

UNIVERZITET U SARAJEVU

EKONOMSKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**3D PRINTANJE KAO POSLOVNI MODEL**

Sarajevo, oktobar 2023. godine

ERNA VUČETIĆ

U skladu sa članom 54. Pravila studiranja za I, II ciklus studija, integrisani, stručni i specijalistički studij na Univerzitetu u Sarajevu, daje se

### **IZJAVA O AUTENTIČNOSTI RADA**

Ja, Erna Vučetić, studentica drugog (II) ciklusa studija, broj index-a 5323-74960 na programu Menadžment, smjer Finansijski menadžment i bankarstvo, izjavljujem da sam završni rad na temu:

#### **3D PRINTANJE KAO POSLOVNI MODEL**

pod mentorstvom prof. dr. Mirhe Bičo Ćar izradila samostalno i da se zasniva na rezultatima mog vlastitog istraživanja. Rad ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene materijale drugih autora, osim onih koji su priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija uključujući i alate umjetne inteligencije.

Ovom izjavom potvrđujem da sam za potrebe arhiviranja predao/predala elektronsku verziju rada koja je istovjetna štampanoj verziji završnog rada.

Dozvoljavam objavu ličnih podataka vezanih za završetak studija (ime, prezime, datum i mjesto rođenja, datum odbrane rada, naslov rada) na web stranici i u publikacijama Univerziteta u Sarajevu i Ekonomskog fakulteta.

U skladu sa članom 34. 45. i 46. Zakona o autorskom i srodnim pravima (Službeni glasnik BiH, 63/10) dozvoljavam da gore navedeni završni rad bude trajno pohranjen u Institucionalnom repozitoriju Univerziteta u Sarajevu i Ekonomskog fakulteta i da javno bude dostupan svima.

Sarajevo, 1. 10. 2023.

Potpis studentice: Erna Vučetić



## SAŽETAK

Svijet napreduje vrlo ubrzanim koracima, tehnologija prednjači iz dana u dan u svakodnevnom životu, edukaciji, poslovanju i sl. Da bismo bili u korak s vremenom, trebamo se potruditi da shvatimo šta je to što je danas aktuelno. Ako govorimo o Industriji 4.0 i jednoj od najaktuelnijih grana trenutno onda govorimo o 3D printanju, odnosno aditivnoj proizvodnji (AM). Za razliku od tradicionalnog 2D printanja, 3D printanje služi za izradu 3D modela, spajanjem veoma tankih slojeva materijala pomoću 3D printera. Cilj ovog rada jeste dati uvid u način rada 3D printanja, materijalima koji se koriste, načinu printanja te tehnikama i koracima potrebnim da bi se u konačnici izradio model u 3D obliku. Također, ekonomski aspekt korištenja 3D printanja je veoma važan, pa će se rad fokusirati i na taj aspekt, dajući detaljno objašnjenje kako ekonomski opravdati 3D printanje te kako cirkularna ekonomija postaje sve važnija, kako za poslovanje i uštede sa finansijske strane tako i za prirodu i sam proces recikliranja. Primjena 3D printanja se može ogledati u raznim industrijama, počevši od izrade estetskih elemenata preko izrade medicinske i hirurške opreme i ljudskih kostiju pa sve do auto-industrije i izrade prototipova. Naravno, kao i svaka dosadašnja tehnologija koja se iz dana u dan razvija i napreduje, pa tako i 3D printanje nosi sa sobom poteškoće i barijere koje treba prevazići ili naučiti kako ići u korak s njima. Sa praktične strane, u ovom radu se može naći detaljan prikaz tržišta Europe kada je riječ o 3D printanju, te uvid u tržište Bosne i Hercegovine i njenih susjednih zemalja Hrvatske i Srbije. Grafikoni, tabele i slike daju jasnije i uočljivije informacije o strukturi tržišta 3D printanja, potrebama, nedostacima te konkretnim brojkama kada je riječ o kompanijama koje koriste 3D printanje, o kompanijama koje nude usluge 3D printanja, modelovanja, 3D skeniranja te upotrebe materijala raznih snaga izdržljivosti i primjene.

**Ključne riječi:** aditivna proizvodnja, 3D printanje, 3D skeniranje, 3D printeri, cirkularna ekonomija, Europa, Bosna i Hercegovina

## **ABSTRACT**

The world is advancing at a rapid pace, with technology taking the lead in everyday life, education, business, and more. To keep up with the times, we need to make an effort to understand what is currently relevant. When we talk about Industry 4.0 and one of the most current branches, we are referring to 3D printing, or additive manufacturing (AM). Unlike traditional 2D printing, 3D printing is used to create 3D models by layering very thin materials with the help of 3D printers. The aim of this paper is to provide insight into the process of 3D printing, the materials used, the printing process, and the techniques and steps required to ultimately create a 3D model. Additionally, the economic aspect of using 3D printing is crucial, so the paper will also focus on this aspect, providing a detailed explanation of how to economically justify 3D printing and how the circular economy is becoming increasingly important, both from a financial and environmental perspective, including the recycling process. The application of 3D printing can be seen in various industries, ranging from the production of aesthetic elements to the manufacturing of medical and surgical equipment, human bones, and even in the automotive industry for prototyping. Of course, like any evolving technology, 3D printing comes with challenges and barriers that need to be overcome or learned to keep up with. From a practical standpoint, this paper provides a detailed overview of the European market concerning 3D printing, as well as insights into the markets of Bosnia and Herzegovina and its neighboring countries, Croatia and Serbia. Graphs, tables, and images provide clearer and more visible information about the structure of the 3D printing market, its needs, shortcomings, and specific figures regarding companies that use 3D printing, companies that offer 3D printing, modeling, 3D scanning services, and the use of materials of various strengths and applications.

**Keywords:** additive manufacturing, 3D printing, 3D scanning, 3D printers, circular economy, Europe, Bosnia and Herzegovina



## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Ciljevi istraživanja</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. Istraživačka pitanja</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Metodologija istraživanja</b> .....	<b>3</b>
<b>2. HISTORIJAT 3D PRINTANJA</b> .....	<b>4</b>
<b>3. POJMOVI</b> .....	<b>4</b>
<b>4. TEHNOLOGIJA 3D PRINTANJA</b> .....	<b>5</b>
<b>4.1. Metode 3D printanja</b> .....	<b>5</b>
<b>4.2. 3D printeri</b> .....	<b>8</b>
<b>4.3. Materijali</b> .....	<b>10</b>
4.3.1. Estetski materijali .....	12
4.3.2. Tehnički materijali.....	13
4.3.3. Kompozitni materijali.....	15
<b>4.4. Koraci pri izradi 3D modela</b> .....	<b>17</b>
<b>5. EKONOMSKI ASPEKT KORIŠTENJA 3D PRINTANJA</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1. Ekonomske prednosti</b> .....	<b>23</b>
<b>5.2. Cirkularna ekonomija</b> .....	<b>24</b>
<b>6. PRIMJENA 3D PRINTANJA</b> .....	<b>30</b>
<b>6.1. Auto-industrija</b> .....	<b>30</b>
<b>6.2. Medicina</b> .....	<b>31</b>
<b>6.3. Primjeri iz svakodnevnice</b> .....	<b>33</b>
<b>7. BARIJERE PRI 3D PRINTANJU</b> .....	<b>36</b>
<b>8. TRŽIŠTE 3D PRINTANJA U EUROPI</b> .....	<b>37</b>
<b>9. TRŽIŠTE 3D PRINTANJA U BIH</b> .....	<b>46</b>
<b>10. TRŽIŠTE 3D PRINTANJA U HRVATSKOJ I SRBIJI</b> .....	<b>53</b>
<b>11. DISKUSIJA</b> .....	<b>54</b>

<b>12. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCE .....</b>	<b>57</b>

## **POPIS TABELA**

Tabela 1: Vrste materijala.....	12
Tabela 2: Estetski materijali .....	12
Tabela 3: Tehnički materijali.....	14
Tabela 4: Kompozitni materijali.....	16
Tabela 5: Prikaz usluga Snea kompanije .....	46
Tabela 6: Top 5 najboljih softvera za 3D modelovanje.....	49

## **POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1: Korištenje 3D printera u kompanijama u zemljama Europe.....	42
Grafikon 2: Korištenja 3D printanja u kompanijama, u BiH i susjednim zemljama.....	45
Grafikon 3: Vrste usluga koje nude ponuđači na tržištu BiH .....	47
Grafikon 4: a) Programi za modeliranja ponuđača na tržištu BiH .....	48
Grafikon 5: b) Programi za modeliranja ponuđača na tržištu BiH .....	48
Grafikon 6: Vrste 3D printera koji ponuđači na tržištu BiH koriste .....	50
Grafikon 7: a) Materijali za 3D printanje korišteni od strane ponuđača usluga 3D printanja na tržištu BiH.....	51
Grafikon 8: b) Materijali za 3D printanje korišteni od strane ponuđača usluga 3D printanja na tržištu BiH.....	51
Grafikon 9: Boje materijala koje nude ponuđači usluga 3D printanja na tržištu BiH.....	52



## POPIS SLIKA

Slika 1: a) Creality Ender Series i b) Creality Resin .....	8
Slika 2: a) Original Prusa i3 MK3S+; b) Original Prusa MINI+; c) Original Prusa SL1 .....	9
Slika 3: a) Anycubic Photon M3 Max i b) Anycubic Kobra 2 .....	9
Slika 4: a) Mars 4 ultra i b) Neptune pro .....	10
Slika 5: Grupacija materijala .....	11
Slika 6: Poređenje karakteristika materijala .....	16
Slika 7: 19 glavnih funkcija 3D printanja.....	17
Slika 8: Koraci pri izradi 3D modela.....	18
Slika 9: Poređenje kompanija koje ne koriste AM i onih koji koriste AM .....	20
Slika 10: Poređenje ne korištenja AM tehnologije (a) i korištenja AM (b) .....	21
Slika 11: Procenti uštede koristeći 3D printanje .....	23
Slika 12: Poređenje linearne i cirkularne ekonomije .....	25
Slika 13: Nosač sigurnosnog pojasa .....	28
Slika 14: Popravljeni čajni set 3D printom.....	29
Slika 15: Prototip 3D printanog posuđa .....	30
Slika 16: Primjer "nepravilnog zarastanja" kosti.....	33
Slika 17: Primjer korištenja 3D printanja u hirurgiji u Tuzli .....	33
Slika 18: Najčešće printani predmeti.....	34
Slika 19: Primjer modela igračke pištolja 3D printanog (lijevo) i kupovnog (desnog) .....	35
Slika 20: a)Glidecam i b)Nefertiti .....	35
Slika 21: SWOT analiza 3D printanja u Europi .....	38
Slika 22: Korištenje 3D printanja u kompanijama kroz zemlje Europe, 2018. godina .....	43
Slika 23: Korištenje 3D printanja u kompanijama kroz zemlje Europe, 2020. godina .....	43
Slika 24: Korištenje 3D printanja u kompanijama; BiH i susjedne zemlje za 2018. godinu .....	44
Slika 25: Korištenje 3D printanja u kompanijama; BiH i susjedne zemlje za 2020. godinu .....	45

## 1. UVOD

Novi tehnološki napreci ubrzano se razvijaju, donoseći sa sobom revolucionarne promjene u načinu na koji oblikujemo i vodimo svijet oko nas. Ti napreci stvaraju potpuno nove mogućnosti i transformišu naše društvo, poslovanje i svakodnevni život. Novi tehnološki alati poboljšavaju naše sposobnosti u raznim područjima, kao što su komunikacija, transport, zdravstvo, energetika i mnogi drugi sektori. Ovi inovativni alati omogućavaju nam da budemo povezaniji, informisaniji i efikasniji nego ikad prije. Uz brzi razvoj tehnologije dolazi i potreba za prilagođavanjem i usvajanjem novih vještina. Digitalna pismenost postaje ključna vještina u 21. stoljeću, a ljudi se moraju prilagođavati brzim promjenama tehnološkog okruženja kako bi ostali konkurentni. Istovremeno, nove tehnologije otvaraju mogućnosti za stvaranje inovativnih poslovnih modela i poduzetničkih prilika (Shwab, 2017).

2011. godine smo ušli u razdoblje zvano Četvrta industrijska revolucija ili Industrija 4.0. Ovaj pojam je prvi put uveden u Njemačkoj kada su neprekidno tadašnje tehnologije došli do mnogih prednosti u radu – veće efikasnosti, boljih rezultata poslovanja, uštede vremena na raznim poljima koja su se automatizovala te smanjenju troškova koji su mogu reinvestirati u dalje potencijalne prilike Integracija digitalnih tehnologija poput umjetne inteligencije, automatizacije, Interneta stvari, big data i 3D printanja igraju ključnu ulogu u ovom konceptu. Tehnološki alati poput ovih omogućavaju povećanu produktivnost, personalizaciju, fleksibilnost i optimizaciju proizvodnih procesa. (Setiawan i Maulisa, 2020).

Jedna od najznačajnijih tehnoloških inovacija posljednjih godina je definitivno 3D printanje. 3D printanje, također poznato kao aditivna proizvodnja, predstavlja inovativan pristup izradi objekata. Umjesto tradicionalnih metoda koje uključuju skidanje materijala iz sirovog oblika, 3D printeri koriste dodavanje materijala, sloj po sloj, kako bi izgradili konačni proizvod. Ovo otvara nove perspektive u industriji, omogućavajući bržu proizvodnju, smanjenje troškova i potencijalno veću održivost (Pirjan i Petrošanu, 2013). Korisnici imaju mogućnost izrade izuzetno složenih proizvoda od raznovrsnih materijala (poput plastike, metala, keramike, pješčenjaka, smole, biomaterijala i prehrambenih tvari) kroz tehnologiju 3D printanja, koja se razlikuje od tradicionalnih 'suptraktivnih' proizvodnih procesa. (Rogers *et al.*, 2016.).

