

**EKOLOŠKI ASPEKT 3D ŠTAMPE NA GRAFIČKO OKRUŽENJE****THE ECOLOGICAL ASPECT OF THE 3D PRINTING PROCESS ON THE PRINTING ENVIRONMENT**Galja Đorđević, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN**

**Kratak sadržaj** – *Detekcija i kvantifikacija emitovanih  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica tokom rada uređaja za FDM tehniku štampe primenom različitih filamenata sprovedene su u dve kampanje merenja, sa zatvorenim i otvorenim prozorima, kako bi se utvrdilo koja radna sredina je bolja za operatera.*

**Ključne reči:** *3D štampa, FDM tehnika, suspendovane čestice, grafičko okruženje*

**Abstract** – *The detection and quantification of emitted  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  suspended particles during the operation of devices for FDM printing technique with different filaments were conducted, with closed and open windows, to determine which working printing environment is better for the operator.*

**Keywords:** *3D printing process, FDM technique, suspended particles, printing environment*

**1. UVOD**

3D štampa je moderna tehnologija proizvodnje trodimenzionalnih objekata koji se kreiraju sukcesivnim nanošenjem slojeva materijala. Jeftinije, lakše i brže proizvodi 3D objekte u odnosu na druge tehnologije. 3D štampa omogućava izradu sklopova, maketa i delova od više različitih materijala, koji mogu posedovati različita mehanička i fizička svojstva u jedinstvenom procesu. U poslednjih nekoliko godina 3D štampači postaju finansijski dostupni kako manjim, tako i srednjim preduzećima, čime se izrada prototipova pomera iz teške i skupe industrije i u samo kancelarijsko okruženje, ali i u domove pojedinaca [1].

Ekološki aspekti 3D štampe na grafičko okruženje obuhvataju rizike poput [2]: izloženosti nanočesticama i lakoisparljivim organskim jedinjenjima, rad sa zapaljivim i reaktivnim metalnim prašinama, hemijske zapaljivosti termoplastičnih materijala, izlaganje toplim površinama 3D proizvoda, izloženosti visokom naponu i ultraljubičastom zračenju, kao i upotrebe oštrog materijala i otpada. Analiza navedenih rizika je neophodna u cilju procene štetnosti procesa i upotrebljenih materijala i na grafičko okruženje, ali i na samog operatera u grafičkoj proizvodnji.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, docent.**

Čestične materije su smeše čvrstih i tečnih čestica organskih i neorganskih supstanci koje se suspenduju u vazduhu i kao kompleksne smeše imaju potencionalno negativne uticaje na ljudski organizam. Danas se kvalitet vazduha uglavnom procenjuje na osnovu koncentracija suspendovanih  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  ili  $PM_{0,1}$  čestica [3]. Navedene suspendovane čestice nastaju u prirodnim procesima u atmosferi, ali i pri heterogenim hemijskim reakcijama tokom sagorevanja goriva u industrijskim postrojenjima, motornim vozilima, prilikom sagorevanja drveta, đubriva, ali i tokom 3D štampe. Upravo ove čestice imaju mogućnost da se udisanjem nagomilavaju u alveolama pluća i utiču na proces usporavanja razmene kiseonika i ugljen-dioksida, skraćujući dah. Takođe, doprinose pojavi respiratornih bolesti kao što su na primer bronhitis, astma, ali i do pojave srčani problema [4]. S obzirom na efekte suspendovanih čestica na zdravlje ljudi neophodna je i procena izloženosti koncentracionim nivoima navedenih čestica radnika u grafičkoj 3D proizvodnji.

Cilj rada je analiza koncentracionih nivoa emitovanih  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica tokom rada uređaja za FDM tehniku štampe primenom različitih filamenata. Sprovedene su dve kampanje merenja navedenih suspendovanih čestica, sa zatvorenim i otvorenim prozorima, kako bi se utvrdilo koja radna sredina je bolja za operatera.

**2. EKSPERIMENTALNI DEO****2.1. Uređaj i filamenti za FDM tehniku štampe**

Za FDM štampu upotrebljen je 3D štampač CR 10S pro.

