahtijevaju pojedina ispitivanja) koje su utvrđene u tački 8.2. Kidalice mora imati pokazivač opterećenja (indikator) i pokazivač izduženja.

7.1.2. Jedna od stega za učvršćivanje epruvete je vezana za nepokretni dio, a druga za pokretni dio kidalice. Stege su sa automatskim podešavanjem pravca, tj tako su učvršćene da pri promjeni opterećenja automatski zauzimaju takav položaj da se uzdužna osa epruvete poklapa sa pravcem opterećenja koje prolazi kroz osu stega.

Epruveta se mora tako učvrstiti u stega da je izbjegnuto izvlačenje iz stega zbog klizanja za vrijeme zatezanja. Ovakvo učvršćivanje osigurano je stegama koje se automatski stežu pri zatezanju. Stege ne smiju oštetiti epruvetu, da nebi došlo do prijevremenog kidanja na oštećenom mjestu.

7.1.3. Kidalice mora imati pokazivač opterećenja, mehanizam koji pokazuje ukupno opterećenje koje djeluje na ispitivanu epruvetu pri ispitivanju zatezanjem. Mehanizam mora biti praktično bez inercije u određenoj oblasti ispitivanja i mora da pokazuje opterećenje sa tačnošću  $\pm 1\%$  od mjerene vrijednosti, a po mogućnosti i tačnije.

7.1.4. Kidalice takođe mora imati i pokazivač izduženja, mehanizam koji pokazuje razmak mjernih oznaka u bilo kom trenutku ispitivanja. Mehanizam mora biti bez inercije pri propisanoj brzini ispitivanja i mora da pokazuje jedinično izduženje sa tačnošću od najmanje 1%.

Kada je pokazivač izduženja pričvršćen uz epruvetu ne smije doći do oštećenja ili iskrivljenja epruvete, a za vrijeme ispitivanja ne smije doći do klizanja između epruvete i pokazivača izduženja. Mjerenje izduženja epruvete ne smije se vršiti na osnovu pomjeranja stega, jer takav način nije dovoljno tačan.

## 7.2 Mikrometri

7.2.1 Kljunasti mikrometar sa tačnošću očitavanja 0,01mm primjenjuje se za mjerenje debljine i širine epruvete iz krutih poliplasta.

7.2.2 Mikrometar sa kružnom skalom (debljinomjer) sa tačnošću očitavanja 0,01mm snadbijeven kružnom pločicom koja pritiskuje epruvetu pritiskom od  $20 \pm 3$  kPa, primjenjuje se za mjerenje debljine savitljivih materijala.

## 8. Brzina ispitivanja

8.1 Brzina ispitivanja je brzina razdvajanja stega kidalice za vrijeme ispitivanja. Brzina ispitivanja određena je jugoslovenskim standardom za određeni tip poliplasta. Ako takvih podataka nema onda se biraju vrijednosti koje su da te u tabeli.

8.2 Brzine koje se primjenjuju za ispitivanje zatezanjem su:

- brzina A	1mm/min $\pm$ 60%
- brzina A1	2mm/min $\pm$ 20%
- brzina B	5mm/min $\pm$ 20%
- brzina C	10mm/min $\pm$ 20%
- brzina D	20 ili 25mm/min $\pm$ 10%
- brzina E	50mm/min $\pm$ 10%
- brzina F	100mm/min $\pm$ 10%
- brzina G	200 ili 250mm/min $\pm$ 10%
- brzina H	500mm/min $\pm$ 10%

Napomena: Kada ispitivanje dozvoljava treba upotrijebiti istu brzinu za određivanje napreznja i ostalih zateznih svojstava.

Međutim, u nekim slučajevima neophodno je odabrati jednu brzinu za određivanje krive napreznje-isteznje do granice razvlačenja a veću brzinu za određivanje svojstava iznad te granice. U takvim slučajevima za svaku brzinu upotrebljava se posebna grupa epruveta.

