

ZAŠTITA PRI UPORABI UREĐAJA ZA ADITIVNU TEHNOLOGIJU (3D PRINTERA)

Stipaničić, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:945636>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivana Stipaničić

**ZAŠTITA PRI UPORABI
UREĐAJA ZA ADITIVNU
TEHNOLOGIJU (3D PRINTERA)**

Završni rad

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Ivana Stipaničić

**Protection during use additive
technology devices (3D printers)**

Final paper


Mentor: Dr. sc. Nikola Šimunić, v.pred.

Karlovac, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prijateljici Petri na čiji sam poticaj upisala fakultet i svojoj majci Luciji koja mi je bila financijska potpora.

Ivana Stipaničić

 VELEUČILIŠTE U KARLOVCU <small>Karlovac University of Applied Sciences</small>	Klasa: 602-11/___-01/___
	Ur.broj: 2133-61-04-___-01 Datum:
ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA	

Ime i prezime	Ivana Stipaničić		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0416621035		
JMBAG	00662716865		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski		<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija	Sigurnost i zaštita, Zaštita na radu		
Godina upisa	2021./2022.		
Datum podnošenja molbe	17. lipnja 2024.		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: Zaštita pri uporabi uređaja za aditivnu tehnologiju (3D printera)	
Naslov teme na engleskom: Protection during use additive technology devices (3D printers)	
Opis zadatka:	
<p>U završnom radu potrebno je dati aktualni pregled postupaka u području aditivne proizvodnje. Za svaki postupak (tehnologiju) potrebno je opisati principe rada i primjenu te materijale koji se koriste.</p> <p>Nadalje, za svaku tehnologiju potrebno je analizirati te navesti koje se opasnosti pojavljuju u radu (npr. aerosoli, isparavanje kemikalija, električna energija, UV svjetlo, buka itd.)</p> <p>Na temelju analize potrebno je predložiti pravila te osobnu zaštitnu opremu za rad sa uređajima u području aditivne tehnologije.</p> <p>Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke</p>	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABELA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
1.1. Tehnologija	1
1.2. Uvod u aditivne tehnologije	1
2. UREĐAJI ZA ADITIVNU PROIZVODNJU	4
2.1. 3D PRINT	4
2.2. Selektivno lasersko sinteriranje (SLS)	5
2.3. Stereolitografija (SLA) i Digital Light Processing (DLP)	6
2.4. PolyJet	7
2.5. Laminated object manufacturing (LOM)	8
2.6. Continuous liquid interface production (CLIP)	9
2.7. Fused deposition modeling (FDM)	10
3. OPASNOSTI PRI UPORABI ADITIVNE TEHNOLOGIJE	12
3.1. Opasnosti pri radu s 3D printerima	12
3.2. Opasnost od aerosola i isparavanja (kemijske štetnosti)	13
3.3. Hlapljivi organski spojevi (VOC)	14
3.5. Opasnost od električne energije	16
3.6. Opasnost od ultraljubičastog svjetla i lasera	17
3.7. Opasnost od buke	18
3.8. Toplinske opasnosti i opasnosti od požara	18
3.9. Ostale opasnosti	20
4. ZAŠTITA NA RADU PRI UPORABI ADITIVNE TEHNOLOGIJE	21
4.1. Zaštita i prevencija na radu	21
4.2. Osobna zaštitna oprema i zaštitne mjere	22
4.3. Zaštita od aerosola i hlapljivih organskih spojeva	23
4.4. Zaštita od požara i toplinskih opasnosti	24

4.5.	Zaštita od mehaničkih opasnosti	26
4.6.	Zaštita od djelovanja električne struje	26
4.7.	Zaštita od lasera i ultraljubičastog svjetla	27
4.8.	Zaštita od buke	28
4.9.	Upute za rad na siguran način	29
5.	ZAKLJUČAK	31
6.	PRILOZI	32
	LITERATURA	33

POPIS SLIKA

Slika 1. Aditivna proizvodna tehnologija. [1]	1
Slika 2. Tehnologije aditivne proizvodnje. [7]	2
Slika 3. SelfCAD. [12]	5
Slika 4. SLS 3D printers. [15]	5
Slika 5. SLA 3D printer. [20]	6
Slika 6. PolyJet 3D Printer. [27]	8
Slika 7. LOM 3D Printer. [30]	9
Slika 8. CLILP 3D Printer. [31]	10
Slika 9. FDM 3D Printers. [34]	11
Slika 10. Znakovi Opasnosti. [35]	12
Slika 11. Emisije zagađivača. [39]	15
Slika 12. Laser u aditivnoj tehnologiji. [43]	17
Slika 13. Požar pri FDM 3D printu. [47]	19
Slika 14. Osobna zaštitna oprema. [50]	22
Slika 15. Smanjenje štetnog utjecaja aerosola ventilacijom. [32]	24
Slika 16. Rukavice za termičku zaštitu. [53]	25
Slika 17. Povlačenje oštećenog kabla. [55]	27
Slika 18. Laserske zaštitne naočale. [57]	28
Slika 19. Zvučna izolacija. [32]	28
Slika 20. Znakovi obaveze. [58]	29

POPIS TABELA

Tabela 1. Prikaz opasnosti prema pojedinoj aditivnoj tehnologiji.	13
Tabela 2. Opća načela prevencije.	21
Tabela 3. Prikaz osobne zaštitne opreme po pojedinom 3D printeru.	23

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis
PLA	polilaktična kiselina
ABS	akrilonitril butadien stiren
PP	polipropilen
PE	polietilen
CAD	Computer Aided Desing
SLS	Selective Laser Sintering
PA12	Nylon 12
UV svjetlo	ultraljubičasto svjetlo
SLA	Stereolithography
DLP	Digital Light Processing
LFS	Low force Stereolithography
LOM	Laminated Object Manufacturing
CLIP	Continuous Liquid Interface Production
FDM	Fused Deposition Modeling
PETG	polyethylene terephthalate glycol
VOC	Volatile Organic Compounds
HRN EN 132:2004	norma prema kojoj maske povezuju dišne putove korisnika s filtrom i odvajaju ih od okolne atmosfere
V	volt

SAŽETAK

Proizvodnja je obrada sirovog materijala s ciljem stvaranja korisnog proizvoda, a počinje idejom i potrebama tržišta - kupaca. Kada govorimo o suvremenoj proizvodnji, pojavljuju se nove tehnologije izrade dijelova. Osnovna podjela procesa aditivnih tehnologija je na procese taloženja materijala, procese zasnovane za praškastim materijalima i na tekućim materijalima. [1]

U ovom radu naglasak će biti upravo na 3D printerima i sigurnosti pri radu s istima, koji se ponajprije upotrebljavaju za izradu prototipova, ali se sve više primjenjuju u maloj i industrijskoj proizvodnji. 3D printeri otvaraju širok spektar kreativnih mogućnosti, sadrže brojne prednosti, ali i nedostatke, a najvažnije je istaknuti kako će 3D printeri imati veliku važnost u budućnosti proizvodnje. Zbog svega navedenog, javlja se pitanje zaštite pri radu s aditivnim tehnologijama (3D printerima), a koji je glavni dio ovoga rada. U radu će biti prikazane opasnosti pri radu s 3D printerima, a nastavno odgovarajuća osobna zaštitna oprema i zaštitne naprave te naposljetku kratke upute za rad na siguran način. [2]

Ključne riječi:

proizvodnja, 3D printeri, opasnosti, zaštita pri radu

SUMMARY

Production is processing of raw material toward the creation a new product and it starts with the idea and needs of the market. When we talk about modern production, new technologies for making parts appears. The basic division of additive technology processes is into material deposition processes, processes based on powder materials and on liquid materials. [1]

In this theses, the emphasis will be on 3D printers and safety during use this technology, which are primarily used for creating prototypes, but they are increasingly used in small and industrial production. 3D printers open up a wide spectrum of creative possibilities, they contain numerous advantages, but also disadvantages, and the most important thing to point out is that 3D printers will have great importance in the future of production. Due to all above, the issue of protection during use additive technologies (3D printers) appears, which is the main part of this theses. This final theses will present the hazards during use 3D printers and, of course, appropriate personal protective equipment and protective devices, and finally brief instructions for working in a safe manner. [2]

Keywords:

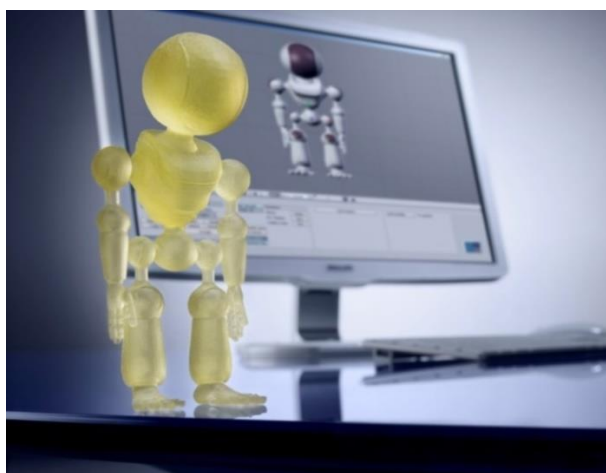
production, 3D printers, hazards, safety at work

1. UVOD

1.1. Tehnologija

Tehnologija je znanstvena, tehnička disciplina koja obuhvaća sposobnost, znanje i vještinu za postizanje praktičnih ciljeva. Proučava procese i postupke prerade sirovina ili poluproizvoda u gotove proizvode. Čovjek najpogodnijim sredstvima, načinima i oruđem unapređuje svoju kreativnost i prilagođava prirodu i društvo svojim potrebama. Tehnologije se mogu podijeliti na subtraktivne (skidanje materijala) i aditivne (dodavanje materijala). [3]

Osim što se tehnologija bavi razvojem i primjenom alata, strojeva, materijala i postupaka za izradu proizvoda, također je i znanost koja proučava primjenu znanja, vještina i organizacije u provedbi nekog procesa.



