

Analiza uticaja strategije 3D štampe na vreme štampe primenom "ZORTRAX M200 plus" štampača

Vladimir Blanuša
Mašinski odsek
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Novi Sad, Srbija
blanusa@vtsns.edu.rs

Milan Zeljković,
Slobodan Tabaković
Departman za proizvodno mašinstvo
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija
milanz@uns.ac.rs, tabak@uns.ac.rs

Rezime— U radu je izvršena analiza uticaja predloženih strategija formiranja oblika 3D štampom na proizvodnost primenom metode FDM (Fused deposition modeling). Za potrebe analize korišćen je štampač "ZORTRAX M200 plus" sa softverom Z-suite. Navedena metoda i dostupna oprema brze izrade prototipa omogućuju formiranje prototipa rastapanjem različitih materijala temperature topljenja do 300 °C i njegovim nanošenjem u slojevima. Takođe, u radu je izvršeno poređenje mase dobijenog prototipa u zavisnosti od primenjene strategije formiranja oblika za konkretan primer.

Ključne reči: 3D štampa; „Z-SUITE“ softver; strategije formiranja oblika, vreme izrade modela

I. UVOD

U procesu savremenog i brzog razvoja proizvoda tehnologije izrade prototipa i brze izrade alata predstavljaju konkurentne tehnologije u određenim oblastima proizvodnog mašinstva. To je potkrepljeno činjenicom da se na bazi 3D modela proizvoda, u kratkom roku može generisati fizički model/prototip, i uticala je na relativno brz razvoj i proširenje primene ovih tehnologija [1].

3D štampa je relativno nova tehnologija izrade delova koja ima potencijal da aktivno utiče na unapređenje različitih industrijskih grana [2], [3], [4]. Ta tehnologija je usavršavanjem materijala i metoda izrade nosećih struktura ove vrste mašina alatki danas sve pristupačnija i dostupna kako u industrijskoj tako i u ličnoj primeni. Glavni razlog nalazi se u činjenici da osnovu ove grupe mašina alatki čini jednostavna, dinamički neopterećena struktura, upravljački sistem baziran na dvoosnom linearnom kretanju i formiranje materijala baziranog na niskotemperaturnom omekšavanju materijala. Samim tim je i cena mašina relativno niska i dostupna širokom krugu korisnika.

Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred 3D štampe se mogu posmatrati sa geometrijskog, tehnološkog i eksploatacionog stanovišta. Sumirano oni se mogu iskazati činjenicom da se od štampe očekuje tačnost, proizvodnost da može da izradi deo u predviđenom vremenskom periodu i da su ekonomični.

U geometrijske zahteve spadaju dimenzije radnog prostora i gabaritne dimenzije štampe.

Tehnološki zahtevi su određeni primenjenim postupkom štampe, tipom i karakteristikama materijala za štampu, mogućnošću hlađenja filameta prilikom ekstrudiranja, mogućnostima predgrevanja noseće ploče (radnog stola), dimenzijama mlaznice, itd..

Eksplotacioni zahtevi se odnose na kinematske osobine 3D štampe i toku rada i karakteristike sklopa za ekstrudiranje materijala (mogućnostima regulacije temperature, brzine i protoka istopljenog materijala). Sumarno gledano, kao rezultat navedenih zahteva kao glavne karakteristike 3D štampe u eksploataciji se mogu navesti tačnost, proizvodnost i ekonomičnost.

Tačnost kao eksploataciona karakteristika štampe se kao i kod mašina alatki definiše praktično na bazi tačnosti obradka i predstavlja radnu tačnost. Tačnost obradka obuhvata:

- tačnost dimenzija
- tačnost oblika
- tačnost odnosa pojedinih površina i/ili osa
- kvalitet obrađene površine.

Proizvodnost se može izraziti kao:

- količina odštampanog materijala u jedinici vremena (g/h), ili
- broju komada u određenom vremenskom periodu (*npr. kom/smeni*).

