

PRIMENA 3D ŠTAMPAČA U NASTAVI I ISTRAŽIVAČKIM AKTIVNOSTIMA ZA POTREBE SAVREMENE INDUSTRIJE

Milica Kisić¹, Dušan Damnjanović², Miroslav Katanić³, Mirjana Damnjanović⁴

^{1,2,3,4} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹mksic@uns.ac.rs, ²damnjanovic.F213@uns.ac.rs, ³miroslavkatanic@uns.ac.rs, ⁴mirad@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: 3D štampači mogu biti koristan alat u prenošenju znanja i praktičnoj primeni aditivne tehnologije, ne samo u proizvodnji, nego i u domenima elektrotehnike, mašinstva, mehatronike, biomedicine, matematike i mnogim drugim. U ovom radu dat je pregled dela opreme za aditivnu proizvodnju na Katedri za elektroniku, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, koja se koristi u nastavi, ali i u naučno-istraživačkom radu. Opisana je upotreba 3D štampača uz široki asortiman specijalnih materijala što omogućava kreiranje jedinstvenih elektronskih, mehatronskih ili biomedicinskih funkcionalnih sistema. Predstavljena je primena tehnologije deponovanja istopljenog filameta za izradu studentskih projekata. Dat je pregled ostvarenih rezultata u istraživačkom radu primenom 3D štampača i brojnih naučnih radova koji su iz njih poistekli.

Ključne reči: 3D štampači, deponovanje istopljenog filameta, specijalni filamenti

APPLICATION OF 3D PRINTERS IN TEACHING AND RESEARCH ACTIVITIES FOR THE NEEDS OF MODERN INDUSTRY

Abstract: 3D printers can be a useful tool in the knowledge transfer and practical application of additive technology, not only in the manufacturing, but also in the fields of electrical engineering, mechanical engineering, mechatronics, biomedicine, mathematics and many others. This paper gives an overview of the equipment for additive production at the Chair of Electronics, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, which is used in teaching, but also in scientific research. The use of 3D printers with a wide range of special materials is described, which enables the creation of unique electronic, mechatronic or biomedical functional systems. The application of the technology of depositing melted filament for the development of student projects is presented. An overview of the results achieved in the research work using 3D printers and numerous scientific papers that have emerged from them is presented.

Key Words: 3D printers, disposal of melted filaments, special filaments

1. UVOD

Trodimenzionalno štampanje, ili aditivna proizvodnja, predstavlja jednu od najsavremenijih tehnologija izrade 3D objekata. 3D štampači omogućavaju brz, jeftin i jednostavan razvoj kompleksnih modela, prototipova, ali i finalnih proizvoda od različitih materijala. Prednosti aditivne tehnologije su dovele do njene primene u skoro svim granama industrije. Automobilaska i vazduhoplovna industrija su jedne od prvih koje su počele da primenjuju ovu tehnologiju usled veoma kratkog vremena proizvodnje. Mogućnost primene 3D štampača u elektronici i izradi elektronskih komponenti i kola, ukazuje na to da bi ova tehnologija mogla u budućnosti da se primenjuje za izradu potrošačke elektronike. Aditivna tehnologija je našla svoju primenu i u oblasti prehrambene industrije. Dok trenutno postoje 3D štampači koji omogućavaju proizvodnju namirnica kao što su npr. čokolada ili testenina, 3D štampa bi u budućnosti mogla da omogući kontrolu nutritivnog sadržaja mnogih vrsta hrane, što bi zauzvrat moglo da pomogne u rešavanju pojedinih zdravstvenih problema. Pored toga, 3D štampanje se koristi i u zubnoj protetici, za izradu slušnih aparata, ili proteza. Mnogobrojna i ogromna ulaganja u tehnologiji 3D štampanja rezultirala su izradom prvih funkcionalnih ljudskih tkiva i organa. Tehnologija 3D štampanja omogućava efikasnu i jeftinu izradu stambenih objekata i ima primenu i u građevinarstvu. 3D odštampana kuća nazvana ProtoDom, predstavlja inovaciju svetskog potencijala realizovanu baš u Srbiji.

