

**PRILOG ISTRAŽIVANJU DIMENZIONALNE TAČNOSTI DIJELOVA  
DOBIJENIH FDM PROCESOM CUBE 3D PRINTANJA**

**CONTRIBUTION TO THE RESEARCH DIMENSIONAL ACCURACY  
OF PARTS OBTAINED BY CUBE 3D PRINT FDM PROCESS**

**Dragi Tiro**  
**Mašinski fakultet**  
**Univerzitet „Džemal Bijedić“ Mostar**  
**BiH**

**Safet Brdarević**  
**Mašinski fakultet**  
**Univerzitet u Zenici**  
**BiH**

**SAŽETAK**

*U ovom radu ispitivana je dimenzionalna tačnost dijelova dobivenih postupkom Cube 3D printanja. U sprovedenom istraživanju kroz statističku obradu rezultata dokazana je tačnost postavljene hipoteze: „Dijelovi dobiveni postupkom Cube 3D printanja nemaju veliku dimenzionalnu tačnost“. Eksperimentalna istraživanja su se sastojala od izrade dijelova od PLA plastične mase i ispitivanja dimenzionalne tačnosti isprintanih standardnih epruveta. Cube 3D proces je proces koji omogućava jednostavno i brzo dobijanje prototipova, direktno iz 3D CAD modela. Pored niza prednosti ovog postupka, istraživanje u ovom radu je pokazalo da dimenzije dijelova nastalih postupkom Cube 3D printanja značajno odstupaju od zadatih. Ukoliko se od dijela traži velika preciznost, tada se ovaj postupak ne može koristiti.*

**Ključne riječi:** brza izrada prototipova, trodimenzionalno printanje, dimenziona tačnost, Cube 3D printer

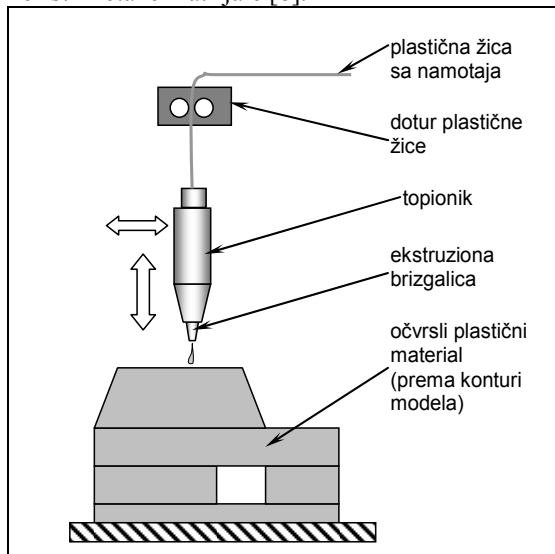
**SUMMARY**

*The dimensional accuracy of parts obtained by Cube 3D printing is described in this paper. In our research we have proved the hypotheses: "The parts made by Cube 3D printing haven't great dimensional accuracy" through statistical analysis of the results. Experimental research has consisted of making parts of PLA plastics and testing the dimensional accuracy of standard specimens obtained by Cube 3D printing process. Cube 3D process allows to easily and quickly obtain the prototype directly from 3D CAD models. Besides a number of advantages of this process, the research in this paper has shown that the dimensions of parts produced by Cube 3D printing process significantly differ from the default. If we want the part's great dimensional precision, then this process cannot be used.*

**Keywords:** Rapid Prototyping, 3D Printing, Dimensional Accuracy, Cube 3D Printer

## 1. UVOD

Postupak Cube 3D printanja [7] spada u grupu postupaka brze izrade pod imenom nanošenje materijala topljenjem (Fused Deposition Modeling – FDM). FDM se može objasniti pomoću slike 1. FDM postupak za materijal koristi plastične mase za razliku od DMD postupka koji koristi metane materijale [8].



Slika 1. FDM postupak [1]



Slika 2. Cube 3D printer

Materijal u obliku žice se dovodi sistemom za dotur materijala u topionik. Grijač u topioniku zagrijava materijal, koji se ekstruzijom brizgalicom deponuje. Topionik se kreće relativno u odnosu na podlogu (radni sto), tako da se materijal u polutekućem stanju deponuje po konturi aktualnog presjeka izradnog modela [1, 6].