Ekonomičnost 3D štampe je eksploataciona karakteristika koja je povezana sa troškovima izrade određenih proizvoda na datom uređaju. S tog stanovišta ova karakteristika se može posmatrati sa više aspekata kao što su:

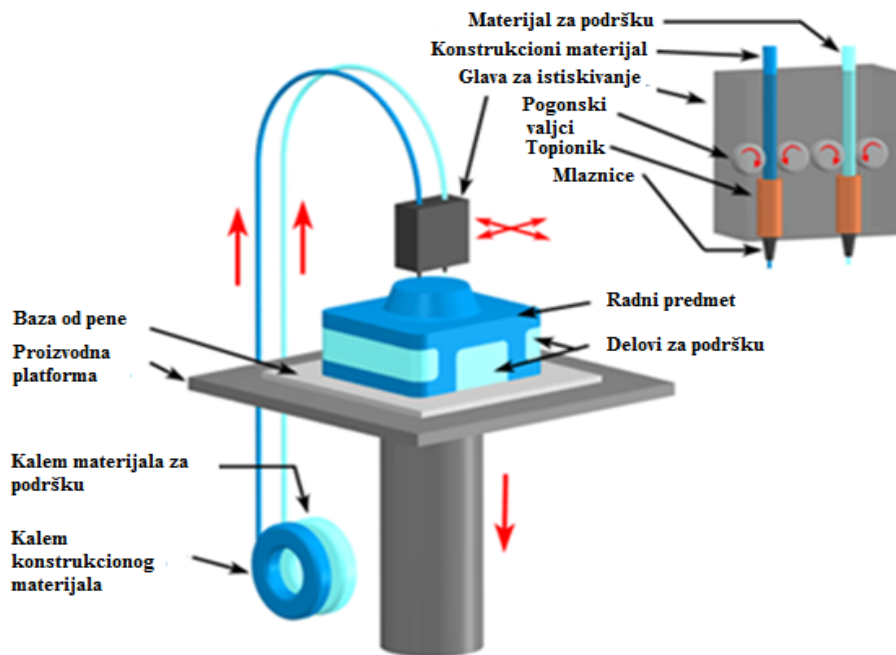
- uticaj strategije štampe na vreme štampe
- izbor optimalne vrste i tipa štampe za štampanje konkretnih delova.

Svakako da danas najveću pažnju u proizvodnji i eksploataciji uređaja i mašina sigurno treba posvetiti proizvodnosti i ekonomičnosti.

II. PRINCIP ŠTAMPANJA METODOM NANOŠENJA RASTOPLJENOG MATERIJALA

Najčešće upotrebljavana tehnologija formiranja prototipa nanošenjem materijala se naziva i „FFF - Fused Filament Fabrication“. Na osnovu naziva ove tehnologije već se može zaključiti princip štampanja nanošenjem rastopljenog materijala. Transportnim sistemom (valjci, sprovodne cevi, skretnice i dr.), žica se dovodi u glavu za ekstrudiranje. U njoj se žica topi i dok je u tečnom stanju se istiskuje kroz mlaznice

prečnika oko 0,15 mm. Rastopljen materijal se slaže u slojevima na platformu koja se posle svakog sloja spušta za debljinu novog sloja. Putanja izvršnog organa mašine se generiše u računaru na osnovu „CAD“ modela, a zatim u formi upravljačkog programa prosleđuje upravljačkom sistemu. Istisnuti sloj se dok je u tečnom obliku sjedinjuje sa prethodno istisnutim slojem. Formiranje sloja se ostvaruje kretanjem glave za ekstrudiranje u „XY“ ravni ili kretanjem platforme uz spuštanje platforme (Slika 1).

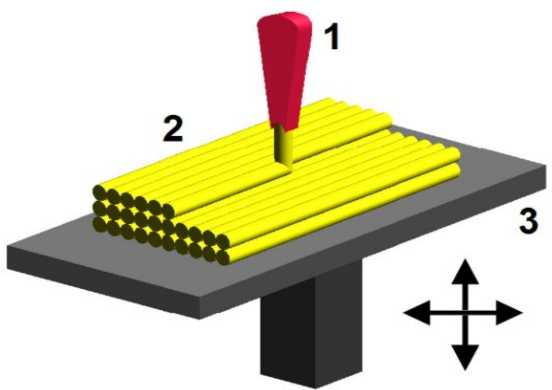


Slika 1. Princip rada „FDM“ štampača [5]

Kretanja glave za ekstrudiranje i platforme se realizuje pomoću koračnih motora čiji se rad kontroliše upravljačkim sistemom na osnovu upravljačkog programa. Izgled postupka štampanja slaganjem rastopljenog materijala prikazan je na slici 2.