Slika 1. Aditivna proizvodna tehnologija. [1]

Tehnologija digitalne izrade, poznata kao 3D print ili aditivna proizvodnja, danas se brzo razvija i u širokoj je primjeni, a njom se stvaraju predmeti uzastopnim dodavanjem materijala. [4]

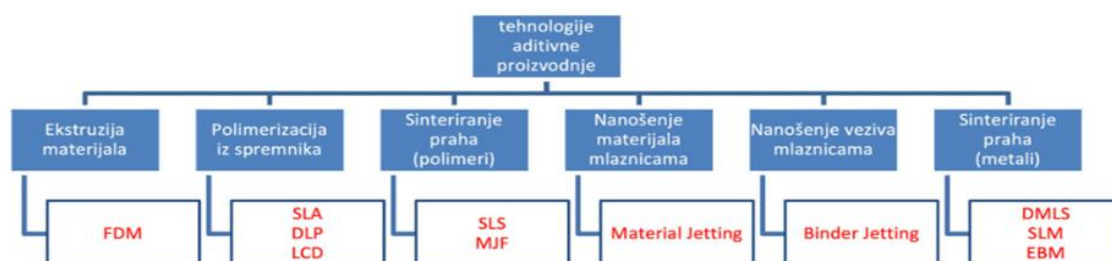
1.2. Uvod u aditivne tehnologije

Aditivne tehnologije (3D print) odnose se na više procesa izrade, kojima se vrši izrada po slojevima tako da se dodaje materijal. Kada govorimo o materijalu, razlikujemo više vrsta materijala, a to su polimeri, metali i ostali materijali (keramika,

pijesak). Aditivne tehnologije omogućuju direktnu proizvodnju složenih fizičkih objekata koristeći kao ulaz 3D digitalni geometrijski model. Geometrijski model može se dobiti korištenjem CAD programa ili 3D skeniranjem postojećeg objekta te kasnijom obradom istog. S obzirom na to da su aditivne tehnologije relativno mlade, široko su prihvaćene. [5, 6]

Aditivna proizvodnja naziv je za industrijsku proizvodnju namijenjenu 3D printu, u kojoj računalo kontrolira proces koji stvara trodimenzionalne objekte nanošenjem materijala obično u slojevima i to u kratkom vremenskom periodu.

Tehnologije aditivne proizvodnje najčešće se dijele na fotopolimerizaciju (stereolitografija), raspršivanje veziva (trodimenzionalni ispis), raspršivanje materijala (PloyJet postupak), ekstrudiranje materijala (taložno srašćivanje - Fused Deposition Modeling), proizvodnju laminiranih objekata (Laminated Object Manufacturing), stapanje praha (selektivno lasersko srašćivanje - Selective Laser Sintering), izravno taloženje metala (Laser Engineering Net Shaping) očvršćivanje digitalno obrađenim svjetlosnim signalom (Digital Light Processing) te proizvodnja kontinuiranim tekućim povezivanjem (Continous Liquid Interface Produccion). [6]



Slika 2. Tehnologije aditivne proizvodnje. [7]

U aditivnoj proizvodnji, za razliku od tradicionalnih tehnologija, brzina je jedna od prednosti. Za dobivanje gotovog proizvoda aditivnom proizvodnjom potrebno je svega nekoliko sati. Mogu ste koristiti različiti materijali, čime se skraćuje vrijeme izrade. Također, korištenjem aditivne proizvodnje dodavanjem slojeva dizajnerima se omogućuje se izrada složenijih geometrijskih oblika, lakše se dolazi do savršenog i personaliziranog proizvoda.

Iako aditivna proizvodnja nudi brojne prednosti, prisutni su i neki nedostaci. Naime, značajni su inicijalni trošak aditivne proizvodnje, s naglaskom na kupnju opreme i obuku rukovatelja. Materijali koji se koriste u aditivnim tehnologijama najčešće su skuplji nego kod obrade rezanjem, deformiranjem i lijevanjem. Kao što je spomenuto, aditivne tehnologije su mlade, što dovodi do manjka standardizacije, a to otežava usporedbu pa se teško se osigurava kvaliteta proizvoda.

Metali, polimeri, keramika, kompozitni materijali, pametni materijali i specijalni materijali koriste se pri radu s tehnologijama digitalne izrade. Metali se najčešće koriste u zrakoplovnoj, automobilskoj i prerađivačkoj industriji te medicini. Polilaktična kiselina, akrilonitril butadien stiren, polipropilen ili polietilen su polimeri koji se koriste u aditivnoj proizvodnji, a služe za izradu prototipa ili gotovih proizvoda. Materijal kao što su keramika i beton imaju dobra mehanička svojstva, pore su manje i nema pukotina. Prednosti su jakost, izdržljivost i otpornost na vatru. Kompozitni materijali su svestrani, laki, a njihova svojstva su prilagodljiva izmjenama industrije visokih performansi. Mogućnost promjene oblika i geometrije predmeta pod utjecajem ekstremnih uvjeta nude pametni materijali. Pametni materijali koriste se u sustavima meke robotike, a mogu se klasificirati kao 4D tiskarski materijali. Specijalni materijali mogu biti hrana, mjesečeva prašina i tekstil, a se koriste primjerice u tekstilnoj i prehrambenoj industriji. [4]

Sve izneseno navodi na zaključak da tehnološki napredak dovodi do prijelaza s analognih na digitalne procese i tako nastaju aditivne tehnologije koje unose digitalnu fleksibilnost i učinkovitost u proizvodne operacije.

2. UREĐAJI ZA ADITIVNU PROIZVODNJU

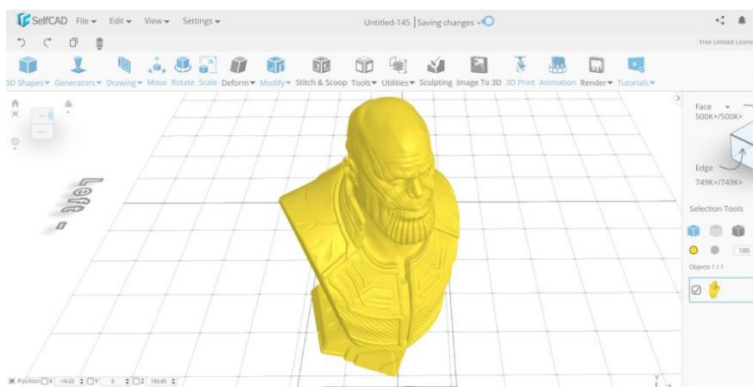
2.1. 3D PRINT

3D ispis je način izrade predmeta izravno iz digitalne datoteke. Takvi revolucionarni uređaji koriste se u industriji za izradu modela, prototipova, proizvodnju alata i gotovih funkcionalnih dijelova, pa i za druge određene namjene, primjerice modeliranje zubala ili dizajn nakita. 3D printanjem se računalni modeli pretvaraju u gotove proizvode (fizičke predmete). [8]

Dakle, 3D print ima široku primjenu kako u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji, tako i u energetici, modi i umjetnosti te brojnim drugim industrijama. Aditivne tehnologije svoje mjesto pronalaze i u medicini, s naglaskom na stomatologiji gdje se ispisuju privremeni zubi, radni modeli, kirurške šablone, kao i drugi predmeti za razne primjene. [9]

Proizvod se kreira u Computer Aided Design programu i upotrebom 3D skenera. CAD je program koji služi za oblikovanje, projektiranje, konstruiranje i prikaz predmeta pomoću računala. Koristi se i za izradu dokumentacije za proizvodnju i planiranje proizvodnje. 3D skeneri su uređaji kojima se prikupljaju fizičke osobine i podatke izgledu predmeta, a koji se podaci kasnije koriste za izradu 3D proizvoda. [10]

Danas se u većim industrijama koriste CAD programi pete generacije u kojima je dostupan razvoj parametarskih modela. Srednje i manje proizvodnje koriste CAD programe s ograničenim rasponom funkcije. Lakše se mogu svladati pa je vrijeme obuke kraće te je korištenje nakon obuke je učinkovitije. [11]



Slika 3. SelfCAD. [12]

2.2. Selektivno lasersko sinteriranje (SLS)

Selektivno lasersko sinteriranje je vrsta aditivne tehnologije kojom se spajaju dijelovi materijala u konačan proizvod. U obradi se koristi laser koji topeći materijal (prah) stvara željeni oblik, a sam proces se ponavlja sve do dobivanja gotovog proizvoda. [13]

Ima široku primjenu u izradi proizvoda od metalnih legura, keramike i polimera. Najčešće se kao filament koristi PA12 (Nylon 12). PA12 je polimerni materijal koji se općenito upotrebljava u aditivnoj proizvodnji. Žilava je, čvrsta i ima sposobnost savijanja bez lomova. [14]



