

## KOMPARATIVNA ANALIZA ZATEZNE ČVRSTOĆE TRI POSTUPKA BRZE IZRADA PROTOTIPA

### COMPARATIVE ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH FOR THREE RAPID PROTOTYPING PROCESSES

van.prof.dr. Dragi Tiro  
Mašinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“ Mostar  
BIH

prof.dr. Safet Brdarević  
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici  
BIH

#### SAŽETAK

*Sivarna zatezna čvrstoća dijelova dobijenih postupcima brze izrade prototipa je redovno manja od zatezne čvrstoće materijala od kojeg se izrađuju dijelovi. U ovom radu je opisano istraživanje zatezne čvrstoće dijelova dobijenih pomoću tri postupka brze izrade prototipa: RTV postupka livenja, ZCorp postupka printanja i Cube 3D postupka printanja. Izvršena je komparativna analiza rezultata u cilju dobijanja preporuke koji od ova tri postupka koristiti kada se od dobijenog dijela traži najveća čvrstoća. Rezultati pokazuju da se najveća čvrstoća dobija RTV postupkom.*

**Ključne riječi:** brza izrada prototipova, zatezna čvrstoća, RTV, Zcorp 3D, Cube 3D

#### ABSTRACT

*The tensile strength of parts obtained by methods of rapid prototyping is regularly shuld be than the tensile strength of the material used to make parts. In this paper we explained the research of parts' tensile strength obtained using three methods of rapid prototyping: RTV casting process, ZCorp 3D printing process and Cube 3D printing process. We performed the comparative analysis of the results in order to obtain recommendation which method to use when we want to have the part with the largest strength. The results show that we obtained the greatest strength by RTV method.*

**Keywords:** Rapid Prototyping, Tensile Strength, RTV, Zcorp 3D, Cube 3D

#### 1. UVOD

Tehnologije trodimenzionalnog printanja (ili kako se često naziva aditivna tehnologija – tehnologija dodavanjem materijala [1]) se razvijaju od 90-tih godina 20. vijeka. Najprije su korištene za brzi razvoj prototipova, za konceptne i prezentacijske modele, a danas se sve više koriste za proizvodnju funkcionalnih dijelova, koji se ugrađuju u proizvode. Razvio se veliki broj postupaka i metoda, kao što su: 3D InkJet printanje (ZCorp postupak-Slika 1); stereolitografija -

Stereolithography Apparatus – SLA; obnavljanje osnovnog oblika - Solid Ground Curing – SGC; proizvodnja laminatnih objekata - Laminated Object Manufacturing – LOM; nanošenje materijala topljenjem - Fused Deposition Modeling – FDM; selektivno lasersko sinterovanje - Selective Laser Sintering – SLS; izrada silikonsko gumenog kalupa (Room Temperature Vulcanization - RTV ili Silicone Rubber Moulding - SRM) i druge [1, 2].

Kod nas se najčešće susreću: 3D InkJet printanje, Nanošenje materijala topljenjem – FDM i izrada silikonsko gumenog kalupa – RTV, mada se rjeđe mogu naći i drugi postupci u primjeni. U ovom radu se ispitala zatezna čvrstoća dijelova dobijenih pomoću pomenuta tri postupka.

## **2. 3D INKJET PRINTANJE (ZCORP POSTUPAK 3D PRINTANJA)**

Trodimenzionalni solid model dijela koji se modelira pomoću nekog od softvera se pretvori u STL format (podržani su i wrl, .ply i .sfx formati [2]), a zatim se pomoću softvera za printanje firme ZCorporation dijeli u tanke slojeve koji se printaju. U printeru se nakon svakog položenog sloja praha ink jet glavom polaže tekuće vezivo. Prah do kojeg dođe vezivo očvrstne, a neočvrstli prah stvara potporu dijelu pri izradi. Nakon printanja dio se vadi iz printera, odstranjuje višak praha komprimiranim zrakom i vrši se postprocesuiranje, koje podrazumjeva infiltraciju (ojačavanje) smolom, voskom, uretanom, cianoakrilatom itd. [2]. Takođe, izvrši se i kraća termička obrada dijela radi sušenja. Prah koji nije iskorišten se može ponovo koristiti.