Postavljanjem slojeva ukršteno postiže se veća čvrstoća završnog modela. Moguće je koristiti različite materijale za štampu, sa različitim karakteristikama, u čvrstoći i temperaturnim osobinama. Danas postoje i materijali koji su rastvorljivi u vodi. Oni se mogu koristiti prilikom štampe kao privremena podrška za određene delove. Za ovaj postupak je karakteristično:

- brzo i jeftino generisanje slojeva,
- pouzdanost procesa, odnosno jednostavno manipulisanje podacima,
- minimalni gubici materijala,
- relativno veliki broj materijala sa širokim spektrom osobina.



Slika 2. Štampanje nanošenjem rastopljenog materijala; 1 – mlaznica za strujanje rastopljene plastike, 2 – naslagani materijal (model koji se izrađuje), 3 – platforma ili radni sto

Materijali koji se koriste za štampu imaju svojstva kao što su žilavost, elektrostatičko rasipanje, prozračnost, biokompatibilnost, UV otpornost, nezapaljivost. To ih čini pogodnim za zahteve dizajnera i projekatanta aviona, motornih vozila, u medicini i drugim industrijama. Neki od komercijalnih materijala koji se koriste u FDM tehnologiji, kao i njihove karakteristike prikazani su u tabeli 1.

TABELA I. VRSTE I KARAKTERISTIKE MATERIJALA ZA FDM TEHNOLOGIJU

MATERIJAL	PLA	ABS	HIPS	TPE/TPU	PVA
Temperatura štampanja °C	190-220	220-240	220-240	190-210	190-210
Gustina g/cm ³	1,25±0,05	1,04±0,2	1,04±0,2	1,25±0,05	1,25±0,05
Maseni protok g/10min	5-7 (190 °C, 2,16kg)	5-7 (190 °C, 2,16kg)	5-7 (190 °C, 2,16kg)	5-7 (190 °C, 2,16kg)	5-7 (190 °C, 2,16kg)
Apsorpcija vode %	0,05	1,00	1,00	0,05	0,05
Zatezna čvrstoća MPa	≥60	≥43	≥30	≥35	≥10
Otpornost na savijanje MPa	≥60	≥60	≥60	≥35	≥15
Mogućnost izduženja %	≥3	≥10	≥5	≥5	≥11

III. 3D ŠTAMPAČ "ZORTRAX M200 PLUS"

3D štampači proizvođača „Zortrax“ rade na osnovu „Layer Plastic Deposition (LPD)“ tehnologije, u kojoj se prethodno rastopljeni materijal nanosi sloj po sloj kako bi se formirao unapred modelovan geometrijski oblik. Ekstruder koji topi materijal poseduje tri grejne tačke, što omogućava rastopljenom materijalu da izađe iz mlaznice na radnu platformu u kontinuitetu. Priprema za štampu kao i podešavanje svih potrebnih parametara vrši se pomoću programskog paketa „Z-SUITE“. Izgled 3D štampača prikazan je na slici 3.

Osnovne karakteristike ovih tipova štampača su: pogodni za štampanje različitih vrsta materijala, ujednačen kvalitet izradka koji u mnogome zavisi od pripreme za štampu (podešenosti geometrijskih i tehnoloških parametara), relativno velika tačnost štampe za ovakav tip štampača (debljina sloja štampe je 90 μm), radna površina štampača je 200x200x180 mm, prečnik žice za štampu je 1,75 mm, štampač ima relativno krutu noseću strukturu itd..