2. 3D ŠTAMPAČI I SPECIFIČNI FILAMENTI NA KATEDRI ZA ELEKTRONIKU

Na Katedri za elektroniku, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, koristi se nekoliko različitih tipova 3D štampača. Dva raspoloživa modela su prikazana na slici 1a,b. Wanhao Duplicator i3 je štampač koji koristi tehnologiju deponovanja istopljenog filameta [1]. 3D štampač, A2200 [2], pored ekstrudera za filament, ima dozator koji omogućava izradu slojeva korišćenjem različitih funkcionalnih past i mastila. Zahvaljujući tome, ovaj štampač omogućava izradu 3D objekata uz mogućnost nanošenja slojeva od različitih materijala nedostupnih u tehnologiji deponovanja istopljenog filameta.



a)



b)



c)

Slika 1. a) Wahnao Duplicator i3 [1], b) 3D višenamenski štampač, A2200, proizvođača Nano3Dprint [2], c) različiti specifični filamenati (provodni nefleksibilni PLA dopiran grafenom, fleksibilni neprovodni i kompozitni PLA dopiran gvožđem)

Tehnologija deponovanja istopljenog filamenta u najvećem obimu koristi polimere za izradu. Međutim, razvijeni su i filamenti sa specifičnim funkcionalnim dopantima, što rezultuje različitim karakteristikama slojeva koji se od njih izrađuju (drugačijih mehaničkih karakteristika, provodnih, fleksibilnih, različitih vizuelnih efekata npr. svetlećih u mraku,...). Recimo, za primenu u elektronici, dostupni su provodni filamenti kojima je moguće štampati provodne slojeve, što omogućava izradu elektronskih komponenti i kola. Dodavanjem feromagnetskih prahova u filamente, dobijaju se magnetski filamenti. Za izradu 3D kompleksnih struktura, potrebni su tzv. žrtveni slojevi koji se koriste upareni sa osnovnim materijalom, kao podrška pri izradi, a nakon toga ih je neophodno ukloniti. U tu svrhu, koriste se rastvorljivi filamenti koji se potapanjem u neku tečnost jednostavno uklanjaju. Širok spektar novih primena u medicini omogućavaju specijalni antimikrobni filamenti, koji omogućavaju primenu izrađenih objekata na telo pacijenta uz mogućnost ubijanja mikroba sa kojima dolazi u kontakt na koži korisnika.

Na Katedri za elektroniku na raspolaganju su sledeći tipovi materijala:

- neprovodni filamenti različitih karakteristika dostupni u više boja (PLA, ABS, PET),
- neprovodni fleksibilni filamenti,
- provodni nefleksibilni filamenti,
- provodni fleksibilni filamenti,
- antibakterijski filamenti,
- rastvorljivi filamenti i
- magnetski filamenti.

Neki od navedenih tipova filamenata su prikazani na slici 1c.