Slika 4. SLS 3D printers. [15]

Prednosti SLS-a očituju se u dobrim mehaničkim svojstvima SLS dijelova, zbog čega su pogodni za funkcionalne dijelove i prototipove te mogu lako proizvesti složene

geometrijske oblike. Koriste se za proizvodnju malih i velikih serija. Od nedostataka ističe se površinska hrapavost i unutarnja poroznost dijelova, što može zahtijevati dodatnu obradu ako se želi postići vodonepropusnost ili glatkoća površine. [16, 17]

SLS tehnologija najviše je korištena u zrakoplovnoj industriji zbog velike brzine izrade prototipa. Također, SLS tehnologija pruža bržu i jeftiniju proizvodnju cijelih dijelova. [18]

2.3. Stereolitografija (SLA) i Digital Light Processing (DLP)

Stereolitografija je vrsta aditivne tehnologije čiji se rad bazira na korištenju smole (fotopolimeri na bazi smole). Prihvaćena je jer proizvodi precizne, izotropne i vodonepropusne proizvode. SLA printeri također koriste laser za iscrtavanje slojeva na površini te tako stvaraju proizvode, a sam laser je kontroliran preko računala. [19]



Slika 5. SLA 3D printer. [20]

Upravo stereolitografija je bila prvi, pa i najrašireniji postupak za brzu izradu prototipa. U procesu stereolitografije fotoosjetljivi polimer se kruti kada ultraljubičasti laser dođe u dodir sa smolom. Ovaj proces odvija se na temelju fotopolimerizacije (tekući monomer ili polimer se pretvara u kruti polimer uz UV svjetlo), a još se naziva i ultraljubičasto stvrđavanje. [21]

Korištenje SLA tehnologije prisutno je u brojnim industrijama. Pogodna je u aeronautici, arhitekturi, za izradu nakita, dentalnih proteza, krunica i mostova.

Ova tehnologija vrlo je precizna, omogućuje brzi ispis i koristi različite vrste smole prilikom obrade. Smola koja se koristi ima različita svojstva kao što su čvrstoća, prozirnost, elastičnosti i otpornost na visoke temperature. [22]

Iz SLA tehnologije, razvila se i LFS (Low force Stereolithography) tehnologija koja je brža od SLA, sadrži manji promjer lasera koja usmjeravaju lasersko svjetlo sa stražnje strane printera. Površine i rubovi kvalitetnije se proizvode s LFS ispisom. [23]

Treba spomenuti Direct Light Processing (DLP) tehnologiju gdje se svjetlo prožima po cijeloj liniji sloja, a u isto vrijeme i preko dna područja printa. Na taj način se svaki sloj ukrućuje, a proizvod se diže iz polimerne tekućine. DPL tehnologijom se postiže jako dobar kontrast, tihi su, sadrže malo mrtvih piksela, pogodni su za korištenje u prostorima gdje se javlja prašina, no mana joj je što se može pojaviti „efekt duge“ (razbijanje boja). [24]

2.4. PolyJet

PolyJet predstavlja tehnologiju 3D printanja koja omogućuje stvaranje složenih, glatkih geometrija i ultra-finih detalja. Također, tom tehnologijom omogućeno je kombiniranje nekoliko materijala u jednom proizvodu, što je pogodno za ispunjavanje specijalnih zahtjeva. Pri izradi proizvoda PolyJet koristi fotopolimere (termoreaktivni materijal ili polimeri). Fotopolimeri mijenjaju svojstva prilikom izloženosti ultraljubičastom svjetlu, a mogu biti prozirni, neprozirni, fleksibilni, kruti, gumeni, neutralne ili pune boje. Dakle, obzirom na navedeno, zaključuje se da PolyJet tehnologija pruža bolju estetiku proizvoda od drugih 3D tehnologija printanja. [25]

PolyJet i SLA tehnologija koriste fotopolimere. Uspoređujući te dvije tehnologije, može se reći da su PloyJet printeri i materijali su skuplji. Nastavno na materijale koje PloyJet printer koristi, moraju biti niske viskoznosti, zbog čega su ograničene dostupnosti. Materijali imaju nisku toplinsku temperaturu, stoga je pod jakim svjetlom moguć gubitak oblika. PloyJet tehnologija pogodna je za izradu

prototipova, stomatološke i medicinske primjene koje zahtijevaju biokompatibilnost. [26]



Slika 6. PolyJet 3D Printer. [27]

2.5. Laminated object manufacturing (LOM)

Laminated object manufacturing je jednostavna, brza i jeftina tehnologija 3D ispisa koja koristi nekoliko vrsta materijala i služi za izradu prototipova. Prototipovi koji se izrađuju uglavnom su od polimernih dijelova. Materijal pogodan za ovu tehnologiju je gotovo svaki. Koristi se ljepljivi papir, polimerni materijal ili metalni laminat koji se uzastopno lijepe zajedno. [28]

LOM se ne smatra preciznom tehnologijom, a sama preciznost ovisi o debljini sloja i materijalu. U ovom procesu aditivne proizvodnje listovi se režu u skladu s podacima CAD modela, potom se povezuju u trodimenzionalni proizvod. Prilikom LOM proizvodnje moguće su pogreške između listova i površine modeliranja. Isto tako, javlja se i teorijska pogreška, što je čimbenik koji utječe na točnost modeliranja. Za smanjenje teorijskih pogrešaka razvijen je novi LOM proces – novi postupak za rezanje presjeka. [29]



The discontinued Helixys LOM-2030 Rapid Prototype Modeling Machine, built in 1997 (Photo credits: KJ Auktion)

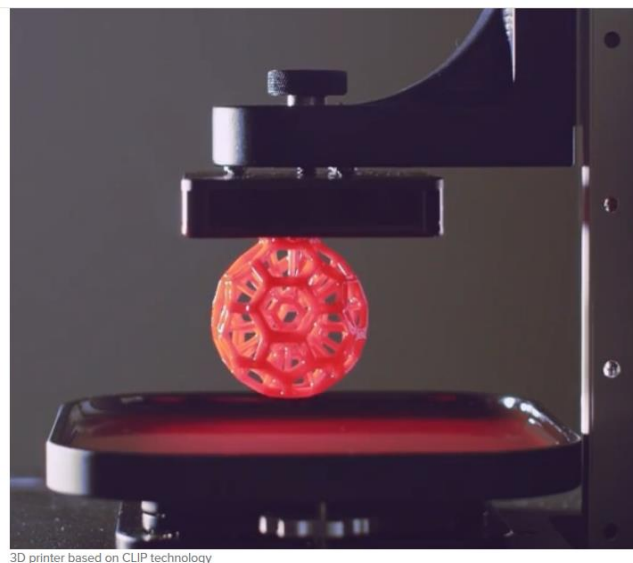
Slika 7. LOM 3D Printer. [30]

2.6. Continuous liquid interface production (CLIP)

Continuous liquid interface production vrsta je aditivnih tehnologija koja svoje temelje pronalazi u SLA i DPL tehnologijama. Kao i kod SLA tehnologije, ova tehnologija koristi fotopolimernu smolu, u tekućem obliku, koja se selektivno izlaže izvoru ultraljubičastog svjetla te se potom ukruti u dijelove.

CLIP printer ne koristi pristup sloj – po – sloj, a ispis se odvija u fotopolimernoj posudi u kojoj se nalazi smola. Smola je u fotopolimernoj posudi stvrdnuta ultraljubičastim svjetlom.

Što se tiče prednosti CLIP tehnologije, ispis je točan i kvalitetan kao kod DLP i SLA ispisa, no 100 puta je brži, a čvrstoća je veća. Ispisi su bez slojeva, a dijelovi su vodonepropusni, izotropni i mogu se koristiti i za izradu prototipova i za gotove proizvode.



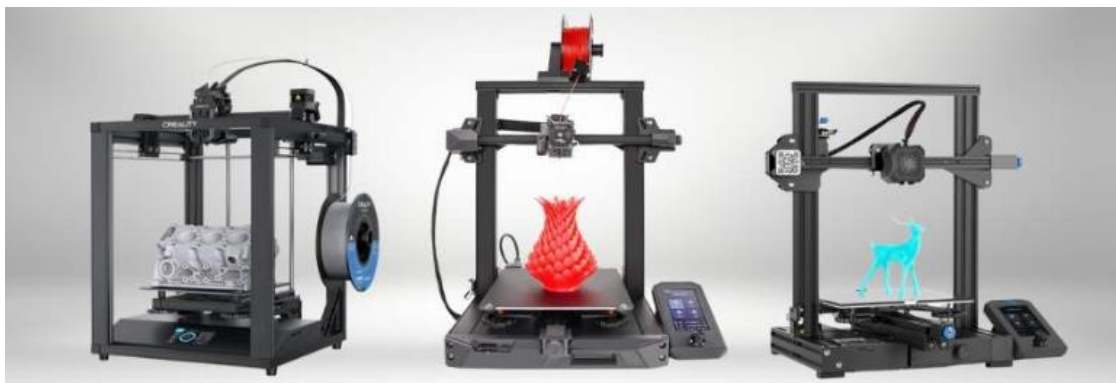
Slika 8. CLIP 3D Printer. [31]

CLIP printeri su vrlo skupi, stoga se gotovo uvijek unajmljuju. Kada govorimo o troškovima pri upotrebi ove tehnologije, smola koja se koristi za izradu proizvoda je skupa. Obzirom na skupoću, zbog toga i tešku dostupnost, CLIP tehnologija rjeđi je izbor u odnosu na druge aditivne tehnologije koje također daju kvalitetne rezultate.

