



RAZVOJ I KONFIGURISANJE 3D ŠTAMPAČA DEVELOPMENT AND CONFIGURATION OF 3D PRINTER

Marko Kozomora, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U radu je razvijen i uspešno implementiran 3D štampač. Opisan je proces konfigurisanja firmvera, kao i detaljan postupak kalibracije koji je neophodan za dobijanje kvalitetnog otiska. Prikazan je način daljinskog upravljanja 3D štampača.

Ključne reči: Aditivna proizvodnja, FDM tehnologija, 3D štampa

Abstract – The paper develops and successfully implements a 3D printer. The process of configuring the firmware is described, as well as the detailed calibration procedure that is necessary to obtain a quality print. The method of remote control of the 3D printer is shown.

Keywords: Additive Manufacturing, FDM technology, 3D printing

1. UVOD

Aditivne tehnologije (eng. *Additive Technologies*) predstavljaju postupke spajanja materijala sa ciljem formiranja radnog predmeta na osnovu digitalnog 3D modela, najčešće sloj po sloj. S početka su korišćene samo za brzu izradu prototipova (eng. *Rapid Prototyping*), dok su sa razvojem tehnologije i materijala, tehnologije za aditivnu proizvodnju evoluirale do stepena koji omogućava izradu završnih, funkcionalnih proizvoda (eng. *Additive Manufacturing*) ili finalnih alata (eng. *Rapid Tooling*) [1].

Aditivna proizvodnja, poznatija kao 3D štampa, sastoji se od čitavog niza tehnologija 3D štampe od kojih svaka ima svoje prednosti ali i ograničenja. Delovi se mogu proizvesti u bilo kom geometrijskom obliku, tako da ova vrsta tehnologije predstavlja neizostavan deo moderne industrijske proizvodnje prilikom brze izrade prototipova proizvoda.

U poslednjih nekoliko godina 3D štampači su postali finansijski dostupni malim i srednjim preduzećima, čime se izrada prototipa pomera iz teške industrije i u kancelarijska i kućna okruženja. Sada je moguće i istovremeno uklapanje različitih vrsta materijala.

Osim izrade prototipova, 3D štampači nude veliki potencijal za proizvodnju različitih aplikacija u oblasti proizvodnje nakita, obuće, industrijskog dizajna,

arhitekture, automobilske industrije, avio, stomatološke i medicinske industrije. Cilj ovog master rada je razviti i realizovati 3D štampač, koji će za prihvatljiva uložena sredstva, kao rezultat dati kvalitetnu 3D štampu, odnosno prototip/proizvod.

2. OPIS RAZVOJA 3D ŠTAMPAČA

S obzirom da se aditivna proizvodnja može podeliti na nekoliko postupaka, za razvoj ovog uređaja odabrana je tehnologija modelovanja deponovanjem topljenog materijala (eng. *Fused Deposition Modelling - FDM*).

2.1. Mehanička konstrukcija

Unutar FDM tehnologije postoje određene razlike u mehaničkim konstrukcijama. Projektovanje i izrada 3D štampača bila je usmerena na pravougli (Dekartov) sistem, gde se upravljanje vrši po X, Y i Z osama koje su linearne i međusobno upravne. Ovaj 3D štampač ima konstrukciju u obliku kocke, gde se radna ploča kreće u pravcu Z ose dok se glava ekstrudera pomera po horizontalnim X i Y osama. Pomeranje glave ekstrudera vrši se kaišnim prenosom povezanim preko remenica sa dva koračna elektromotora.

Izrada rama konstrukcije realizovana je koristeći aluminijumske profile koji su međusobno povezani ugaonicima. Linearno vođenje X i Y ose ostvaruje se preko profilisanih šina sa kolicima koje nose oznaku MGN12H. Svi delovi kao što su nosači i držači izrađeni su na 3D štampaču FDM tehnologijom, korišćenjem plavog PETG (eng. Polyethylene terephthalate glycol) materijala.

Kretanje radne platforme po Z osi pokretano je sa dva koračna elektromotora (jedan sa leve, drugi sa desne strane), kako bi radna platforma imala potpunu stabilnost i ujednačeno kretanje. Korišćene su linearne okrugle vodice i trapezna navojna vretena. Za upravljanje moguće je koristiti različite upravljačke elemente [2-4]

Osnovnu konstrukciju radne platforme predstavljaju aluminijumski profili koji su povezani plastičnim delovima. Unutar delova za povezivanje smešteni su kuglični ležajevi oznake LM12UU kako bi se omogućilo kretanje po vertikalno postavljenim vodičima.