FDM štampa sprovedena je sa četiri filamena koji su izrađeni od sledećih materijala: polilaktične kiseline (engl., Polylactic Acid, PLA), polietilen tereftalata (engl., Polyethylene Terephthalate, PETG), termoplastičnog poliuretana (engl., Thermoplastic Polyurethane, TPU) i akrilonitril butadien stirena (engl., Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS).

**2.2. Monitoring suspendovanih čestica**

Za uzorkovanje  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica u unutrašnjem vazduhu tokom FDM štampe sa 3D štampačem CR 10S pro upotrebljen je Eko Net senzorski uzorkivač. Uzorkivač registruje na savka 2 minuta koncentracije navedenih suspendovanih čestica i beleži ih na „Cloud“ serveru.

Tokom monitoringa suspendovanih čestica dva senzorska uzorkivača postavljena su u visini 3D štampača CR 10S pro na sledećim mernim mestima:

- pored 3D štampača (uzorkivač 1) i

- na 2 metra udaljenosti od 3D štampača (uzorkivač 2).

Važno je napomenuti da je isti raspored mernih mesta zadržan u obe kampanje (sa zatvorenim i otvorenim prozorima) merenja  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_1$  suspendovanih čestica.

U okviru svake kampanje monitoring za  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovane čestice je sproveden tokom 1 sata odvijanja procesa FDM štampe.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

#### 3.1. Analiza suspendovanih čestica u kampanji sa zatvorenim prozorima

Srednje vrednosti  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe u kampanji sa zatvorenim prozorima sa PLA plavim, PETG crvenim, TPU crnim i ABS providnim filamentima prikazane su u tabelama 1, 2, 3 i 4, redom.

Tabela 1. Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PLA plavim filamentom (zatvoreni prozori)

Uzorkivač	$PM_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	5,42	7,10	7,38
2	6,29	7,71	9,55

U kampanji sa zatvorenim prozorima za PLA plavi filament najniže detektovane koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica su: 4,0, 5,22, 9,57  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom pored uzorkivača 1. Pored uzorkivača 2 (pozicioniranom na 2 metra udaljenosti od 3D štampača) detektovane su najviše vrednosti koncentracija suspendovanih čestica: 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_1$ , 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{2,5}$  i 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{10}$  čestice.

Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica (tabela 1) za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PLA plavim filamentom pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 su se povećale 13,8, 7,9 i 22,7%, redom.

Tabela 2. Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PETG crvenim filamentom (zatvoreni prozori)

Uzorkivač	$PM_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	20,26	31,35	34,94
2	24,00	34,97	42,42

Za PETG crveni filament u kampanji sa zatvorenim prozorima najniže detektovane koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1 su: 19,2, 28,71 i 30,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Najviše vrednosti koncentracija analiziranih suspendovanih čestica detektovane su pored udaljenijeg uzorkivača 2: 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_1$ , 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{2,5}$  i 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{10}$  čestice.

Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PETG crvenim filamentom pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 su se povećale: 15,58, 10,35 i 17,63%, redom (tabela 2).

Tabela 3. Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa TPU crnim filamentom (zatvoreni prozori)

Uzorkivač	$PM_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	13,73	18,41	18,27
2	15,90	20,61	22,03

Tokom rada sa zatvorenim prozorima i TPU crnim filamentom pored uzorkivača 1 detektovane su najniže koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica: 10,4, 15,66 i 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Pored udaljenog uzorkivača 2 detektovane su najviše koncentracije: 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_1$ , 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{2,5}$  i 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{10}$  čestice.

Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica (tabela 3) za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa TPU crnim filamentom pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 su se povećale: 13,65, 10,67 i 17,07%, redom.

Tabela 4. Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa ABS providnim filamentom (zatvoreni prozori)

Uzorkivač	$PM_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	11,66	14,87	14,89
2	13,35	16,10	17,42

U radu sa zatvorenim prozorima i ABS providnim filamentom najniže detektovane koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1 su: 10,4, 12,18 i 19,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Na rastojanju 2 metra od 3D štampača, pored uzorkivača 2 detektovane su najviše vrednosti suspendovanih čestica: 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_1$ , 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{2,5}$  i 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $PM_{10}$  čestice.

Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa ABS providnim filamentom pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 su se povećale: 12,66, 7,64 i 14,52%, redom (tabela 4).