2.7. Fused deposition modeling (FDM)

Fused deposition modeling je tehnologija prešanja materijala u aditivnoj proizvodnji. Filament koji koriste FDM tehnologije su na bazi polimera. Najčešće se koriste PLA, PETG i ABS filament. FDM 3D printer istiskuje i gura filament kroz grijanu mlaznicu. Vrući slojevi koji nastaju, međusobno se stapaju i tvore trodimenzionalne dijelove. [32]

FDM tehnologija je učinkovita, rasprostranjena, jeftina metoda 3D printa, jednostavna za korištenje i dominira tržištem, što je sve čini lako dostupnom. Prepoznatljiva je po svojoj preciznosti i pouzdanosti, a funkcionalna je za izradu i prototipa i gotovih proizvoda. [33]



Slika 9. FDM 3D Printers. [34]

3. OPASNOSTI PRI UPORABI ADITIVNE TEHNOLOGIJE

3.1. Opasnosti pri radu s 3D printerima

Suvremeno doba za sobom nosi napredak tehnologije i industrije, a život čovjeka postaje uvelike olakšan. Napretkom industrije počinje se stavljati naglasak na sigurnost u radnom procesu. Zaštita na radu je bitna za unapređenje sigurnosti i zaštitu zdravlja radnika i drugih osoba u radnom okruženju.

3D printeri su u sve većoj upotrebi, sve su popularniji i pristupačniji, samim time počinje se podrobnije razmišljati u smjeru sigurnosti i zaštite pri radu s takvim uređajima. Korištenje 3D printera olakšava rad u brojnim industrijama i postaje primarno sredstvo rada. S obzirom na opasnosti koje se pojavljuju pri radu s istim, potrebno je osigurati siguran rad i radni okoliš.



Slika 10. Znakovi Opasnosti. [35]

Opasnosti koje se pojavljuju pri radu s 3D printerima su stvaranje lebdećih čestica (većinom fine ili nano čestice), toplinske opasnosti i opasnosti od isparavanja, mehaničke opasnosti, opasnost od visokog napona (električne struje) i statičkog elektriciteta, opasnost od ultraljubičastog svjetla, opasnosti od kemijskih para (ovisno o vrsti materijala koji se koristi), opasnost od buke i opasnosti od požara.

Važan je problem to što su radnici izloženi raznim emisijama 3D pisaača, dok su češće ozljede uzrokovane mehanički opasnostima. Mehaničke opasnosti su uglavnom povezane s opremom za 3D ispis te pokretnim dijelovima pisaača.

Tabela 1. Prikaz opasnosti prema pojedinoj aditivnoj tehnologiji.

	SLS	SLA/DLP	LOM	CLIP	PolyJet	FDM
izlaganje aerosolima (fini prah)	X	X			X	X
toplinske opasnosti	X	X				X
kemijske opasnosti		X		X	X	
opasnosti od lasera i UV svjetla	X	X		X	X	
opasnosti od pokretnih dijelova	X		X			X
opasnost od buke	X				X	X
opasnost od električne struje	X	X	X	X	X	X

3.2. Opasnost od aerosola i isparavanja (kemijske štetnosti)

Pod lebdećim česticama (aerosolima) podrazumijevamo čestice manjih molekula, golim okom nevidljive, te veće čestice, lako primjetne. Tipovi lebdećih čestica su prašina, dimovi, crni dim i vodena prašina i magla.

Izrada predmeta pomoću 3D printera oslobađa aerosole koji pri radu mogu izazivati poteškoće prilikom udisaja i smetnje ulijetanjem lebdećih čestica u područje očiju. Lebdeće čestice mogu uzrokovati niz akutnih i kroničnih bolesti, mogu uzrokovati oštećenja imunološkog, neurološkog i reproduktivnog sustava. Isto tako,

moгу utjecati na rast i razvoj, nastanak bolesti respiratornih sustava, a u najgorem slučaju pojavu malignih promjena.

Kemijske štetnosti u organizam mogu doprijeti udisanjem, preko kože i očiju, gutanjem i ostalim načinima. Najčešći način unosa kemijskih štetnosti u organizam radnika koji pri radu koriste bilo koju vrstu 3D printera je udisanjem aerosola.

Prilikom rada dijelovi uređaja su izloženi visokim temperaturama, materijal se topi i tako taloži sloj po sloj, stoga se javljaju opasnosti od isparavanja, a koje nastaju na samom uređaju i proizvodu. Poteškoće s disanjem mogu biti otežano disanje (dispneja), kratkoća daha i kašalj, a što sve osim od lebdećih čestica, može nastati i od ekstremnih temperatura.

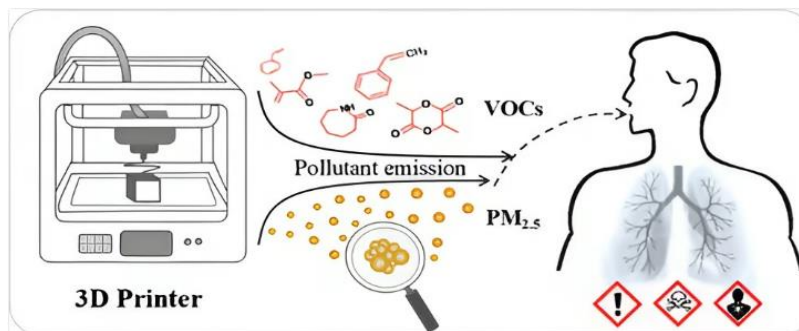
Zaključno, aerosoli i pare nastale od materijala za ispis mogu tijekom rada dospjeti u zrak radnog prostora i time izazvati iritacije kože, očiju i dišnih putova, a isto tako mogu biti i zapaljivi.

3.3. Hlapljivi organski spojevi (VOC)

Hlapljivi organski spojevi – Volatile organic compounds (VOC) su plinovi određenih krutina i tekućina koji imaju nisku toplinsku vodljivost i visok tlak pare. VOC mogu imati štetan utjecaj na zdravlje, s toga je potrebno da se pri radu, gdje je moguća njihova pojava, osigura ventilacija, provjetravanje i provjeravanje koncentracije istih u zraku. [36]

Kako bi nastao proizvod 3D printeri koriste brojne materijale i prilikom proizvodnje nastaju različite emisije od kojih su neki bezopasni, dok drugi štetno utječu na zdravlje radnika. Aditivi i zagađivači prisutni u filamentu uvelike utječu na emisije.

Zbog procesa topljenja pri radu s aditivnim tehnologijama dolazi do zagađenja unutarnje kvalitete zraka. Tom prilikom materijali koji se koriste u 3D ispisu ispuštaju plinovite tvari, a te se tvari nazivaju hlapljivim organskim spojevima. Najčešće je to prilikom rada iz 3D printera na bazi filamenta ili smole gdje se, prilikom udisanja, čestice mogu nakupiti u plućima i uzrokovati bolesti. Kancerogeni su stoga treba biti oprezan pri radu s istima. [37, 38]



Slika 11. Emisije zagađivača. [39]

Stereolitografija je popularna kod 3D printanja. Umjesto polimernih materijala, koristi se smola čiji je miris jači od FDM printera. Prilikom takvog ispisa nastaju štetni spojevi, no lebdeće čestice koje oslobađaju su izrazito male. S druge strane, emisije hlapljivih organskih spojeva su izrazito visoke. Jedan od hlapljivih organskih spojeva koji se emitira je formaldehid, poznati je kancerogen i emitira se tijekom svih faza u radu.

Najviše se proučavao rad s FDM printerima. Djeluju topljenjem polimernih materijala tako da se zagrijavanjem stvaraju nano čestice. Prema nekim istraživanjima na FDM printerima, pokazano je kako se vrhunac emisija detektira na samom početku printanja, dok se nakon nekog vremena emisije smanjuju. Najštetniji učinak proizvodi ABS, jer proizvodi konstantnu razinu emisija, dok PLA i Nylon proizvode nižu razinu emisija i to najveću na početku samog rada, a kasnije se smanjuju. [40]

Nastavno, ugljikove nanocijevčice i ABS pokazuju najviše emisije hlapljivih organskih spojeva prilikom rada FDM pisaača, a povećanje temperature i vrijeme rada utječe na porast emisija. Neki od hlapljivih organskih spojeva koji nastaju su 4-vinilcikloheksen i 2-fenil-2-propanol. [40]

3.4. Mehaničke opasnosti

Mehaničke opasnosti definiraju se kao opasnosti pri radu sa strojevima, uređajima i alatima koje uzrokuju udarce, prignječenja, posjekotine i slične ozljede. Postoje opasnosti od dijelova koji miruju, rotirajućih dijelova, pravocrtnog gibanja, uklještenja i opasnosti na mjestima radnog postupka.

