

CERCETARE-DEZVOLTARE-INOVAR-PROIECTARE
RESEARCH-DEVELOPMENT-INNOVATION-DESIGN

Emisii poluante în fabricația aditivă

Pollutant emissions in additive manufacturing

Manuel González Sánchez¹, Ionel-Dănuț Savu², José Carlos Canca Sanchez¹, Roland Iosif Moraru³

¹Universitatea din Málaga/Universidad de Málaga/University of Málaga

²Universitatea din Craiova/University of Craiova

³Universitatea din Petroșani/University of Petroșani

Rezumat

Lucrarea abordează un subiect care intersectează necesitatea de inovare prin dezvoltarea de noi procedee de fabricație cu necesitatea de a asigura o interacțiune minimă cu mediul, precum și riscuri scăzute privind operarea cu procese de prelucrare a polimerilor. Este, așadar, studiat procedeul de imprimare 3D, un procedeu aflat în plină dezvoltare atât pentru activități de prototipare cât și pentru activități de producție, studiul vizând emisiile poluante ale acestuia. Au fost efectuate determinări ale presiunii acustice pentru evaluarea nivelului de zgomot. Valorile înregistrate s-au situat în jurul valorii de 44 dB, evidențiind astfel un risc minim pentru utilizator. Un alt factor poluant evaluat a fost fumul emis în timpul procesului. Au fost efectuate determinări ale intensității de emisie de fum și evaluări ale concentrației de monoxid de carbon și de dioxid de carbon din componența fumului. Valorile măsurate ale intensității de emisie au fost situate în jurul valorii de 0,13 mg/s, acestea fiind mult mai mici decât cele specifice proceselor de sudare. Concentrațiile de dioxid de carbon și de monoxid de carbon au avut valori în intervalul 410-520 ppm, fiind sensibil mai mici decât valorile considerate a fi periculoase pentru sănătatea utilizatorilor. Concluzia generală a fost aceea că imprimarea 3D prin procedeul FFF este un procedeu relativ sigur pentru operatori și are o interacțiune cu mediul minimă, datorită emisiilor poluante reduse.

Cuvinte cheie

Emisii poluante, procedeu de imprimare FFF, presiune acustică, intensitatea de emisie a fumului, concentrație gaze

Abstract

The paper addresses a topic that intersects the need for innovation through the development of new manufacturing processes with the need to ensure minimal interaction with the environment, as well as low risks regarding operation with polymer processing processes. It is therefore studied the 3D printing process, a process in full development for both prototyping and production activities, the study looking at its polluting emissions. Sound pressure measurements were performed to assess the noise level. The recorded values were around 44 dB, thus highlighting a minimal risk for the user. Another pollutant factor assessed was the fume emitted during the process. Determinations of the intensity of fume emission and evaluations of the concentration of carbon monoxide and carbon dioxide in the composition of the fume were carried out. The measured values of the emission intensity were located around 0.13 mg/s, which is much lower than those specific to welding processes. The concentrations of carbon dioxide and carbon monoxide had values in the range of 410-520 ppm, being significantly lower than the values considered dangerous for users' health. The overall conclusion was that FFF 3D printing is a relatively safe process for operators and has minimal interaction with the environment due to low pollutant emissions.

Keywords

Pollutant emissions, FFF printing process, acoustic pressure, intensity of fume emission, concentration of gases

1. Introducere

Procesele de fabricație, indiferent de tipul, principiul, echipamentul și materialele implicate sunt producătoare, mai mult sau mai puțin, de emisii poluante [1]. Tipurile de poluanți sunt cam aceleași pentru fiecare dintre procesele implementate în fabricație, în prezent.

Emisiile de fum, emisiile de zgomot, emisiile de vibrații, emisiile de radiații, emisiile de căldură, emisiile de apă uzată sunt principalele tipuri de poluanți identificați la ieșirea din sistemele de fabricație [2].

Familia proceselor de fabricație aditivă este nou introdusă în sistemele de fabricație, iar în activitățile de producție a echipamentelor de protecție a personalului medical în lupta cu virusul SARS-CoV2 și-au demonstrat utilitatea de procese de mare viteză [3]. De asemenea, pe Stația Spațială Internațională a fost transportată și montată o imprimantă 3D pentru confecționarea diverselor componente necesare în mod curent sau în mod excepțional [4]. În ambele dintre cele două cazuri situația punerii în operă a unui astfel de proces nu a permis și evaluarea emisiei de poluanți, precum și proiectarea de sisteme care să îndepărteze poluanții.

În primul dintre cazurile menționate, timpul extrem de scurt a impus pornirea fabricației punându-se în paralel mai multe imprimante 3D, iar în cel de-al doilea caz proiectarea stației orbitale nu a ținut cont de introducerea în interior a unui sistem de fabricație care produce poluanți.

În general, focalizarea cercetărilor a fost pe dezvoltarea procedeele de fabricație aditivă, în sensul creșterii productivității acestora și în sensul creșterii calității produselor imprimate 3D, și mai puțin pe aspectele relativ fine ale implicațiilor ce țin de impactul asupra mediului și asupra organismului uman. De ce? Pentru că, din observațiile generale legate de implementarea unor subsisteme de fabricație aditivă în sistemele mari de fabricație, s-a constatat că nivelurile de poluare sunt sensibile mai mici decât în cazurile procedeele de fabricație tradiționale.

Dar această poluare totuși există și ea trebuie evaluată și controlată.

2. Emisia de fum în procesele de încărcare prin sudare și implicațiile ei

Fabricația aditivă este, în ultimă instanță, un proces de încărcare prin sudare [5]. Depunerile de polimer sau de metal sub formă de straturi succesive până la crearea unor forme țintă este un proces de generare

1. Introduction

Manufacturing processes, regardless of the type, principle, equipment and materials involved, produce, more or less, polluting emissions [1]. The types of pollutants are about the same for each of the processes implemented in manufacturing today. Fume emissions, noise emissions, vibration emissions, radiation emissions, heat emissions, waste water emissions are the main types of pollutants identified at the exit of manufacturing systems [2].

The family of additive manufacturing processes is newly introduced in the manufacturing systems, and in the production activities of the protective equipment of the medical personnel in the fight against the SARS-CoV2 virus, they have demonstrated the usefulness of high-speed processes [3].

Also, a 3D printer was transported and installed on the International Space Station for the manufacture of the various components required on a current or exceptional basis [4]. In both of the two cases, the situation of the implementation of such a process did not allow the evaluation of the emission of pollutants, as well as the design of systems to remove the pollutants.

In the first of the mentioned cases, the extremely short time required the start of manufacturing by placing several 3D printers in parallel, and in the second case, the design of the orbital station did not take into account the introduction inside of a manufacturing system that produces pollutants. In general, the focus of researchers has been on the development of additive manufacturing processes, in the sense of increasing their productivity and in the sense of increasing the quality of 3D printed products, and less on the relatively fine aspects of the implications related to the impact on the environment and the human body. Why? Because, from general observations related to the implementation of additive manufacturing subsystems in large manufacturing systems, it was found that the pollution levels are significantly lower than in the case of traditional manufacturing processes. But this pollution still exists and must be controlled.

2. Fume emission in cladding by welding processes and its implications

Additive manufacturing is ultimately a welding loading process [5]. Deposition of polymer or metal in successive layers until target shapes are created is a shape generation process by welding loading. Why

de forme prin încărcare prin sudare. De ce sudare? Pentru că legătura dintre două straturi succesive este realizată prin sudare [5].