Tehnologije 3D printanja se smatraju izuzetno obećavajućima iz nekoliko ključnih razloga. Jedan od tih razloga je sposobnost ovih tehnologija da transformišu proizvodnju malog obima u ekonomičan proces, omogućavajući tako široku prilagodbu u masovnim razmjerima. Uz to, one otvaraju značajne mogućnosti za saradničko stvaranje između kompanija i njihovih kupaca. Saradničko stvaranje i masovna prilagodba predstavljaju dva ključna faktora korisničke inovacije, koja su temeljni izvor radikalnih inovacija (Rogers *et*

*al.*, 2016.). Može li 3D printanje imati negativne posljedice na ekonomiju? Nova tehnološka inovacija predstavlja napredak i novi način rješavanja problema, ali isto tako nosi i nekoliko potencijalno negativnih aspekata koji će se vremenom otkriti. Prema podacima jednog istraživanja objavljenog u članku autora Rogers *et al.* (2016), do 2040. godine 40% trgovine će biti eliminisano usvajanjem tehnika 3D printanja, što će rezultirati lokalnom dostupnošću proizvoda i značajnim smanjenjem ekonomije. Na taj način će globalni lanac nabavke biti smanjen te će se međunarodna razmjena dobara svesti na lokalna prikupljanja istih. Ipak, može doći do pojave novih trgovinskih prilika. U slučaju da pojedine države i njihove kompanije posjeduju alate za 3D printanje, ali nemaju pristup određenim proizvodima unutar države, tada bi se javljala razmjena materijala između država koje posjeduju određene proizvode i kompanija koje imaju 3D printere. To je posebno primjenjivo u nedovoljno razvijenim državama (Rogers *et al.*, 2016).

Kroz stalno istraživanje, inovacije i napredak u svakom segmentu lanca vrijednosti, tehnologija 3D printanja nastavlja se razvijati i otvarati nove mogućnosti u različitim industrijama. Od medicine i inženjeringa do umjetnosti i prehrambene industrije, 3D printanje ima potencijal za transformaciju načina na koji stvaramo, proizvodimo i koristimo predmete u svakodnevnom životu.

U sljedećem dijelu rada bit će ukratko predstavljeni ciljevi istraživanja, istraživačka pitanja te metodologija istraživanja. Nakon tog poglavlja detaljno će se obrađivati teme pomenute u navedenom kako bi čitatelj imao potpunu sliku o 3D printanju kao poslovnom modelu.

### **1.1. Ciljevi istraživanja**

Na bazi predstavljene diskusije u tekstu iznad, definirani su sljedeći ciljevi istraživanja:

- Objasniti osnove 3D printanja: historiju, proces i prednosti.
- Predstaviti ekonomske uticaje 3D printanja na različite industrije, uključujući proizvodnju, zdravstvo i obrazovanje.
- Analizirati 3D printani model, njegove prednosti i nedostatke usvajanja 3D printanja u poslovnom modelu, uključujući uštedu troškova, prilagođavanje i probleme intelektualnog vlasništva.
- Procijeniti ekološke prednosti 3D printanja, kao što su smanjeni otpad, niže emisije ugljika i sl.
- Identificirati potencijal za 3D printanje u Bosni i Hercegovini.

### **1.2. Istraživačka pitanja**

Na bazi predstavljenih ciljeva istraživanja su kreirana istraživačka pitanja:

- Kako 3D printanje utiče na različite industrije, kao što su proizvodnja, zdravstvo i obrazovanje?

- Koje su prednosti i nedostaci usvajanja 3D printanja u poslovnom modelu, uključujući uštedu troškova, prilagođavanje i pitanja intelektualnog vlasništva?
- Koje su prednosti 3D printanja za životnu sredinu, kao što su smanjeni otpad i manje emisije ugljika, i kako se one mogu izmjeriti?
- Koji je potencijal da se 3D printanje koristi kao poslovni model u Bosni i Hercegovini i koji faktori mogu uticati na njegovo usvajanje?
- Kakvo je trenutno stanje ponude i potražnje za uslugama 3D printanja?

### 1.3. Metodologija istraživanja

Istraživanje u okviru izrade master rada pod naslovom “3D printanje kao poslovni model” sastojat će se od dva dijela: teorijskog pregleda literature koja se odnosi na predmetnu tematiku i empirijskog dijela usmjerenog na istraživanje prakse 3D printanja u Bosni i Hercegovini i efekata tog poslovnog modela. U sklopu ovog dijela rada bit će pažljivo analizirana praksa obrazovanja i treninga za primjenu 3D printanja u Bosni i Hercegovini, s ciljem identifikacije ključnih aspekata i dubinskog razumijevanja teme. Poseban naglasak bit će stavljen na izučavanje i razvoj prakse 3D printera u osnovnom, srednjem i visokom obrazovanju, kako bi se pružio sveobuhvatan uvid u njihovu implementaciju i uticaj.

Empirijski dio istraživanja imat će dva dijela. Prvi dio istraživanja bit će usmjeren na istraživanje razvijenosti tržišta za 3D printanje u Bosni i Hercegovini, poredeći stanje i sa susjednim zemljama poput Hrvatske i Srbije kako bi se dobila šira slika korištenja 3D printanja na Balkanu te stekao dojam u kojem smjeru napreduje razvoj takve vrste tržišta. U ovom dijelu bit će napravljen presjek/analiza elemenata ponude 3D printanja u BiH i karakteristika ponuđača, ali (koliko to bude moguće) potražnje za 3D printanjem, (u smislu artikulirane potrebe, tražilaca/potrošača)

U ovom dijelu empirijskog istraživanja, ova studija će koristiti kvalitativnu metodologiju istraživanja, te polustrukturirane intervjuje za prikupljanje podataka. Ova metodologija omogućava dubinsko ispitivanje istraživačkih pitanja prikupljanjem detaljnih, deskriptivnih podataka direktno od dobro upućenih ključnih informatora na temu 3D printanja u poslovnom kontekstu.

Učesnici će biti odabrani korištenjem tehnike koja se zove svrsishodno uzorkovanje, koja će osigurati da samo oni sa relevantnim iskustvom i znanjem budu uključeni u studiju. Učesnike u ovom dijelu će činiti menadžeri kompanija koji imaju iskustva i znanja o 3D printanju te će govoriti i o načinu poslovanja njihovih kompanija. Intervjui će biti polustrukturirani i sastojati se od otvorenih pitanja koja omogućavaju učesnicima da daju detaljne odgovore. Pitanja iz upitnika će se odnositi na istraživačka pitanja navedena u prethodnom odjeljku.

Podaci će se analizirati metodom tematske analize koja uključuje identifikaciju obrazaca, tema i kategorija. Citati učesnika će se koristiti za ilustraciju ključnih tema i obrazaca koji proizlaze iz podataka prilikom predstavljanja nalaza

## 2. HISTORIJAT 3D PRINTANJA

Charles Hull (1939) je razvio koncept 3D printanja, poznat kao aditivna proizvodnja (AM – Additive Manufacturing), brza prototipizacija (RP – Rapid Prototyping) ili tehnologija slobodnog oblika (Solid Freeform Fabrication - SFF) (Gross *et al.*, 2014). Nakon što je diplomirao inženjersku fiziku na Univerzitetu Colorado, Hull je počeo raditi na izradi plastičnih uređaja od fotopolimera početkom 1980-ih u kompaniji Ultra Violet Products u Kaliforniji. Dugotrajan proces izrade (1-2 mjeseca) i visoka vjerojatnoća dizajnerskih nedostataka koji zahtijevaju više iteracija da bi se postiglo savršenstvo, potaknuli su Hulla da poboljša postojeće metode razvoja prototipa. 1986. godine Hull je dobio patent za stereolitografiju te je nastavio sticati brojne druge patente na tu tehnologiju. Također, 1986. godine osnovao je 3D Systems i razvio format datoteke .STL, koji je omogućio elektronsku komunikaciju između softvera za računarsku podršku dizajnu (CAD) i prijenos datoteka za printanje 3D objekata. Hull i 3D Systems nastavili su razvijati prvi 3D printer nazvan "Stereolitografski aparat" i prvi komercijalno dostupni 3D printer za širu javnost, SLA-250. Zahvaljujući Hullovom radu, kao i razvoju i patentiranju tehnologije taloženja otopljenog materijala (FDM) od strane Scotta Crumpa u kompaniji Stratasys 1990. godine, 3D printanje je bilo spremno za revoluciju u proizvodnji i istraživanju te su ove dvije kompanije izrasle u istaknute igrače na polju 3D printanja i brze izrade prototipa. Profesori MIT-a Michael Cima i Emanuel Sachs su 1993. godine patentirali prvi uređaj nazvan "3D printer" za printanje plastičnih, metalnih i keramičkih dijelova. Mnoge druge kompanije su razvile 3D printere za komercijalne primjene, kao što su DTM Corporation i Z Corporation (koji su se spojili s 3D Systems), te Solidscape i Objet Geometries (koji su se spojili sa Stratasysom). Ostale kompanij uključuju Helisys, Organovo, koja printa objekte od živog ljudskog tkiva, i Ultimaker. Otvorene opcije, poput RepRap-a, desktop 3D printera koji je sposoban replicirati većinu vlastitih dijelova, dostupne su od 2008. godine (Gross *et al.*, 2014).

U sljedećem dijelu rada će biti objašnjeni pojmovi koji se prožimaju kroz rad za bolje shvatanje tematike. Radi se o pojmovima bliskim aditivnoj proizvodnji odnosno 3D printanju. Zatim, počinje se detaljno objašnjavati o samoj tehnologiji 3D printanja, metodama, materijala, 3D printerima, ekonomskom aspektu 3D printanja te primjerima na kojima se ogleda upotreba i primjena 3D printanja, a zatim konkretno stanje tržišta Europe, Bosne i Hercegovine, Hrvatske i Srbije kada je riječ o 3D printanju.

## 3. POJMOVI

Trenutno smo svjedoci *Industrije 4.0* koja se gradi na Trećoj industrijskoj revoluciji oslanjajući se na elektroniku i informacionu tehnologiju kako bi automatizirala proizvodnju. Četvrta industrijska revolucija je digitalna revolucija koju karakterizira spajanje tehnologija koje briše granice između fizičkog, digitalnog i biološkog svijeta (Schwab, 2017).

Jedan od glavnih dostignuća Industrije 4.0 jeste *aditivna proizvodnja* (AM), odnosno *3D printanje*. Izraz "aditivna proizvodnja" opisuje postupak spajanja veoma tankih materijala sloj po sloj, počevši od izrade virtualnog modela, obično u CAD softveru. Ova metoda predstavlja kontrast u odnosu na tradicionalne pristupe u proizvodnji i stvaranju proizvoda. Ovaj proces podrazumijeva stvaranje fizičkog proizvoda putem sukcesivnog dodavanja slojeva na temelju virtualnog modela, što se razlikuje od uobičajenih metoda proizvodnje (Baldassarre i Ricciardi, 2017). Istovremeno poznato kao "aditivna proizvodnja" ili "brza izrada prototipa," 3D printanje je proces izrade čvrstih, fizičkih 3D objekata, gdje za razliku od mašinskih postupaka koji su suštinski subtraktivne prirode, 3D printani sistemi spajaju sirovine kako bi oblikovali objekt (de Jong i de Bruijn, 2012). 3D printanje se obavlja preko 3D printera, ali tu je i jedan od reverznih metoda 3D-a, a to je *3D skeniranje* koje predstavlja analizu objekta iz stvarnog svijeta kako bi se prikupili svi podaci potrebni za digitalno rekreiranje njegove forme i izgleda (Sculpteo, n.d.).

Sa *ekonomske strane* procenjuje se da će troškovi proizvodnje manjih serija 3D printanjem biti niži u poređenju sa troškovima koji bi nastali primjenom tradicionalnih metoda proizvodnje. Utvrđene 3D tehnologije i politika proizvodnje mogu predstavljati odlično rješenje za zemlje u razvoju (Madžarević, 2023).

Ovim kratkim pojmovima dao se uvod u teorijski dio rada o 3D printanju, kako bi se odmah naglasio fokus rada. Teorijski dio će svakako težiti da objasni pojmove koji se prvi put spominju kako bi na kraju rada čitatelj mogao zaokružiti ovu temu. Sa sljedećim poglavljem kreće se u teorijsko prikazivanje 3D printanja kao poslovnog modela.

## **4. TEHNOLOGIJA 3D PRINTANJA**

Tehnologija 3D printanja podrazumijeva metode printanja kao način na koji 3D printeru printaju tj. način na koji modeli nastaju, vrste najpoznatijih 3D printera (Stevensonu, 2023) te materijale korištene pri printanju i njihove specifikacije i smjernice i na kraju, korake za postupak 3D printanja.

### **4.1. Metode 3D printanja**

ASTM (American Society for Testing and Materials – Američka asocijacija za testiranje i materijale) je predstavila sedam vrsta metoda 3D printanja: binder jetting, directed energy deposition, material extrusion, material jetting, powder bed fusion, sheet lamination, vat photopolymerization (Shahrubudin *et al.*, 2019).

*Binder Jetting (vezivanje mlazom)* – Tehnologija vezivanja mlazom je proces brze prototipizacije i 3D printa u kojem se tečni vezivni agens selektivno nanosi kako bi se spojile čestice praha. Razlog korištenja veziva je osigurati povezanost čestica praha pa se novi slojevi redaju jedan na drugi (Bozkurt i Karayel, 2021). Primjena tehnologije vezivanja mlazom može biti u proizvodnji uzoraka za ljevačke kalupe ili proizvode velikog volumena

od pijeska. Tehnologija vezivanja mlazom može printati različite materijale, uključujući metale, pijesak, polimere, hibridne materijale i keramiku. Osim toga, postupak vezivanja mlazom je jednostavan, brz i jeftin jer se čestice praha lijepe zajedno (Shahrubudin *et al.*, 2019).