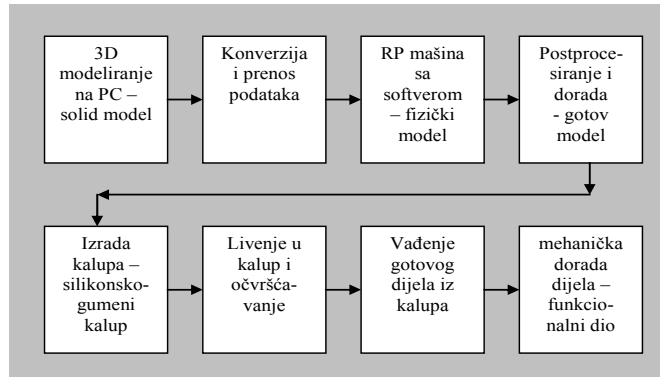
*Slika 1. ZCorp printer na kojem su izrađene epruvete za istraživanje*

## **3. IZRADA SILIKONSKO GUMENOG KALUPA – RTV POSTUPAK**

Izrada RTV silikonsko gumenog kalupa (Silicone rubber Room Temperature Vulcanizing - RTV) je osnovna vrsta indirektno izrade mekih kalupa [2]. Postupak se odvija u više faza (slika 2.). Najprije je neophodan model prema kojem se izrađuje kalup. To je dio istog oblika i dimenzija koji se želi dobiti livenjem ovim postupkom, a u ovom istraživanju taj model je dobijen ZCorp postupkom trodimenzionalnog printanja i to su prve 4 faze na Slici 2.

Nakon toga se pravi silikonsko – gumeni kalup. Proces izrade RTV kalupa započinje postavljanjem modela u okvir, koji je najčešće od drveta ili kartona. Za kalup se najčešće koristi dvokomponentni tekasil [3,4]. Kada je silikonska masa umiješana izlijeva se sa visine u tankom

mlazu na model. Na taj način omogućava se da silikon popuni sve rupe i istisne vazduh, čime se postiže da vulkanizirana masa bude bez vazdušnih mjehurića. Iako u uputstvu za upotrebu piše da se model može odvojiti od kalupa nakon 24 sata, ipak je potrebno pričekati 48 sati da se dostignu konačne mehaničke karakteristike vulkaniziranog 2K silikona. Silikonski kalup se razreže i odvoji, kako bi se izvadio model.

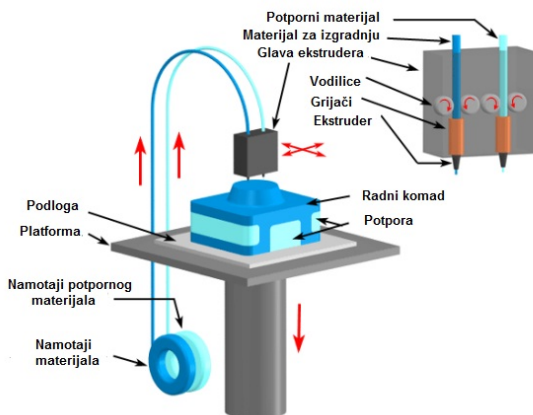


Slika 2. Faze procesa RTV livenja [3]

Nakon toga može se pristupiti ulijevanju polimera u kalup. Najčešće korišteni materijali za livenje su poliuretan, poliester, dvokomponentni epoksid, legure sa niskom tačkom topljenja (kalajno olovna legura (200 [°C]), kalaj (230[°C]) i cinkna legura) [1, 3]. U ovom istraživanju za materijal dijela je korišten akrilat.

#### 4. NANOŠENJE MATERIJALA TOPLJENJEM - FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) - POSTUPAK CUBE 3D PRINTANJA

Svi FDM postupci rade na principu predstavljenom na Slici 3. Materijal u vidu žice se dovodi u ekstruder, gdje se topi i deponuje sloj po sloj, pri čemu očvršćava, tako da se dobija radni komad zadatog oblika i dimenzija.



Slika 3. FDM postupak [5,7]



Slika 4. Printanje epruvete na Cube 3D printeru za ispitivanje zatezne čvrstoće

Cube 3D printer, Slika 4, može izrađivati dijelove veličine do 140 mm u sva tri pravca. Kompanija 3D Systems uz Cube 3D printer daje i jednostavan softver, koji STL fajl pretvara u CUBE fajl. U ovom istraživanju korišten je materijal **PLA** – *Polylactic Acid*, koji je biorazgradiv materijal i dobija se iz biomaterijala. Ovaj materijal nema mirisa, pa se može koristiti za printanje u uredu [5, 6].

## 5. ISTRAŽIVANJE

### 5.1. Zatezna čvrstoća dijelova dobijenih RTV postupkom

Kada su izrađene epruvete (Slika 5.), pristupilo se mjerenju zatezne čvrstoće na kidalici (Slika 6.). Statistički obrađeni podaci su dati u Tabeli 1. Kako se vidi iz tabele aritmetička sredina zatezne čvrstoće materijala (akrilata) ispitnih modela iznosi 58 [MPa]. Interval pouzdanosti (za nivo pouzdanosti od 95%) je prilično širok. Za zateznu čvrstoću,  $R_m$ , je u intervalu  $\pm 9.7101$  [MPa]. Gornja granica pouzdanosti (za nivo pouzdanosti od 95%) iznosi 67.7101 [MPa]. Donja granica pouzdanosti (za nivo pouzdanosti od 95%) iznosi 48.2899 [MPa]. Zatezna čvrstoća akrilata ulazi u interval pouzdanosti dobijen mjerenjem.