Așadar, o analiză a emisiilor de fum în procesele de fabricație aditivă ar trebui să fie făcută cu metodele utilizate în cazul proceselor de sudare, iar rezultatele obținute ar trebui analizate și ar putea chiar fi și comparate cu cele obținute în cadrul proceselor de sudare. Fumul emis în timpul derulării proceselor de îmbinare (fie prin sudare, fie prin lipire) este compus din amestecuri de gaze și particule solide [7]. Componenta și concentrația fumului emis depinde de tipul procedurii de îmbinare utilizat și de materialele de bază și de adaos implicate. Similar ar trebui să se întâmple și în cazul proceselor de îmbinare din cadrul fabricației aditive. De exemplu, pentru procedeul Fused Filament Fabrication (FFF)/Fabricare cu Filament Topit [8,9], la care se utilizează de obicei drept material de adaos un polimer de tipul acidului polilactic (PLA) sau de tipul acrilonitrilului butadien stiren (ABS), fumul va avea o altă structură și concentrație comparativ cu fumul emis la aplicarea procedurii Selective Laser Melting (SLM)/Topire Selectivă cu Laser în care un fascicul laser topește o pulbere metalică. Este evident faptul că în cazul proceselor de fabricație aditivă emisiile de fum ar trebui să fie mai scăzute decât în cazul procedurilor de sudare tradiționale, cu arc electric. Dacă pentru procesele de fabricație aditivă nu există încă dezvoltate reglementări, recomandări sau impuneri privind emisia de fum, pentru procesele tradiționale de sudare, astfel de reglementări există și sunt utilizate în timpul verificărilor sistemelor de sudare de către diverse autorități privind protecția mediului.

În tabelul 1 sunt prezentate componentele fumului emis la sudare și nivelurile specifice de pericolozitate, pentru unele procedee de sudare, conform Agenției Europene pentru Sănătate și Securitate în Muncă (EU-OSHA) [10], iar în tabelul 2 sunt prezentate valorile raportate de cercetători pentru intensitățile maxime ale emisiilor unor procedee de sudare [11]. Fumul emis în procesele de ardere tehnologică este compus din gaze și particule solide [11].

Principalele tipuri de gaze identificabile în fumul tehnologic sunt monoxizii și dioxizii de carbon, respectiv de azot. Pe lângă acestea, în funcție de materialul încălzit se pot identifica și alte gaze.

În ceea ce privește particulele, conform figurilor 1 și 2, acestea sunt preponderent sferoidale și au dimensiuni nano- și micrometrice [11-13].

welding? Because the connection between two successive layers is made by welding [5].

Therefore, an analysis of fume emissions in additive manufacturing processes should be done with the methods used in the case of welding processes, and the results obtained should be analysed and could even be compared with those obtained in welding processes.

The fume emitted during joining processes (whether by welding or soldering) is composed of mixtures of gases and solid particles [7]. The composition and concentration of the emitted fume depend on the type of joining process used and the basic and additive materials involved. The same should be true for additive manufacturing joining processes. For example, for the Fused Filament Fabrication (FFF) process [8,9], where a polylactic acid (PLA) or acrylonitrile butadiene styrene (ABS) type polymer is usually used as an additive material, the fume will have a different structure and concentration compared to the fume emitted when applying the Selective Laser Melting (SLM) process in which a laser beam melts a metal powder.

It is obvious that in the case of additive manufacturing processes, fume emissions should be lower than in the case of traditional arc welding processes. If for additive manufacturing processes there are no yet developed regulations, recommendations, or impositions regarding fume emission, for traditional welding processes such regulations exist and are used, during welding system checks, by various environmental protection authorities.

Table 1 shows the components of the fumes emitted during welding and the specific levels of danger, for some welding processes, according to the European Agency for Health and Safety at Work (EU-OSHA) [10], and Table 2 shows the values reported by researchers for the maximum emission intensities of some welding processes [11].

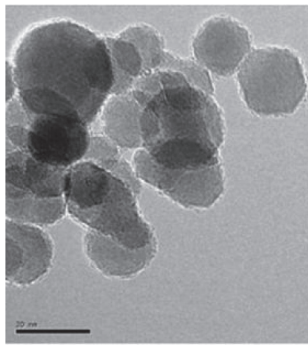
Fume emitted in technological processes is composed of gases and solid particles [11]. The main types of gases that can be identified in technological smoke are carbon monoxide and dioxide, respectively nitrogen. In addition to these, depending on the heated material, other gases can also be identified. Regarding the particles, according to Figures 1 and 2, they are predominantly spheroidal and have nano- and micrometric sizes [11-13].

Tabelul 1. Componentele fumului emis la sudare și niveluri de pericolozitate specifice [10]**Table 1. Components of welding fumes and specific hazard levels [10]**

Procedeu de sudare Welding technology	Viteza de emisie a particulelor Particle emission rate (mg/s)	Clasa de pericol a particulelor emise Hazard class of particle emission			Alte expuneri Other exposures
		Substanțe nocive pentru căile respiratorii Substances that place strain on the respiratory tract and lungs	Substanțe toxice și iritative Toxic or irritating substances	Substanțe cancerigene Carcinogenic substances	
Sudarea sub strat de flux Submerged arc	< 1	redus low	redus low	redus low	Ozon, dioxid de azot Ozone, nitrogen dioxide
Sudarea cu flăcără de gaze Gas welding	< 1	redus low	redus low	-	Dioxid de azot, monoxid de carbon Nitrogen dioxide, carbon monoxide
Sudare WIG TIG, tungsten inert gas welding	< 1	redus low	mediu medium	mediu medium	Ozon, dioxid de azot, monoxid de carbon Ozone, nitrogen dioxide, carbon monoxide
Sudare laser Laser welding without filler metal	1 to 2	mediu medium	high	high	Radiație X la tensiuni înalte X rays at high voltages
Sudare MIG/MAG pulsant, cu energie redusă MIG/MAG metal inert/active gas welding, pulsed, low-energy	1 to 4	redus low	mediu medium	mediu spre ridicat medium to high	Ozon Ozone
Sudare manual cu electrod învelit Manual metal arc welding (MMA)	2 to 8	ridicat high	ridicat high	ridicat high	Monoxid de azot Nitrogen dioxide
MIG (general)	2 to 8	ridicat high	ridicat high	ridicat high	Ozon la sudarea aliajelor de aluminiu Ozone in MIG-welding of aluminium materials
MAG cu sârmă plină sau cu sârmă tubulară în mediu de gaz protector MAG (solid wire), Flux-cored wire welding with shield gas (MAG)	6 to 25	ridicat high	ridicat high	ridicat high	Monoxid de carbon la sudarea MAG a oțelurilor nealiat, cu protecție de dioxid de carbon Carbon monoxide with MAG welding and CO ₂ shield gas of unalloyed steel
MAG cu sârmă tubulară cu autoprotecție MAG (flux-cored wire), flux-cored wire welding without shield gas	> 25	foarte ridicat very high	foarte ridicat very high	foarte ridicat very high	Monoxid de carbon la sudarea MAG a oțelurilor nealiat, cu protecție de dioxid de carbon Carbon monoxide with MAG welding with CO ₂ shield gas of unalloyed steel
Tăiere termică cu flăcără de gaze Autogenous flame cutting	> 25	foarte ridicat very high	foarte ridicat very high	foarte ridicat very high	Gaze nitrice Nitrous gases

Tabelul 2. Caracteristici ale gazelor emise la sudare [11]**Table 2. Characteristics of the gases produced during the welding process [11]**

Procedeu de sudare Welding process	Material de bază Base material	Fum emis Emitted fume	Gaze identificate în fum [mg/s] Gases identified in fume [mg/s]				
			CO	CO ₂	NO	NO ₂	O ₃
Sudarea manuală cu electrod învelit Manual metal arc welding	Oțel nealiat Unalloyed steel	27,50	0,80	57,00	0,88	0,09	-
	Oțel aliat Alloyed steel	20,70	-	-	-	-	-
Sudarea cu electrod fuzibil în mediu de gaz protector activ, 100% CO ₂ MAG welding with CO ₂ shield gas	Oțel nealiat Unalloyed steel	12,50	13,50	485,0	0,16	0,04	0,06
	Oțel aliat Alloyed steel	6,70	-	-	-	-	0,11
Sudarea sub strat de flux Submerged arc welding	Oțel nealiat Unalloyed steel	2,00	1,00	6,00	0,11	0,03	-
Sudarea cu electrod fuzibil în mediu de gaz protector inert MIG welding with inert shield gas	Oțel aliat Alloyed steel	22,50	-	-	-	-	0,18
Sudarea cu electrod nefuzibil în mediu de gaz protector inert TIG welding	Oțel aliat Alloyed steel	1,72	-	-	1,02	1,80	0,17
	Al și aliaje Al and its alloys	3,00	-	-	0,75	0,70	0,09