Dovođenje filamenta do mlaznice koja će ga topiti, izvršeno je direktnim pogonom. Direktni pogon podrazumeva da je koračni elektromotor postavljen neposredno pre aluminijumskog bloka i mlaznice, i služi za konstantno snadbevanje filamentom tokom procesa štampe. Na koračni elektromotor, montiran je ekstruder pod nazivom Titan Aero. Za potrebe glave ekstrudera, izrađen je nosač koji je postavljen na kolica X ose.

NAPOMENA:

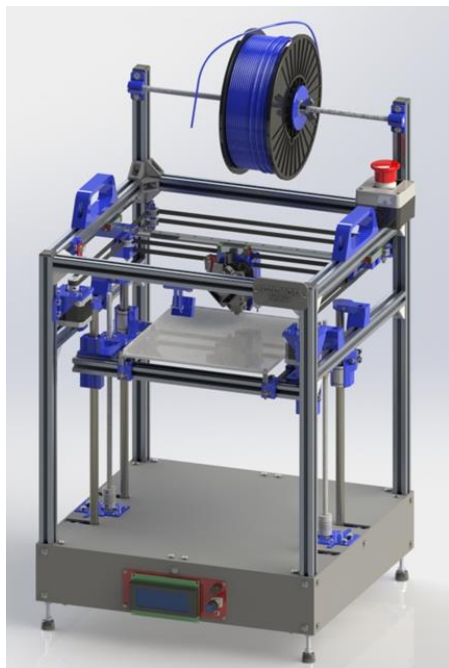
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Gordana Ostojić, red. prof.

Donji deo 3D štampača je zatvoren koristeći pleksiglas ploče i predstavlja deo u kome je smešteno napajanje kao i upravljačka elektronika.

Na kraju realizacije konstrukcije 3D štampača, dodati su još neki pomoćni delovi koji nisu neophodni za proces štampanja, ali predstavljaju pogodno rešenje za kompletan uređaj.

2.2. Izgled realizovanog sistema

Pre fizičkog sastavljanja i povezivanja svih elemenata i komponenti, detaljno je projektovan njihov položaj i izgled celokupnog 3D štampača. Prikaz 3D štampača dat je na slikama 1 i 2, pri čemu je prikazan CAD model i praktična realizacija istog, respektivno.



Slika 1. CAD Model



Slika 2. Izgled realizovanog 3D štampača

3. KONFIGURISANJE 3D ŠTAMPAČA

Marlin je softver otvorenog koda (eng. *open source firmware*) razvijen za upravljanje FDM 3D štampača u RepRap zajednici. Sa razvojem počinje 2011-te godine, ubrzo postaje popularan i predstavlja upravljački program na pojedinim komercijalnim modelima razvijenim od strane poznatih proizvođača kao što su Ultimaker, Prusa, Printbot, itd [5].

Marlin radi na matičnoj ploči 3D štampača, upravljajući svim aktivnostima mašine u stvarnom vremenu. Koordiniše grejače, koračne elektromotore, senzore, LCD ekran kao i sve ostale komponente koje su uključene u proces 3D štampe. Pokreću se komande G-koda koje upravljaju svim aktivnostima mašine u stvarnom vremenu. Marlin podržava mnogo različitih ploča kao i različite konstrukcijske konfiguracije 3D štampača. Moguće je da radi na jeftinim 8-bitnim Atmel AVR mikrokontrolerima, međutim Marlin je u novom ažuriranju 2.x dodao podršku za 32-bitne matične ploče u koju spada i SKR 1.3 koja je korišćena u okviru ovog rada. Osim 3D štampača, Marlin se može koristiti i za druge vrste mašina kao što su CNC glodalice, laserski graveri, rezači, itd...

Prilikom konfigurisanja, u Marlin fascikli nalaze se mnoštvo datoteka napisanih u C++ programskom jeziku. Za korisnika, najvažnije su datoteke: Configuration.h (sadrži osnovna podešavanja hardvera, izbor kontrolera); Configuration_adv.h (pruža detaljnije opcije i dodatke). Da bi se firmver uspešno konfigurisao, neophodno je izvršiti određene izmene u prethodno navedenim datotekama.