Tabela 1. Statistička obrada rezultata dobivenih ispitivanjem na zatezanje RTV postupkom

	<b><math>R_m</math></b>
Zatezna čvrstoća Akrilata	59.29
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	58
$s = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	$\pm 7.81025$
$\bar{x} + t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	67.71012
$\bar{x} - t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	53.6575
$\bar{x} \pm t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	58 $\pm$ 9.7101

Tabela 2. Statistička obrada rezultata dobivenih ispitivanjem na zatezanje Cube 3D postupkom

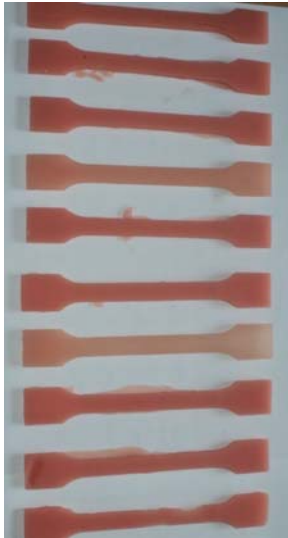
	<b><math>R_m</math> (MPa)</b>
Zatezna čvrstoća PLA	48 - 53
$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	36,31888859
$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	3,065052312
$\bar{x} - t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	32,06459599
$\bar{x} + t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	40,5731812

### 5.2. Zatezna čvrstoća dijelova dobijenih Cube 3D postupkom

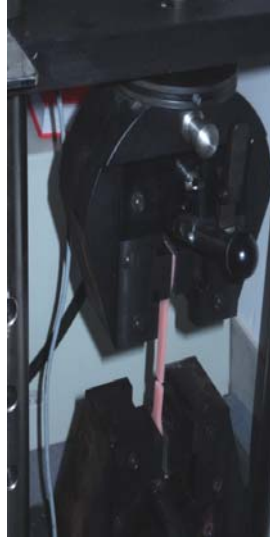
Ispitivanje modela dobivenih postupkom Cube 3D printanja je izvršeno na kidalici maksimalne sile od 50 kN (slika 7.). Prilikom ispitivanja modela na kidalici pomoću odgovarajućeg softvera na osnovu zadatih vrijednosti za debljinu i širinu modela dobivane su vrijednosti za maksimalnu silu i izduženje. Statistički obrađeni rezultati su dati u Tabeli 2.

Kako se vidi iz tabele zatezna čvrstoća materijala (PLA) iznosi 48-53 [MPa]. Srednja vrijednost (aritmetička sredina) zatezne čvrstoće dijelova dobijena mjerenjem je 36,32 [MPa]. Gornja granica pouzdanosti (za nivo pouzdanosti od 95%) iznosi 40.57 [MPa]. Donja granica pouzdanosti (za nivo pouzdanosti od 95%) iznosi 32.06 [MPa]. Dakle, stvarna vrijednost zatezne čvrstoće dobijena ovim postupkom je manja od zatezne čvrstoće samog materijala. Razlog tome je što Cube 3D printer prilikom printanja, nastoji da uštedi materijal, te cijeli prototip nije od punog materijala. Printer printa stijenke dijela od punog materijala, a srednji dio prototipa pod

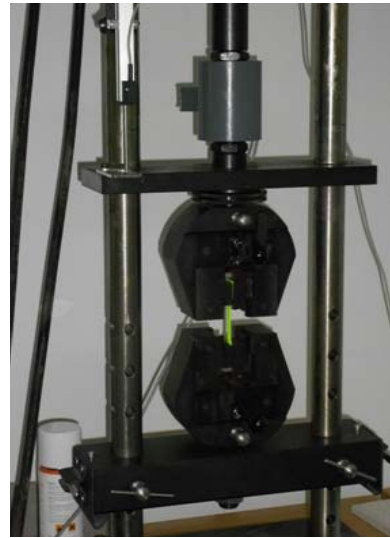
uglom od 45° i postoje određene šupljine između slojeva, tako da je presjek dijela oslabljen, pa otud i manja vrijednost zatezne čvrstoće.