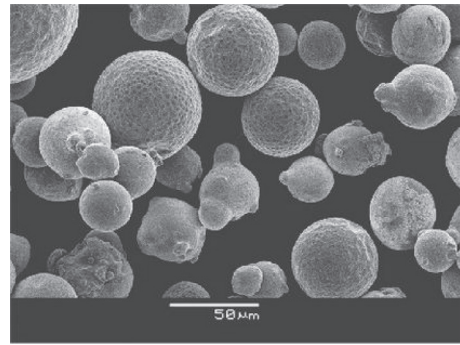
Sursă:

https://www.researchgate.net/publication/51819292_Control_of_Cr6_Emissions_from_Gas_Metal_Arc_Welding_Using_a_Silica_Precursor_as_a_Shielding_Gas_Additive/figures?lo=1

Figura 1. Particule solide emise la sudarea cu arc electric
Figure 1. Solid particles emitted during arc welding

Efectele gazelor și ale particulelor solide, inhalate în timpul sudării, asupra organismului uman sunt [11-13]:

- oxizii de azot (NO și NO_2) – după inhalare apar reacții iritante ale căilor respiratorii; în cazul unor concentrații ridicate există pericolul apariției după câteva ore a unui edem pulmonar
- ozonul (O_3) – se formează în aer la razele ultraviolete ale arcului electric; are miros înțepător, puternic iritant al mucoasei nazale; poate produce edem pulmonar
- oxidul de carbon (CO) – se formează la sudarea în mediu de gaz protector și la sudarea cu flacără; CO împiedică transportul de oxigen din sânge; provoacă oboseală, dureri de cap, greață, poate produce pierderea cunoștinței sau chiar moartea
- dioxidul de carbon (CO_2) – se formează la sudarea în mediu de gaz protector; gazul este ușor toxic și produce iritații ale căilor respiratorii
- praf fin – fumul dăunător plămânilor (particule cu diametrul mai mic decât $1\ \mu\text{m}$) și praful se formează în special în timpul topirii metalului de adaos
- fier, oxizi de fier – au acțiune iritantă asupra mucoaselor căilor respiratorii și stomacului
- cromul, cromatii – prin expunere cronică pe cale respiratorie, la pulbere sau cețuri cu conținut de Cr hexavalent duce la ulcer de sept nazal, perforația sa, rinită cronică, faringită cronică, bronșită cronică, crize astmatice, carcinom bronșic, iar cutanat duce la apariția unor dermatoze de contact alergice sau la ulcer tegumentar. Acțiunea imediată (intoxicația acută) duce la manifestări grave pulmonare și renale, arsuri cutanate.
- nichelul determină o patologie cutanată tip dermatoză de contact ortoergică și/sau alergică, manifestări pulmonare, chiar cancer.



Sursă:

https://www.researchgate.net/publication/305278209_Metal_Powder_Additive_Manufacturing/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic

Figura 2. Particule solide emise în timpul procesului SLM
Figure 2. Solid particles emitted during SLM process

The effects of gases and solid particles, inhaled during welding, on the human body are [11-13]

- nitrogen oxides (NO and NO_2) – after inhalation, irritating reactions of the respiratory tract occur; in the case of high concentrations, there is a danger of pulmonary edema appearing after hours
- ozone (O_3) – is formed in the air by the ultraviolet rays of the electric arc; has a pungent smell, strongly irritating the nasal mucosa; can cause pulmonary edema
- carbon monoxide (CO) – is formed when welding in a protective gas environment and when welding with a flame; CO prevents the transport of oxygen in the blood; causes fatigue, headaches, nausea, can cause loss of consciousness or death
- carbon dioxide (CO_2) – is formed when welding in a protective gas environment; the gas is slightly toxic and causes irritation of the respiratory tract
- fine dust – lung-damaging fumes (particles smaller than $1\ \mu\text{m}$ in diameter) and dust are formed especially during filler metal melting
- iron, iron oxides – have an irritating action on the mucous membranes of the respiratory tract and stomach
- chromium, chromates – through chronic respiratory exposure, to dust or mists containing hexavalent Cr leads to nasal septum ulcer, its perforation, chronic rhinitis, chronic pharyngitis, chronic bronchitis, asthma attacks, bronchial carcinoma, and skin leads to the appearance allergic contact dermatoses or skin ulcers. Immediate action (acute intoxication) leads to serious pulmonary and renal manifestations, skin burns.
- nickel causes a skin pathology such as orthoergic or allergic contact dermatosis, pulmonary manifestations, even cancer.
- cadmium can cause chemical pneumonia, a form

- cadmiul poate determina pneumonie chimică, formă de intoxicație acută cu risc vital major, iar ca forme cronice de afectare a sănătății: nefropatie cronică, emfizem pulmonar, sindrom asteno-vegetativ, tulburări digestive, manifestări osoase, hipertensiune arterială, cancer pulmonar și de prostată.
- manganul introduce un sistem clinic specific constând dintr-o intoxicație cronică cu afecțiuni asupra sistemului nervos central și insuficiențe respiratorii însoțite de dureri.
- beriliul impune o patologie respiratorie cu posibilitatea evoluării în granulomatoză pulmonară difuză.
- aluminiul – produce iritații ale sistemului respirator
- zincul – apare la sudarea și tăierea tablelor zincate sau a pieselor alămite.
- fosgenul – este un gaz otrăvitor format în urma descompunerii unor dizolvanți de grăsimi ce conțin clor, sub acțiunea radiației ultraviolete.

3. Emisia de fum în procesele de imprimare 3D

Imprimantele 3D de calitate pentru consumatori au crescut în popularitate în ultimii ani, dar particulele emise de la astfel de dispozitive pot avea un impact negativ asupra calității aerului din interior și au potențialul de a dăuna sănătății respiratorii, potrivit unui studiu realizat de cercetătorii de la Institutul de Tehnologie din Georgia. Pentru studiu, care a fost publicat pe 12 septembrie în revista *Environmental Science & Technology* [14] și sponsorizat de Underwriters Laboratories, Inc. (UL), cercetătorii au colectat particule emise de la imprimantele 3D și au efectuat mai multe teste pentru a măsura impactul lor asupra culturilor de celule respiratorii. Toate testele efectuate, care au fost făcute în doze mari, au arătat că există un răspuns toxic pentru particulele din diferite tipuri de filamente utilizate de aceste imprimante 3D. Studiul a făcut parte dintr-un proiect de cercetare pe mai mulți ani, care vizează caracterizarea emisiilor de particule de către imprimante într-un mediu controlat și identificarea măsurilor care ar putea fi luate atât de producătorii de imprimante 3D, cât și de utilizatori pentru a reduce potențialul de daune. În timp ce studiile anterioare s-au concentrat pe cuantificarea particulelor emise, de această dată cercetătorii au analizat mai îndeaproape compoziția chimică a particulelor și potențialul lor de toxicitate. Imprimantele 3D funcționează de obicei prin topirea filamentelor din plastic și apoi depunerea stratului de topire pe

of acute poisoning with major life risk, and as chronic forms of health damage: nephropathy, pulmonary emphysema, astheno-vegetative syndrome, digestive disorders, bone manifestations, arterial hypertension, lung and prostate cancer.

- manganese introduces a specific clinical system consisting of chronic intoxication with central nervous system disorders and respiratory insufficiency with pain.
- beryllium imposes a respiratory pathology with the possibility of evolution into diffuse pulmonary granulomatosis.
- aluminium – produces irritations of the respiratory system
- zinc- occurs when welding and cutting galvanized sheets or brass parts.
- phosgene- is a poisonous gas formed as a result of the decomposition of some chlorine-containing fat solvents, under UV.