Za izmenu programskog koda, potreban je softver Visual Studio Code. Unutar ovog programa potrebno je instalirati dodatak PlatformIO IDE koji služi za kompajliranje programskog koda. Nakon kompajliranja dobija se datoteka pod nazivom firmware.bin koju je potrebno prebaciti na microSD karticu na matičnoj ploči. Uključivanjem uređaja, firmver se automatski zapisuje u EEPROM memoriju i spreman je za korišćenje.

4. KALIBRACIJA 3D ŠTAMPAČA

Sa ciljem dobijanja što kvalitetnijeg odštampanog dela, potrebno je izvršiti kalibraciju. Kalibracija se sastoji iz 13 koraka koje je potrebno realizovati. Ukoliko se ne izvrši ova kalibracija, verovatno je da će odštampani deo biti mehanički i estetski loš ili proces štampanja neće uopšte biti realizovan.

Pre ključnih koraka u kalibraciji, potrebno je izvršiti kontrolu konstrukcije. Ova kontrola podrazumeva, vizuelno pregledanje uređaja sa akcentom na spojevima kao i proveravanje da li između elemenata postoji prazan prostor ili labav spoj.

Grejanje mlaznice i radne ploče treba da bude sigurno, stabilno i dosledno. Ukoliko temperatura tokom procesa 3D štampe varira, dolazi do promene kvaliteta otiska. Potrebno je izvršiti PID regulaciju kao drugi korak.

Dobijanje kvalitetnog prvog sloja je dosta bitan faktor za uspešno 3D štampanje. To podrazumeva da radna ploča na kojoj se vrši proces štampanja bude ravna i paralelna sa mlaznicom. Vertikalno rastojanje između radne ploče i

mlaznice mora biti tačno na svim mestima kako bi se prvi sloj pravilno štampao. Iz tog razloga kao bitan korak u kalibraciji je nivelacija radne ploče.

Nakon realizacije prethodnih koraka moguće je izvršiti prvo početno testiranje 3D štampe. Ovaj korak predstavlja štampanje 3D objekta koji će biti osnov za poređenje sa kasnijim testovima, odnosno štampa pre kompletno izvršene kalibracije. Kao objekat 3D štampe koristi se XYZ kalibraciona kocka koja je preuzeta sa interneta [6].



Slika 3. Prvo početno testiranje

Jedan od bitnijih koraka je kalibracija koraka ekstrudera. Za tačnu količinu filameta koji izlazi iz mlaznice, potrebno je precizno definisati korake za elektromotor ekstrudera koji potiskuje taj filament. Koraci po milimetru za X, Y i Z osu retko se modifikuju, sve dok su ispravno zategnuti zupčasti kaiševi i pravilno postavljena navojna vretena. Kod ekstrudera situacija je nešto drugačija, postoji veća varijacija u odnosu na korišćenje različitih modela ekstrudera, zupčanika kao i odstupanja od definisanog prečnika filameta. Iz tih razloga kalibracija koraka ekstrudera je neophodna.

Potrebno je kalibrirati protok. Svaki softver za generisanje G-koda ima postavku za kontrolu ukupne količine filameta koji istiskuje 3D štampač. U zavisnosti od količine protoka, istiskivanje će biti manje ili veće. Najbolji metod za određivanje vrednosti protoka je štampanje šuplje kocke sa naznačenom debljinom zida a potom i merenje dobijene debljine zida.

Kako bi se svaki koračni elektromotor napajao sa tačnom količinom struje, potrebno je izvršiti podešavanje na drajveru koji je postavljen u okviru matične ploče. Ovaj korak se može preskočiti ukoliko 3D štampač radi bez smetnji. Pod smetnjom se podrazumeva preskakanje koraka, visoka temperatura elektromotora prilikom dodira kao i bilo kakvi nedostaci u sistemu kretanja.

Kada prilikom procesa 3D štampe mlaznica prelazi određenu putanju bez istiskivanja filameta, dolazi do curenja male količine koja dovodi do stvaranja tankih niti. Da bi se izbegla ova pojava, prilikom generisanja G-koda definiše se vrednost povlačenja. Na osnovu toga, ekstruder povlači određenu količinu filameta iz toplotne komore i sprečava prekomerno curenje filameta iz mlaznice. Za testiranje najbolje je koristiti objekat koji na sebi ima stubove sa međusobnom razdaljinom.