*Directed Energy Deposition (izravno nanošenje energije)* – Tehnologija izravnog nanošenja energije je složeniji postupak printa koji se često koristi za popravak ili dodavanje dodatnog materijala na postojeće komponente. Tehnologija izravnog nanošenja energije može proizvesti objekte visoke kvalitete. Ovaj postupak se može koristiti s keramikom, polimerima, ali se obično koristi s metalima i metalnim hibridima, u obliku žice ili praha (Shahrubudin *et al.*, 2019).

*Material Extrusion – FDM/FFF (ekstruzija materijala)* – Tehnologija 3D printanja bazirana na ekstruziji materijala može se koristiti za printanje više materijala i printa miksanih boja plastike ili hrane. Ovaj proces je široko korišten i troškovi su vrlo niski. Osim toga, ovaj proces može izgraditi potpuno funkcionalne dijelove proizvoda (Shahrubudin *et al.*, 2019). Kada se postupci završe, obično je potrebna naknadna obrada, a slojevi mogu biti vidljivi na površini kada se dio isprinta. Posebno obećavajući za biomedicinsku industriju u posljednjih nekoliko godina, tehnologija ekstruzijskog printa također se koristi za mnoge različite primjene, uključujući i povezivanje s ćelijama koja oponaša prirodna tkiva (Bozkurt i Karayel, 2021). Fused Deposition Modeling (FDM) je prvi primjer sistema ekstruzije materijala koji je razvijen početkom 1990-ih, a ovaj postupak koristi polimer kao glavni materijal. FDM gradi dijelove sloj po sloj od dna prema vrhu zagrijavanjem i ekstruzijom termoplastičnog filamenata (Shahrubudin *et al.*, 2019).

*Material Jetting (mlazni print materijala)* – Mlazni print materijala je 3D postupak printanja u kojem se materijal za gradnju selektivno nanosi kap po kap. U mlaznom printanju, glava printera otpušta kapljice fotosenzitivnog materijala koji se stvrdnjava, gradeći dio sloj po sloj pod ultraljubičastom (UV) svjetlošću. Istovremeno, mlazni printer stvara dijelove s vrlo glatkom površinom i visokom preciznošću dimenzija (Shahrubudin *et al.*, 2019). Viskoznost je važan parametar jer je glavni oblik tvari kapljica. Visoka viskoznost otežava protok i zato je teško dobiti slojeve. S druge strane, niska viskoznost olakšava protok, pa se slojevi brzo nanose jedan na drugi i ne može se postići optimalna struktura. Kako bi se postigla uspješna struktura, parametri moraju biti optimalni. Mlazno printanje omogućava printanje više materijala i širok raspon materijala kao što su polimeri, keramika, kompoziti, biološki materijali i hibridi (Bozkurt i Karayel, 2021).

*Powder Bed Fusion – PBF (spajanje praha)* – Proces spajanja praha uključuje tehnike selektivnog laserskog taljenja (SLM), selektivnog laserskog sinteriranja (SLS) i selektivnog toplotnog sinteriranja (SHS). U ovom postupku, ili elektronski snop ili laser se koristi za topljenje ili spajanje praha materijala tako da PBF metoda uključuju barem jedan termalni izvor kako bi potaknule spajanje između čestica praha (Bozkurt i Karayel, 2021). Primjeri materijala koji se koriste u ovom procesu su metali, keramika, polimeri, kompoziti i hibridi.

Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) je glavni primjer tehnologije spajanja praha. SLS je tehnologija 3D printanja koja ima funkcionalnost u velikoj brzini, visoku preciznost i raznolik završnu obradu površine. Selektivno lasersko sinteriranje može se koristiti za izradu metalnih, plastičnih i keramičkih objekata (Shahrubudin *et al.*, 2019). Prednost metode je što omogućava proizvodnju dijelova s gustoćom blizu pune gustoće. Na taj način, izbjegavaju se dugi postupci naknadne obrade. Još jedna metoda koja spada u PBF jeste SLM (Selektivno lasersko taljenje) koji, poput drugih tehnika aditivne proizvodnje, omogućava gotovo neograničenu geometriju i fleksibilnost uz optimizaciju parametara poput vrste praha, veličine praha, unosa laserske energije, brzine skeniranja i morfologije. Osim toga, SLM ima neke prednosti kao što su upotreba različitih materijala i relativno niski troškovi (Bozkurt i Karayel, 2021).

Sheet Lamination (laminacija listova) – Laminacija listova je 3D postupak printanja u kojem se listovi materijala printaju zajedno kako bi se proizveo dio objekta te je najčešći primjer laminirana proizvodna izrada (LOM). Glavni dijelovi sistema su mehanizam za napredovanje listova preko platforme za izgradnju, grijani valjak koji primjenjuje pritisak kako bi spojio list s prethodnim slojem i laser koji izrezuje konturu dijela u svakom sloju lista. Dijelovi se proizvode tako što se ljepilo premazanih listova materijala slažu, spajaju i izrezuju na vrhu prethodno položenih slojeva (Ramya i Vanapalli, 2016). Prednosti ovog procesa su da laminacija listova može izvoditi printanje u punoj boji, relativno je jeftina, jednostavna za rukovanje materijalom te se višak materijala može reciklirati (Shahrubudin *et al.*, 2019).

Vat Photopolymerization (fotopolimerizacija u spremniku) – Glavna tehnika 3D printanja koja se često koristi je fotopolimerizacija, koja općenito se odnosi na stvrdnjavanje fotoreaktivnih polimera pomoću lasera, svjetla ili ultraljubičastog (UV) svjetla. Primjeri tehnologija 3D printanja koje koriste fotopolimerizaciju su stereolitografija (SLA) i digitalno svjetlosno procesiranje (DLP). U SLA, printanje je inicirano od strane foto-inicijatora i izlaganje zračenju određenih uvjeta, boja, pigmenta ili drugih dodatih UV apsorbira. S druge strane, DLP je sličan proces stereolitografiji koji radi s fotopolimerima. Glavna razlika je izvor svjetlosti (Shahrubudin *et al.*, 2019). Jedna od najvećih prednosti metode je osigurati da se detaljni, mali i složeni dijelovi proizvode u pravim dimenzijama i s vrlo dobrim kvalitetom površine. Zbog tih karakteristika, posebno se koristi u područjima automobilske industrije, medicine i ortodontije gdje se koristi se za proizvodnju specijaliziranih dentalnih implantata (Bozkurt i Karayel, 2021).



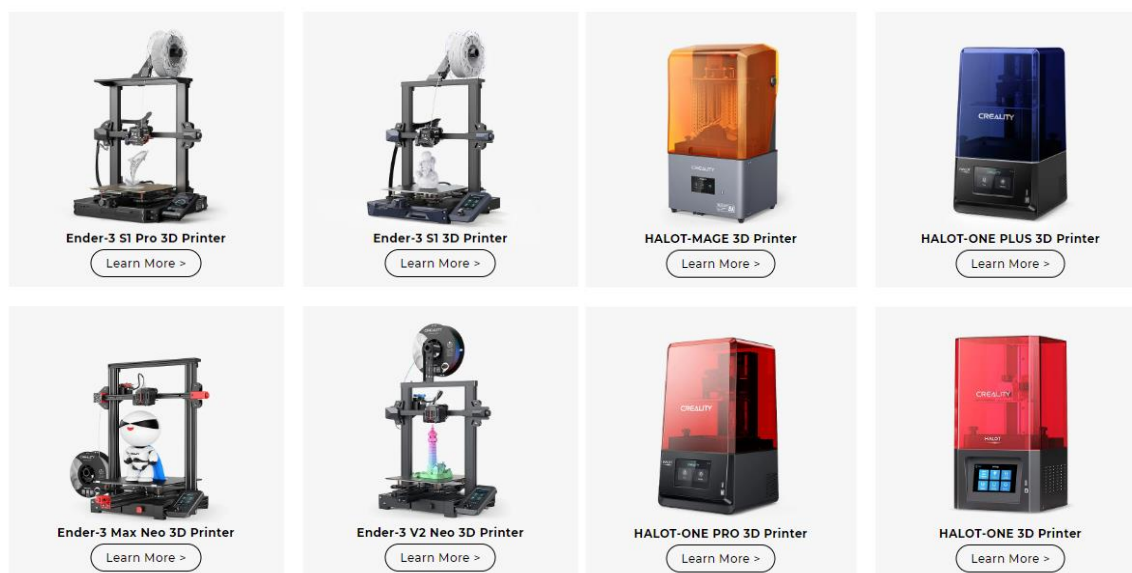
## 4.2. 3D printeri

Kerry Stevenson, autor čak 8000 članaka vezanih za 3D printanje, publicirao je zajedno sa svojim timom anketu najpopularnijih 3D printera te predstavio rezultate kroz članak “Survey Results: Most Well-Known 3D Printer Brands” (Stevenson, 2023).

Na prvom mjestu se nalazi *Creality*, kineska kompanija osnovana 2014. godine koja, pored Pekinga, ima sjedište i u SAD-u te Njemačkoj. Proizvode 3D printere namijenjene širokom auditoriju, počevši od kućne upotrebe, zatim u školama i edukacionim centrima te za industrijsko printanje medicinskih proizvoda, odjeće i obuće, tehnologije, igračaka i sl. Dosada su stekli 3.5 miliona korisnika širom svijeta, kroz stotinu država i regija. Njihove najpoznatije vrste printera su Ender series i Resin 3D printers, a osnovna razlika je što Ender series koristi SLA metodu printanja, a Resin FDM ([www.creality.com](http://www.creality.com), n.d.).

Na drugom mjestu se nalazi Prusa Research, europska kompanija sa sjedištem u Pragu, osnovana 2012. godine od strane Josefa Prusa. Sada imaju preko 700 zaposlenih i dostavljaju preko 9000 printera širom svijeta mjesečno. Deloitte ih je proglasio najbržom rastućom tech kompanijom 2018. godini. Njihov MK3S+ printer je od 2018. godine četiri godine zaredom proglašen najboljim printerom u svijetu (Prusa, n.d.).

Slika 1: a) Creality Ender Series i b) Creality Resin



Izvor: [www.creality.com](http://www.creality.com). (n.d.).

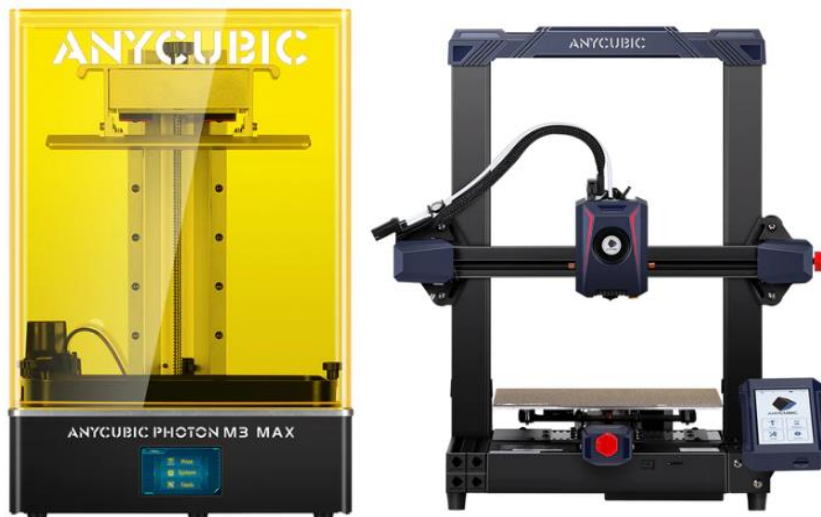
Slika 2: a) Original Prusa i3 MK3S+; b) Original Prusa MINI+; c) Original Prusa SL1



Izvor: Prusa3D, (n.d.)

Treće mjesto na anketi za najpoznatije 3D printere pripada kineskoj **ANYCUBIC** kompaniji, sa osnivačem Lu Ouyang na vrhu, sa tradicijom od 2015. godine. Trenutno broje preko 1000 zaposlenih, a jedna od njihovih prednosti jeste pristupačna cijena te to što su mnogi njihovi printeri open-source, dajući mogućnost korisnicima da ih prilagode svojim potrebama.

Slika 3: a) Anycubic Photon M3 Max i b) Anycubic Kobra 2



Izvor: Anycubic-us (n.d.).

Četvrto mjesto na listi napoznatiji 3D printera prema korisnicima jeste **Elegoo**, kineska kompanija osnovana 2015. godine od strane Chris Konga, koji je imao ideju da njegovi printeri budu open-source, što je i danas politika kompanije. Forbes ih je proglasio najboljim 3D printerom 2020. godine. Prodaju vrše preko Amazona, Alibabe i AliEkspresa.

Interesantno je da printeri nazivaju po planetama, pa se tako u njihovom asortimanu proizvoda nalaze Neptun, Mars, Saturn i Jupiter.

Slika 4: a) Mars 4 ultra i b) Neptune pro



Izvor: Elegoo.com (n.d.)

Ostala mjesta na anketi zauzimaju Dremel, Flashforge, Monoprice, Snapmaker, LulzBot, Polaroid itd. Autor ovog članka, gosp. Stevenson je najviše iznenađen rezultatom za printere LulzBot koji se nalaze na 9. mjestu, a inače su veoma popularni u svijetu 3D printanja.