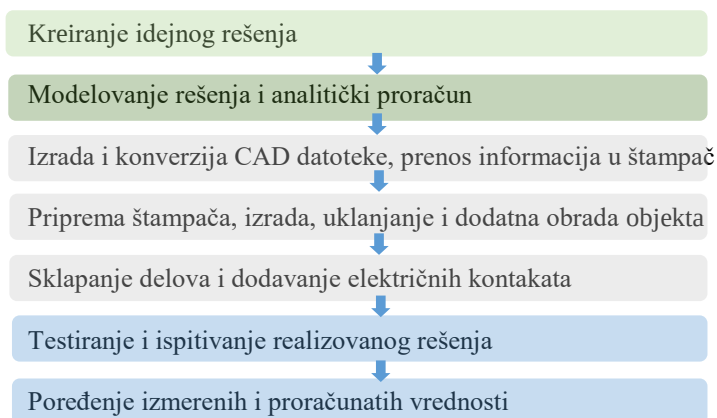
3. PRIMENA 3D ŠTAMPAČA U NASTAVI

Edukacija o aditivnoj tehnologiji i njenoj primeni u rešavanju savremenih izazova je uveliko i odavno prepoznata u zemljama širom sveta. Farnicka i Serano Diaz predstavili su detaljnu studiju o uticaju 3D štampanja na kreativnost dece još u predškolskom uzrastu [3]. Tomc i Kočevlar objavili su opsežnu studiju o tome kako 3D animacija pozitivno utiče na studente i povećava njihovu kreativnost, prostornu vizuelizaciju, doprinosi većim stvaralačkim i prostornim sposobnostima [4]. Keun je opisao kako upotreba 3D CAD i štampanja poboljšava postignute rezultate u obrazovanju fabrikovanjem realnih fizičkih modela iz modelovanih dizajna [5]. Brojne obrazovne institucije širom sveta u različitim disciplinama već su integrisale tehnologiju 3D štampanja u svoje nastavne planove i programe, kao što su Penn State University, Massachusetts Institute of Technology, Carnegie Mellon University, Ohio State University, Purdue University, Nottingham University, Sheffield University, Derby University [6]. Možemo sa ponosom da kažemo da je među njima i Fakultet tehničkih nauka sa Univerziteta u Novom Sadu.

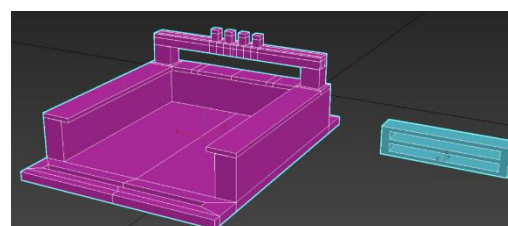
Jedan od primera primene aditivne tehnologije i 3D štampača je u okviru predmeta Tehnologija izrade senzora na Katedri za elektroniku. „Tehnologija izrade senzora” je kurs koji je uveden u nastavni program od školske 2020/21. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Ovo je obavezni predmet na master akademskim studijama (MAS) Energetika, elektronika i telekomunikacije, smer Mikroracunarska elektronika, na studijskoj grupi Mikro i nano elektronika. Cilj predmeta je da studenti steknu znanja i veštine u projektovanju senzora i osmišljavanju sopstvenih rešenja uz primenu 3D

tehnologije štampanja. Na slici 2 je prikazan tok procesa izrade projekta i jedno od idejnih rešenja za merenje brzine disanja pacijenata prikazano na slici 3. Kroz praktičan rad na projektu, povećava se angažovanje studenata na predmetu. 3D štampanje pruža priliku studentima da realizuju svoje kreativne ideje. Na ovaj način proširuje se inovativnost studenata i podstiču se veštine u rešavanju problema. Studenti mogu da u potpunosti razumeju celi proces izrade, od stvaranja modela do izrade objekta i na kraju primene.

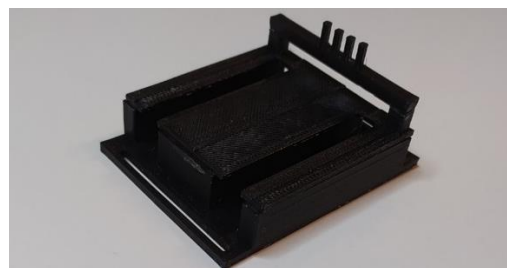
Na osnovu kreiranih idejnih rešenja zadatka projekta, realizuje se 3D model u Autodesk 3DS Max softveru (slika 3a), a zatim se trodimenzionalni objekat konvertuje u G-kod prilagođen štampaču koji se koristi. U zavisnosti od idejnog rešenja, koriste se različiti tipovi filamenata koji zahtevaju drugačije podešavanje parametara pri štampanju. Nakon podešavanja parametara za štampu, objekat se realizuje sloj po sloj dok se ne dobije 3D objekat identičan projektovanom modelu (slika 3b). Nakon sklapanja svih odštampanih delova i dodavanja električnih kontaktata vrši se provera ispravnosti rada, merenje električnih parametara i poređenje sa proračunatim vrednostima.