Slika 3. Izgled štampača "ZORTRAX M200 PLUS"

IV. „Z-SUITE“ PROGRAMSKI PAKET

„Z-SUITE“ je programski paket razvijen za „Zortrax-ove“ štampače i ima mogućnost procesiranja „.stl“, „.obj“ ili „.dxf“ datoteka kreiranih u specijalizovanim ili univerzalnim programskim paketima za modelovanje. Prvo je potrebno, u okviru programskog paketa, izabrati odgovarajući tip

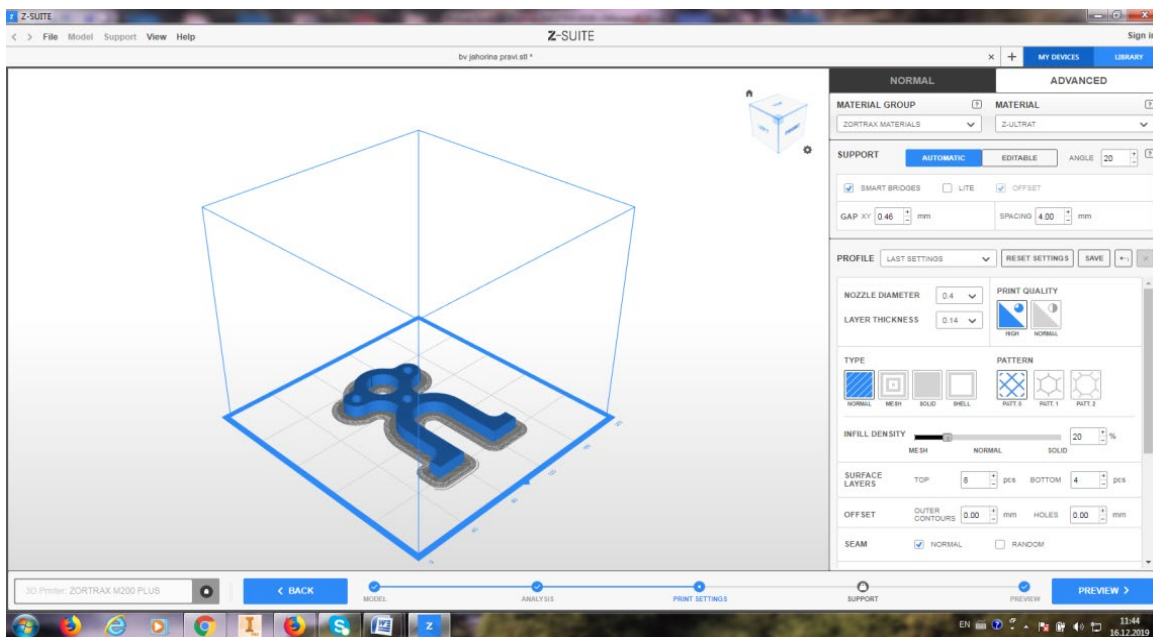
štampača, a nakon toga se preuzima gotova geometrija u vidu 3D modela i zatim vrši njegovo pozicioniranje na sto (platformu) za štampu i podešavanje razmere.

Nakon toga se u programskom paketu vrši analiza debljine zidova modela.

Najznačajnija je naredna faza podešavanja pripreme za štampu jer se u njoj vrši podešavanje svih parametara 3D štampe u okviru prozora „Print settings“. Neki od parametara koji se podešavaju su: vrsta materijala, prečnik mlaznice,

debljina sloja materijala koji se nanosi, kvalitet štampe (nizak ili visok), tip štampe, gustina štampe itd..

Izgled prozora za podešavanje parametara 3D štampe prikazan je na slici 4.