Pri radu s 3D printerima takve opasnosti bile bi opasnosti od rotirajućih dijelova s obzirom na pokretne dijelove uređaja kod kojih se zahvatom obrađuje materijal. Rotirajući dijelovi mogu izazvati uklještenja tako što uvlače zahvaćeni predmet te nastaju komplikacije prilikom oslobađanja zahvaćenog dijela. Također, postoji opasnost od dijelova koji miruju, napose pri nespretnom pokretu radnika, a sve u vidu oštih i šiljastih dijelova uređaja koji bi mogli uzrokovati ubode ili porezotine radnika.

Učestalije ozljede koje nastaju su zbog prignječenja ili podizanja teških predmeta. Da bi se spriječile ozljede vrlo je važna pravilna upotreba i način rukovanja strojem, kao i poštivanje uputa za siguran rad.

3.5. Opasnost od električne energije

Električna energija ima važnu ulogu u svakodnevnoj primjeni bilo u privatnoj ili poslovnoj sferi. Tako se električna energija primjenjuje u raznim industrijama zbog svog lakog prenošenja od izvora do potrošača, jednostavnog pretvaranja u toplinsku, mehaničku i svjetlosnu energiju, a prije svega omogućuje jednostavno upravljanje električnim strojevima, uređajima i aparatima.

Uz sve pogodnosti koje pruža, električna struja može imati koban utjecaj na čovjeka, a tako može uzrokovati električni udar. Kada struja teče kroz čovjekovo tijelo djeluje na njega mehanički, toplinski, kemijski i biološki. Mehaničko djelovanje razara tkivo. Toplinsko djelovanje uzrokuje pojavu unutarnjih i vanjskih opekotina zbog zagrijavanja tijela. Prolazak struje kroz krv uzrokuje elektronsko rastvaranje krvne plazme zbog čega dolazi do kemijskog djelovanja na čovjeka. Struja biološki djeluje na čovjeka tako da se steže mišićno tkivo, stežu se srčane klijetke i time se usporava ili zaustavlja disanje što dovodi do paralize rada srca. Do električnog udara, može doći izravnim dodirima s dijelovima električne opreme ili instalacijama pod naponom i posrednim dodirima (dodir čovjeka s dijelovima koji su došli pod napon zbog kvara na izolaciji električnih uređaja). [41]

Sva navedena djelovanja mogu izazvati povrede radnika. Povrede mogu biti teške ili lake, a u najtežim slučajevima izazivaju smrt. O tome kakve će biti povrede i kako će utjecati na čovjeka utječe jakost struje, put prolaska struje kroz tijelo, frekvencija, vrijeme prolaska struje kroz tijelo, napon struje i individualna svojstva

organizma. Električni kvarovi uglavnom se javljaju pri radu s FDM pisaačima i najčešći su uzrok požara.

3.6. Opasnost od ultraljubičastog svjetla i lasera

Ultraljubičasto zračenje je zračenje manjih valnih duljina od ljubičaste svjetlosti i izaziva svjetlucanje nekih tvari. Sunčeva svjetlost, fluorescentne lampe, lampe plave svjetlosti i zavarivanje električnim lukom izvori su UV zračenja. Umjetna rasvjeta može biti štetna ako u svojim spektrima sadrži UV komponente. Spektar ultraljubičastog svjetla dijeli se na tri glavne cjeline. Te cjeline su područje UV-A koji ima najmanji potencijal opasnosti, područje UV-B sa srednjim potencijalom opasnosti, a najveći potencijal opasnosti sadržan je u području UV-C. Opasnost od ultraljubičastog svjetla javlja se primjerice kod potrebe SLA, PolyJet i CLIP tehnologija koje isto koriste za vrijeme proizvodnje. [42]

Oči su osjetljive na UV-B i UV-C područje UV zračenja tako da uzrokuje nelagodu očiju bez utjecaja na normalan vid ili upalu rožnice. Utjecaj na kožu je različit u odnosu na područje UV zračenja. UV-B zračenja uzrokuje tamnjenje, rumenilo ili upalu kože, a kod duže izloženosti javlja se rano starenje kože i povećava se rizik od raka kože. Izloženost umjetnom izvoru UV-C područja predstavlja najveći rizik za kožu. [42]



Slika 12. Laser u aditivnoj tehnologiji. [43]

Neke aditivne tehnologije, kao što su SLS i SLA tehnologija, pri svom radu koriste lasere. Laseri se mogu podijeliti u 4 klase i ovisno o klasama raste stupanj opasnosti.

Najmanja opasnost nalazi se u području klase 1, a najveća u području klase 4. Laserski strojevi klase 1 uglavnom ne oštećuju zdravlje radnika, dok su laserski strojevi klase 2 sigurni za oči, ali samo u slučaju kratkotrajnog zračenja (ispod 0,25 sekundi). Višom klasom laserskog stroja raste i opasnost, pa tako su laserski strojevi klase 3 opasni za oko, a laserski strojevi klase 4 mogu izazvati oštećenja na očima ili koži te postoji opasnost od požara. [44]

Koliki će biti stupanj ozljede oka ovisi o valnoj duljini, načinu djelovanja lasera, jakosti i trajanju izlaganja, refleksiji i slično.

3.7. Opasnost od buke

Buka je neželjeni zvuk koji ometa čovjeka u radu. Rad koji je vezan uz veliku odgovornost i znanstveni rad dozvoljava razine buke do 35dB, rad koji zahtjeva koncentraciju i preciznost 40 dB, rad koji zahtjeva komuniciranje govorom 50 dB, a lakši mentalni rad dopušta razinu buke od 65 dB. Buka radniku izaziva nervozu, nelagodu, razdražljivost, umor i smanjuje koncentraciju. Dugoročna izloženost buci može dovesti do oštećenja sluha, odnosno gluhoće. [45]

U procesu proizvodnje s aditivnim tehnologijama nastaje određena buka s obzirom na motore, remenje, zupčanike, ventilatore i druge mehaničke komponente na pisaču. Buku kod aditivnih tehnologija najčešće stvaraju motori odgovorni za pomicanje ispisne glave, radne ploče i drugih elemenata, ventilatori koji se koriste za hlađenje te ekstruder. Utjecaj na razinu buke ima starost pisača, vrsta pisača i postavke ispisa. [46]

Najviše buke nastaje pri radu sa SLS, PolyJet i FDM aditivnim tehnologijama.

3.8. Toplinske opasnosti i opasnosti od požara

Tijekom rada 3D printer se zagrijava i njegovi dijelovi su izloženi visokim temperaturama. Pojavljuju se potencijalni rizici od pregrijavanja materijala i zračenja topline tijekom 3D ispisa. Isto tako u procesu stvaranja proizvoda taloži se materijali iz kojih nastaju vruća isparavanja. Dakle, toplinske opasnosti javljaju se u pogledu vrućih površina 3D printera koje se površine prilikom rada zagrijavaju.

Vrući predmeti mogu izazvati opekline na radniku, oštećenje tkiva i druge ozljede uzrokovane vrućim materijalom i parama. Kako bi se spriječio nastanak štetnog događaja, važno je da dijelovi radne opreme izloženi visokim temperaturama budu toplinski izolirani i zaštićeni tako da radnik ne dospije u njihovu blizinu. Isto tako, bitno je da prilikom korištenja 3D printera, radnik koristi odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu.

Svi vrući dijelovi uređaja, materijali te isparavanja predstavljaju rizik od nastanka požara. Isparavanjima se stvara eksplozivna atmosfera, a metalni prah i kondenzat koji se koriste pri radu s aditivnim tehnologijama su vrlo zapaljivi. Opasnost od nastanka požara mogu predstavljati električne komponente uređaja, pregrijavanja uređaja ili kvarovi na opremi ili uređaju.

Fused Deposition Modeling aditivne tehnologije imaju veći potencijalni rizik od nastanka požara u usporedbi s drugim vrstama 3D ispisa. Koriste zagrijani filament, a proces taloženja materijala može rezultirati pregrijavanjem filameta i komponenti ili nepredviđenim problemima s grijanjem tijekom printanja, što sve može izazvati požar.



Slika 13. Požar pri FDM 3D printu. [47]

3.9. Ostale opasnosti

Činjenica da su tehnologije digitalne izrade relativno mlade i napredne tehnologije dovodi u pitanje kvalificiranost radnika s obzirom na to da se svakodnevno sve više razvijaju. Radniku rad s 3D printerima može biti stresan ukoliko nije dovoljno kvalificiran, a također može se pojaviti zamor. Radniku se pri radu javlja veći osjećaj sigurnosti u sam 3D printer i opušteniji je, što može dovesti do pada koncentracije, što pak uzrokuje veći rizik za ozljede. [48]

4. ZAŠTITA NA RADU PRI UPORABI ADITIVNE TEHNOLOGIJE

4.1. Zaštita i prevencija na radu

Obaveza svih sudionika u radnom postupku je prevenirati ozljedu nastalu prilikom obavljanja rada. Kako bi se to ostvarilo, Sabor Republike Hrvatske Zakonom o zaštiti na radu (NN 71/14, 118/14, 154/14, 98/18, 96/18) uveo je obvezu organizacije i provođenja zaštite na radu. Nadalje, Zakonom o zaštiti na radu utvrđena su opća načela prevencije, koja su poslodavci dužni provoditi te osnovna pravila zaštite na radu vezane za sredstvo rada. [49]

Tabela 2. Opća načela prevencije.