#### 3.2. Analiza suspendovanih čestica u kampanji sa otvorenim prozorima

Srednje vrednosti suspendovanih čestica ( $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$ ) za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe u kampanji sa otvorenim prozorima sa filamentima PLA plavim, PETG crvenim, TPU crnim i ABS providnim prikazane su u tabelama 5, 6, 7 i 8, redom.

Tabela 5. Srednje vrednosti koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PLA plavim filamentom (otvoreni prozori)

Uzorkivač	$PM_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	9,99	12,91	12,41
2	11,00	13,61	14,61

U kampanji sa otvorenim prozorima za PLA plavi filament najniže detektovane koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1 su: 8,0,

11,31 i 10,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Pored uzorkivača 2 (na 2 metra udaljenosti od 3D štampača) detektovane su najviše vrednosti koncentracija suspendovanih čestica: 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{10}$ , 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{2,5}$  i 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_1$  čestice.

Dobijeni rezultati za srednje vrednosti koncentracija  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PLA plavim filamentom u kampanji sa otvorenim prozorima pokazuju da su se pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 koncentracije povećale: 9,18, 5,14 i 15,06%, redom (tabela 5).

Tabela 6. Srednje vrednosti koncentracija  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PETG crvenim filamentom (otvoreni prozori)

Uzorkivač	$\text{PM}_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	8,26	11,65	12,13
2	10,03	13,06	16,03

Rezultati za PETG crveni filament u kampanji sa otvorenim prozorima pokazuju da su najniže detektovane koncentracije  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1: 6,4, 7,83 i 7,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Najviše vrednosti koncentracija analiziranih suspendovanih čestica detektovane su pored udaljenijeg uzorkivača 2: 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_1$ , 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{2,5}$  i 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{10}$  čestice.

Dobijeni rezultati za srednje vrednosti koncentracija  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa PETG crvenim filamentom u kampanji sa otvorenim prozorima pokazuju da su se pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 koncentracije povećale: 17,65, 10,80 i 24,32%, redom (tabela 6).

Tabela 7. Srednje vrednosti koncentracija  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa TPU crnim filamentom (otvoreni prozori)

Uzorkivač	$\text{PM}_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	9,01	11,62	11,46
2	10,13	12,65	13,87

Tokom rada sa otvorenim prozorima i TPU crnim filamentom pored uzorkivača 1 detektovane su najniže koncentracije  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica: 8,0, 9,57 i 8,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Pored udaljenog uzorkivača 2 detektovane su najviše koncentracije: 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_1$ , 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{2,5}$  i 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{10}$  čestice.

Srednje vrednosti koncentracija  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa TPU crnim filamentom pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 su se povećale: 11,05, 8,14 i 17,38%, redom (tabela 7).

U radu sa otvorenim prozorima i ABS providnim filamentom najniže detektovane koncentracije  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1 su: 1,6, 1,74 i 1,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redom. Na rastojanju 2 metra od 3D štampača, pored uzorkivača 2 detektovane su najviše vrednosti suspendovanih čestica: 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_1$ , 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{2,5}$  i 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za  $\text{PM}_{10}$  čestice.

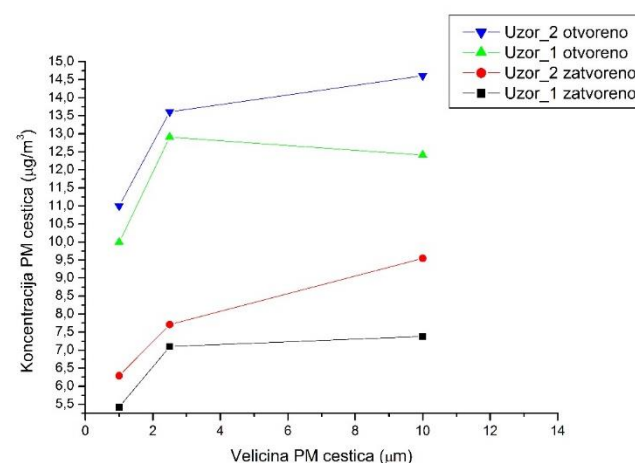
Tabela 8. Srednje vrednosti koncentracija  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa ABS providnim filamentom (otvoreni prozori)