Cube 3D printer je prvi 3D printer za sigurnu kancelarisku upotrebu koji je namijenjen svima. Upotreba je relativno laka, a koriste se netoksični materijali uz mogućnost korištenja 16 različitih boja, ali tokom štampanja može se koristiti samo jedna. Brzina printanja iznosi 200 mikrona ili 0,2 milimetra po sloju. Maksimalna veličina dijelova koji se printaju je 140 x 140 x 140 mm. Prenos podataka sa računara na Cube printer vrši se pomoću USB stika ili preko bežične Wi – Fi mreže.

Kompanija 3D Systems uz Cube 3D printer daje i jednostavan softver, koji STL fajl pretvara u CUBE fajl. Cube 3D printer koristi dvije vrste materijala: ABS i PLA plastike. **ABS** – *Acrylonitrile Butadiene Styrene* je termoplastika koja se koristi za izradu plastičnih dijelova računarskog sistema, dječije igračke i mnoge druge stvari među kojima su najpoznatije Lego kockice. Materijal je vrlo lagan i relativno čvrst. Zbog svoje niske temperature topljenja ABS je veoma popularan u 3D printanju s FDM tehnikom [5]. U ovom istraživanju korišten je materijal **PLA** – *Polylactic Acid*, koji je biorazgradiv materijal i dobija se iz biomaterijala, najčešće iz kukuruzne škrobi i korijena šećerne trske. Ovaj materijal nema mirisa, pa se može koristiti za printanje u uredu [5].

Neke negativne karakteristike Cube 3D printera su: printer je prilično glasan i dugo se „priprema za posao“, a dimenzije na isprintanom modelu nisu vrlo precizne. Zadatak ovog istraživanja je, upravo, da se pobliže odredi ta tačnost dimenzija. Hipoteza, tj. pretpostavka od koje se u istraživanju polazi glasi: *Dijelovi dobiveni postupkom Cube 3D printanja nemaju veliku dimenzionalnu tačnost.*

## 2. ISTRAŽIVANJE

Za Cube 3D printer potrebno je prvo napraviti 3d model u određenom softveru, u ovom slučaju u SolidWorks-u. Zatim je taj 3D model potrebno konvertovati u format koji koristi 3d printer, tj. STL format. Rezultujući format se učitava u namjenski Cubify softver u kojem se STL format konvertuje u CUBE format.

Prije nego što se počne printati potrebno je na platformu za printanje nanijeti ljepilo, koje je potrebno ukloniti pomoću tople vode nakon printanja modela. Vrijeme trajanja printanja jednog modela u ovom istraživanju je 39 minuta. Proces printanja prikazan je na slici 2.

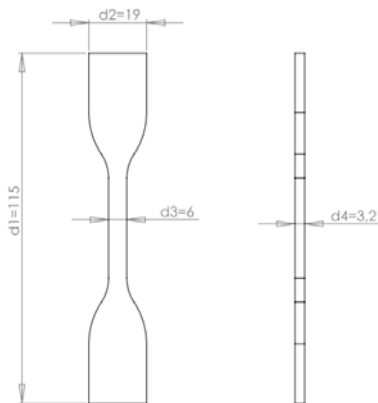
Treba napomenuti da prilikom printanja, Cube 3D printer prvo izrađuje mrežu, na koju printa zadati model. Ova mreža dosta utiče na debljinu modela, tj. postoje velika odstupanja, jer ju je nakon printanja teško ukloniti. Na debljinu mreže vrlo je teško, tj. nemoguće uticati. Printer nekada printa deblju, a nekada tanju mrežu za nekoliko desetih dijelova milimetra, što zavisi od razmaka između glave printera i radnog stola printera na početku printanja.

### 2.1. Ispitivanje dimenzione tačnosti

Dimenziona tačnost prototipova dobivenih procesom 3D printanja provjerava se mjerenjem. Mjerna sredstva (slika 3.) koja su korištena prilikom mjerenja su: pomično mjerilo sa nonijusom 1/20mm (vrijednost podioka 0,05 mm) i mjernog područja 0 -150 mm i mikrometar, vrijednost podioka 0,01 mm i mjernog područja 0 -25 mm. Pri tome su mjerene dužina, širina i debljina (na dva mjesta) prototipova.



Slika 3. Pomično mjerilo, mikrometar i prototipovi



Slika 4. Epruveta sa prikazanim dimenzijama za mjerenje

### 2.2. Statistička obrada podataka

Izvršeno je deset mjerenja dimenzionalne tačnosti četiri dimenzije prikazane na slici 4. standardne epruvete. Rezultati mjerenja su dati u tabeli 1.