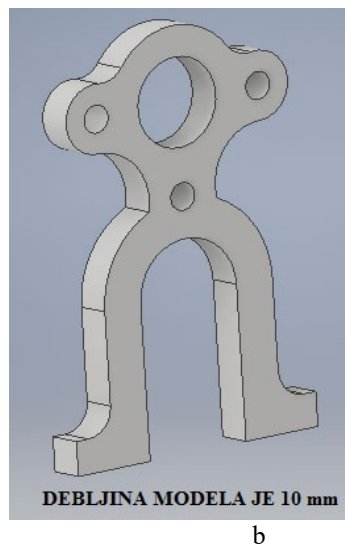
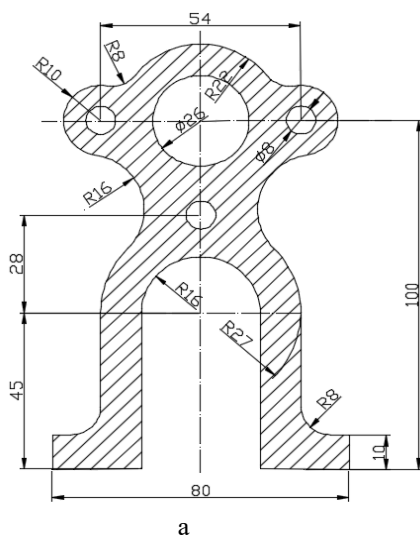
Slika 4. Izgled prozora za podešavanje parametara 3D štampe [6]

V. ANALIZA UTICAJA STRATEGIJE I GUSTINE ŠTAMPE NA VREME ŠTAMPE

Uticaj gustine štampe na vreme štampe analizirana je za radni predmet čiji je poprečni presek, kao i izgled 3D modela

prikazan na slici 5 (5.a izgled poprečnog preseka, a 5.b izgled 3D modela).

Debljina modela, odnosno visina ekstrudiranja poprečnog preseka modela prikazanog slici 5 iznosi 10 mm.



Slika 5. Izgled poprečnog preseka i 3D modela [7]

Strategija formiranja oblika prilikom 3D štampe predstavlja izbor unutrašnje strukture modela (pun model, porozan model, školjkast model itd.) kao i putanje kretanja mlaznice kojima se dolazi do fizičkog modela. Izborom odgovarajuće strategije (na primer "NORMAL") moguće je

podešavati gustinu štampe, tačnije kod štampanja punih modela moguće je u samom modelu ostavljati šupljine sa promenom parametra gustine štampe čime se vrši ušteta u potrošnji materijala i vremenu štampe.

Strategije štampe koje se koriste na ovom štampaču prikazane su na slici 6.



Slika 6. Izgled različitih strategija štampe

Uticaj gustine štampe (procenat ispunje zapremine) na vreme štampe i masu modela za različite vrednosti gustine i strategiju štampe "NORMAL" prikazan je u tabeli II.

TABELA II. UTICAJ GUSTINE ŠTAMPE NA VREME ŠTAMPE I MASU MODELA KOD STRATEGIJE ŠTAMPE "NORMAL"

Gustina štampe %	Vreme štampe h	Masa modela g
10%	2h i 18 min	23
30 %	2h i 37 min	27
50 %	2h i 59 min	31
70 %	3h i 23 min	35
90 %	3h i 49 min	40
100 %	5h i 42 min	43

Izborom strategije štampe "MESH" dobija se model sastavljen od većeg broja školjki. Rezultati potrebnog vremena štampe i masa modela su prikazani u tabeli III. Ova strategija štampe nema mogućnost izmene procentualne gustine štampe.

TABELA III. VREDNOSTI VREMENA ŠTAMPE I MASE MODELA KOD STRATEGIJE ŠTAMPE "MESH"

Gustina štampe %	Vreme štampe h	Masa modela g
100%	2h i 0 min	20

I pri izboru strategije štampe "SOLID" nije moguće menjati gustinu štampe, i rezultati za 100% gustine štampe su prikazani je u tabeli IV.

TABELA IV. VREDNOSTI VREMENA ŠTAMPE I MASE MODELA KOD STRATEGIJE ŠTAMPE "SOLID"

Gustina štampe %	Vreme štampe h	Masa modela g
100%	5h i 42 min	43

Poslednja strategija štampe "SHELL" omogućava štampanje školjkastih modela i kod nje nije moguće vršiti izmenu gustine štampe (Tabela V).