Slika 2 Tok procesa izrade projekta korišćenjem 3D štampača na predmetu Tehnologija izrade senzora.



a)



b)

Slika 3 (a) Model senzora za merenje brzine disanja izrađen u Autodesk 3DS Max softveru, (b) senzor

4. PRIMENA 3D ŠTAMPAČA U NAUČNO-ISTRAŽIVAČKOM RADU

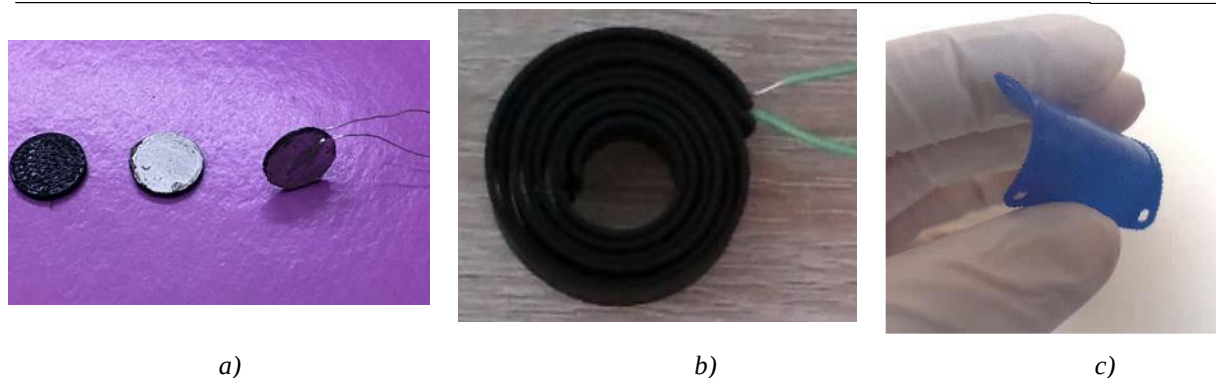
Korišćenjem aditivne tehnologije, odnosno 3D štampača, realizovane su brojne elektronske komponente, sistemi i kola u oblasti elektronike, čiji rezultati su publikovani na vodećim međunarodnim konferencijama i časopisima.

Detaljne mehaničke i električne karakteristike materijala, odnosno slojeva nakon štampanja, najčešće nisu poznate. Dodatno, karakteristike odštampanih objekata zavise i od parametara koji se podese prilikom štampanja. Mehnička i električna svojstva odštampanih slojeva određuju karakteristike komponenti i kola koji se od njih realizuju i stoga moraju biti poznati. Iz tog razloga potrebno je pre projektovanja komponenti i kola izvršiti karakterizaciju 3D odštampanih slojeva. Na primer, naši istraživači su radili određivanje dielektričnih karakteristika uzoraka odštampanih od PLA filameta koji su se kasnije koristili za realizaciju kondenzatora, što je prikazano u radu [7] i na slici 4a.

Primena aditivne tehnologije je ispitana za izradu senzora sile [8]. U tom radu 3D štampač je korišćen za izradu kućišta senzora, supstrata induktora i kalupa u obliku mreže koji se koristio za izradu odstojnika senzora od tečnog silikonskog materijala.

U radu [9] prikazan je novi pristup u proizvodnji namotanog kondenzatora pomoću provodnog ABS filameta i 3D tehnologije štampanja, slika 4b. Tehnologija deponovanja istopljenog filameta korišćena je i za izradu senzora pomeraja [10].

Senzor je realizovan heterogenom integracijom tehnologije štampanih ploča – PCB i 3D štampanja. Korišćen je fleksibilni filament za izradu osnovnog dela senzora (odstojnika) osetljivog na pomeraj. Fleksibilni filament je korišćen i za izradu savitljive elektrode kapacitivnog senzora, slika 4c [11].