Uzorkivač	$\text{PM}_1$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	3,05	3,76	3,77
2	3,39	3,94	4,52

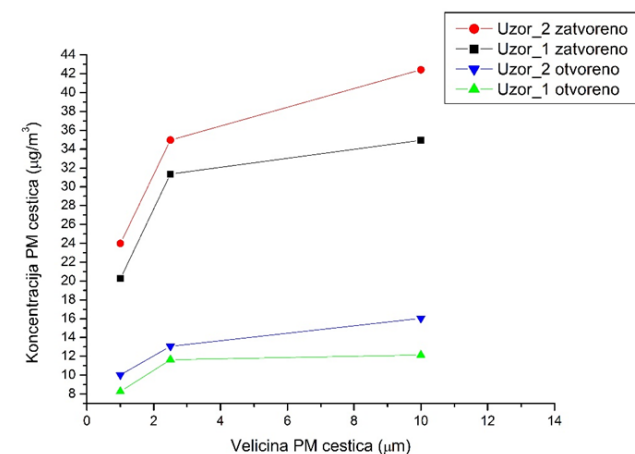
Dobijeni rezultati (tabela 8) pokazuju da su se srednje vrednosti  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica za jedan sat monitoringa tokom FDM tehnike štampe sa ABS providnim filamentom pored uzorkivača 2 u odnosu na uzorkivač 1 povećale: 10,03, 4,57 i 16,59%, redom.

### 3.3. Uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na kvantifikaciju suspendovanih čestica

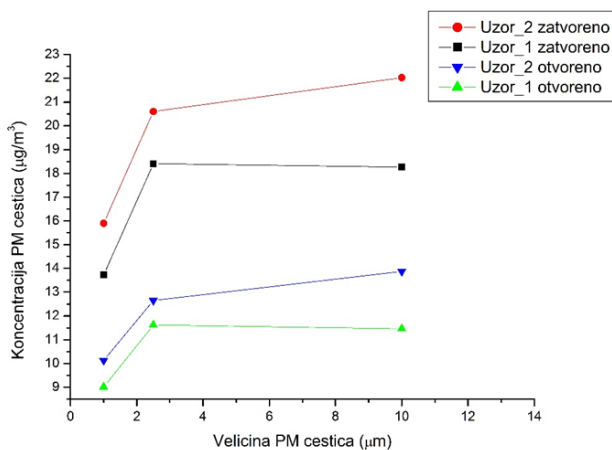
Zavisnosti veličina  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  suspendovanih čestica od srednjih vrednosti koncentracija suspendovanih čestica pored uzorkivača 1 i 2 u uslovima rada sa zatvorenim i otvorenim prozorima prikazane su na slikama 1 (za PLA plavi filament), 2 (za PETG crveni filament), 3 (za TPU crni filament) i 4 (za ABS providni filament).



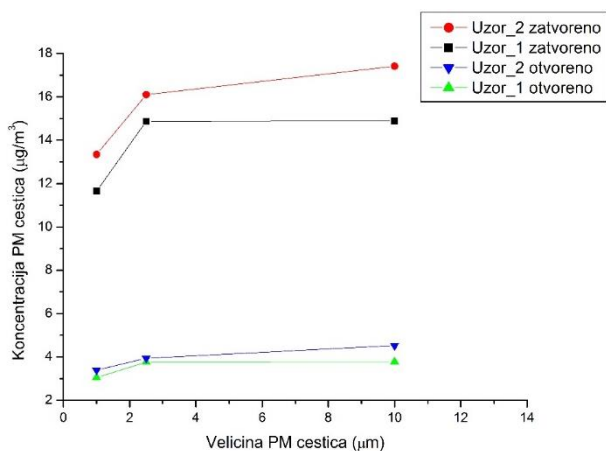
Slika 1. Uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na srednje koncentracije suspendovanih čestica tokom FDM štampe sa PLA plavim filamentom



Slika 2. Uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na srednje koncentracije suspendovanih čestica tokom FDM štampe sa PETG crvenim filamentom



Slika 3. Uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na srednje koncentracije suspendovanih čestica tokom FDM štampe sa TPU crnim filamentom



Slika 4. Uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na srednje koncentracije suspendovanih čestica tokom FDM štampe sa ABS providnim filamentom

Analizirajući uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na vrednosti srednjih koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica uočava se da samo kod FDM štampe sa PLA plavim filamentom vrednosti srednjih koncentracija su više u uslovima otvorenih prozora (slika 1). U radu sa PETG crvenim (slika 2), TPU crnim (slika 3) i ABS providnim (slika 4) filamentima srednje koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica su više u uslovima rada sa zatvorenim prozorima, što je svakako nezdravo po operatera.