TABELA V. VREDNOSTI VREMENA ŠTAMPE I MASE MODELA KOD STRATEGIJE ŠTAMPE "SHELL"

Gustina štampe %	Vreme štampe h	Masa modela g
100%	1h i 0 min	12

VI. ZAKLJUČAK

3D štampa je tehnika koja omogućuje da se na brži i jednostavniji način dođe do prototipa u odnosu na neke druge postupke obrade što je jedan od osnovnih razloga njene sve češće primene. Konkretni model koji je analiziran u ovom radu nije pokazao prethodno iz razloga što nema složenih površina koje je teško ili nemoguće izraditi drugim tehnologijama obrade. Našla je primenu u različitim granama

industrije a najčešće se primenjuje u mašinstvu, medicini, stomatologiji, arhitekturi itd..

Jedan od najznačajnijih eksploatacionih karakteristika je proizvodnost, a izbor optimalne strategije štampe u direktnoj je povezanosti sa proizvodnošću i utroškom materijala. Prethodno je osnovni razlog zašto je uticaj gustine i strategije štampe razmatran u ovom radu.

Na osnovu dobijenih rezultata prikazanih u tabelama od II-V može se zaključiti da se najmanje vreme štampe dobija primenom strategije štampe "SHELL"- deo izrađen kao školjka (1h) i da je pri tome masa modela (12g), a da je najduže vreme potrebno da se dobije fizički model dela primenom strategije "SOLID" i iznosi 5h i 42 min i strategijom "NORMAL" sa gustinom 100%. U oba slučaja masa modela iznosi 43g. Na osnovu toga se može zaključiti da strategija "SOLID" i strategija "NORMAL" sa 100% daju isto vreme štampe, što praktično predstavlja istu strategiju štampe.

Strategija obrade "NORMAL" može dati različita vremena štampe i masu modela u zavisnosti od izbora procentualne gustine štampe.

Ako se proizvodnost izrazi sa kom/smeni, može se konstatovati da za konkretni deo ona iznosi 8 kom/smeni kod strategije "SHELL", 4 kom/smeni primenom strategije "MESH", i 1,4 kom/smeni kod strategije "SOLID". Kod staregije "NORMAL" za razmatrane gustine proizvodnost se kreće od 3,37 do 1,4 kom/smeni.

Na ekonomičnost pojedinih strategija pored proizvodnosti utiče i masa modela kroz utrošak materijala. Ako se uzme da je "SOLID" model sa 43 g referentni, onda ušteda u materijalu, a indirektno i povećanje ekonomičnosti iznosi kod startegije "SHELL" 72,09 %, "MESH" 53,49 %, a kod "NORMAL" se kreće u zavisnosti od gustine od 46,51 % sa 10 % gustine štampe do 6,97 % kod 90 % gustine štampe odnosno 0 %, kod 100 %.

Pri izboru startegija štampe na prvom mestu moraju biti zadovoljeni uslovi funkcije fizičkog prototipa. Svakako da na prikazane rezultate ima veliki uticaj i sam 3D model.

REFERENCES

- [1] M. Plančak, Brza izrada prototipova, modela i alata, Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 2009.
- [2] D. Espalin, W. Muse, E. MacDonald and R. B Wiker, "Printing multifunctionality: structures with electronics," Int. J. Manuf. Technol., Num. 72, pp. 963-978, 2014.
- [3] Z.X. Khao, E. J. Teoh, Y. Liu, K. C. Chua, S. Yang, J. and Y. W. Yeong, "3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing," Virtual and Physical Prototyping, Num. 10 (3), pp.103-122,2015.
- [4] E. MacDonald, R. Salasi, D. Espalin, M. Perezi, E. Aguilera, D. Muse and R. B. Wicker, "3D printing for the Rapid Prototyping of Structural Electronics.," IEEE Access, Num. 2, pp.234-242, 2014
- [5] Vivek srinivasan1, jarrod bassan2, "3D Printing and the Future of Manufacturing", CSC LEADING EDGE FORUM, 2012.
- [6] V. Blanuša, A. Đurković, "Mogućnosti 3D štampe primenom štampača ZORTRAX M200 PLUS," 6 Međunarodna konferencija Upravljanje znanjem i informatika, pp.,2020.
- [7] G. Devedžić, S. Čuković, S. Petrović, J. Maksić, "3D modeliranje proizvoda, Metodika zbirka zadataka," Mašinski fakultet-Kragujevac, 2009.