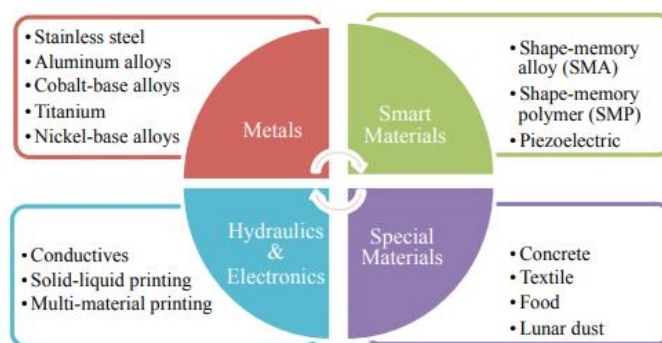
### 4.3. Materijali

Uprkos brojnim plastičnim/polimernim sastojcima koji su dostupni za AM, posebna pažnja industrije usmjerena je prema određenim materijalima, kao što je prikazano na slici 5 u radu autora Zhu (2021). Važno je detaljnije razmotriti karakteristike budućih materijala koji se očekuju u doba Industrije 4.0 te identificirati njihov potencijal za primjenu. Metali su izuzetno popularni materijali u tehničkom sektoru zbog svojih povoljnih mehaničkih svojstava. Stoga industrija 3D printanja traži inovativna rješenja za stvaranje metalnih dijelova koji mogu zamijeniti tradicionalno proizvedene komponente. Nove tehnološke dostignuće u području 3D printanja otvaraju vrata prema aktivnom istraživanju koje se bavi metalnom aditivnom proizvodnjom (MAM). U posljednje vrijeme, zahvaljujući AM tehnikama, moguće je proizvesti mnoge metalne dijelove koristeći materijale poput aluminija, titana, nehrđajućeg čelika i drugih. Većina komercijalnih 3D printera za metal koristi metalne prahove, no istražuju se i druge kombinacije materijala za primjenu u MAM. Također, mikrostruktura koja se formira tokom AM procesa ima značajan uticaj na mehanička svojstva dijelova, poput otpornosti na naprezanja i zamor. Zbog toga su nedavno istraživanja usmjerena na proučavanje mikrostrukture, faznog sastava i termičke obrade postala iznimno važna u istraživačkoj zajednici koja se bavi AM-om. Zhu (2021) također

proučava mehanička svojstva komponenata proizvedenih MAM postupkom temeljenim na laserskom snopu, istražujući mehanizme pucanja. Međutim, još uvijek postoji mnogo izazova koje treba riješiti kako bi se postigli očekivani rezultati u industriji. Neki od tih izazova uključuju dostizanje pristupačnih cijena, povećanje brzine proizvodnje, unapređenje karakteristika otpornosti na naprezanja/zamor/tvrdoću, poboljšanje kvalitete površine te postizanje homogene mikrostrukture. U novoj eri, MAM će imati ključnu ulogu u ostvarivanju potencijala Industrije 4.0, nadmašujući trenutne prepreke putem unapređenja nauke o materijalima i MAM procesima. Stoga je ključno nastaviti ulaganje u istraživanje i razvoj kako bismo osigurali napredak u tom području i otvorili nove mogućnosti za industriju Zhu (2021).

Dalje, plastika je najčešći materijal koji se koristi u procesu 3D printanja, ali postoji mogućnost upotrebe i drugih materijala poput drveta, metalnih legura, soli, keramike te čak šećera i čokolade. Trenutno većina printera može printati samo jednim materijalom odjednom, ali samo je pitanje vremena kada će se omogućiti korištenje više materijala istovremeno. Ovaj napredak će otvoriti vrata još većoj fleksibilnosti i kreativnosti u 3D printanju. Primjer za takvu naprednu mogućnost je Objeto500 Connex (prodan za 250.000 USD), koji već sada može printati iz više od 100 materijala, pri čemu može istovremeno proizvesti predmete koji kombiniraju različite karakteristike, poput elastičnosti i tvrdoće, neprozirnosti i prozirnosti. Ova tehnologija omogućava izradu predmeta s iznimnom preciznošću i funkcionalnošću (Zhu, 2021).

Slika 5: Grupacija materijala



Izvor: Zhu (2021)

Zanimljiva podjela materijala koja se najčešće koristi pri 3D printanju data je na službenoj web stranici kompanije iz Istočnog Sarajeva, koja se bavi 3D printanjem, modelovanjem i skeniranjem – VertisLAB (VertisLAB, n.d.).

Tabela 1: Vrste materijala

Estetski materijali	Tehnički materijali	Kompozitni materijali
PLA	PETG	PC+ABS
PLA+DRVO	PCTG	NYLON PA12+CF
	ABS	NYLON PA12+GF
	ASA	PET+CF15
	TPU	
	NYLON	
	PC	
	PP	
	PVA	

Izvor: Autorica, prema VertisLAB, n.d.

#### 4.3.1. Estetski materijali

Estetski materijali, kao što i njihov naziv kaže, najviše služe za izradu ukrasa, igračaka i predmeta koji nisu od velike važnosti budući da su oni izrađeni najčešće od plastike. Ovi materijali obično imaju širok dijapazon boja budući da je izgled printanog predmeta relativno važan (Wasim, 2023)

Tabela 2: Estetski materijali

Estetski materijali	
PLA	PLA je jedan od najčešće korištenih materijala za 3D printanje koji se pravi od kukuruznog škroba ili drugih biljnih izvora. PLA je dostupan u različitim bojama i teksturama, što ga čini pogodnim za širok spektar projekata, za brzu izradu prototipa i printanje estetskih printova sa niskim habanjem. Ovaj materijal nije preporučljiv izbor za predmete izložene mehaničkom opterećenju i visokim temperaturama. Njegova primjena je najviše vezana za igračke i ukrase poput privjesaka, ukrasa i maskica za telefon te za nakit. PLA je siguran za hranu te je otporan na hemijske supstance.

PLA + drvo	Ovaj kompozitni filament kombinuje 40% recikliranog drveta (piljevina) i 60% polimera. Printani proizvodi imaju i miris i izgled prirodnog drveta, a fizička svojstva proizvoda su izuzetno slična prirodnom drvetu. Ovaj materijal se također može obradivati i farbati kao i obično drvo. Primjena ovog materijala se ogleda u izradi igračkaka, nakita, kućanskog pribora, ali i u prototipu namještaja.
------------	---

*Izvor: Autorica, prema VertisLAB, n.d.*

Odbačena čista plastika može se direktno reciklirati i ponovo koristiti te se takav otpadni materijal može koristiti u 3D printanju. Kako se većina plastike teško razgrađuje i ima negativan uticaj na okoliš, sve veću popularnost dobiva PLA plastika koja je biorazgradiva. Istraživanja usmjerena na 3D printanje PLA plastike su u porastu pa je tako nedavno razvijen ojačani kompozitni materijal koji kombinuje ugljena vlakna i PLA. Ovaj materijal ima izuzetnu čvrstoću pri savijanju. Ugljena vlakna se mogu reciklirati toplotnim pištoljem, koji zagrijava PLA sloj po sloj na temperaturi od 240 °C u suprotnom smjeru od smjera printanja, tako da se reciklirana vlakna mogu direktno ponovo obrađivati. Također, stopa recikliranja PLA materijala iznosi čak 75%, dok je stopa recikliranja vlakana gotovo 100%. Preostalih 25% PLA materijala može se razgraditi, što omogućava efikasno recikliranje. Odbačeni PLA materijal je moguće pomiješati s novim kako bi se nadoknadio gubitak performansi recikliranog PLA materijala (Dilberoglu *et al.*, 2017).

Također, recikliranje plastike ključni je aspekt strategije cirkularne ekonomije za Europsku Uniju. U cilju postizanja toga cilja, posljednjih godina raste interes naučne zajednice i poduzetničkih inicijativa za pronalaženje rješenja za ovaj problem. Jedno od takvih rješenja je upotreba upravo reciklirane plastike u svrhu 3D printanja. S ciljem procjene implementacije distribuirane mreže za recikliranje plastike uzimajući u obzir proces donošenja odluka, provedena je studija koja je predložila MILP model za procjenu ekonomske i ekološke izvedivosti ovog pristupa recikliranju. Rezultati ove studije pokazuju da je ovakav pristup ekonomski i ekološki izvediv. S ekonomske perspektive, primjenom ovog modela ostvaruju se mjesečne koristi koje pokrivaju amortizaciju mašina, operativne troškove i generišu uštede smanjujući troškove na izvornim filamentima. S druge strane, iz ekološke perspektive, moguće je smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> za više od 50% poredeći s upotrebom čistih plastičnih niti (Santander *et al.*, 2020).

#### 4.3.2. Tehnički materijali

Naspram estetskih materijala, tehnički materijali se koriste pri izradi funkcionalnih predmeta koji imaju određenu čvrstoću, izdržljivost i otpornosti. Cilj je da se zadovolje tehnička svojstva isprintanih predmeta kako bi njihova upotreba imala smisla i koristi, poput prototipa u auto-industriji, medicini, inženjeringu itd.

Tabela 3: Tehnički materijali

Tehnički materijali	
PETG (POLIETILENTEREFTALAT GLIKOL)	PETG je još jedan popularan materijal za 3D printanje. Za razliku od PLA, PETG ima dobru otpornost na habanje, pritisak i temperaturu. Zbog svojih karakteristika, često se koristi za proizvode koji zahtijevaju povećanu čvrstoću i otpornost na habanje. Kada se koriste proizvodi od PETG-a, treba paziti da se smanji potencijalna izloženost vlazi jer to može uzrokovati propadanje površine. Primjena ovog materijala je malo ozbiljnija poredeći sa estetskim materijalima koji se koriste pri 3D printanju. Radi se o proizvodnji dijelova za krajnju upotrebu, prototipa, ali i elektronike poput nekih dioda i kućišta. PETG je siguran za hranu te je otporan na vodu i hemijske supstance, a izdržljivost mu je najveći benefit koji nudi.
PCTG (POLICIKLOHEKSELENDI METILEN TEREFTALAT GLIKOL)	PCTG je materijal koji ima poboljšanu izdržljivost u odnosu na PETG filament i može izdržati do 5-10°C više od njega. PCTG je odličan filament koji ima izbalansiranu čvrstoću i fleksibilnost, pa se često koristi za printanje mehaničkih proizvoda u robotici. Zbog izuzetno malog stepena kontrakcije i savijanja, idealan je za printanje velikih proizvoda. Ovaj materijal je izuzetno važan u automobilskoj industriji jer se zbog njegovih specifikacija kao što su otpornosti na udarce i hemijske supstance kreiraju izdrživi elementi poput usisnica za vazduh, lijevka za tečnost, elemenata u motornom prostoru i sl.
ABS (AKRILONITRIL BUTADIEN STIREN)	ABS ima dugu historiju u svijetu 3D printanja. Ovaj materijal je bio jedan od prvih materijala koji se koristio za industrijske 3D printere. Mnogo godina kasnije, ABS je i dalje veoma popularan materijal zahvaljujući niskoj cijeni i dobrim mehaničkim svojstvima. Također može izdržati visoke temperature prije nego što počne da se deformiše što ga čini odličnim izborom za primjenu na otvorenom ili visokim temperaturama. Završeni model napravljen od ABS materijala se može obraditi acetonom čime se postiže glatka površina, a može se i lijepiti acetonom. Materijal je pogodan za brušenje i bojenje. ABS se koristi pri izradi sportskog pribora, baštovanske opreme i elektronike poput kućišta i mikrokontrolera. Njegova maksimalna radna temperatura je 100 °C.
ASA (AKRILONITRIL STIREN AKRILAT)	ASA je idealan izbor za sve 3D printane aplikacije koje će biti izložene vremenskim uslovima. Manje skupljanje i dobra adhezija sprečavaju model od krivljenja i pucanja i osiguravaju visoku stabilnost dimenzija printanja. Kao i ABS, završeni model napravljen od ASA materijala se može obraditi acetonom čime se postiže glatka površina. Materijal je pogodan za brušenje i bojenje. Također se može lijepiti sa acetonom. Primjena je ista kao i sa ABS-om, s tim što je maksimalna temperatura 95 °C.

Izvor: Autorica, prema VertisLAB, n.d.

<p>TPU (TERMOPLASTIČNI POLIURETAN)</p>	<p>TPU je savršen je za predmete vrhunske izdržljivosti i fleksibilnosti. TPU se često koristi za proizvodnju dijelova koji zahtijevaju fleksibilnost i otpornost, kao što su gumene dijelove, futrole za telefone i sportska oprema. Podvrste ovog materijala su TPU 98A i TPU 85A.</p>
<p>Nylon</p>	<p>Nylon je izuzetno izdržljiv, fleksibilan i ima dobru otpornost na habanje. Nylon se često koristi za izradu komponenti koje se nalaze u pokretu, kao što su ležajevi i vijci, kao i za izradu dijelova koji su izloženi visokim opterećenjima. Nylon također ima dobru otpornost na vlagu i kiseline, što ga čini pogodnim za upotrebu u različitim industrijskim aplikacijama. Podvrste koje se koriste pri 3D printanju su Nylon PA-6 i Nylon PA-12.</p>
<p>PC (POLIKARBONAT)</p>	<p>PC je visoko izdržljiv i izuzetno otporan sintetički polimer koji se često koristi u različitim industrijskim primjenama. Ovaj tip 3D filameta se koristi za izradu funkcionalnih prototipa, različitih tipova alata, mehaničkih dijelova i krajnjih proizvoda koji zahtijevaju izdržljivost i otpornost na abraziju. PC materijal je jedan od najotpornijih i najizdržljivijih 3D printanih materijala, što mu daje mogućnost da se koristi u različitim sektorima, od automobilske industrije, preko elektronike do medicinske tehnologije.</p>
<p>PP (POLIPROPILEN)</p>	<p>PP je jedan od najčešće korištenih polimera u industriji. Njegova visoka fleksibilnost, nevjerojatna izdržljivost, niska težina i otpornost na hemikalije znače da se koristi u mnogim aplikacijama, od medicine, preko automobilske industrije do industrije pakovanja. Izuzetna čvrstoća na savijanje čini polipropilen savršenim za upotrebu u industrijskim projektima ali i kod kuće. Konkretni primjeri upotrebe mogu se vidjeti u izradi ručica, vezica, figurica i laboratorijskog posuđa.</p>
<p>PVA (POLIVINIL ALKOHOL)</p>	<p>PVA je materijal koji se rastvara u vodi i kao takav se uglavnom koristi kao pomoć pri printanju kompleksnih dijelova. Pored toga, PVA je ekološki prihvatljiv materijal i koristi se u različitim industrijama, uključujući arhitekturu, dizajn, obrazovanje i istraživanje.</p>

*Izvor: Autorica, prema VertisLAB, n.d.*

#### 4.3.3. Kompozitni materijali

Posljednja grupa materijala jesu kompozitni materijali koje karakteriše velika čvrstoća, krutost i otpornosti budući da je njihova upotreba namijenjena za elemente sa unaprijeđenim tehničkim karakteristikama.