3. Fume emission in 3D printing processes

Consumer-grade 3D printers have grown in popularity in recent years, but particulates emitted from such devices can negatively impact indoor air quality and have the potential to harm respiratory health, according to a study by researchers at the Institute of Technology from Georgia. For the study, which was published Sept. 12 in the journal *Environmental Science & Technology* [14] and sponsored by Underwriters Laboratories, Inc. (UL), researchers collected particles emitted from 3D printers and performed several tests to measure their impact on respiratory cell cultures. All the tests carried out, which were done in high doses, showed that there is a toxic response to the particles in the different types of filaments used by these 3D printers. The study was part of a multi-year research project aimed at characterizing particle emissions from printers in a controlled environment and identifying measures that could be taken by both 3D printer manufacturers and users to reduce the potential for damage. While previous studies focused on quantifying the particles emitted, this time the researchers looked more closely at the chemical composition of the particles and their potential for toxicity. 3D printers typically work by melting plastic filaments and then depositing the melt layer upon layer to form an object. Heating the plastic to melt it releases volatile compounds, some of which are ultrafine particles that are emitted into

strat pentru a forma un obiect. Încălzirea plasticului pentru a se topi eliberează compuși volatili, dintre care o parte din particule ultrafine care sunt emise în aer în apropierea imprimantei și a obiectului. În cercetările anterioare, echipa a constatat că, în general, cu cât temperatura este mai caldă pentru topirea filamentului, cu atât au fost produse mai multe emisii. Ca urmare, filamentele din plastic acrilonitril butadien stiren (ABS), care necesită o temperatură mai mare pentru a se topi, au produs mai multe emisii decât filamentele din acid polilactic (PLA), care se topește la o temperatură mai scăzută. Pentru a testa impactul emisiilor asupra celulelor vii, cercetătorii s-au asociat cu Institutul de Știință Weizmann din Israel, care a expus celulele respiratorii umane și celulele sistemului imunitar de șobolan la concentrații ale particulelor de la imprimante. Ei au descoperit că atât particulele ABS și PLA au avut un impact negativ asupra viabilității celulelor, acestea din urmă determinând un răspuns mai toxic. Dar aceste teste nu reflectau expunerile reale din timpul fabricației, ci niște expuneri la nivel de laborator. Cercetătorii au efectuat, de asemenea, o analiză chimică a particulelor pentru a obține mai multe informații asupra toxicității lor și a permite comparațiile cu toxicitatea particulelor care se găsesc în mediile urbane în aer liber. Testele de toxicitate au arătat că particulele de PLA au fost mai toxice decât particulele ABS la o comparație pe particule, dar pentru că imprimantele au emis mult mai mult din ABS - emisiile ABS sunt cele care sunt mai preocupare. Luate împreună, aceste teste indică faptul că expunerea la aceste particule de filament ar putea fi în timp la fel de toxică precum aerul dintr-un mediu urban poluat cu emisii vehiculare sau de altă natură. O altă constatare a studiului a fost că particulele ABS emise de la imprimantele 3D aveau caracteristici chimice diferite decât filamentul ABS. Atunci când producătorii de filamente produc un anumit tip de filament, ele pot adăuga procente de masă mici ale altor compuși pentru a atinge anumite caracteristici, dar în mare parte nu dezvăluie care sunt acei aditivi. Deoarece acești aditivi par să afecteze cantitatea de emisii pentru ABS și poate exista o mare variabilitate în tipul și cantitatea de aditivi adăugați la ABS, un consumator poate cumpăra un anumit filament ABS și ar putea produce mult mai multe emisii decât unul produs de către un alt producător. Rezultatele cercetării sunt confirmate și de Liu [15], Stephens [16], Zontek [17], Davis [18] și He [19].

the air near the printer and object. In previous research, the team found that, in general, the hotter the temperature for melting the filament, the more emissions were produced.

As a result, acrylonitrile butadiene styrene (ABS) plastic filaments, which require a higher temperature to melt, produced more emissions than polylactic acid (PLA) filaments, which melt at a lower temperature. To test the impact of the emissions on living cells, the researchers partnered with the Weizmann Institute of Science in Israel, which exposed human respiratory cells and rat immune system cells to concentrations of particles from the printers. They found that both ABS and PLA particles had a negative impact on cell viability, with the latter causing a more toxic response. But these tests did not reflect actual exposures during manufacturing, but rather laboratory-level exposures.

The researchers also performed a chemical analysis of the particles to gain more information on their toxicity and allow comparisons with the toxicity of particles found in outdoor urban environments.

Toxicity tests showed that PLA particles were more toxic than ABS particles in a particle-by-particle comparison, but because the printers emitted much more of the ABS - it's the ABS emissions that are of more concern. Taken together, these tests indicate that exposure to these filament particles could be as toxic over time as air in an urban environment polluted with vehicular or other emissions.

Another finding of the study was that ABS particles emitted from 3D printers had different chemical characteristics than ABS filaments. When filament manufacturers produce a certain type of filament, they may add small mass percentages of other compounds to achieve certain characteristics, but they mostly do not disclose what those additives are.

Because these additives appear to affect the amount of emissions for ABS, and there can be a great deal of variability in the type and amount of additives added to ABS, a consumer may purchase a particular ABS filament and it could produce significantly more emissions than one produces by another producer.

The research results are also confirmed by Liu [15], Stephens [16], Zontek [17], Davis [18] and Huh [19].

4. Emisii de zgomot în procesele de fabricație aditivă prin procedeul FFF

Discuția privind impactul zgomotului produs de către o imprimantă 3D asupra utilizatorilor este generată de starea reală de hipoacuzie și stres profesional identificate la personalul lucrând în condiții de zgomot [20, 21]. Pentru o cuprindere cantitativă a fenomenului este de ajuns vizualizarea și înțelegerea rezultatelor sondajului european prin telefon privind condițiile de muncă 2021 (EWCTS 2021): 17% dintre lucrătorii din UE raportează că sunt adesea sau întotdeauna expuși la zgomot puternic la locul de muncă [21]. Deși, principalele efecte dovedite ale poluării prin zgomot sunt afecțiunile de tipul stresului, pierderii auzului sau creșterea presiunii arteriale [20], totuși, aspectele sociale și economice ale vieții de zi cu zi mențin populația la un nivel atât de ridicat al intensității sonore, încât o valoare de 80 dB la nivelul străzilor, magazinelor sau birourilor ajunge să fie considerată drept normală.

Analizând efectele poluării fonice asupra sănătății, pe termen lung, s-a considerat că există și posibilitatea unei afectări pe termen scurt pe care, deși este posibil ca subiectul existent într-o zonă poluată fonic să nu o conștientizeze, această afectare să aibă efecte în comportamentul său involuntar. Este evidentă și demonstrată prin experimentări existența unei creșteri a nivelului de stres sau a unei reduceri a gradului de atenție, momentane, ca urmare a expunerii la poluare fonică.

Odată cu popularitatea în creștere [22], imprimantele 3D au deschis o lume cu totul nouă de posibilități pentru oamenii creativi, dar, asemenea oricăror dispozitive electromecanice, au creat și un mediu zgomotos [17]. În consecință, și sistemele de fabricație conținând echipamente de imprimare 3D sunt, la rândul lor emițătoare de zgomot, tipul echipamentului și producătorul fiind, de obicei, principalele criterii de clasificare din acest punct de vedere.

O analiză a componentelor imprimantelor 3D producătoare efectiv de zgomot este necesară, înainte de a se încerca identificarea de soluții pentru diminuarea acestei poluări. Cea mai comună sursă de zgomot este motorul pas cu pas, urmat de zgomotul provenit de la ventilator. În afară de aceasta, sunetele care apar în timpul mișcării axei X, Y sau Z sunt, de asemenea, puternice. O altă sursă de zgomot nedorit sunt vibrațiile care provin din carcasa imprimantei.