8.3.Za određivanje modula elastičnosti mora se primjeniti manja brzina (A ili A1, ili zateznje izvršiti ručno). Određivanje modula elastičnosti vrši se na posebnim epruvetama, kad god su brzine ispitivanja različite.

8.4.Ako se za ispitivanje koristi proporcionalna epruveta tipa B brzina ispitivanja se mora uskladiti sa odredbama iz prethodnih tačaka.

## **9. Postupak**

9.1 Izmjeri se širina i debljina srednjeg paralelnog dijela epruvete sa tačnošću 0,01mm, na sredini epruvete i 5mm od svake mjerne oznake i izračuna srednja vrijednost ili najmanji poprečni presjek prema potrebi ispitivanja.

Kada se epruvete isjecaju iz savitljivih ploča oblikovanim reznim alatom – nožem, centralni paralelni dio epruvete ekvivalentan je oblikovanom nožu. Ovaj postupak zahtijeva periodičnu kontrolu alata.

Kod epruveta tipa C izmjeri se širina i debljina sa tačnošću 0,01mm, u blizini dijelova za učvršćivanje u stege i izračuna se srednja vrijednost ili najmanji poprečni presjek prema potrebi ispitivanja.



Epruveta se učvrsti u stege kidalice, namještanje epruvete se mora tako izvesti da se uzdužna osa epruvete poklapa sa osom zatezanja. Ovo se postiže pomoću klina za centriranje stege.

Epruveta mora biti čvrsto i ravnomjerno stegnuta, tako da ne može doći do izvlačenja epruvete iz stega zbog klizanja. Pokazivač izduženja se namjesti na mjerne oznake epruvete. Namjesti se odgovarajuća brzina na određenu vrijednost i uključi se kidalica.

*Za vrijeme ispitivanja treba zabilježiti ili automatski registrovati sljedeće podatke:*

- opterećenje i odgovarajuće izduženje (deformaciju) u posebnim i približno jednakim intervalima istezanja u elastičnom dijelu ili do postizanja specifičnog jediničnog izduženja;
- silu na granici razvlačenja;
- razmak mjernih oznaka na granici razvlačenja i pri kidanju;
- silu na određenom razmaku mjernih oznaka;
- prekidnu silu i/ili maksimalnu silu;
- silu na konvencionalnoj granici razvlačenja.

9.2 Ako se određuje modul elastičnosti upotrebljava se brzina A ili A1.

Sekantni modul se dobija iz krive opterećenje-izduženje ili se upotrebljava sljedeća alternativna metoda. Epruveta se optereti silom koja je približno 10% od očekivane prekidne sile ili 10% od očekivane sile na granici razvlačenja. Zabilježi se izduženje kod te sile, ili se pokazivač izduženja namjesti na nulu. Polako se povećava izduženje za 0,002 i zabilježi sila kod tog izduženja.

*Napomena:* U slučajevima kada granica razvlačenja nije oštro definisana na krivoj naprezanje-izduženje određuje se konvencionalna granica razvlačenja i odgovarajuće jedinično izduženje u procentima.

## **10. Izračunavanje rezultata**

10.1 Granica razvlačenja i/ili zatezna čvrstoća i/ili prekidna čvrstoća i/ili konvencionalna granica razvlačenja izračunava se po formuli:

$$R_x = \frac{F_x}{A_0}$$

Gdje je:

$R_x$  – naprezanje, u MPa;

$F_x$  – zatezna sila, u N;

$A_0$  – najmanji početni presjek epruvete, u mm<sup>2</sup>;

x – indeks odgovarajućeg naprezanja, odnosno sile.

10.2 Procentualno jedinično izduženje na granici razvlačenja i/ili pri kidanju izračunava se po formuli:

$$\varepsilon_x = \frac{l_x - l_0}{l_0}$$

Gdje je:

$\varepsilon_x$  – jedinično izduženje, u %;

$l_x$  – razmak mjernih oznaka u mm;

$l_0$  – početni razmak mjernih oznaka, u mm;

x – indeks odgovarajućeg izduženja.