OPĆA NAČELA PREVENCIJE	
1	izbjegavanje rizika
2	procjena rizika
3	sprječavanje rizika na njihovom izvoru
4	prilagođavanje rada radnicima u vezi s oblikovanjem mjesta rada, izborom radne opreme te načinom rada i radnim postupcima radi ublažavanja jednoličnog rada, rada s nametnutim ritmom, rada po učinku u određenom vremenu te ostalih napora s ciljem smanjenja njihovog štetnog učinka za zdravlje
5	prilagođavanje tehničkom napretku
6	zamjene opasnog neopasnim ili manje opasnim
7	razvoj dosljedne sveobuhvatne politike prevencije povezivanjem tehnologije, organizacije rada, uvjeta rada, ljudskih odnosa i utjecaja radnog okoliša
8	davanje prednosti skupnim mjerama zaštite pred pojedinačnim
9	odgovarajuće osposobljavanje i obavješćivanje radnika
10	besplatnost prevencije, odnosno mjera zaštite na radu za radnike

Od općih načela prevencije posebice treba istaknuti procjenu rizika. Poslodavci su dužni izraditi procjenu rizika u pisanom ili elektroničkom obliku, a u samoj izradi obavezno trebaju sudjelovati radnici (odnosno njihovi predstavnici), ovlaštenici i stručnjaci zaštite na radu, a po potrebi se uključuju i stručnjaci iz pojedinih područja.

Sredstva rada moraju udovoljavati određenim osnovnim pravilima zaštite na radu, a to su zaštita od mehaničke opasnosti, zaštitu od udara električne struje, sprječavanje nastanka požara i eksplozije, osiguranje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine, osiguranje potrebne radne površine i radnog prostora, osiguranje potrebnih putova za prolaz, prijevoz i evakuaciju radnika i drugih osoba, osiguranje čistoće, osiguranje propisane temperature i vlažnosti zraka i ograničenja brzine strujanja zraka, osiguranje propisan rasvjete, zaštitu od buke i vibracija, zaštitu od štetnih atmosferskih i klimatskih utjecaja, zaštitu od fizikalnih, kemijskih i bioloških štetnih djelovanja, zaštitu od prekomjernih napora, zaštitu od elektromagnetskog zračenja i osiguranje prostorija i uređaja za osobnu higijenu.

4.2. Osobna zaštitna oprema i zaštitne mjere

Ukoliko iste radne rezultate nije moguće postići primjenom bezopasnih tvari ili zamjenom opasnih tvari manje opasnima, poslodavac je dužan smanjiti opasnost od utjecaja štetne tvari primjenom neke od zaštitnih mjera. S obzirom na prethodno navedene opasnosti te da se ugroza zdravlja radnika mora prevenirati, pri radu je potrebno koristiti odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu, zaštitne naprave i uređaje.



Slika 14. Osobna zaštitna oprema. [50]

Osobna zaštitna oprema za zaštitu radnika koja se koristi s 3D printerima su zaštitne naočale, zaštitne rukavice, zaštitne maske i/ili respiratori te oprema za zaštitu sluha. Kako bi se spriječili štetni utjecaji po radnika 3D printeri mogu biti smješteni u komore, a isto tako mora biti osigurana odgovarajuća ventilacija.

Tabela 3. Prikaz osobne zaštitne opreme po pojedinom 3D printeru.

	SLS	SLA/DLP	LOM	CLIP	PolyJet	FDM
zaštitne naočale za zaštitu od lasera/UV svjetla	X	X		X	X	
zaštitne naočale za zaštitu od mehaničkih opasnosti	X	X	X			X
zaštitne rukavice za zaštitu od kemijskih štetnosti		X		X	X	
zaštitne rukavice za zaštitu od mehaničkih ili toplinskih opasnosti	X	X	X			X
zaštitna maska/ respirator s filtrom za zaštitu kemijskih štetnosti		X			X	
zaštitna maska za zaštitu od aerosola	X					X
osobna zaštitna oprema za zaštitu sluha	X				X	X

4.3. Zaštita od aerosola i hlapljivih organskih spojeva

Aerosoli i hlapljivi organski spojevi predstavljaju najveću opasnost za radnike pri radu s 3D printerima, stoga je potrebno posebnu pažnju posvetiti zaštiti od takvih štetnih utjecaja. Za zaštitu radnika od štetnih utjecaja, prije svega je potrebno da 3D

printer bude zatvoren ili smješten kraj prozora ili je potrebna odgovarajuća ventilacija, koja može biti lokalna ili opća.



Slika 15. Smanjenje štetnog utjecaja aerosola ventilacijom. [32]

Bitno je ograničiti utjecaj štetnih tvari na najmanju moguću mjeru time što će se smanjiti količina opasne tvari, broj radnika koji su izloženi djelovanju iste i vrijeme izlaganja radnika štetnoj tvari. Međutim, ponekad se unatoč svim navedenim mjerama ne može postići dovoljna zaštita, pa su poslodavci dužni osigurati radnicima odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu.

Kako bi radnik spriječio nastanak štetnih posljedica aerosola i para koje nastaju prilikom rada s 3D printerima, na svoje zdravlje potrebno je da koristi zaštitne maske. Zaštitne maske štite dišne organe i oči od utjecaja para, plinova i aerosola.

Zaštitne maske se dijele na maske za cijelo lice, polumaske, četvrtmske, filtarske polumaske, sklop usnika i filtre. Polumaske, četvrtmske, filtarske polumaske koriste se za zaštitu organa za disanje. Takve maske moraju biti izrađene sukladno normi HRN EN 132:2004. Polumaske i četvrtmske moraju biti tijesno priljubljene na lice, prekrivati nos, usta i bradu, a linija brtvljena ide preko nosa, lica i ispod brade. Zaštitu od čestica u dovoljnoj mjeri pruža i filtarska polumaska. [51]

4.4. Zaštita od požara i toplinskih opasnosti

Zaštitu od toplinskih opasnosti pruža toplinska izolacija dijelova radne opreme koji su pod utjecajem visokih temperatura.

Osobna zaštitna oprema kod izloženosti toplinskim opasnostima pri radu s 3D printerima su zaštitne rukavice, a ako je opasnost veća, koristi se i osobna zaštitna odjeća. Odjeća za zaštitu od toplinskih opasnosti moraju ispunjavati zahtjeve kao što su visoka toplinska izolacija, otpornost na povišene temperature, otpornost na zapaljenje i gorenje pri kontaktu s plamenom te otpornost na taljenje i kapanje.

Zaštitne rukavice važna su zaštita od toplinskih opasnosti, a isto tako kod mehaničkih opasnosti te opasnosti od visokog napona. Koriste se za zaštitu od ogrebotina, porezotina, uboda, natučenja, nagnječenja i opekotina. Razlikujemo tri kategorije zaštitnih rukavica (I, II i III). U I kategoriju spadaju rukavice za minimalne rizike, u II kategoriju spadaju rukavice za srednje rizike, a u III kategoriju spadaju rukavice za velike rizike. Također, jako je važno odabrati ispravnu veličinu rukavica, što omogućuje sigurnost i udobnost. Za rad se trebaju upotrebljavati prikladne rukavice, ovisno o vrsti opasnosti kojoj je radnik izložen. Ne smiju se upotrebljavati oštećene rukavice. [52]



Slika 16. Rukavice za termičku zaštitu. [53]

Kako bi se prevenirao nastanak požara potrebno je da 3D printer uvijek tijekom rada bude pod nadzorom, a što se može osigurati postavljanjem kamera za daljinski nadzor. Printer se mora uredno održavati, kao i provjeriti ispravnost svih komponenti pisača. Prvenstveno mora biti osiguran aparat za gašenje požara na označenom mjestu u prostoriji, a poželjno je korištenje detektora dima ili instalacija sustava za suzbijanje požara namijenjenog 3D printerima, a naravno i osiguranje ventilacije za sprječavanje pregrijavanja. Važno je postaviti 3D printer na stabilnu vatrootpornu površinu. Osim toga, radnik mora biti informiran o uređaju i opremi, radu uređaja te filamentu. [47]

4.5. Zaštita od mehaničkih opasnosti

Prije svega, za zaštitu od ozljeda uzrokovane mehaničkim izvorima opasnosti koriste se zaštitne naprave. Zaštitne naprave smanjuju opasnosti time što se postavljaju na određeni dio stroja koji predstavlja opasnost za radnika. Mogu biti pomične zaštitne naprave, pomične zaštitne naprave s uređajem za blokiranje, nepomične zaštitne naprave, automatske zaštitne naprave i uređaji za daljinsko upravljanje i prinošenje materijala.

U smislu osobne zaštitne opreme ranije su spomenute zaštitne rukavice. Zaštitne rukavice koje služe za zaštitu od mehaničkih opasnosti štite od nastanka ogrebotina, posjekotina, uboda, modrica i sličnih ozljeda. Kao najefikasnija zaštita od mehaničkih opasnosti pokazale su se zaštitne rukavice izrađene od kože. [54]

Osim zaštitnih rukavica, zaštitu od mehaničkih opasnosti pružaju i zaštitne naočale. Važne su za upotrebu, jer sprječavaju ulijetanje čestica koje nastaju u procesu proizvodnje. Zaštitne naočale za zaštitu od mehaničkih opasnosti imaju dvostruki okular (koji je najčešći), a za bolju zaštitu očne šupljine imaju i bočne štitnike.