Din observațiile proprii, zgomotul produs de imprimantele 3D FFF crește o dată cu viteza de imprimare. De obicei, la o viteză de 50-60 mm/s sunetul unei impri-

4. Noise emissions in the FFF process of additive manufacturing

The discussion on the impact of noise produced by a 3D printer on users is generated by the real state of hearing loss and occupational stress identified in personnel working in noisy conditions [20, 21]. For a quantitative understanding of the phenomenon, it is enough to view and understand the results of the European telephone survey on working conditions 2021 (EWCTS 2021): 17% of EU workers report that they are often or always exposed to loud noise at work [21].

Although, the main proven effects of noise pollution are conditions such as stress, hearing loss or increased blood pressure [20], however, the social and economic aspects of everyday life keep the population at such a high level of sound intensity that a value of 80 dB at the level of streets, shops or offices comes to be considered as normal.

Analysing the effects of noise pollution on health, in the long term, it was considered that there is also the possibility of a short-term effect which, although it is possible that the subject existing in a noise-polluted area may not be aware of it, this effect has effects in his behaviour involuntary. The existence of an increase in the level of stress or a reduction in the level of attention, momentary, as a result of exposure to noise pollution is obvious and demonstrated through experimentation.

With the growing popularity [22], 3D printers opened up a whole new world of possibilities for creative people, but like any electromechanical device, they also created a noisy environment [17]. Consequently, manufacturing systems containing 3D printing equipment are also noise emitters, with equipment type and manufacturer usually being the main classification criteria from this point of view.

An analysis of the components of 3D printers actually producing noise is necessary, before trying to identify solutions to reduce this pollution. The most common source of noise is the stepper motor, followed by fan noise.

Apart from this, the sounds that occur during X, Y or Z axis movement are also loud. Another source of unwanted noise is vibrations coming from the printer housing.

From my observations, the noise produced by FFF 3D printers increases with the printing speed. Typically, at a speed of 50-60 mm/s the sound of a printer (measured at 1 meter inside a laboratory) is

mante (măsurat la 1 metru în interiorul unui laborator), este de ordinul 5-30 dB peste zgomotul ambiental. Domeniul mare de 5-30 dB este dat de numărul mare de imprimante existente pe piață. Așadar, dacă zgomotul ambiental este de aproximativ 40-50 dB, cu imprimanta funcționând, zgomotul se poate apropia de 90 dB.

5. Experimentări de măsurare a zgomotului și gazelor emise de o imprimantă 3D FFF

5.1 Metodă, echipamente și materiale

Problema pe care o punem este următoarea: la procedeele de prelucrare tradiționale temperatura materialului care se prelucrează nu este la fel de ridicată, ea variind de la temperatura ambiantă (cum este la deformarea plastică la rece) și până la o temperatură din prima treime a domeniului stării fluid-vâscoase (așa cum este la extrudare). În concluzie, fumul emis în cazul FFF ar trebui să fie în volum mai mare decât cel emis în cazul procedeele tradiționale derulate la temperatura ambiantă și comparabil cu cel emis în cazul procedeele tradiționale derulate la temperaturi mai mari decât temperatura de curgere a polimerului din care este confecționat filamentul. O astfel de informație este utilă pentru a decide dacă noua tehnologie, imprimarea 3D, este sau nu mai prietenoasă cu mediul decât tehnologiile tradiționale. Astfel, în cadrul lucrării au fost efectuate determinări ale unor emisii poluante detectabile în timpul imprimării 3D: zgomot și fum.

Produsul propus a fi realizat prin imprimare 3D și apoi analizat a fost un simplu SUPORT având patru picioare (figurile 3, 4 și 5).

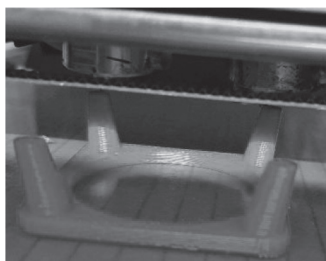


Figura 3. Proba în timpul imprimării
Figure 3. Sample during printing

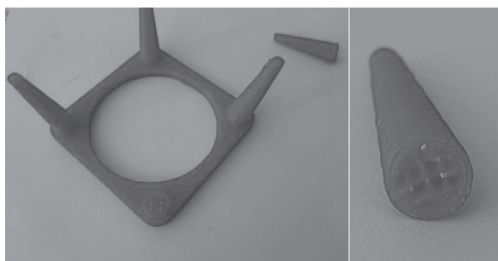


Figura 4. Proba imprimată, cu o componentă detașată
Figure 4. Printed sample, with a detached leg



Figura 5. Proba imprimată
Figure 5. Printed sample

Pentru experimentările de imprimare 3D s-a utilizat o imprimantă 3D tip da Vinci Duo.

Pentru depunere s-a utilizat un filament comercial din PLA cu diametrul de 1,75 mm.

Parametrii de proces utilizați au fost:

- Temperatura de imprimare: 220 °C (valoare recomandată de echipament pentru materialul PLA),

of the order of 5-30 dB above ambient noise. The wide range of 5-30 dB is given by the large number of printers on the market. So, if ambient noise is around 40-50 dB, with the printer running the noise can approach 90 dB.

5. Experiments measuring the noise and gases emitted by a 3D FFF printer

5.1 Method, equipment and materials

The problem we pose is the following: in traditional processing processes, the temperature of the material being processed is not as high, varying from ambient temperature (as in cold plastic deformation) to a temperature in the first third of the range fluid-viscous state (as in extrusion). In conclusion, the fume emitted in the case of FFF should be greater in volume than that emitted in the case of traditional processes carried out at an ambient temperature and comparable to that emitted in the case of traditional processes carried out at temperatures higher than the flow temperature of the polymer from which it is made the filament. Such information is useful in deciding whether or not the new technology, 3D printing, is more environmentally friendly than traditional technologies. Thus, as part of the work, determinations were made of pollutant emissions detectable during 3D printing: noise and fume.

The product proposed to be 3D printed and then analysed was a simple SUPPORT having four legs (figures 3, 4, and 5).

A da Vinci Duo 3D printer was used for the 3D printing experiments.

A commercial PLA filament with a diameter of 1.75 mm was used for deposition.

The process parameters used were:

- Printing temperature: 220 °C (equipment recommended value for PLA material), to which 230 °C,

la care s-au adăugat variantele 230 °C, 240 °C, 250 °C pentru evidențierea diverselor influențe ale temperaturii de extrudare asupra emisiilor de poluanți;

- Temperatura mesei pe care s-a construit prin depunere piesa: 70 °C.

Rezoluțiile sau densitățile de imprimare alese au fost: 10, 20, 30, 40%, fiecare dintre acestea influențând valoarea duratei procesului de imprimare.

În timpul imprimării 3D a piesei s-au făcut înregistrări ale sunetelor emise de echipamente. Pentru aceasta s-a utilizat un sonometru marca SLM 25, poziționat la nivelul capacului incintei de imprimare. Frecvența măsurărilor a fost de una la două min, fiind efectuate după cum urmează:

- 13 măsurători pentru rezoluția de 10% (timp de imprimare: 27 min),
- 17 măsurători pentru rezoluția de 20% (timp de imprimare: 34 min),
- 19 măsurători pentru rezoluția de 30% (timp de imprimare: 39 min),
- 20 măsurători pentru rezoluția de 40% (timp de imprimare: 42 min).

Tot în timpul fabricației prin cele două tehnologii s-au făcut și determinări ale intensităților de emisie de fum. Pentru aceasta s-a utilizat un analizor de gaze marca Multilyzer NG a cărui sondă a fost poziționată la o distanță de aproximativ 50-70 mm față de piesă. S-a efectuat o singură măsurătoare timp de 20 s.

5.2 Rezultate și discuții

Măsurătorile efectuate au vizat, pe de-o parte, presiunea acustică produsă de componentele imprimantei 3D, iar pe de altă parte intensitatea emisiei de fum în timpul procesului de imprimare. În plus, au fost determinate cantitativ unele componente ale fumului emis în timpul imprimării.

În figurile 6 a, b, c, d sunt prezentate valorile înregistrate pentru presiunea acustică în regimul de imprimare cu viteză medie (50 mm/s) și cu rezoluțiile de: 10% (figura 6.a), 20% (figura 6.b), 30% (figura 6.c) și 40% (figura 6.d).