10.3. Modul elastičnosti (Jangov modul) izračunava se iz linearnog dijela krive naprezanje-izduženje pomoću formule:

$$E = \frac{\text{razlika naprezanja između dvije tačke na pravolinijskom dijelu krive}}{\text{razlika jediničnog izduženja između istih tačaka}}$$

gdje su naprezanja i jedinična izduženja definisana prema tački 3.

10.4. Naprezanje na konvencionalnoj granici razvlačenja dobija se mjerenjem naprezanja u presjeku krive naprezanje-izduženje i paralelno povučene linije sa početnim linearnim dijelom krive naprezanje-izduženje, pomjerene od početne tačke za određeno dogovoreno jedinično izduženje  $\varepsilon_{kr}$ . Izračunava se prema formuli:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{A_0}$$

Gdje je:

$\varepsilon_{kr}$  – konvencionalna granica razvlačenja, u Mpa;

$F_{kr}$  – sila u tački konvencionalne granice razvlačenja, u N;

$A_0$  – najmanji početni presjek epruvete, u mm<sup>2</sup>.

10.5. Sekantni modul elastičnosti se izračunava iz vrijednosti naprezanja pri određenom referentnom izduženju.

10.5.1. Kada nema prednaprezanja (referentno naprezanje ravno nuli) sekant modulus se dobija po formuli:

$$E_{sc} = \frac{F_{sc}}{\varepsilon \cdot A_s}$$

Gdje je:

$E_{sc}$  – sekantni modul elastičnosti pri određenom jediničnom izduženju u %, u MPa;

$F_{sc}$  – sila koja prouzrokuje određeno jedinično izduženje, u N;

$\varepsilon$  - jedinično izduženje prouzrokovano silom  $F_{sc}$ ;

$A_s$  – srednja vrijednost početnog presjeka epruvete, u mm<sup>2</sup>.

10.5.2. ako se sekantni modul elastičnosti određuje na osnovu sile koja izaziva 0,002 jedinično izduženje na epruveti koja je prethodno već opterećena radi istezanja primjenjuje se formula:

$$E_{sc} = \frac{F_{0,002} - F_{sr}}{0,002 \cdot A_s}$$

Gdje je:

$E_{sc}$  – sekantni modul elastičnosti, pri iszezanju 0,002, u Mpa;

$F_{0,002}$  – sila koja prouzrokuje jedinično izduženje 0,002 iznad prethodne sile, u N;

$F_{sr}$  – sila koja prouzrokuje početno referentno izduženje (ona obično iznosi 10% od sile na granici razvlačenja ili kidanja);

$A_s$  – srednja vrijednost početnog presjeka epruvete, u mm<sup>2</sup>.

10.6. Vrijednosti zateznih naprezanja i modula izražavaju se pomoću tri karakteristične brojke, a vrijednosti jediničnog izduženja u procentima, sa dvije karakteristične brojke (npr. 125,0 MPa, 1,25 MPa; 85% ili 5,5%).

Zatezna svojstva izračunavaju se pomoću najmanjeg poprečnog presjeka, a moduli pomoću srednje vrijednosti poprečnog presjeka (razlika između njih ne mora postojati). Za svaku grupu od pet rezultata izračuna se srednja vrijednost i procjena standardne devijacije; prvenstveno treba primjeniti 95% konfidence interval.

*Literatura*

- (1) \*\*\* JUS G. S2. 612, plastične mase, određivanje zateznih svojstava, Jugoslovenski standard 1982. god.
- (2) V. prof. dr. Haračić Nađija: Nemetalni materijali (predavanja), Mašinski fakultet, Zenica, 2007.god.
- (3) \*\*\*Dejan Pejčić; Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Magistarski rad, Beograd 2003.god.
- (4) \*\*\*Dr. Dragan Adamović; Mašinski materijali (Polimerni materijali), Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Kragujevac 2000.god.
- (5) \*\*\*[www.google.com](http://www.google.com)