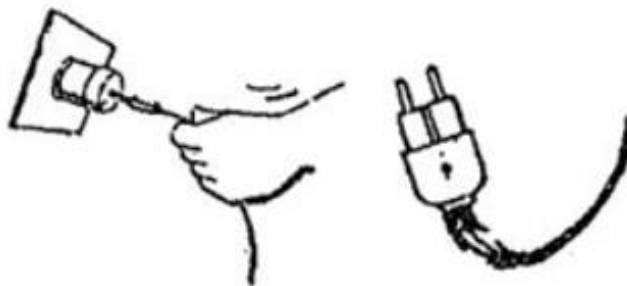
4.6. Zaštita od djelovanja električne struje

Električna struja kod čovjeka može izazvati opekline, razaranje tkiva, rastvaranje krvne plazme, stezanje mišića te paralizaciju dišnih organa i rada srca. Sve navedeno predstavlja visok stupanj opasnosti za čovjekov život i zdravlje, stoga je od izrazite važnosti da se osobe na radu zaštite od potencijalnih ozljeda.

Napon veći od 50 V predstavlja opasnost za život i nužno je provođenje zaštitnih mjera za smanjenje rizika. Radnik se može ozlijediti na način da dodirne metalni dio uređaja, a koji je zbog oštećene ili neispravne izolacije poprimio napon prema zemlji.

Zaštitu od direktnog dodira postižemo izoliranjem, udaljavanjem, ograđivanjem i ugrađivanjem. Zaštitne mjere kao što su automatsko isključivanje napona, uporaba uređaja s neprekidnom, duplom ili pojačanom izolacijom (Klasa II), mali radni i sigurnosni naponi, električno odvajanje i zaštitni uređaji diferencijalne struje koriste se za zaštitu od indirektnog dodira.

Osobna zaštitna oprema preporučena radnicima za rad sa ili u blizini električnih uređaja, 3D printera, su izolacijske zaštitne rukavice, zaštitna obuća i odjeća. Isto tako, nužno je da radnici provjeravaju ispravnost kablova, vodiča i uređaja te zaštitnih sredstava i naprava.



Slika 17. Povlačenje oštećenog kabla. [55]

4.7. Zaštita od lasera i ultraljubičastog svjetla

Pravilnikom o temeljnim zahtjevima za uređaje koji proizvode optičko zračenje te uvjetima i mjerama zaštite od optičkog zračenja uređaji koji proizvode optičko zračenje ili u sebi imaju ugrađene izvore optičkog zračenja smiju se upotrebljavati ukoliko ne utječu štetno na ljude i okoliš, a ako se ipak koriste, potrebno je da se rizik od navedenog štetnog utjecaja svede na najmanji mogući. [56]

Zaštitna sredstva koriste se za smanjenje štetnog učinka na zdravlje radnika, pa se tako pri radu s 3D printerima kod kojih postoji rizik od ultraljubičastog zračenja (lasera) koriste zaštitne naočale.

Osobna zaštitna oprema za zaštitu očiju dijeli se na osobnu zaštitnu opremu za zaštitu očiju „ostale namjene“, za zaštitu od laserskog zračenja i za zaštitu kod zavarivanja. Dakle, pri radu s 3D printerima koristi se osobna zaštitna oprema za zaštitu očiju „ostale namjene“ i za zaštitu od laserskog zračenja. Također, zaštitne naočale mogu se podijeliti na otvorene zaštitne naočale (koje štite oči i djelomično očne duplje), zatvorene zaštitne naočale (zaštitu očiju i očnih duplji) te štitnike za lice (koji štite oči i lice).



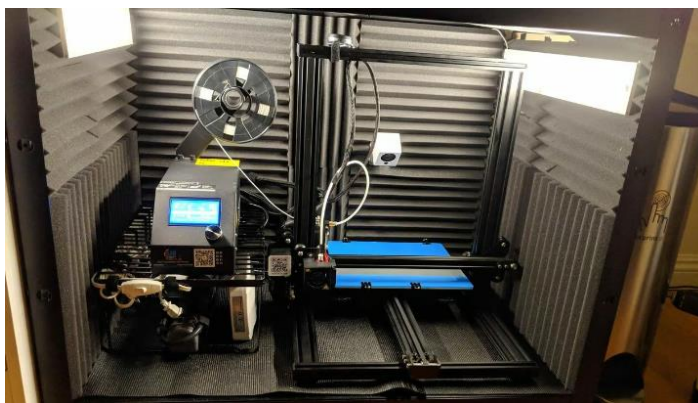
Slika 18. Laserske zaštitne naočale. [57]

Zaštitne naočale moraju osigurati spektralno propuštanje, moraju biti otporne na lasersko zračenje te moraju imati kvalitetnu površinu materijala filtra nakon UV zračenja i toplinske izloženosti. Nužno je da zaštitne naočale imaju filtrirajuće okulare koji pružaju određenu zaštitu od UV, toplinskog i sunčevog zračenja.

4.8. Zaštita od buke

U mnogim industrijama buka je jedan od najčešćih izvora oštećenja zdravlja radnika. Tijekom rada 3D printeri ispuštaju buku, a kako bi se štetni utjecaji buke spriječili ili smanjili potrebno je poduzeti određene mjere.

Prvenstveno, potrebno je prigušiti buku samog 3D printera u najvećoj mogućoj mjeri zvučnom izolacijom. Apsorberi zvuka su uglavnom od poliuretanske pjene koja predstavlja trajnu i kvalitetnu zaštitu od buke.



Slika 19. Zvučna izolacija. [32]

Ukoliko nije moguće u dovoljnoj mjeri izolirati buku i smanjiti izloženost radnika buci, nužno je korištenje osobne zaštitne opreme. Za zaštitu sluha pri radu s 3D printerima koriste se ušni čepovi ili ušni štitnici. Ušni čepovi umeću se u ušni kanal.

Ušni štيتnici su tako oblikovani da prekriju uši, a dizajnirani su kao školjke s mekanim zračnim jastucima.

4.9. Upute za rad na siguran način

Cilj svakog poslodavca je prvenstveno sprječavanje ozljede radnika, jer su pri svakom radnom procesu sigurnost i zdravlje radnika najvažniji. Kako bi se to ostvarilo potrebno je ponajprije radnike uputiti u rad na siguran način s 3D printerima. Poslodavac je dužan istaknuti znakove opasnosti, obaveza i zabrana, kao i osposobiti određeni broj radnika za pružanje prve pomoći.



Slika 20. Znakovi obaveze. [58]

Upute za rad na siguran način prije svega obuhvaćaju obučavanje radnika za rad na siguran način prilikom korištenja 3D printera i opasnim materijalom 3D printera, u

smislu kemikalija. Pored toga potreban je i pregled sigurnosno – tehničkih listova materijala za ispis.

3D printeri moraju se koristiti u prozračenom prostoru ili prostoru s ventilacijom. Isto tako valja spomenuti da pri radu s metalnim materijalima radni prostor mora biti bez statičkog elektriciteta. U radnom prostoru moraju se osigurati aparati za gašenje požara klase D te je nužno da su radnici obučeni za pravilnu uporabu istih. Dakle, požari se gase isključivo suhim sredstvima kao što su posebne vrste praha. Također, u radnom prostoru potrebno je istaknuti plan evakuacije i spašavanja. Osim toga, poslodavac mora osigurati stanice za hitno ispiranje očiju u blizini mjesta rada. [7]

Zbog sigurnosti radnika zabranjeno je otvaranje poklopca 3D pisaača u tijeku samog ispisa. Također, radnici moraju nositi odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu, a to su zaštitne maske prilikom pristupanja području printera, zaštitne rukavice kada se rukuje s nestvrdnutim materijalom, osobna zaštitna oprema za zaštitu očiju kod rada s tekućim materijalom koji može prskati te osobna zaštitna oprema za zaštitu sluha prilikom rada printera ukoliko 3D printer stvara buku.

Radnik treba brinuti i održavati urednost radnog mjesta te ispravno skladištiti materijale, modele i alate.

5. ZAKLJUČAK

3D printeri pružaju mnoštvo prednosti u proizvodnji, ali nose i moguće opasnosti. Potencijalne opasnosti zahtijevaju pažljiv pristup i upravljanje.

Opasnosti pri radu s aditivnim tehnologijama variraju ovisno o vrsti 3D printera, ali općenito se može reći da su izlaganje kemijskim tvarima, izlaganje zračenju, mehaničke opasnosti, inhalacija aerosola te rizik od požara i eksplozija najizraženije opasnosti.

Zaštitu radnika i siguran radni okoliš osigurava provođenje odgovarajućih sigurnosnih mjera. Najvažnije mjere vezane uz sigurnost pri radu s aditivnim tehnologijama su usmjerene prema ventilaciji prostora, korištenju osobne zaštitne opreme, edukaciji i obuci, održavanju opreme i rukovanju materijalima, električnoj sigurnosti, kao i radnicima dostupnim sigurnosnim uputama te kontroli i procjeni rizika.

U konačnici, ljudski faktor predstavlja najveću razinu sigurnosti, stoga je najvažnija suradnja između radnika i poslodavca. Na taj se način ostvaruje sigurnost i dobrobit svih uključenih u proces proizvodnje s aditivnim tehnologijama.