Slika 5. Epruvete dobijene RTV postupkom



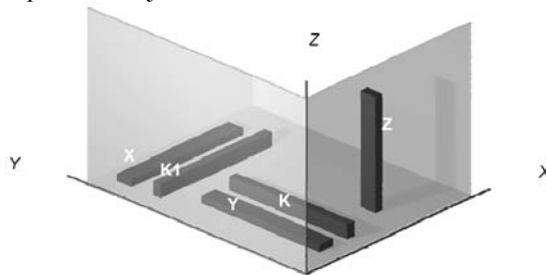
Slika 6. Ispitivanje epruveta dobijenih RTV postupkom



Slika 7. Ispitivanje na kidalici epruveta dobijenih Cube 3D postupkom

### 5.3. Zatezna čvrstoća dijelova dobijenih ZCorp postupkom trodimenzionalnog printanja

Kod ZCorp postupka vrijednost zatezne čvrstoće zavisi od više parametara procesa: pravca gradnje (Slika 8.), orijentacije epruvete u radnom prostoru printera, debljine sloja gradnje, te od vrste infiltranta kod postprocesuiranja.



Ravan gradnje	Pravac gradnje	Signifikacija	Napomena
xy	Y	Y	Pravac kretanja glave printera duž nosača
xy	X	X	Pravac kretanja nosača glave printera
yz	Y	K	Poprečna gradnja po pravcu kretanja glave printera
xz	X	K1	Poprečna gradnja po pravcu kretanja nosača glave
yz	Z	Z	Pravac kretanja izradne platforme

Slika 8. Razmatrani pravci gradnje u 3D prostoru [8]

Najveća zatezna čvrstoća kod ovog postupka se, prema [8], postiže za pravac gradnje Y u ravni XY (slika 8.), debljinu sloja  $D_2 = 0,1$  [mm], te postprocesuiranje epruvete na bazi voska. Vrijednosti zatezne čvrstoće epruveta dobijenih ovim postupkom su dosta male i u ovom istraživanju dobijena je vrijednost 2,39 MPa, dok je u [8] ta vrijednost najviše 3,8MPa. Dakle, ove vrijednosti su daleko niže od ostala dva razmatrana postupka, a razlog leži u tome što se dijelovi izrađuju od praha, koji se veže vezivnim sredstvom, tako da je čvrstoća dosta mala.

## 6. ZAKLJUČAK

Za tri često korištena postupka brze izrade prototipa izvršeno je mjerenje zatezne čvrstoće izrađenih epruveta. Za RTV postupak dobijena je srednja vrijednost 58MPa, sa relativno širokim intervalom pouzdanosti (za nivo pouzdanosti od 95%)  $58 \pm 9,71$  MPa.

Kod Cube 3D postupka srednja vrijednost zatezne čvrstoće epruveta je 36,32 [MPa], što je niže od čvrstoće materijala PLA koji se koristi: 48-53 [MPa]. U srednjem dijelu presjeka izratka Cube 3D printer prilikom printanja ostavlja šupljine, koje se ne vide spolja, jer nastoji da uštedi materijal. Zbog toga je stvarni presjek manji, pa je i manja vrijednost zatezne čvrstoće.

Kod ZCorp postupka vrijednost zatezne čvrstoće je najmanja od razmatranih i iznosi oko 2,4 MPa.

Ove postupke je teško porediti zbog činjenice da sva tri postupka koriste različite materijale za izradu dijelova. Preporuka nakon ovog istraživanja bi bila slijedeća: ako se od dijelova traži veća čvrstoća, treba ih izrađivati RTV postupkom, dok ZCorp postupak treba izbjegavati. Cube 3D postupkom se izrađuju dijelovi koji imaju manju čvrstoću od istih dijelova izrađenih RTV postupkom, ali ipak ta čvrstoća je daleko veća od dijelova izrađenih ZCorp postupkom.

## 7. LITERATURA

- [1] Karabegović E., Brezočnik M., Mahmić M.: „Nove tehnologije u proizvodnim procesima“, Mašinski fakultet Mostar, ISBN 987-9958-058-02-8, Mostar 2014.
- [2] Tiro D.; Fajić A.: „Trodimenzionalno printanje i ostali postupci brze izrade“, Univerzitet „Džemal Bijedić“ Mašinski fakultet u Mostaru, ISBN: 996860433, Mostar 2008.
- [3] Tiro D., Maslo M., Šunje E.: “Contribution to the Dimensional Accuracy Analysis of Methyl Methacrilate Patterns Created by RTV Casting”, International Scientific Conference MAT2010, ISSN 1986-9126, Mostar, 2010.
- [4] <http://www.bolago-m.rs/tkk-tekasil-2k-zalivni-315kg-masa-za-izlivanje-kalupa>
- [5] <http://www.cnet.com/products/3d-systems-cube-2013/>
- [6] <http://www.3d-tisk.si/S7500/Materiali>
- [7] [http://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design\\_engineering/rm/RM%20processes/](http://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design_engineering/rm/RM%20processes/)
- [8] Fajić A., Tufekčić Dž., Bejić J., Cerjaković E.: “Effects of processing parameters on tensile strength of 3D printed parts”, Proceedings of 5th International symposium, "Designing, modeling and design, KOD 2008.", Novi Sad, Serbia, ISBN 978-86-7892-104-9