Se observă că indiferent de rezoluția de umplere, funcționarea componentelor este aproape constantă și implicit presiunea acustică produsă este oarecum constantă. Valoarea medie a acestei presiuni este situată în jurul valorii de 44 dB, o valoare considerată acceptabilă, comparativ cu alte scule aflate în operare. Fumul emis în procesul de imprimare are un debit specific, depinzând de tipul procedurii și de parametrii de imprimare. Acest debit poate fi acceptat sub forma intensității de emisie a fumului, aceasta

240 °C, and 250 °C variants have been added to highlight the various influences of extrusion temperature on pollutant emissions;

- Temperature of the table on which the part was built by deposition: 70 °C.

The resolutions or print densities chosen were: 10, 20, 30, and 40%, each of which influences the value of the duration of the printing process.

During the 3D printing of the part, recordings were made of the sounds emitted by the equipment. For this, an SLM 25 sound level meter was used, positioned at the level of the cover of the printing room. The frequency of the measurements was from one to two minutes, being performed as follows:

- 13 measurements for 10% resolution (print time: 27 min),
- 17 measurements for 20% resolution (print time: 34 min),
- 19 measurements for 30% resolution (print time: 39 min),
- 20 measurements for 40% resolution (print time: 42 min).

Also during the manufacturing, determinations of fume emission intensities were also made using the two technologies. For this, a Multilyzer NG brand gas analyser was used, the probe of which was positioned at 50-70 mm from the part.

A single measurement was performed for 20 s.

5.2 Results and Discussion

The measurements performed concerned, on the one hand, the acoustic pressure produced by the components of the 3D printer, and on the other hand, the intensity of the fume emission during the printing process. In addition, some components of the fume emitted during printing were quantified.

Figures 6 a, b, c, d show the values recorded for the acoustic pressure in the printing mode with medium speed (50 mm/s) and with resolutions of 10% (figure 6.a), 20% (figure 6.b), 30% (figure 6.c) and 40% (figure 6.d).

It is observed that regardless of the filling resolution, the operation of the components is almost constant and implicitly the acoustic pressure produced is somewhat constant. The average value of this pressure is around 44 dB, a value considered acceptable, compared to other tools in operation.

The fume emitted in the printing process has a specific flow rate, depending on the type of process and the printing parameters. This flow can be accepted in the form of fume emission intensity, which is meas-

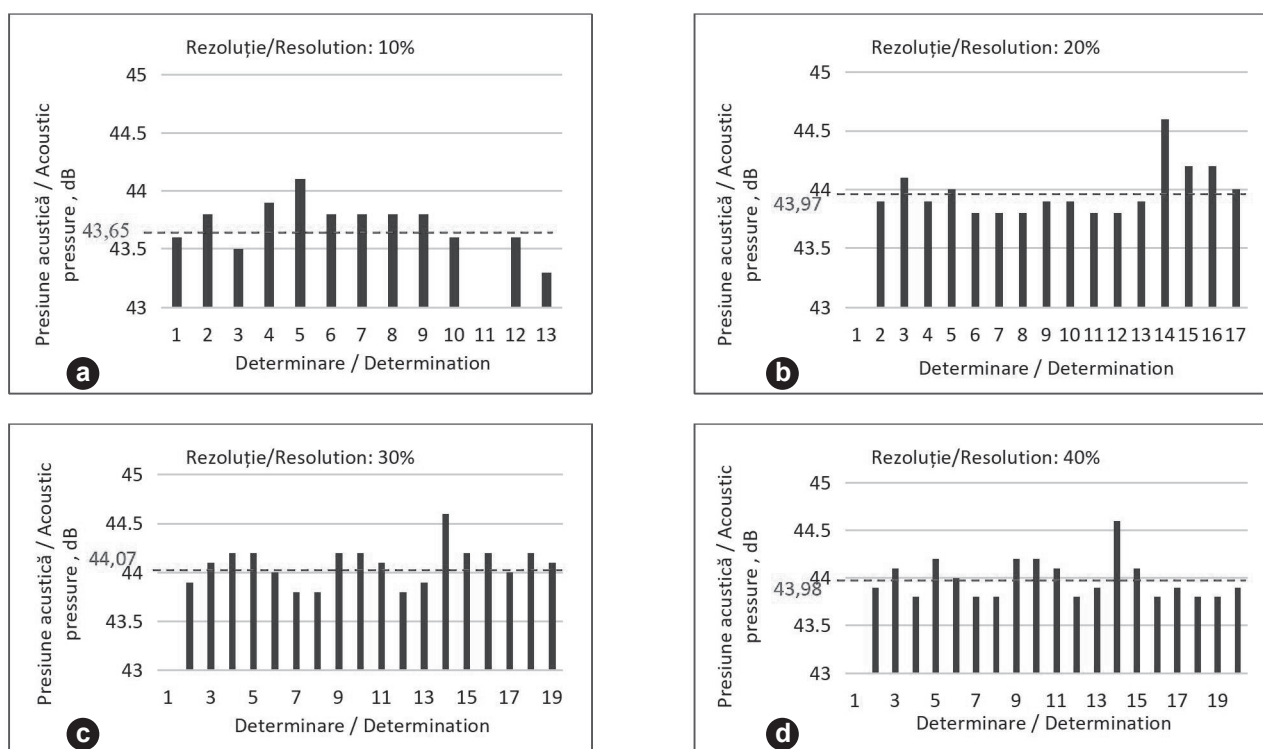


Figura 6. Valorile măsurate pentru presiunea acustică
Figure 6. Measured values for the acoustic pressure

fiind măsurabilă în miligrame/secundă. Măsurătorile efectuate au evidențiat o influență redusă a temperaturii de proces. Evident, și faptul că domeniul de existență al acestor parametri este unul restrâns (temperaturile de curgere ale polimerilor utilizați pentru confecționarea de filamente sunt cuprinse între 150-220 °C, iar temperaturile de degradare termică sunt situate în domeniul 300-400 °C) face ca domeniul efectiv al valorilor temperaturilor de imprimare să fie 180-280 °C. Din acest motiv, temperaturile de proces utilizate în experimentări au fost cuprinse în domeniul 220-250 °C, adică aproximativ 30% din întreg domeniul. Conform graficului din figura 7, valorile intensității de emisie a fumului au fost situate în intervalul 0,12-0,14 mg/s, ceea ce relevă o constanță ridicată a acestui indicator, cel puțin pentru valorile temperaturii de imprimare utilizate.

urable in milligrams/second. The measurements carried out to determine this indicator revealed a reduced influence of the process temperature. The fact that the range of existence of these parameters is narrow (the flow temperatures of the polymers used for making filaments are between 150-220 °C, and the thermal degradation temperatures are located in the range of 300-400 °C) makes the effective range of printing temperature values 180-280 °C. For this reason, the process temperatures used in the experiments were included in the range of 220-250 °C, i.e. approximately 30% of the entire range. According to the graph in Figure 7, the fume emission intensity values were located in the range of 0.12-0.14 mg/s, which reveals a high constancy of this indicator, at least for the printing temperature values used.