Idealna temperatura tokom procesa 3D štampanja je veoma bitna za dobijanje kvalitetnog otiska. Većina proizvođača na svakom pakovanju filameta definiše

preporučeni raspon temperature. Ne postoji univerzalna temperatura za neki filament. Ona zavisi od toga koja se komora za topljenje koristi, koji grejač i termistor. Kada se odredi idealna temperatura za filament, usvojena vrednost će se najčešće definisati tokom procesa 3D štampe. Ukoliko se promeni vrsta filameta ili proizvođač, uvek je poželjno ponoviti ovaj postupak testiranja i podešavanja temperature.

Uobičajena brzina za ovakve tipove 3D štampača kreće se do maksimalnih 300 mm/s (X i Y osa) i ona je zadržana u konfiguracionoj Marlin datoteci. Međutim, 3D štampač nije u mogućnosti da odmah postigne ovu brzinu. Neophodno je odrediti najbolje ubrzanje. Cilj je da se svaki proces 3D štampe odvija što brže, ali i uz postizanje zadovoljavajućeg kvaliteta. Ukoliko se previse uvećaju vrednosti ubrzanja, dolazi do vibracija i efekta na otisku. Prilikom testiranja menjana je vrednost ubrzanja na određenim slojevima i na osnovu dobijenog rezultata usvojena je adekvatna vrednost ubrzanja.

Sledeći korak je napredno linearno podešavanje koje ima za cilj smanjenje zadebljanja uglova, ivica ali i bolju ekstruziju. Problem nastaje kada ekstruder potiskuje filament, zbog pritiska, potrebno je neko vreme da se rastopljeni filament progura kroz otvor mlaznice. Tada dolazi do većeg istiskivanja i nagomilavanja filameta na uglove i ivice objekta koji se štampa.

Kalibracija koraka elektromotora nije neophodna ali je poželjno odraditi kako bi korisnik bio siguran da se stvarno kretanje X, Y i Z ose poklapa za željenom vrednošću. Kao test objekat, koristi se kalibraciona kocka. Ukoliko izmerene dimenzije na kalibracionoj kocki nisu identične sa željenim, potrebno je proračnom dobiti nove vrednosti koraka elektromotora po osama.

Nakon prolaska kroz sve navedene korake, trebalo bi da je 3D štampač uspešno kalibrisan. Ova provera se radi tako što se štampaju objekti različitih dimenzija i geometrija. Vizuelnim pregledom i merenjem može se uočiti kvalitet odštampanog 3D objekta. Ukoliko se uoči neki nedostatak, potrebno je vratiti se na korak koji je potencijalno moguć uzrok problema, i ponoviti postupak kalibracije.



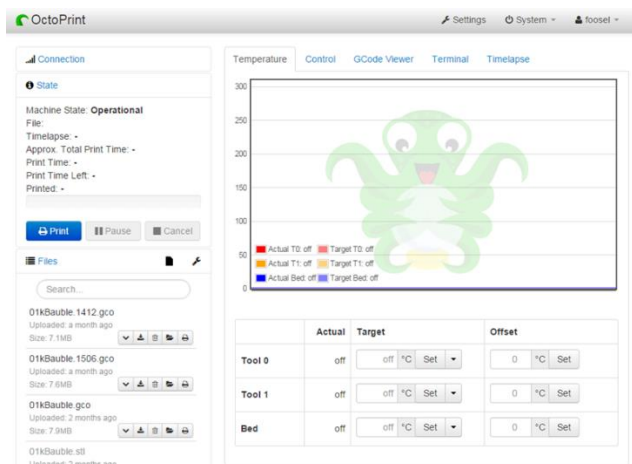
Slika 4. Poređenje početnog i završnog testiranja kalibracione kocke

5. UPRAVLJANJE NA DALJINU

Pod pojmom upravljanje na daljinu ili daljinsko upravljanje podrazumevaju se tehnike, postupci i sistemi koji omogućavaju upravljanje objektima, procesima ili njihovim sastavnim delovima na daljinu [7]. U odnosu na

klasično upravljanje, daljinsko upravljanje podrazumeva da se ono odvija sa lokacija koja se nalaze na većim ili manjim udaljenostima od samog objekta upravljanja. Da bi se uspostavio način daljinskog upravljanja potreban je mrežni sistem koji omogućava prenos podataka i signala. Tako internet, kao veoma razvijena komunikaciona mreža, predstavlja siguran put ka realizaciji upravljanja na daljinu.