Izvršena je statistička obrada rezultata mjerenja [3, 4] i izračunate su aritmetička sredina, standardna devijacija, izvršena provjera hipoteze o aritmetičkoj sredini osnovnog skupa na osnovu malog uzorka (Studentov t - test), ocjenjena tačnosti aritmetičke sredine osnovnog skupa, izračunata mjera nepouđanosti i relativna nepouđanost, što je dato u Tabeli 2.

Tabela 1. Rezultati mjerenja

Mjerenja	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>
1	115,6	19,14	6,48	4,28
2	115,6	19,12	6,26	4,74
3	115,5	18,92	6,1	4,9
4	116,0	19,56	6,6	4,8
5	115,7	18,68	6,53	5,23
6	115,4	18,9	6,52	4,98
7	115,7	18,92	6,66	4,44
8	115,6	18,95	6,18	4,2
9	115,9	19,08	6,46	4,52
10	115,8	18,93	6,38	4,98

Tabela 2. Statistička obrada rezultata mjerenja

	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>
Zadate dimenzije 3D modela	115	19	6	3,2
$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ (aritmetička sredina)	115,68	19,02	6,417	4,707
$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ (standardna devijacija)	0,172046505	0,219681588	0,17447349	0,318623602
$\bar{x} - t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	115,5502769	18,85436008	6,28544699	4,466757804
$\bar{x} + t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$ (nivo pouzdanosti 95%)	115,8097231	19,18563992	6,54855301	4,947242196
$C = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (mjera nepouzdanosti)	0,129723065	0,165639917	0,131553014	0,240242196
$c = \frac{C}{\bar{x}} \cdot 100\%$ (relativna nepouzdanost)	0,112 %	0,871 %	2,050 %	5,104 %

Na osnovu Studentovog t – testa došlo se do zaključka da je za dimenzije d<sub>1</sub>, d<sub>3</sub> i d<sub>4</sub> razlika između aritmetičke sredine osnovnog skupa i aritmetičke sredine uzorka signifikantna, odnosno da se ne može pretpostaviti da je aritmetička sredina osnovnog skupa jednaka traženjoj

vrijednosti dok za dimenziju  $d_2$  nije signifikantna, odnosno slučajna je, tako da se može pretpostaviti da je aritmetička sredina osnovnog skupa jednaka traženoj vrijednosti, tj. 19mm. Pošto od četiri posmatrana parametra:  $d_1, d_2, d_3, d_4$ , samo jedan parametar zadovoljava traženu tačnost (parametar  $d_2 = 19\text{mm}$ ), a ostala tri parametra ( $d_1 = 115\text{mm}, d_3 = 6\text{mm}, d_4 = 3,2\text{mm}$ ) ne zadovoljavaju tražene tačnosti konstatujemo da je postavljena hipoteza istinita: *Dijelovi dobiveni postupkom Cube 3D printanja nemaju veliku dimenzionalnu tačnost.*

Potvrdu dokaza ove hipoteze izvršiti će se i pomoću ocjene tačnosti aritmetičke sredine osnovnog skupa na osnovu uzorka. Na osnovu rezultata, može se zaključiti da se zadane mjere  $d_1, d_3$  i  $d_4$  ne nalaze u intervalu pouzdanosti, tj. mala je vjerovatnoća da se postigne zadana mjera, što se slaže sa rezultatima  $t$  – testa. Za mjeru  $d_2$  može se očekivati sa vjerovatnoćom  $P = 95\%$  da će se postići zadana mjera 19mm, što se opet slaže sa rezultatima  $t$  – testa. Na osnovu ovog potvrđuje se dokaz hipoteze: *Dijelovi dobiveni postupkom Cube 3D printanja nemaju veliku dimenzionalnu tačnost.*

Iz tabele 2. se vidi da najveću relativnu nepouzdanost ima parametar  $d_4$ , a uzrok toga je što Cube 3D printer prilikom printanja, prvo isprinta mrežu, na koju poslije printa zadati model; debljina mreže znatno utiče na dimenziju  $d_4$  kao što se vidi iz proračuna.

Ocjena tačnosti standardne devijacije osnovnog skupa je prikazana u tabeli 3.