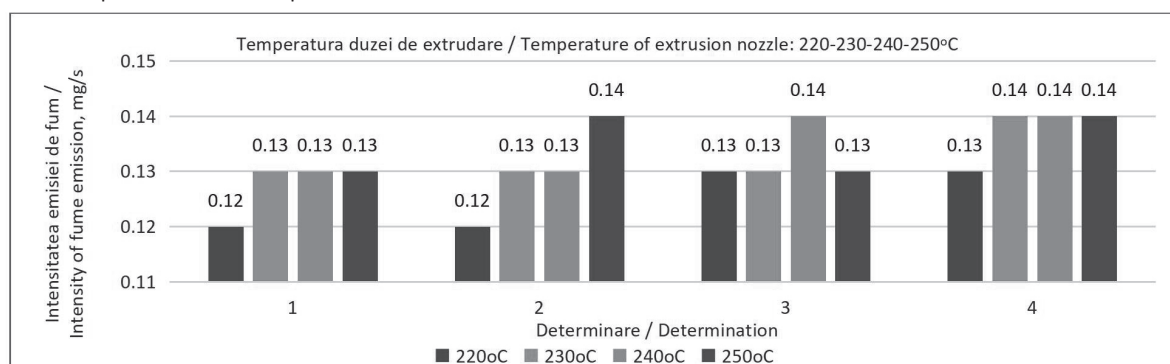


Figura 7. Valorile măsurate pentru intensitatea emisiei de fum
Figure 7. Measured values for the intensity of fume emission

Gazele conținute de fumul emis, identificate cu analizorul de gaze sunt dioxidul de carbon și monoxidul de carbon. Analizorul de gaze nu a permis identificarea compușilor chimici gazoși, cum este de exemplu acetaldehida. Pentru evidențierea și cuantificarea acestora este nevoie de o analiză de spectrometrie de absorbție în infraroșu sau de spectrometrie de masă cu plasmă cuplată inductiv.

Valorile concentrațiilor de dioxid de carbon și monoxid de carbon măsurate sunt prezentate în figurile 8 a și b. Se pot constata creșteri ale emisiilor de dioxid de carbon de aproximativ 20% o dată cu creșterea temperaturii de imprimare.

În ceea ce privește variația cantității de monoxid de carbon, aceasta a fost tot în sensul creșterii, iar valorile acestei creșteri s-au situat în jurul a 15%.

Ca valori absolute, concentrațiile de monoxid de carbon emis au fost mai mari decât cele de dioxid de carbon, menținându-se însă la niveluri fără potențial de pericol pentru utilizatori (în majoritatea țărilor UE limita de la care dioxidul de carbon devine periculos pentru sănătate este 5000 ppm [23]).

The gases contained in the emitted fume, identified with the gas analyser, are carbon dioxide and carbon monoxide. The gas analyser did not allow the identification of gaseous chemical compounds such as acetaldehyde. Its detection and quantification require infrared absorption spectrometry or inductively coupled plasma mass spectrometry analysis.

The values of the measured carbon dioxide and carbon monoxide concentrations are shown in Figures 8 a and b. Increases in carbon dioxide emissions of approximately 20% can be seen as the printing temperature increases.

As for the variation in the amount of carbon monoxide, it was also in the direction of increase, and the values of this increase were around 15%.

As absolute values, the concentrations of carbon monoxide emitted were higher than those of carbon dioxide but remained at levels without potential danger for users (in most EU countries the limit at which carbon dioxide becomes dangerous to health is 5000 ppm [23]).

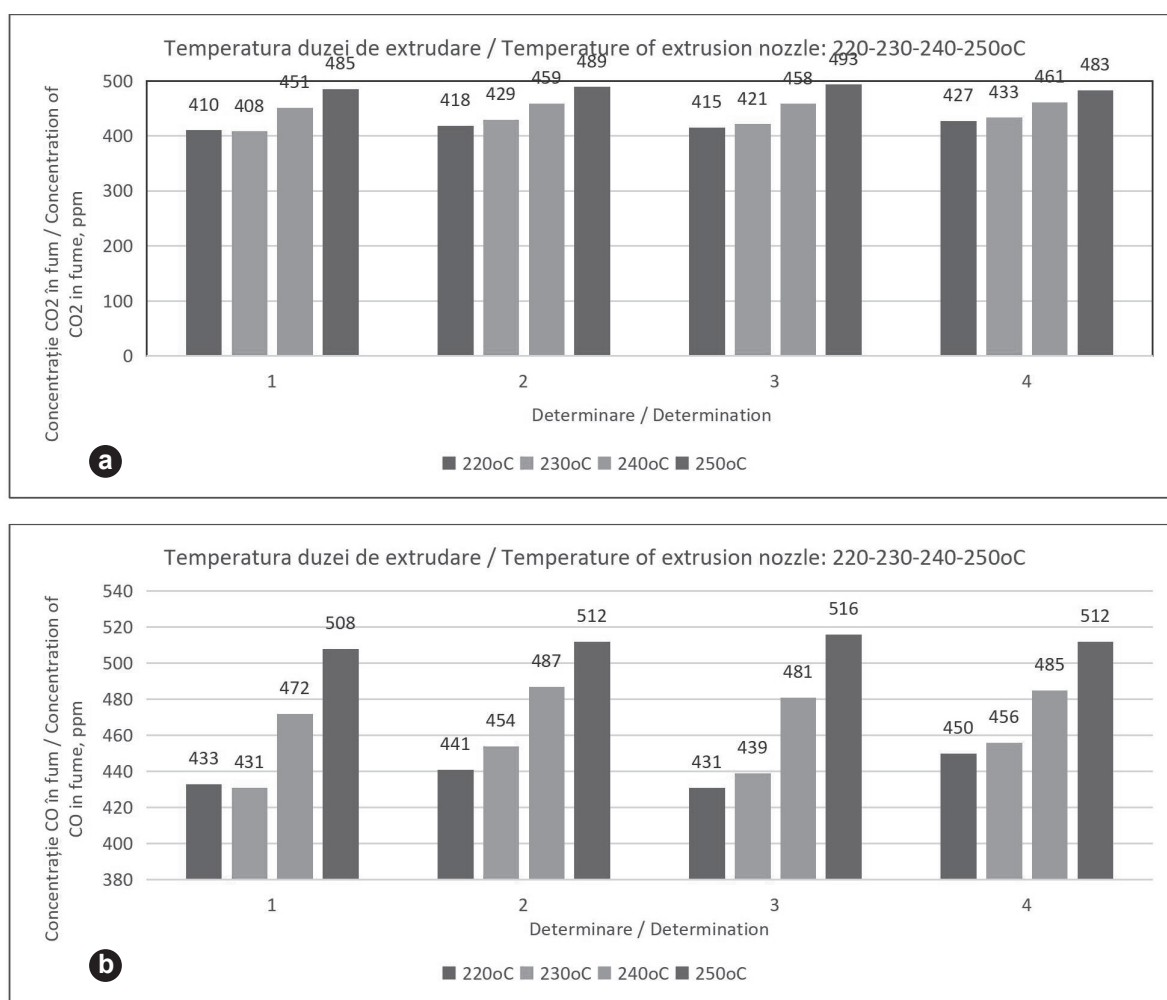


Figura 8. Concentrația de CO₂ și CO în fumul emis la imprimarea 3D cu filament de PLA
Figure 8. Concentrations of CO₂ and CO issued during 3D printing process using PLA filament

5. Concluzii

Procesele de imprimare 3D produc agenți poluanți, asemenea oricăror procese de prelucrare.

Unul dintre agenții poluanți este zgomotul produs de diverse elemente componente ale imprimantei aflate în mișcare. Zgomotul produs creează o presiune acustică medie mai mică de 44 dB, existând însă și unele vârfuri care au atins valoarea de 44,6 dB. Aceste valori nu sunt periculoase pentru utilizatori, aceștia putând lucra și opt ore într-un mediu cu un astfel de zgomot.

La imprimarea 3D fumul este emis cu o intensitate aproximativ 0,13 mg/s, ceea ce este mult mai puțin decât în cazul fumului emis în procesele de sudare cu arc electric.

Monoxidul de carbon și dioxidul de carbon se regăsesc în fumul emis la imprimare 3D, iar concentrațiile acestora, cuprinse între 410-520 ppm sunt sensibile mai mici decât concentrațiile limită considerate a pune sănătatea utilizatorului în pericol.

Confirmare

Acest articol a fost elaborat în cadrul proiectului de Parteneriat Strategic Acțiune Cheie 2, număr: 2023-1-RO01-KA220-HED-000158031-ANGIE, finanțat de către Comisia Europeană prin programul ERASMUS+.