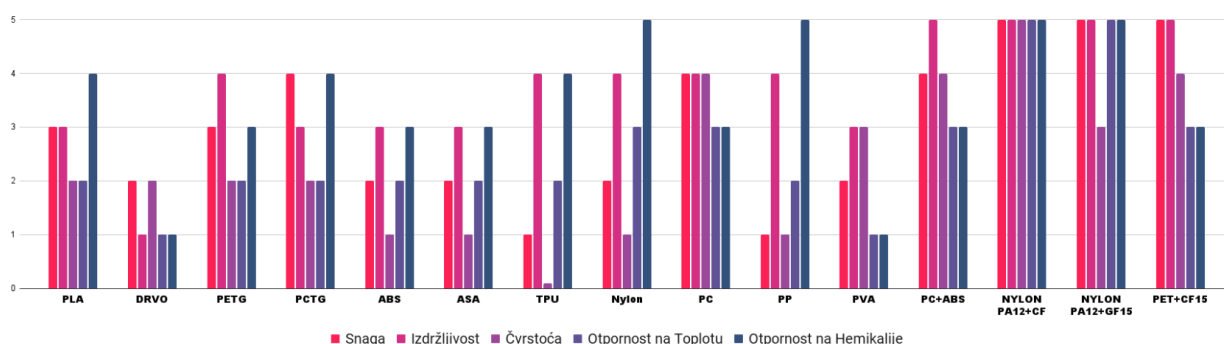


Tabela 4: Kompozitni materijali

Kompozitni materijali	
PC + ABS	PC-ABS je veoma je popularan zbog visoke mehaničke performanse, lahkoće i produženog vijeka trajanja. Ovaj filament je idealan za primjenu u industriji automobila, elektronike i telekomunikacija. PC-ABS kombinuje čvrstinu i otpornost na toplotu polikarbonata i elastičnost ABS-a. Ima odličnu otpornost na temperaturu do 100 °C i takođe pruža odličnu čvrstoću, snagu, otpornost na alkohole, ulja, masti, ozon i vodu.
Nylon PA12 + CF	Nylon PA12 + CF karakteriše visoka termička otpornost i manje sakupljanje u odnosu na nepromijenjeni Nylon PA12. Dodatak ugljenih vlakana omogućava smanjenje težine komponente, pri čemu se održava visoka strukturna čvrstoća. PA12 + CF ima širok spektar primjena u industriji, uključujući automobilsku i inženjersku industriju, što ga čini idealnim za izradu naprednih prototipova, dronova i krajnjih proizvoda koji zahtijevaju povećanu izdržljivost pri smanjenju njihove težine.
Nylon PA12 + GF15	Nylon PA12 + GF15 je još jedan derivat najlona PA12 koji umjesto karbonskih, u sebi sadrži staklena vlakna, koja čine 15% proizvoda. Ovo je omogućilo značajno povećanje izdržljivosti, krutosti i termičke i hemijske otpornosti u poređenju sa čistim najlonom. Za razliku od najlona sa dodatkom ugljeničnih vlakana, ovaj filament nudi veću fleksibilnost, što ga čini idealnim za aplikacije koje rade pod promenljivim opterećenjima i izloženim udarcima. Ovaj kompozit ima nisko skupljanje, osigurava visoku dimenzionalnu stabilnost i visoku izdržljivost. 3D printanje sa ovim materijalom namijenjeno je za medicinske proteze, kratke serije proizvodnje te u autoindustriji za izradu kućišta.
PET + CF15	PET + CF15 je kompozitni materijal PET koji je pojačan sa dodatkom od 15% ugljenih vlakana. Ovo je povoljnija zamjena za Nylon-CF, ali za razliku od njega, PET-CF ne može da izdrži previsoke temperature. Dodatak ugljenih vlakana omogućava smanjenje težine komponente, pri čemu se održava visoka strukturna čvrstoća. Primjena ovog kompozitnog materijala može se vidjeti pri izradi prototipova, dijelova automobila, proizvodnje alata i sl.

Izvor: Autorica, prema VertisLAB, n.d.

Slika 6: Poređenje karakteristika materijala



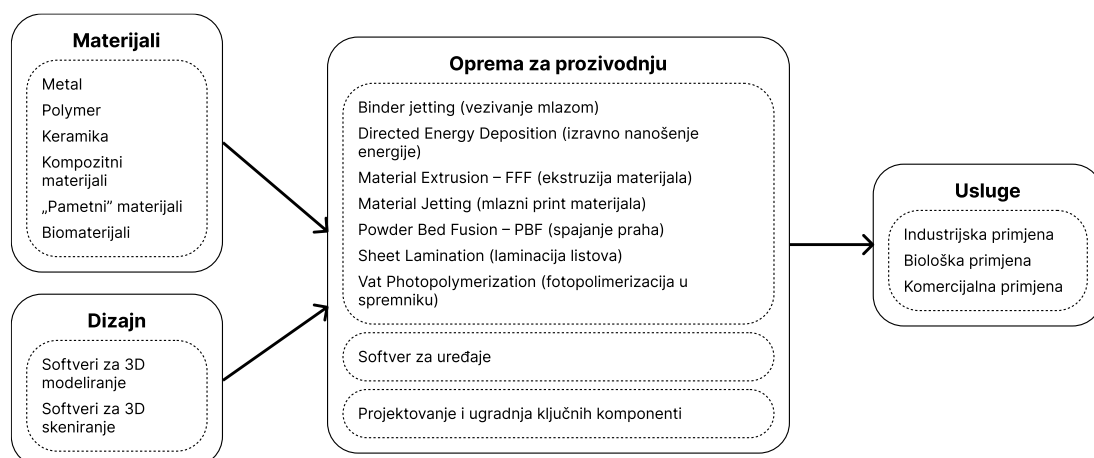
Izvor: SNEA (n.d.)

Grafik dat na slici 6 prikazuje ocjene karakteristika svakog od dosada pomenutih materijala. Karakteristike koje su nabrojane su snaga, izdržljivost, čvrstoća, otpornost na toplotu te na hemikalije, gdje se svaka od tih karakteristika ocjenjuje ocjenom od 0 do 5. Vidimo da su najslabije karakteristike materijala za 3D printanje kod estetskih materijala koji se nalaze na lijevoj strani slike. Kako se ide ka desnoj strani tj. ka kompozitnim materijalima tako se i karakteristike poboljšavaju pa kod Nylon PA12+CF vidimo savršen rezultat koji nam govori da za svaku karakteristiku ima maksimalnu ocjenu 5 pa iz tih razloga se i koristi za printanje prototipova i krajnjih proizvoda gdje je bitna izdrživost printanog modela. Njemu blizak materijal i još jedan kompozitni koji ima odlične ocjene na skali jeste Nylon PA12+GF15 koji za četiri karakteristike ima ocjenu 5, ali za čvrstoću mu je ocjena 3, što ga stavlja na drugo mjesto najkvalitetnijih materijala. Kada se već pominje čvrstoća, najmanju ocjenu za tu karakteristiku posjeduje TPU koji se i shodno tome koristi za fleksibilne elemente kao što su gumene igračke, privjesci i sl, što ne iziskuje čvrstoću kao glavnu karakteristiku. Još jedan materijal koji ne kotira najbolje sa ocjenama među ponuđenim materijalima jeste drvo koji ima ocjenu 1 za izdržljivost, otpornost na toplotu te na hemikalije. Oba materijala spadaju u estetske te takvi rezultati ne bi trebali biti začuđujući budući da se njihova primjena ogleda najviše u izradi igračaka, ukrasa te privjesaka.

#### 4.4. Koraci pri izradi 3D modela

Zbog fundamentalne razlike između tradicionalnog 2D printa, koji obuhvata samo jedan sloj, i 3D printanja, 3D printanje je dosta kompleksnije te iziskuje više vremena rada oko printanja i same pripreme modela. Kako se 3D printanje temelji na gradnji višeslojnih modela, gdje se sloj po sloj gradi trodimenzionalni objekat, u kojem su pojedinačni slojevi iznimno tanki (uobičajeni raspon je od 10 do 200  $\mu\text{m}$ ), čime se minimizira vidljivost prelaza između slojeva, tako se susrećemo sa nizom koraka izvedbe prije finalnog isprintanog modela (Rayna *et al.*, 2015).

Slika 7: 19 glavnih funkcija 3D printanja

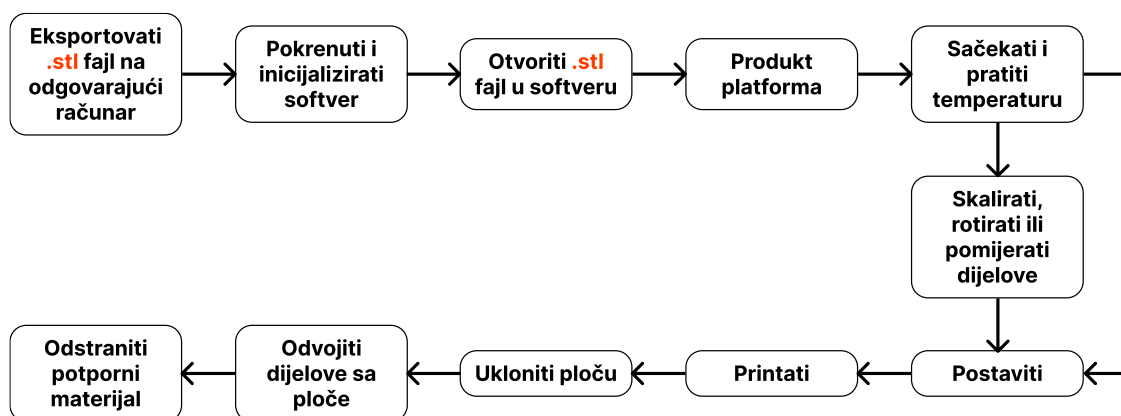


Izvor: Autorica, prema Xu *et al.* (2018)

Znanje o materijalima igra ključnu ulogu u razumijevanju napretka AM tehnologija. Istraživači koji se bave ovim područjem velikim su zanimanjem prionuli istraživanju novih materijala koji su prikladni za primjenu u 3D printanju. Raspon predmeta koji se mogu proizvesti 3D printerima vrlo je širok i neprestano raste. Mogućnosti su gotovo neograničene, uključujući izradu robota, dijelova tijela poput organa, protetiku, umjetnička djela, prehrambene proizvode, muzičke instrumente, namještaj i čak odjeću. Lanac vrijednosti 3D printanja obuhvata četiri ključna područja: materijal, dizajn, proizvodnju opreme i usluge. Na slici 7 može se vidjeti poređenje 19 glavnih funkcija koje se odnose na ove segmente vrijednosti (funkcije označene unutar istog okvira predstavljaju alternative tehnološkog pravca ili polja) (Xu *et al.*, 2018).

U odjeljku sa materijalima vidimo da se prožima 6 glavnih različitih materijala, počevši sa metalima i polimerima koji se ističu kao glavne kategorije, dok se pametni i biološki materijali nalaze na rubu razvoja. Dizajn je raspoređen na softvere koji rade 3D modelovanje te softvere koji skeniraju 3D elemente. Posebno važni su procesi u segmentu proizvodnje opreme.

Slika 8: Koraci pri izradi 3D modela



Izvor: Autorica, prema Madhu *et al.* (2022)

Prvi korak 3D printanja se odnosi na modeliranje, tj. oblikovanje modela kojeg želimo da u konačnici dobijemo. Modeliranje podrazumijeva korištenje kompjuterskih softvera CAD kao što su SolidWorks, AutoCAD, Creo, Catia koji se plaćaju, a tu su i besplatni softveri dostupni svima kao što su Fusion 360, Tinkercad, Blender itd (Rayna *et al.*, 2015). Prije nego što se 3D model isprinta iz .STL fajla, on mora biti obrađen pomoću softvera nazvanog slicer (Thingiverse, Shapeways ili Sculpteo), koji pretvara 3D model u niz tankih slojeva i proizvodi G-kod fajl iz .STL fajla koji sadrži upute za printer. Ti slojevi, koji odgovaraju virtuelnim presjecima iz CAD modela, se spajaju kako bi se stvorio konačni oblik modela. Pretpostavka je da je materijal već odabran za model koji se printa, po svojim specifikacijama, i postavljen u 3D printeru, a onda se ručno materijal provlači kroz ekstruder koji topi i nanosi sloj po sloj. Postavka materijala pravilno je veoma važan korak pri 3D printu (Gokhare *et al.*, 2017). Madhu *et al.* (2022) su objasnili step-by-step 3D printanje željenog proizvoda, od eksportovanja .stl fajla pa sve do finalnih koraka, pa tako sa slike 8

vidimo da, nakon što otvorimo .stl format u nekom od softvera za pritanje, čekamo da model bude učitani i spreman da se printa na produkt platformi, odnosno prostoru gdje se printa sam model, a za to vrijeme, potrebno je da regulišemo temperaturu, pomjeramo i rotiramo dijelove kako bi osigurali precizno printanje. Svaki 3D printer radi po određenoj metodi o kojoj je bilo riječ u odjeljku *Metode 3D printanja*. Nakon što se model isprintao, potrebno je print odvojiti od platforme i ukloniti viškove materijala. Neki materijali zahtijevaju posljednje korake kao što su male prepravke ili obrade po završetku printanja, poput brušenja ili uglađivanja površina.

Također, mogu se koristiti 3D skeneri kako bi se automatski stvorio model postojećeg objekta (slično kao što se 2D skeneri koriste za digitalizaciju fotografija, crteža ili dokumenata (Rayna *et al.*, 2015) na način da prenosi stvarni oblik i trodimenzionalnu geometriju u digitalni oblik. Ovaj proces u nekim slučajevima ubrzava dizajniranje i rad u određenim profesijama. 3D skeniranje se koristi u reverse inženjeringu, tj. u procesu dobijanja informacija o određenom objektu potrebnih za njegovu reprodukciju tako što skenira model i na taj način dobija model u digitalnom obliku kako bi se mogao ponovo reproducirati (Szulżyk-Cieplak *et al.*, 2014).