Tabela 3. Ocjena tačnosti standardne devijacije osnovnog skupa

	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$
$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	0,172046505	0,219681588	0,17447349	0,318623602
$S_d = \sigma \sqrt{\frac{n}{n-1}}$	0,18135294	0,231564726	0,18391121	0,335858767
$S_d - \varepsilon_d$	0,054405882	0,069469418	0,055173363	0,10075763
$S_d + \varepsilon_d$	0,308299998	0,393660034	0,312649058	0,570959903

Ocjena tačnosti standardne devijacije osnovnog skupa je dala slijedeće intervale povjerenja:

$$0,054405882 < \sigma_{d1} < 0,308299998$$

$$0,069469418 < \sigma_{d2} < 0,393660034$$

$$0,055173363 < \sigma_{d3} < 0,312649058$$

$$0,10075763 < \sigma_{d4} < 0,570959903$$

Na osnovu rezultata iz tabele 3. se vidi da je parametar  $d_4$  najkritičniji što se tiče i rasipanja vrijednosti, što dokazuje relativno veliko odstupanje od dimenzionalne tačnosti posmatranog dijela.

### 3. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenog eksperimenta, tj. urađenog Cube 3D procesa printanja i provedenih istraživanja, može se zaključiti da Cube 3D proces je proces koji omogućava jednostavno i brzo dobijanje prototipova, direktno iz 3D CAD modela. Međutim, ukoliko se od dijela traži veća preciznost, tada se ovaj postupak ne može koristiti. Dimenzije dijelova nastalih postupkom Cube 3D printanja prilično odstupaju od zadatih, kao što se vidi na osnovu rezultata eksperimenta.

Na početku rada postavljena je hipoteza koja glasi: „Dijelovi dobiveni postupkom Cube 3D printanja nemaju veliku dimenzionalnu tačnost“. Na osnovu rezultata Studentovog t – testa pokazano je da samo jedan parametar zadovoljava tačnost ( $d_4 = 19\text{mm}$ ), a ostala tri ( $d_1 = 115\text{mm}$ ,  $d_3 = 6\text{mm}$ ,  $d_4 = 3,2\text{mm}$ ) ne zadovoljavaju tačnost, tj. dokazana je postavljena hipoteza. Da bi se potvrdio dokaz navedene hipoteze izvršena je ocjena tačnosti aritmetičke sredine osnovnog skupa na osnovu uzorka. Na osnovu ove ocjene pojedinačnih parametara potvrđen je dokaz hipoteze. Treba naglasiti da najveću relativnu nepouzdanost ima parametar  $d_4$ , a uzrok toga je što Cube 3D printer prilikom printanja, prvo isprinta mrežu, na koju poslije printa zadati model; debljina mreže znatno utiče na dimenziju  $d_4$  kao što se vidi iz proračuna.

Ocjenom tačnosti standardne devijacije osnovnog skupa pokazano je također da je parametar  $d_4$  najkritičniji parametar što se tiče i rasipanja vrijednosti, što dokazuje veliko odstupanje od dimenzionalne tačnosti posmatranog dijela.

### 4. LITERATURA

- [1] Tiro D.; Fajić A.: „Trodimenzionalno printanje i ostali postupci brze izrade“, Univerzitet „Džemal Bijedić“ Mašinski fakultet u Mostaru, ISBN: 996860433, Mostar 2008.
- [2] Vrbaneć D.: „Analiza dostupnih postupaka brze izrade prototipova“, Sveučilište u Osijeku, Strojarski fakultet Slavonski Brod, 2011.
- [3] J. Stanić: „Upravljanje kvalitetom proizvoda – Metode I“, Mašinski fakultet Beograd, 1995.
- [4] J. Stanić: „Upravljanje kvalitetom proizvoda – Metode II“, Mašinski fakultet Beograd, 1991.
- [5] <http://www.3d-tisk.si/S7500/Materiali>
- [6] [http://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design\\_engineering/rm/RM%20processes/](http://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design_engineering/rm/RM%20processes/)
- [7] <http://www.cnet.com/products/3d-systems-cube-2013/>
- [8] Manish S., Kumar S. et al., „Influence of Process Parameters on Product Characteristics in Direct Metal Deposition: A Review“, Conference: Recent Advancements in Manufacturing and its Management, India, February, 2014.
- [9] <http://www.explainingthefuture.com/3dprinting.html>
- [10] <http://www.3dsystems.com/>