Realizovanje upravljanja na daljinu na ovom 3D štampaču izvršeno je koristeći Raspberry Pi 4 koji je povezan sa matičnom pločom SKR 1.3, modul kamere kao i softver OctoPrint. OctoPrint je besplatan softver otvorenog koda koji je razvijen za daljinsko upravljanje, kontrolu i nadgledanje 3D štampača [8].



Slika 5. OctoPrint [8]

Ovaj softver je instaliran na Raspberry Pi koji poseduje modul za bežičnu komunikaciju i omogućava upravljanje preko lokalne mreže. Omogućeno je daljinsko slanje G-kodova, kontrola kretanja, pauziranje kao i kontrola temperature i ostalih parametara prilikom procesa štampanja. Poseduje terminal koji omogućava pregled G-koda koji se šalje 3D štampaču u realnom vremenu, ali i mogućnost unosa i slanja G-kod naredbi od strane korisnika. Ova opcija omogućava unos i čuvanje kalibriranih vrednosti.

Prilikom prvog pristupa otvoriće se čarobnjak za podešavanje, gde se unosi ime 3D štampača, karakteristike, dozvola za pristup kao i drugi parametri. U radu je detaljno opisan proces instalacije kao i podešavanja softvera.

6. ZAKLJUČAK

Aditivna proizvodnja, poznatija kao 3D štampa predstavlja neizostavan deo savremene industrijske proizvodnje gde se iz digitalnog modela stvara funkcionalni trodimenzionalni predmet. Pored savremene industrije koja je sa sigurnošću lider u upotrebi uređaja iz navedene tehnologije, svedoci smo sve veće upotrebe i korišćenja 3D štampača u domaćinstvima i kancelarijskim okruženjima. 3D štampači nude veliki potencijal za proizvodnju različitih aplikacija, gde ideja vrlo lako može da postane proizvod.

Kao odgovor na sve veću upotrebu i korišćenje takvih uređaja, razvijen je i uspešno realizovan 3D štampač. Pored izrade mehaničke konstrukcije i pregleda korišćene upravljačke elektronike, dat je prikaz konfigurisanja i kalibracije 3D štampača. Ovaj postupak kalibracije i podešavanja može se primeniti i na komercijalne uređaje, kako bi se ostvario bolji kvalitet procesa 3D štampe.

Svakodnevnim razvojem i unapređenjem ove tehnologije, na tržištu se pojavljuju sve bolji i kvalitetniji delovi i elementi. Pa tako u pogledu daljeg unapređenja ovog uređaja, težiće se ka implementaciji dvostrukog ekstrudera, povećanju radnih dimenzija kao i unapređenju Z ose. Glavni cilj je dobiti što kvalitetniji otisak uz manje utrošeno vreme procesa 3D štampe.

7. LITERATURA

- [1] Movrin D.: Optimizacija parametara postprocesiranja u tehnologiji vezivne 3D štampe, Doktorska disertacija, Novi Sad, 2017.
- [2] Stankovski S., Ostojić G., Šaponjić M., Stanojević M., Babić M.: Using micro/mini PLC/PAC in the Edge Computing Architecture (DOI:10.1109/INFOTEH48170.2020.9066309), 19. Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina: IEEE Explore, 18-20 March, 2020, pp. 1-4
- [3] Stankovski S., Ostojić G., Baranovski I., Babić M., Stanojević M.: The Impact of Edge Computing on Industrial Automation (DOI: 10.1109/INFOTEH48170.2020.9066341), 19. Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina: IEEE Explore, 18-20 March, 2020, pp. 1-4
- [4] Tarjan L., Šenk I., Erić Obućina J., Stankovski S., Ostojić G.: Extending Legacy Industrial Machines by a Low-Cost Easy-to-Use IoT Module for Data Acquisition (doi:10.3390/sym12091486), Symmetry, 2020, Vol. 12, No. 1486, pp. 1-16, ISSN 2073-8994
- [5] <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>, pristupljeno dana: 06.05.2021.
- [6] <https://www.thingiverse.com/thing:1278865>, pristupljeno dana: 03.03.2021.
- [7] Peulić A., Čučej Ž.: Daljinsko upravljanje i komunikacije, Kragujevac: Istraživačko razvojni centar za bioinženjering, 2010.
- [8] <https://octoprint.org/>, pristupljeno dana: 02.06.2021.

Kratka biografija:



Marko Kozomora rođen je u Novom Sadu 1994. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Automatizacija procesa rada odbranio je 2018.god.
kontakt: marko-kozomora@hotmail.com