Nabavni lanac usluga 3D printanja može se smatrati petljom koja se može ponavljati, do tačke u kojoj se može potpuno integrisati u veći nabavni lanac proizvođača. To istovremeno pokazuje kako lako usluge 3D printanja mogu poslužiti kao početna ili krajnja tačka lanca nabave proizvođača. Kupac bi, na primjer, mogao pokrenuti narudžbu zahtjevom za skeniranje na maloprodajnom mjestu pružatelja usluga, u svrhu izrade vlastitog 3D modela. Model zatim proizvođači mogu koristiti za izradu širokog spektra prilagođenih proizvoda za kupca, uključujući dodatke, odjeću, pa čak i protetiku. Moguće je i obrnuto (Rayna *et al.*, 2015).

Nakon detaljnog objašnjenja metoda 3D printanja, uređaja zvanih 3D printerima, materijalima te u konačnici koracima tj. uputom step by step kako doći do 3D printanog modela, u sljedećem dijelu rada govorit će se o ekonomskom aspektu korištenja 3D printanja te dati uvid u tržište 3D printanja sa ekonomske strane, troškovima te o cirkularnoj ekonomiji kao važnom aspektu današnjice.

## **5. EKONOMSKI ASPEKT KORIŠTENJA 3D PRINTANJA**

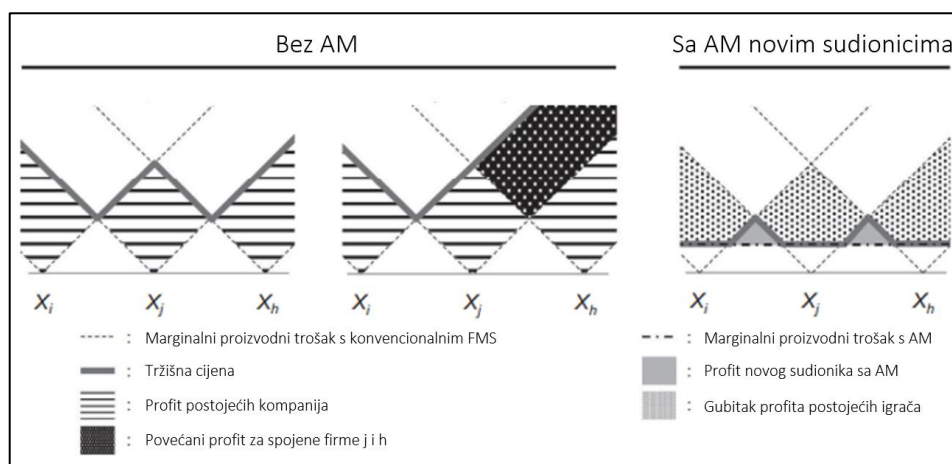
Izvori su nedavno identificirali dva ključna pristupa razumijevanju lanca vrijednosti 3D printanja: fokus na kapitalu poredeći sa obimom proizvodnje i kapitalu poredeći sa obimom djelovanja. Smanjenjem kapitalnih zahtjeva za postizanje minimalne učinkovite proizvodne skale, tehnologija 3D printanja učinkovito smanjuje prepreke za ulazak u proizvodnju. Garmulewicz *et al.*, (2018.) primjećuju da će biti potrebno donijeti odluke o lokaciji proizvodnje jer eliminacija potrebe za alatima može otvoriti mogućnosti distribucije proizvodnje prema mjestima potražnje, s obzirom da su, u teoriji, jedini ulazi potrebni za proizvodnju CAD podaci i sirovine. Ovaj pristup kapitala u odnosu na obim odnosi se na to

kako i koje proizvode je moguće izraditi. Tehnologija 3D printanja omogućava smanjenje ili eliminisanje troškova preuređenja opreme te povećava mogućnosti prilagođavanja proizvoda kroz veću fleksibilnost dizajna, što olakšava povećanje raznolikosti proizvoda koje je jedinica kapitala sposobna proizvesti. To može rezultirati većom mogućnošću prilagođavanja, poboljšanim performansama proizvoda i dizajnom novih proizvoda.

Uzimajući u obzir transformaciju distribucije proizvodnje, mogućnost da 3D printanje mijenja strukturu lanca vrijednosti ima ključnu ulogu u razmatranju pristupa kružnoj ekonomiji. Međutim, taj aspekt često je zanemaren u literaturi o cirkularnoj ekonomiji, gdje se često ističu druge disruptivne tehnologije poput servitizacije, tehnologija praćenja i praćenja materijala te tehnologija sortiranja i recikliranja materijala. Fokus je potrebno usmjeriti na povezanost proizvodnih metoda s uvjetima sistema koji omogućavaju ili sprječavaju učinkovitost i ekonomičnost poslovnih modela kružne ekonomije. Treba razmotriti i kako je relativna raspodjela proizvodnje i potrošnje povezana s mogućnostima stvaranja kružnih tokova materijala (Garmulewicz *et al.*, 2018.)

Prema izvještaju New Plastics Economy Ellen MacArthur, utvrđeno je da 32% plastične ambalaže izmiče sistemima za prikupljanje, što generiše značajne ekonomske troškove smanjenjem produktivnosti vitalnih prirodnih sistema poput okeana i začepljenjem urbane infrastrukture: Trošak takvih vanjskih uticaja nakon upotrebe plastične ambalaže, uključujući troškove povezane s emisijom staklenih plinova tokom njezine proizvodnje, konzervativno se procjenjuje na 40 milijardi američkih dolara godišnje - što premašuje profitnu bazu industrije plastične ambalaže (Garmulewicz *et al.*, 2018).

Slika 9: Poređenje kompanija koje ne koriste AM i onih koji koriste AM



Izvor: Autorica, prema Weller *et al.* (2015).

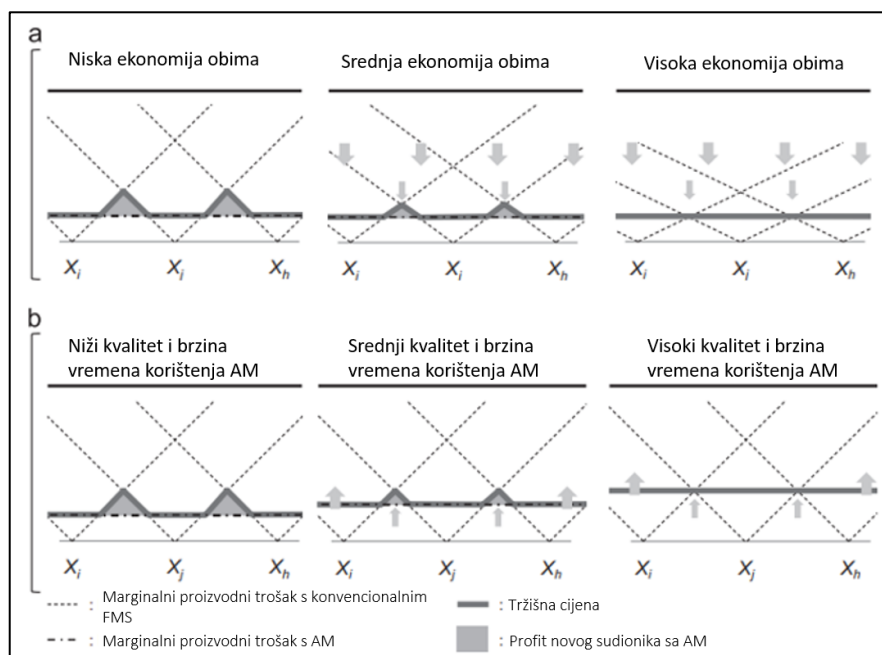
Jedan od glavnih izazova AM tehnologije je visoka cijena proizvodnje specifičnih modela. Za razliku od tradicionalnih metoda proizvodnje, AM zahtijeva posebne uređaje i materijale koji su često veoma skuplji. Stoga, u tržišnim segmentima gdje AM tehnologija nije vodeća

u pogledu troškova, tržišne cijene padaju zbog visoke cjenovne barijere koju AM tehnologija predstavlja u proizvodnji. Drugim riječima, proizvodi proizvedeni uz pomoć AM tehnologije mogu biti skuplji od tradicionalno proizvedenih proizvoda. Kada cijene proizvoda padaju, vodeće kompanije nemaju toliko poticaja za saradnju ili stvaranje kartela kako bi povećale svoj profit putem AM tehnologije. Spajanje dvije kompanije  $j$  i  $h$  (slika 9) koje koriste AM tehnologiju neće donijeti očekivano povećanje profita. Umjesto toga, kompanije koje ne koriste AM tehnologiju mogu pokušati povećati svoj tržišni udio proizvodnjom više osnovnih proizvoda. Ako se odluče odustati od osnovnih proizvoda i fokusirati se samo na AM tehnologiju, to bi potencijalno smanjilo njihov profit (Weller *et al.*, 2015).

Međutim, postoje poticaji za nove sudionike koji koriste AM tehnologiju. To se događa kada napredak u tehnologiji rezultira smanjenjem troškova proizvodnje, što dovodi do sniženja cijena na tržištu. Kada se granični troškovi proizvodnje AM-a smanje, drugi troškovi postaju dominantni, poput troškova nabave i isporuke. Na primjer, ako su troškovi dostave krajnjeg proizvoda vrlo visoki i premašuju troškove nabave sirovina, lokalna proizvodnja blizu kupca može biti isplativa. To znači da će novi sudionici na tržištu AM-a s većom učinkovitošću proizvodnje, tj. nižim graničnim troškovima proizvodnje, postaviti cjenovnu barijeru za drugog najučinkovitijeg proizvođača AM-a u svim segmentima tržišta (Weller *et al.*, 2015).

Ukratko, AM tehnologija ima uticaj na tržište putem snižavanja cijena proizvoda. Kompanije mogu ostvariti konkurentske prednosti kroz AM tehnologiju samo ako imaju niže troškove proizvodnje i efikasnu nabavu i dostavu proizvoda. Napredak u AM tehnologiji može otvoriti prostor za nove sudionike, ali samo ako postoji smanjenje troškova proizvodnje i isporuk (Weller *et al.*, 2015).

Slika 10: Poređenje nekoristenja AM tehnologije (a) i korištenja AM (b)



Izvor: Autorica, prema Weller *et al.* (2015).

AM tehnologija omogućava proizvodnju različitih proizvoda s visokom prilagodljivošću i kompleksnošću bez značajnog povećanja troškova proizvodnje. To znači da se proizvodi mogu prilagođavati potrebama tržišta i mijenjati dizajn bez većih negativnih posljedica za proizvodnju. Ovaj koncept ima implikacije na troškove repositioniranja proizvoda. Repozicioniranje se odnosi na promjenu tržišne pozicije proizvoda, kao što su promjene u ciljnoj skupini potrošača ili promjene u pozicioniranju brenda na tržištu. Kada se primijeni AM tehnologija, pretpostavka je da bi troškovi repositioniranja značajno bili smanjeni jer bi se proizvodi mogli brzo prilagoditi novim zahtjevima tržišta te nije potrebno trošiti vrijeme i novac na istraživanje tržišta i ispitivanje konkurenata.

Kada se sudionici na tržištu odluče koristiti AM tehnologijom, mehanizam formiranja cijena slijedio bi primjer prikazan na slici 10. Ovime se sugerira da bi AM sudionici mogli prilagoditi cijene na tržištu i otežati odvratanje od ulaska na tržište drugim sudionicima (Weller *et al.*, 2015).

Granični troškovi proizvodnje jednaki su za specijaliziranu tehnologiju i fleksibilne proizvodne sisteme. Međutim, primjena AM tehnologije vjerojatno bi rezultirala višim graničnim troškovima proizvodnje u poređenju s drugim tehnologijama, barem za osnovne proizvode i njihove atribute prostornog okruženja. Važno je napomenuti da čak i ako se AM tehnologija visoko usvoji na tržištu, još uvijek postoji prostor za sudionike koji koriste druge tehnologije i proizvode za usku skupinu potrošača. Ovo upućuje na to da vodeći sudionici ne gube potpuno svoju stratešku prednost snižavanja cijena kako bi spriječili ulazak drugih sudionika na tržište (Weller *et al.*, 2015).

Kao i sve što ima svoje pozitivne strane, ima i negativne, koje su tu da pokažu da se uvijek treba obratiti pažnja na širu sliku. Tako i AM tehnologija koja donosi prednosti u proizvodnji prilagođenih proizvoda koji zadovoljavaju zahtjeve kupaca unutar prostora atributa ima i određena ograničenja i faktore koji mogu utjecati na valjanost tih prednosti.