6. PRILOZI

I. CD – R disc

LITERATURA

- [1] »Tehnologija i proizvodne tehnologije i obrada odvajanjem čestica,« [Mrežno]. Available: https://titan.fsb.hr/~mklaic/PROIZVODNE_TEHNOLOGIJE_I_2019_2020_FSB/PREDAVANJA/Prvo_predavanje_tehnologija_19_20.pdf. [Pokušaj pristupa 4 2024]
- [2] »Additive Technologies and Their Applications in Furniture Design,« [Mrežno]. Available: <https://hrcak.srce.hr/file/428834>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [3] »Hrvatska enciklopedija,« [Mrežno]. Available: <https://enciklopedija.hr/clanak/tehnologija>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [4] L. R. Shahrubudin, »An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications,« 2019.
- [5] »Protosfera,« [Mrežno]. Available: <https://protosfera.hr/aditivna-proizvodnja-vise-od-samo-3d-printa/>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [6] »Hrvatska enciklopedija,« [Mrežno]. Available: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/aditivna-proizvodnja>.
- [7] »Vatropromet,« [Mrežno]. Available: <https://vatropromet.hr/clanci/savjeti/klase-pozara-i-sredstva-gasenje-20/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [8] »IZIT,« [Mrežno]. Available: <https://izit.hr/tehnologije/>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [9] M. M. S.-J. a. D. Dawood, »3D printing in dentistry«.
- [10] »David 3D scanner,« [Mrežno]. Available: <https://unze.ba/am/pzi/2011/MrkonjaAlma/3Dskeniranje.html>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [11] K. Junk, »Review of Open Source and Freeware CAD Systems,« 2016.
- [12] »8 Best CAD programs of 2024: Both Online and Downloadable,« [Mrežno]. Available: <https://www.selfcad.com/blog/8-best-free-cad-software-for-3d-printing>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [13] T. Z. Jerzy Kozak, »Accuracy problems of additive manufacturing SLS/SLM

- processes,« u XIII INTERNATIONAL CONFERENCE ELECTROMACHINING 2018, Bydgoszcz, Poland.
- [14] »IZIT,« [Mrežno]. Available: <https://izit.hr/tag/materijali-za-3d-printanje/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [15] »3Dnatives your source for 3D printing,« [Mrežno]. Available: <https://www.3dnatives.com/en/different-sls-3d-printers-220320184/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [16] »JSADD 3D,« [Mrežno]. Available: <https://www.jsadditive.com/hr/news/what-is-3d-printing-selective-laser-sinteringsls/>. [Pokušaj pristupa 2024].
- [17] T. Z. M. W. M. D.-W. Jerzy Kozak, »Sciendo,« [Mrežno]. Available: <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/tar-2021-0003>.
- [18] Y. S. L. Z. S. W. Q. W. Chunze Yan, Selective Laser Sintering Additive Manufacturing Technology, ELSEVIER, Book Aid, 2021.
- [19] »formlabs,« [Mrežno]. Available: <https://formlabs.com/eu/blog/post-processing-and-finishing-sla-prints/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [20] »@BabsonCollege,« [Mrežno]. Available: <https://www.foundry.babson.edu/sla-printers>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [21] K. V. Wong, »A Review of Additive Manufacturing,« 2012.
- [22] »Protosfera,« [Mrežno]. Available: <https://protosfera.hr/stereolitografija-sla-precizna-tehnologija-3d-printanja/>. [Pokušaj pristupa 2024].
- [23] »ADDITIVE X,« [Mrežno]. Available: <https://additive-x.com/blog/what-is-the-difference-between-sla-and-lfs/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [24] »Public display,« [Mrežno]. Available: <https://www.publicdisplay.rs/dlp-tehnologija/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [25] »stratasys,« [Mrežno]. Available: <https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/polyjet-technology/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [26] »formlabs,« [Mrežno]. Available: <https://formlabs.com/eu/blog/sla-vs-polyjet-3d-printing/>.
- [27] »proto3000,« [Mrežno]. Available: <https://proto3000.com/service/3d-printing-services/technologies/polyjet/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].

- [28] »Sculpteo,« [Mrežno]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/lom-definition/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [29] F. L. J. Z. S. X. Shuping Yi, »Study of the key technologies of LOM for functional metal parts,« *Journal Materials Processing Technology*, pp. 175-181, 2004.
- [30] »3Dnatives your source for 3D printing,« [Mrežno]. Available: <https://www.3dnatives.com/en/laminated-object-manufacturing-what-is-it-used-for0308234/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [31] »3D PRINTING.COM,« [Mrežno]. Available: <https://3dprinting.com/news/carbon3d-reaches-incredible-3d-printing-speeds-with-clip/>.
- [32] »All3DP,« [Mrežno]. Available: <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [33] »stratasys,« [Mrežno]. Available: <https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [34] »AZUREFILM,« [Mrežno]. Available: <https://azurefilm.com/2023/10/28/fdm-printing-what-is-fdm/>.
- [35] »Preventa plus d.o.o. za trgovinu i usluge,« [Mrežno]. Available: <https://znakovisigurnosti.eu/znakovi-opasnosti.html>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [36] »EPA,« [Mrežno]. Available: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-are-volatile-organic-compounds-vocs>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [37] F. M. G. S. Laura Bravia, »Additive Manufacturing: Possible Problems whit Indoor Air Quality,« 2019.
- [38] »ZNANOST,« [Mrežno]. Available: <https://znanost.com.hr/tehnologija-i-energija/2/3d-printanje-prakticni-vodic-o-kvaliteti-zraka-i-stetnim-cesticama/3337>. [Pokušaj pristupa 4 2025].
- [39] »Researcher,« [Mrežno]. Available: <https://www.researcher-app.com/paper/8062027>.
- [40] P. M. Potter, »VOC Emissions and Formation Mechanisms from Carbon Nanotube Composites during 3D Printing,« *Environmental Science & Technology*, 2019.
- [41] m. s. o. i. s. p. Ministarstvo rada, Pravila sigurnosti pri radu s električnom energijom

https://uznr.mrms.hr/wp-content/uploads/2020/09/VODI%C4%8C_ELEKTRI%C4%8CNA_ENERGIJA.pdf
2020.

- [42] Š. M. Martinis, Stručni rad, 2011.
- [43] »AMETRA GROUP,« [Mrežno]. Available: <https://blog.ametrargroup.com/additive-manufacturing-technologies/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [44] »trotec,« [Mrežno]. Available: <https://www.troteclaser.com/hr/pomoc-i-podrska/faqs/sigurnost-laserskih-strojeva>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [45] »Preventa Centar za integralnu sigurnost d.o.o.,« [Mrežno]. Available: <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/buka-na-radu>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [46] »Makenica,« 4 2023. [Mrežno]. Available: <https://makenica.com/decoding-the-noise-of-3d-printers/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [47] »ALVEOED,« [Mrežno]. Available: <https://www.alveo3d.com/en/3d-printer-fire-safety/>.
- [48] D. K. J. K. M. S. Elizbieta Dobrzynska, »State of the art in additive manufacturing and its possible chemical and particle hazards—review,« 2021.
- [49] Zakon o zaštiti na radu.
- [50] »Refam Creative Solutions,« [Mrežno]. Available: <https://rec.ba/seminar-zastita-na-radu-mart-2024-2/46009/>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [51] HZJZ, OSOBNA ZAŠTITNA SREDSTVA ZA ZAŠTITU DIŠNIH ORGANA, 2016.
- [52] HZJZ, OSOBNA ZAŠTITNA OPREMA.
- [53] »Würth,« [Mrežno]. Available: <https://eshop.wuerth.com.hr/zastita-na-radu/zastitna-oprema-za-transport-opasnih-tvari/rukavice-za-termicku-zastitu/zastitu-od-topline-iskren>. [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [54] »HABERKON CROATIA,« [Mrežno]. Available: <https://www.haberkorn.hr/zastita-na-radu/radne-rukavice/atg#topic5460>. [Pokušaj pristupa 17 5 2024].
- [55] »Preventa,« [Mrežno]. Available: <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/opasnosti-od-elektricne-struje>.
- [56] M. z. Republika Hrvatska, Pravilnik o temeljnim zahtjevima za uređaje koji

proizvode optičko zračenje te uvjetima i mjerama zaštite od optičkog zračenja, 2020

- [57] »DMK LASER,« [Mrežno]. Available: <https://hr.laserdemark.com/laser-machine-accessories/laser-repair-supplies/fiber-laser-eye-protective-glasses.html>. [Pokušaj pristupa 15 5 2024].
- [58] »Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti,« [Mrežno]. Available: https://uznr.mrms.hr/wp-content/uploads/2020/09/VODI%C4%8C_ELEKTRI%C4%8CNA_ENERGIJA.pdf [Pokušaj pristupa 5 2024].
- [59] »Uvod u aditivne tehnologije IZIT,« [Mrežno]. Available: <https://izit.hr/blog/smjernice-za-odabir-aditivne-tehnologije-za-izradu-polimernih-dijelova/>. [Pokušaj pristupa 4 2024].
- [60] »3D PRINTANJE - OD IDEJE DO PROIZVODA U NEKOLIKO MINUTA,« [Mrežno]. Available: <https://www.womeninadria.com/3d-printanje-od-ideje-proizvoda-u-nekoliko-minuta/>.