### 3.4. Zakonske regulative za suspendovane čestice

Uredba o Uslovima za praćenje i zahtevi za kvalitet vazduha Republike Srbije ("Službeni glasnik Republike Srbije" br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013) i Direktiva 2008/50/EC Evropskog parlamenta i Saveta od 21. maja 2008. o kvalitetu ambijentalnog vazduha i čistijem vazduhu za Evropu, ne definišu granične vrednosti emisije  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica tokom osmočasovnog radnog vremena u zatvorenom prostoru. Stoga su dobijeni rezultati polazna osnova za buduće kontinuirano praćenje suspendovanih čestica u FDM tehnici, ali i drugim tehnikama štampe (ofset, sito, flekso i digitalna) kako bi se dobili relevantni podaci koji bi dopunili zakone republike Srbije. Takođe, kako veliki broj parametara (vrsta grafičkih boja i tonera, vrsta

grafičkih mašina, cirkulacija vazduha, dimenzije radne prostorije i ventilacioni sistem) mogu uticati na detekciju zagađivača (suspendovanih čestica) u vazduhu zatvorenog prostora, neophodno je sprovođenje nadzora tokom dužeg vremenskog perioda sa širim opsegom promenljivih kako bi se mogli dobiti relevantni podaci o emisijama i koncentracionim nivoima zagađivača [5].

## 4. ZAKLJUČAK

Detektovane koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica pokazuju da se tokom rada uređaja za FDM tehniku štampe emituju navedene suspendovane čestice u radni prostor.

Upoređujući odnos najmanjih i najviših koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1 i 2 (i za rad sa zatvorenim i otvorenim prozorima), uočava se da su navedene koncentracije pored uzorkivača 2 više. Strujanja vazduha usled rada ventilatora 3D štampanja doprinose detekciji nižih koncentracionih nivoa  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica pored uzorkivača 1.

Analizirajući uticaj otvorenih i zatvorenih prozora na vrednosti srednjih koncentracija  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica uočava se da samo kod rada sa PLA plavim filamentom vrednosti srednjih koncentracija su više u uslovima otvorenih prozora. U radu sa PETG crvenim, TPU crnim i ABS providnim filamentom srednje koncentracije  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica su više u uslovima rada sa zatvorenim prozorima, što su nepovoljni radni uslovi za operatera.

Uredba Republike Srbije i Direktiva Evropskog parlamenta i Saveta ne definišu granične vrednosti emisije  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  i  $PM_{10}$  suspendovanih čestica tokom osmočasovnog radnog vremena u zatvorenom prostoru. Stoga su dobijeni rezultati polazna osnova za buduće kontinuirano praćenje suspendovanih čestica u FDM tehnici štampe.

## 5. LITERATURA

- [1] <http://alas.matf.bg.ac.rs/> (pristupljeno 08.10.2020.)
- [2] <https://www.cmu.edu/ehs/> (pristupljeno 14.10.2020.)
- [3] <https://www.slideshare.net/MarijaVukovic/suspendovane-estice-u-vazduhu1> (pristupljeno 15.10.2020.)
- [4] <https://box3d.eu/3d-printing-safety-pollution-health/> (pristupljeno 18.10.2020.)
- [5] S. Adamović, V. Rajs, D. Adamović, A. Mihailović, S. Samardžić, B. Banjanin, Lj. Stojanović Bjelić, "Potential Chemical Stressors Emitted During the Operation of Machines in the Digital Printing Process", *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1776859>, Published online: 10 Jun 2020.

### Adrese autora za kontakt:

Galja Đorđević - galjalavigne@gmail.com

Doc. dr Savka Adamović - adamovicsavka@uns.ac.rs

Grafičko inženjerstvo i dizajn, FTN, UNS.