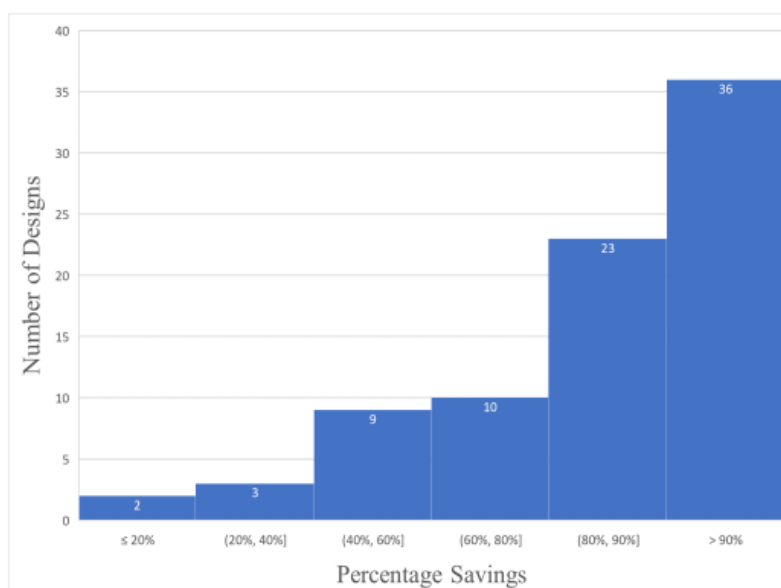
Prvo, treba uzeti u obzir veličinu tržišta i uticaje ekonomije obima (Slika 10a). Modeli koji se koriste za analizu prednosti AM tehnologije ne uzimaju u obzir činjenicu da se troškovi po jedinici proizvodnje obično smanjuju sa povećanjem proizvodnje kod tehnologija koje nisu AM. To znači da AM tehnologija može postati manje konkurentna u odnosu na konvencionalne tehnologije s većim proizvodnim efektom. Ovo treba uzeti u obzir prilikom procjene prednosti ulaganja u AM tehnologiju. Drugo, razlike u rezultatima proizvodnih tehnologija, poput kvalitete proizvoda, vremena ispunjenja narudžbi i materijalnih ograničenja, također su važne. AM tehnologija može biti ograničena u ispunjavanju visokih zahtjeva za kvalitetom ili brzinom proizvodnje, što može utjecati na njenu primjenu u određenim tržištima, što je prikazano na slici 10b. Ukoliko su očekivanja za kvalitetom i brzinom vremena korištenja AM tehnologija niski, onda se tu stvara prostor za ostvarenje profita budući da su marginalni troškovi niži od tržišnih cijena. Međutim, ukoliko su ta očekivanja visoka, marginalni troškovi se izjednačavaju sa tržišnim cijenama i tu nema prostora za ostvarenje profita (Weller *et al.*, 2015).

Također je važno razmotriti kapitalne troškove povezane s nabavom i postavljanjem AM mašina, kao i potrebe za obrtnim kapitalom. Ovi faktori mogu imati značajan uticaj na ukupne troškove i mogućnosti ulaganja u AM tehnologiju budući da su početni troškovi dosta visoki. Tu se govori o troškovima nabavke 3D printera, o zapošljavanju kvalifikovanih radnika ili plaćanje treninga za osposobljavanje radne snage te materijali potrebni za izradu modela. Odluka o odabiru između konvencionalnih tehnologija i AM tehnologije trebala bi uzeti u obzir i ove kapitalne aspekte (Weller *et al.*, 2015).

Važno je napomenuti da modeli koji se koriste za analizu prednosti AM tehnologije uglavnom se fokusiraju na troškove proizvodnje, dok ne uzimaju u obzir dodatne troškove i napore povezane s prethodnim procesima poput dizajna proizvoda, testiranja, interakcije s klijentima i ispunjavanja narudžbi. Iako AM tehnologija može donijeti određene uštede u tim procesima, važno je prepoznati da ti troškovi i dalje postoje. Stoga je važno provesti sveobuhvatnu analizu i procjenu svih aspekata pri odlučivanju o usvajanju AM tehnologije. Na temelju te procjene, preduzeća mogu bolje razumjeti stvarne prednosti, ograničenja i potencijalne uticaje AM tehnologije na njihovo poslovanje.

## 5.1. Ekonomske prednosti

Slika 11: Procenti uštede koristeći 3D printanje



Izvor: Pearce i Qian, (2022).

Kao što se vidi na slici 11, među 81 identificiranih načina štednje koristeći 3D printanje, među najboljih 100 dizajna, 36 od njih (više od 40%) rezultira uštedom većom od 90%. Ovo pokazuje značajne mogućnosti uštede koje pruža korištenje 3D printera. Također, više od 90% tih najefikasnijih načina štednje donosi uštedu od preko 40%, što ukazuje na širok spektar potencijalnih finansijskih koristi za korisnike. Korisnici 3D printera ili recyclebota također imaju mogućnost dodatne uštede kroz proizvodnju filamenta iz komercijalnih peleta



ili reciklirane plastike iz kućnog otpada. Recyclebot, koji je sposoban proizvesti filament s potrošnjom od 0,24 kWh/kg, omogućava korisnicima da proizvode filament po značajno nižim troškovima u odnosu na komercijalne pelete. Na primjer, proizvodnja filameta od komercijalnih peleta košta 5,53 dolara po kilogramu, dok je trošak za kilogram filameta iz vlastite reciklirane plastike samo 0,139 dolara, što čini značajnu razliku u cijeni. Kada se analizira ušteda koju pruža filament, primijećeno je da više od 70% predmeta koji omogućavaju uštedu ostvaruje uštedu veću od 80% (Pearce i Qian, 2022).

Također, još jedna prednost koju pruža 3D printanje jeste da usvajanje AM-a može imati značajne koristi za postojeće firme. Ciljajući heterogene tržište ili čak konvencionalna, korištenje AM-a nosi malo rizika od prekomjerne zalihe proizvoda jer se proizvodnja može obaviti nakon što je primljena narudžba ili novac, tako da teoretski neće biti neprodanih artikala na lageru. Spominje se, također, zabrinutost u vezi poremećaja ekonomije, međutim, budući da AM zahtijeva samo određeni materijalni ulaz i njegova proizvodnja se temelji na specifičnoj narudžbi umjesto na ekonomskoj skali (proizvodnji velikih količina) radi smanjenja troškova, zahtijeva mnogo manje investicija za rad i održavanje u poređenju s TM baziranim institucijama. Ideja o lokalnoj radnji za 3D printanje je spomenuta od strane mnogih, ljudi koji nemaju 3D printer, ali imaju namjeru da dobiju 3D printane objekte mogu koristiti te objekte za to. Lokalne radnje za 3D printanje ili firme koje koriste AM se smatraju fleksibilnijim prema promjenama na tržištu jer su sposobne proizvesti različite vrste proizvoda s istim potrebnim materijalom. Ova fleksibilnost omogućava lokalnim radnjama za 3D printanje da brzo prilagode svoju proizvodnju prema zahtjevima tržišta i pruže personalizirane proizvode za svoje kupce. Osim toga, prisustvo lokalnih radnji za 3D printanje može potaknuti lokalnu ekonomiju kroz stvaranje novih radnih mjesta, podršku lokalnih dobavljača materijala i promociju lokalnih umjetnika i dizajnera (Pearce i Qian, 2022).

## **5.2. Cirkularna ekonomija**

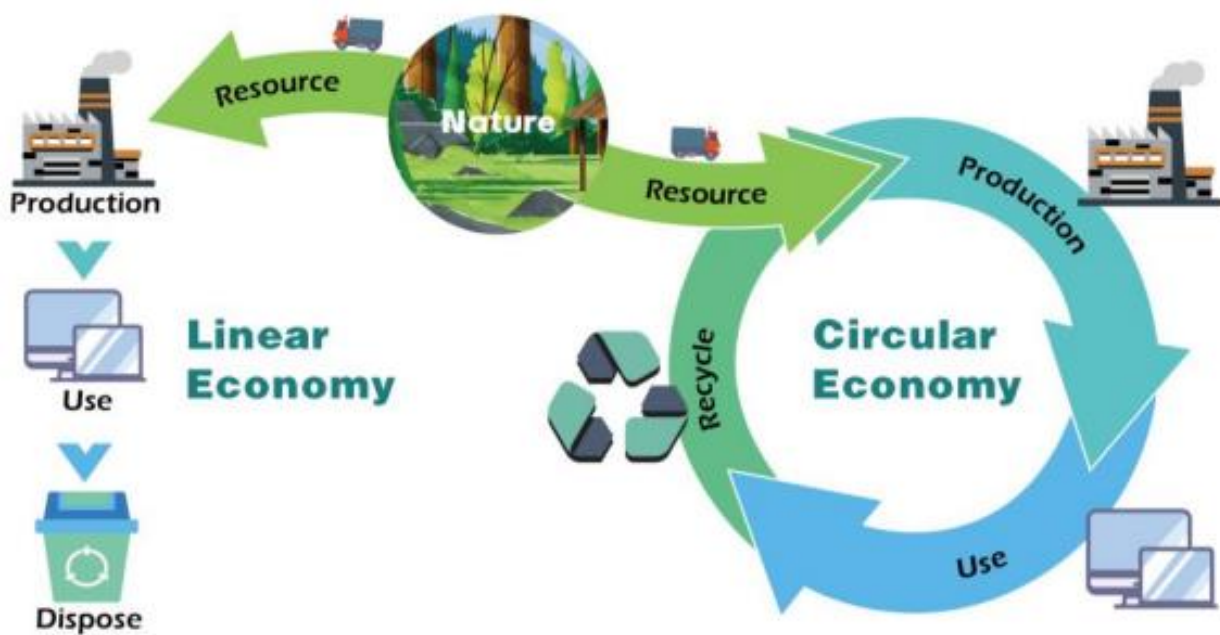
U proteklim desetljećima, kompanije su slijedila koncept linearne ekonomije, koja se temelji na uzimanju resursa iz prirode, njihovoj preradi u proizvode te odbacivanju nakon upotrebe. Ovaj jednosmjerni model protoka materijala donosi ekonomski rast, ali istovremeno iscrpljuje prirodne resurse i zagađuje okoliš. Umjesto da okoliš smatramo neograničenim izvorom resursa, moramo shvatiti da je i on ograničen i da ga ne možemo tretirati kao beskonačnu deponiju otpada.

S obzirom na neodrživost i ekološke negativnosti tradicionalnog linearnog ekonomskog modela, pojavio se novi ekonomski pristup. U šezdesetim godinama prošlog stoljeća, američki ekonomist Kenneth Ewart Boulding prvi je iznio ideju kružne ekonomije. Kružna ekonomija, također poznata kao resursno orijentirana ekonomija, predstavlja model ekonomskog razvoja koji se temelji na principima očuvanja resursa i recikliranja te postizanju harmonijskog suživota s okolišem. Ovaj model transformiše linearni proces protoka materijala u ponavljajući ciklus, od resursa do proizvoda, pa sve do obnovljivih

resursa. Na taj način ostvaruje se smanjenje potrošnje resursa, visoka efikasnost i minimalna emisija otpada, čime se postiže uravnoteženje između zaštite okoliša i ekonomskog razvoja.

Važno je naglasiti da kružna ekonomija pruža priliku za stvaranje novih poslovnih modela i inovacija, koje potiču održivost i istovremeno ekonomski rast. Na slici 12 možemo vidjeti ilustraciju ovog koncepta, gdje se jasno prikazuje kako kružna ekonomija smanjuje sukob između razvoja i zaštite okoliša (Chen, 2022). Kod linearne ekonomije, riječ je o jednosmjernom kretanju proizvodnje, od stvaranja do odbacivanja, preko korištenja i iskorištavanja punog potencijala. S druge strane, slika pokazuje da kod cirkularne ekonomije, teži se da se ništa ne odbacuje na kraju korištenja već da se iskoristi za narednu upotrebu. Cilj je da se resursi dobijaju iz prirode i takvi koriste u proizvodnji, a zatim i u korištenju. Na kraju životnog vijeka korištenja potrebno je imati tu mogućnost recikliranja kako se ne bi stvarao ogromni otpad koji godinama unazad predstavlja veliki problem za Zemlju, kako za klimu i klimatske promjene tako i za zagađivanje zemlje i zraka. Otuda i sam naziv cirkularna ekonomija – sve ide u krug te ništa ne dođe do posljednje stepenice nakon koje se odlaže na deponije.

Slika 12: Poređenje linearne i cirkularne ekonomije



Izvor: Chen (2022).

Od 2010. godine, uvođenje kružne ekonomije u poslovanje postalo je treća faza razvoja, a prepoznato je kao ključni element Četvrte industrijske revolucije (Chen, 2022). Istraživanja potvrđuju da bi tehnologija 3D printanja mogla odigrati ključnu ulogu u promovisanju kružne ekonomije. Prvo, specifičan aspekt 3D printanja jest njegova sposobnost da

fundamentalno transformiše ekonomiju postojećeg lanca vrijednosti proizvodnje, otvarajući vrata lokalnoj proizvodnji u malim razmjerima koja je istovremeno održiva i ekonomski isplativa. Ova promjena paradigmatki mijenja način na koji proizvodimo i konzumiramo, potencijalno smanjujući ovisnost o tradicionalnim globalnim nabavnim lancima. Drugo, treba istaknuti da su sve tehnologije potrebne za prikupljanje, recikliranje i pretvaranje otpadne plastike u sirovine za 3D printanje već dostupne. Ovo otvara mogućnosti za upotrebu otpada kao resursa i stvaranje zatvorenog kruga materijala, što pridonosi smanjenju količine otpada i ekološkoj održivosti. Osim toga, kontinuirana istraživanja i inovacije u području materijala za 3D printanje omogućava širenje mogućnosti upotrebe različitih sirovina, uključujući i one iz obnovljivih izvora. Treće, istraživanja su također pokazala da je moguće osigurati plastične sirovine visoke kvalitete i u dovoljnim količinama iz otpadnog toka. Ovo ima značajne implikacije za smanjenje potrebe za eksploatacijom novih sirovina i smanjenje negativnog uticaja na okoliš. Održivo korištenje otpada kao resursa za 3D printanje otvara put prema održivijem i odgovornijem pristupu proizvodnji (Garmulewicz *et al.*, 2018)

Dva ključna načina na koja 3D printanje ima važnost u poslovnim modelima kružne ekonomije su sljedeća: prvo, pružanje mogućnosti za poboljšanje ili čak stvaranje novih dizajna materijalnih proizvoda, te drugo, omogućavanje distribuiranih modela proizvodnje i potrošnje. Kada je riječ o dizajnu materijalnih proizvoda, 3D printanje se koristi kako bi se proširile mogućnosti materijala kroz manipulaciju strukturnim hijerarhijama i stvaranje složenih površina s različitim funkcionalnostima. Ovo omogućava izbjegavanje problema recikliranja kompleksnih kompozita s različitim hemijskim svojstvima. Neki čak nazivaju 3D printanje "revolucionarnom primjenom u kružnoj ekonomiji" zbog njegove sposobnosti da efikasno koristi materijale, pretvori otpadnu plastiku u nove printane predmete te omogućiti integrisani proces recikliranja, u kojem se stari predmeti mogu usitniti i ponovo upotrijebiti kao sirovina za sljedeće printanje. Drugi način na koji 3D printanje pridonosi kružnoj ekonomiji je putem distribuiranih modela proizvodnje i potrošnje. Kao disruptivna tehnologija, 3D printanje ima potencijal smanjiti potrebu za transportom i pakiranjem putem lokalnih proizvodnih platformi. To znači da se proizvodnja može odvijati na lokalnoj razini, bliže potrošačima, smanjujući troškove i uticaj na okoliš povezan s dugim lancima naabave. Ova fleksibilnost omogućava bržu i prilagodljivu proizvodnju prema specifičnim potrebama i zahtjevima tržišta (Garmulewicz *et al.*, 2018).