Bibliografie/References

- [1] Council of European Union, Industrial emissions, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/industrial-emissions/>
- [2] Vadivel Karthika, Udayakumar Sekaran, Gulsar Banu Jainullabudeen, Arunkumar Nagarathinam, Chapter 9- Advances in bioremediation of industrial wastewater containing metal pollutants, *Advances in Pollution Research, Biological Approaches to Controlling Pollutants*, Woodhead Publishing, 2022, Pages 163-177, ISBN 9780128243169, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824316-9.00001-X>
- [3] Radu Pretorian, Tehnologia de printare 3D, salvatoare pentru pacienții cu coronavirus din Italia, <https://promediq.ro/sfaturi-medice-cardiologie/tehnologia-de-printare-3d-salvatoare-pentru-pacientii-cu-coronavirus-din-italia/>
- [4] Mihaela Horchidan, Metalul a fost imprimat 3D, în premieră, pe Stația Spațială Internațională, <https://www.descopera.ro/dnews/20629318-metalul-a-fost-imprimat-3d-in-premiera-pe-statia-spatiala-internationala>
- [5] *** Ce este fabricația aditivă, <https://www.twi-global.com/locations/romania/ce-facem/intrebari-frecvente-faq/ce-este-fabricatia-aditiva-additive-manufacturing>
- [6] *** Health and Safety Executive, Welding fume: protect your workers, <https://www.hse.gov.uk/welding/protect-your-workers/index.htm>
- [7] Ibrahim Lawal Abdullahi, Ali Sani Welding fumes composition and their effects on blood heavy metals in albino rats, *Toxicol Rep.* 2020 Nov 4;7:1495–1501. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.10.021
- [8] Heike Romanowski, Frank S. Bierkandt, Andreas Luch, Peter Laux, Summary and derived Risk Assessment of 3D printing emission studies, *Atmospheric Environment*, Volume 294, 2023, 119501, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119501>
- [9] Floyd, Evan & Wang, Jun & Regens, James. (2017). Fume Emissions from a Low-Cost 3-D Printer with Various Filaments. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 14. 10.1080/15459624.2017.1302587
- [10] *** EU-OSHA, Dust and aerosols- welding fumes, <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/dust-and-aerosols-welding-fumes>, vizualizat la 07.10.2024
- [11] Health and Safety Executive, Welding Fume Reference Material, <https://solutions.hse.gov.uk/publications-and-products/welding-fume-reference-material>
- [12] Health and Safety Executive, Health risks from welding, <https://www.hse.gov.uk/welding/health-risks-welding.htm>
- [13] Chemscape, Occupational Health Hazards of Welding Fumes, <https://www.chemscape.com/resources/chemical-management/health-hazards/welding-fumes>

5. Conclusions

3D printing processes produce pollutants, just like any manufacturing process.

One of the polluting agents is the noise produced by various printer components in motion.

The noise produced creates an average sound pressure of less than 44 dB, but there are also some peaks that have reached the value of 44.6 dB. These values are not dangerous for users, who can work for eight hours in an environment with such noise.

In 3D printing, fume is emitted at an intensity of about 0.13 mg/s, which is much less than the fume emitted in electric arc welding processes.

Carbon monoxide and carbon dioxide are found in the fume emitted during 3D printing, and their concentrations, between 410-520 ppm, are significantly lower than the limit concentrations considered to endanger the health of the user.

Acknowledgement

This article was developed within the Key Action Strategic Partnership 2 project, number 2023-1-RO01-KA220-HED-000158031-ANGIE, which was financed by the European Commission through the ERASMUS+ program.

- [14] Zhang, Q., Chemical Composition and Toxicity of Particles Emitted from a Consumer-Level 3D Printer Using Various Materials. Environmental Science & Technology, 2019; DOI: 10.1021/acs.est.9b04168
- [15] Liu, Zhi-Chao, Sustainability of 3D Printing: A Critical Review and Recommendations. 10.1115/MSEC2016-8618. Conference: ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference, Volume: Materials; Biomanufacturing; Properties, Applications and Systems; Sustainable Manufacturing, accesat la data 20.02.2020
- [16] Stephens, B., Azimi, P., El Orch, Z., & Ramos, T. (2013). Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. Atmospheric Environment, 79, 334-339
- [17] Zontek, T. L., Ogle, B. R., Jankovic, J. T., & Hollenbeck, S. M. (2017). An exposure assessment of desktop 3D printing. Journal of Chemical Health and Safety, 24(2), 15-25
- [18] Davis, A., Black, M., Zhang, Q., Wong, J. P., & Weber, R. (2016). Fine Particulate and Chemical Emissions from Desktop 3D Printers, 24(2), 15-25
- [19] He, C., L. Morawska, and L. Taplin (2007), Particle emission characteristics of office printers. Environmental Science and Technology, vol. 41(7), pp. 6039-6045
- [20] Agenția Europeană de Mediu, Numărul de cetățeni europeni expuși la poluare fonică nocivă va crește, se preconizează, 2020, <https://www.eea.europa.eu/ro/highlights/numarul-de-cetateni-europeni-expusi>
- [21] European Working Conditions Telephone Survey 2021. Data Visualisation. Available at: <https://www.eurofound.europa.eu/data/european-working-conditions-telephone-survey-2021-data-visualisation>
- [22] Unruh, G., Circular Economy, 3D Printing, and the Biosphere Rules, <https://doi.org/10.1177/0008125618759684>, California Management Review, Volume: 60 issue: 2018, 3, page(s): 95-111
- [23] *** https://www.siad.com/ro/siguranta/fise-cu-date-de-securitate?p_link

Pentru citare:

González Sánchez, M., Savu, I. D., Canca Sanchez, J. C., Moraru, R. I., Pollutant emissions in additive manufacturing, Sudura, nr. 4 (2024), year XXXIV, 4-17, 10.70652/sud.2024.4.1



Curs pentru calificarea de Proiectant Internațional de Structuri Sudate (IWSD)

Asociația de Sudură din România organizează un curs de calificare ca proiectant internațional de **structuri sudate – nivel standard (IWSD-S)**.

Obiectul cursului este de a pregăti personalul pentru a satisface criteriile cerute pentru personalul ce desfășoară activități de proiectare a unor structuri sudate ca, de exemplu, construcții metalice, poduri, recipiente sub presiune, conducte și rețele de conducte, recipiente de stocare, platforme marine, construcții navale, mașini grele, echipament hidroelectric și a avea un nivel de cunoștințe și de bună practică la un nivel care să satisfacă necesitățile industriei europene de fabricație prin sudare.

Cursul este organizat prin Centrul ASR de formare/calificare a personalului și satisface cerințele ghidului IAB 201r10. Lectorii cursului sunt specialiști recunoscuți din învățământul superior și din industrie.

Conținutul cursului:

Durata totală a cursului este de 100 ore, conținutul cursului fiind următorul:

- Tehnologia sudării	25 ore
- Rezistența materialelor	25 ore
- Proiectarea structurilor sudate	25 ore
- Proiectarea îmbinărilor sudate	25 ore

Perioada de derulare: 03.02 – 20.03.2025

Condiții de acces la curs: Minim absolvent școală vocațională 4 ani, cu 2 ani experiență practică în domeniul sudării, vârsta min. 20 ani.

Cursul se derulează în sistem de videoconferință în zilele de luni până joi după amiaza (16:00-20:00). În felul acesta, cursanții vor putea participa la orele de pregătire fără a fi scoși din producție pe perioada cursului.

Cursanților care au deja calificarea de **Inginer Sudor Internațional/European (IWE/EWE)**, **Tehnolog Sudor Internațional/European (IWT/EWT)** sau **Specialist Sudor Internațional European (IWS/EWS)** le este recunoscută partea care face referire la „Tehnologia sudării” (25 ore) și „Rezistența materialelor” (25 ore).

Ca urmare, posesorii diplomelor de IWE, IWT sau IWS vor trebui să participe la 50 ore de curs.

Costul cursului: Taxa de participare la curs este de 4.500 lei (fără TVA).

Examenul final va fi organizat de SC ASR CertPers SRL, taxa de examinare nu este inclusă în prețul cursului.

Membrii ASR beneficiază de o reducere a taxei de participare la curs în cuantum de 10%.

Oferta detaliată a cursurilor este disponibilă la adresa www.asr.ro.