Slika 4 a) Odštampani uzorci za merenje dielektričnih karakteristika sa dodatim kontaktima, b) namotani kondenzator fabrikovan pomoću 3D štampača i provodnog i neprovodnog filamenta koji su iste crne boje, c) fleksibilna membrana kapacitivnog senzora izrađena 3D štampačem

5. ZAKLJUČAK

Aditivna tehnologija je prepoznata kao tehnologija sa ogromnim potencijalom u različitim oblastima tehničkih nauka. Stoga, neophodno je uključiti je u nastavni program i na Fakultetu tehničkih nauka, kako bi budući inženjeri bili upoznati sa novim tehnologijama i rešavanjima savremenih izazova. 3D tehnologija se može koristiti u različitim studijskim programima na Fakultetu tehničkih nauka kao što su mašinstvo, mehatronika, građevinarstvo, biomedicina, industrijski dizajn, kao i elektrotehnika.

U obrazovanju, pored teorijskog dela, studentima treba omogućiti i praktična i primenljiva znanja. Primenom 3D štampanja studenti umesto pasivnih slušalaca postaju aktivni kreatori svojih ideja. Na taj način, podstiče se njihova inovativnost i veštine u rešavanju realnih problema. Kroz zajedničko rešavanje problema, vizualizaciju kreiranih dizajna i realizaciju projekata, povećava se interakcija studenata i nastavnog osoblja.

Istovremeno, primena aditivne tehnologije je neophodna i u nauci, kako bi se pratili svetski trendovi razvoja i doprinelo izvrsnosti i relevantnosti naučno-istraživačkih rezultata. Ogroman potencijal koji ova tehnologija pruža, utiče na povećanje kvaliteta, mogućnosti i razvoja naučno-istraživačkog rada.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije: "Inovativna naučna i umetnička ispitivanja iz domena delatnosti FTN-a", NIO 200156.

6. LITERATURA

- [1] Internet stranica <https://3dmarket.rs/shop/uncategorized/wanhao-duplicator-i3-plus/>, pristupano 18.01.2022.
- [2] Internet stranica <https://www.nano3dprint.com/product-page/a2200>, pristupano 18.01.2022.
- [3] M. Farnicka, N. Serrano Diaz, *3D printing skills as a resource for the development of creativity in middle childhood*, Rocznik Lubuski, vol. 45, no. 1, pp. 123–134, 2019.
- [4] Gabrijelčič, Helena, Kočevar, Tanja, *Observation on creativity and spatial visualisation skills of graphic arts' students*, Professional paper, 2020, pp. 561-569.
- [5] P. Keun, *Applications of 3D CAD and 3D printing in engineering design education*, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, vol. 31, no. 12, pp. 1085–1091, 2014.
- [6] Internet stranica <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-uni-degrees-201120174/>, pristupano 18.01.2022.
- [7] M. Kisić, L. Živanov, N. Blaž, A. Stefanov, A. Menićanin, *Investigation of Dielectric Properties of Printed Material for Capacitor Application*, 2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 2020, pp. 1-5.
- [8] G. Kisić, N. V. Blaž, Lj. D. Živanov, M. S. Damnjanović, *Elastomer based force sensor fabricated by 3D additive manufacturing*, AIP Advances, vol. 10, art. no. 015017, pp. 1-4, Jan. 2020
- [9] Nelu V. Blaž, Ljiljana D. Živanov, Milica G. Kisić, Aleksandar B. Menićanin, *Fully 3D printed rolled capacitor based on conductive ABS composite electrodes*, Electrochemistry Communications, Vol. 134, 2022, pp. 1-5.
- [10] M. G. Kisić, A. Z. Stefanov, M. D. Luković, O. S. Aleksić, M. S. Damnjanović, L. D. Živanov, *Heterogenous Integrated Displacement Sensor with Grooved Ferrite*, 2021 IEEE International Magnetic Conference (INTERMAG), 2021, pp. 1-5.
- [11] N. Blaž, M. Kisić, Lj. Živanov, M. Damnjanović, *Capacitive Sensor with Stretchable Membrane Fabricated by 3D Printing for Displacement Application*, IEEE EUROCON 2019 -18th International Conference on Smart Technologies, 2019, pp. 1-5.