Srž kružne ekonomije leži u očuvanju trajnog korištenja materijalnih resursa i postizanju ljudski održivog razvoja. Ona uglavnom slijedi načelo 3R (smanji (reduce), ponovo upotrijebi (reuse) i recikliraj (recycle)) (Chen, 2022). Ovaj pristup ima za cilj smanjiti otpad, iskoristavati postojeće resurse na najbolji mogući način te promovisati recikliranje kao važan dio cjelokupnog ekonomskog sistema. Implementacija kružne ekonomije ima potencijal transformisati način na koji poslujemo i ostvarujemo ekonomski rast, osiguravajući istovremeno održivost i zaštitu okoliša (Zhu *et al.*, 2021).

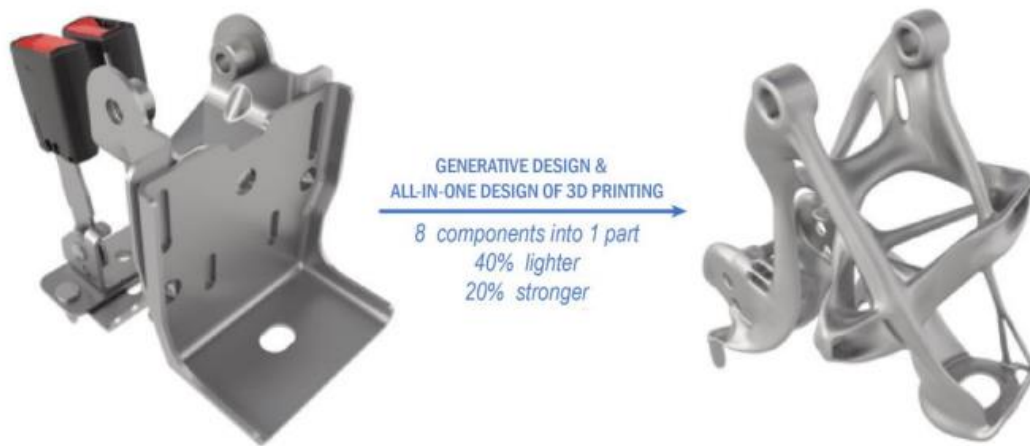
Prvo načelo cirkularne ekonomije - "smanji" (reduce) podrazumijeva upotrebu što manje sirovina i energije tokom procesa proizvodnje kako bi se ostvarili zadani ciljevi proizvodnje, smanjila potrošnja resursa i energije te spriječilo stvaranje otpada i zagađivača. Drugi princip je "ponovo upotrijebi" (reuse). To zahtijeva od proizvođača da dizajniraju proizvode koji su izdržljivi i višekratno upotrebljivi. Treći princip je "recikliraj" (recycle) i ovaj princip zahtijeva da se proizvodi nakon odbacivanja mogu pretvoriti u iskoristive resurse i ponovo ući u proizvodni proces. Cilj je smanjiti stvaranje otpada i potrošnju prirodnih resursa.

Razvojem kružne ekonomije, njeni principi su dodatno poboljšani. Umjesto 3R principa, sada se koriste 6R ili čak 10R principi, koji uključuju ponovo promišljanje, prenamjenu, popravak, obnovu i druge principe. Međutim, načelo 3R i dalje ostaje temeljno i priznato načelo kružne ekonomije (Chen, 2022). Detaljnije obrazloženje 3R principa je dato u nastavku.

Reduce načelo se odnosi na smanjenje upotrebe sirovina u proizvodnji i emisije onečišćavajućih tvari. Umjesto tradicionalnih postupaka obrade koji rezanjem materijala stvaraju otpad i zagađivače, 3D printanje kao aditivni proizvodni proces omogućava izradu dijelova direktno iz računarskih grafičkih podataka, bez potrebe za složenom opremom i kalupima. Ovaj proces je učinkovit i smanjuje gubitak materijala, a istovremeno smanjuje emisiju ugljika. Dodatno, 3D printanje kao digitalna proizvodna tehnologija omogućava dizajnerima i inženjerima optimizaciju algoritama i digitalnih modela kako bi poboljšali učinkovitost printanja i smanjili upotrebu sirovina. Na primjer, za dijelove koji nisu podložni velikim opterećenjima, dizajneri mogu smanjiti debljinu zidova ili ih dizajnirati kao šuplje dijelove. Također, za proizvode koji se sastoje od više dijelova, integrisani dizajn 3D printanja omogućava proizvodnju cjelovitih dijelova bez potrebe za montažom. Ovo ne samo da smanjuje broj dijelova i potrošnju materijala, već pojednostavljuje proizvodni proces i smanjuje troškove montaže (Chen, 2022).

Primjena tehnologije 3D printanja u industriji automobila pruža primjere ovih prednosti. Na primjer, General Motors Corporation (GM) razvio je novi nosač sigurnosnog pojasa (slika 13) koji kombinira tehnologiju 3D printanja i generativni dizajn. Novi nosač sjedala sastoji se od jednog dijela koji zamjenjuje osam originalnih dijelova. Ovaj novi dizajn je lakši za 40% i čvršći za 20% poredeći sa prethodnim nosačem sjedala. Osim smanjenja težine automobila i poboljšanja učinkovitosti goriva, novi nosač također poboljšava ukupne performanse vozila (Chen, 2022).

Slika 13: Nosač sigurnosnog pojasa



Izvor: Chen (2022).

Princip "ponovne upotrebe" predstavlja drugi osnovni princip kružne ekonomije koji ima za cilj produženje životnog vijeka proizvoda, sprječava prerano nastajanje smeća i potiče razvoj industrije ponove proizvodnje za rastavljanje, popravak i sastavljanje korištenih i oštećenih proizvoda. Trenutni linearni ekonomski model podstiče ljude da se riješe oštećenih proizvoda i nastave s kupovinom novih, što dovodi do velikog gubitka resursa. Međutim, ova praksa ima mnogo nepredvidivih faktora. S jedne strane, stari proizvodi često imaju previše dug period proizvodnje, što otežava nabavku rezervnih dijelova potrebnih za održavanje. Ako se tradicionalne metode masovne proizvodnje koriste za proizvodnju manjih količina starih dijelova, to će dovesti do porasta proizvodnih troškova i cijena dijelova, što će umanjiti vrijednost popravaka. S druge strane, neki integrisani ili jednostavni proizvodi nemaju rezervne dijelove koji su proizvedeni od samog početka istraživanja i razvoja, pa kada se ovi proizvodi oštete, ljudi jednostavno moraju odustati od njih. Sa razvojem i popularizacijom tehnologije 3D printanja, ljudi sve više prepoznaju potencijal za popravke i produženje životnog ciklusa proizvoda. Trenutno, 3D printanje se može kombinovati sa 3D skeniranjem i 3D modeliranjem kako bi se popravili oštećeni dijelovi proizvoda, čime se produžuje njihov vijek trajanja i smanjuje potreba za odbacivanjem. Na primjer, projekt "popravka s dodatnom vrijednošću" razvijen od strane Conny Bakker i Marcel den Hollander s Tehnološkog sveučilišta Delft u Nizozemskoj koristi tehnologiju 3D printanja za popravak oštećenih proizvoda uz dodavanje novih funkcionalnosti (Chen, 2022).

*Slika 14: Popravljeni čajni set 3D printom*



*Izvor: Chen (2022).*

Kao što je prikazano na slici 14, popravak oštećenog čajnog seta putem 3D printanja ne samo da može vratiti izgled seta za čaj, već i unaprijediti korisničko iskustvo. Na primjer, 3D printanjem se popravljaju šoljice s oštećenom ručkom, osiguravajući da korisnici neće opeći ruke dok piju vruće napitke iz nje. Također, tehnologija 3D printanja omogućava direktno printanje dijelova koji nedostaju na oštećenim proizvodima, čime se dodatno štede sirovine i energija.

"Recikliraj" predstavlja treći princip kružne ekonomije koji se odnosi na izlazni dio sistema, a njegov cilj je ponovo korištenje recikliranog otpada kako bi se smanjila konačna potrošnja. Trenutno se razvijaju održivi materijali za 3D printanje koji potiču recikliranje različitih proizvoda kao što su materijali za printanje, plastični dijelovi, flaše mineralne vode i drugi otpad. Na taj način se otpad pretvara nazad u sirovine koje se mogu ponovo koristiti u proizvodnji (Chen, 2022).

Dodatno, tehnologija 3D printanja omogućava upotrebu biomaterijala koji se mogu reciklirati kao potrošni materijal za printanje kako bi se izbjeglo stvaranje otpada izravno iz izvora proizvodnje. Na primjer, čest materijal koji se koristi u industriji 3D printanja je PLA, o kojem je bilo riječ u odjeljku o materijalima. Ovaj materijal ima izvrsnu biorazgradivost te se može potpuno razgraditi prirodnim mikroorganizmima u ugljendioksid i vodu, omogućavajući povratak tih tvari u prirodni sistem. Također, PLA kao materijal za 3D printanje ima glatku površinu, dobru fleksibilnost pri sobnoj temperaturi, visoku fluidnost, minimalno skupljanje i izvrsna mehanička svojstva (Chen, 2022).

Slika 15: Prototip 3D printanog posuđa



Izvor: Chen (2022).

Na slici 15 možemo vidjeti primjer prototipa iz prehrambene industrije koji je printan PLA materijalom. Kada se taj proizvod više ne može koristiti, PLA materijal ima sposobnost da se vrati u prirodno okruženje i pruži hranjive tvari drugim organizmima. Također, može se ponovo uključiti u industrijski ciklus kako bi postao sirovina ili novi proizvod.

Nakon što se u poglavlju ekonomskih aspekata dao detaljan uvid o prednostima, barijerama, cirkularnoj ekonomiji kao novom boljem pravcu kojem se proizvodnja treba okrenuti, konceptu 3R može se preći na samu primjenu 3d printanja u različitim industrijama. Na taj način će se dati uvid u praktična rješenja 3D printanja te uvidjeti koliko zapravo 3D printanje može unaprijediti svijetske industrije.

## 6. PRIMJENA 3D PRINTANJA

### 6.1. Auto-industrija

Prema autorima Garmulewicz *et al.* (2020) jedna od industrija koja izaziva zabrinutost, kada razmatramo aspekt održivosti, jest automobilska industrija. To je zbog zagađenja koje proizlazi iz procesa proizvodnje i svakodnevne upotrebe automobila, kao i generisanja otpada prilikom uništavanja automobila na kraju njihovog životnog vijeka. Svake godine, Europska unija (EU) proizvede više od 6 miliona tona materijala i komponenti iz otpadnih vozila (ELV). Ova činjenica je potaknula opću zabrinutost među vladama, koje postaju svjesne uticaj, a vozila na okoliš tokom njihovog životnog ciklusa.

Početakom 2000-ih, oko 25% materijala iz otpadnih vozila (ELV) još uvijek se odlagalo ili spaljivalo radi proizvodnje energije, zbog nedostatka održivih opcija za recikliranje određenih komponenti. Kako bi se riješio ovaj problem, Europsko vijeće je 2000. godine donijelo Direktivu 2000/53/EC kojom se zahtijeva smanjenje otpadnih vozila izvan upotrebe, uz preporuku korištenja sve većeg broja recikliranih materijala u proizvodnji novih vozila. Srećom, ti naponi su doveli do značajnog napretka, koji bilježe povećanje udjela težine ELV komponenti koje se održivo recikliraju i ponovo koriste od 2009. godine.

S obzirom na automobilsku industriju, 3D printanje pruža novu mogućnost za proizvodnju složenih komponenti i dijelova automobila koji obično zahtijevaju posebne kalupe i objekte koji se teško mogu replicirati na globalnoj razini. Ovo predstavlja izazov za cirkularnu ekonomiju i često je povezano s visokim operativnim troškovima. Zbog toga neke poznate automobilske marke već istražuju mogućnosti 3D printanja i njegovo integrisanje u svoje proizvodne sisteme. Na primjer, Ford Europe već koristi 3D printere za proizvodnju dijelova vozila od pijeska i najlonskog praha. Međutim, jedan od najistaknutijih primjera usvajanja 3D printanja u proizvodne sisteme automobilske industrije je slučaj kompanije Local Motors. Ova američka kompanija, osnovana 2007. godine, koristi 3D printanje za proizvodnju otprilike 90% dijelova koji se koriste u njihovim automobilima. Ovo predstavlja značajan korak prema održivoj proizvodnji automobila i smanjenju otpada (Garmulewicz *et al.*, 2020).

Uz to, integracija 3D printanja u proizvodni proces automobilske industrije donosi i ekonomske prednosti. Proizvodnja dijelova na zahtjev smanjuje troškove skladištenja, transporta i gubitka materijala, što dovodi do efikasnije i konkurentnije proizvodnje. Također, brza izrada prototipova omogućava brže testiranje i iterativni razvoj novih modela vozila, što rezultira bržim dolaskom novih inovacija na tržište. Važno je naglasiti da implementacija 3D printanja u automobilskoj industriji zahtijeva saradnju između proizvođača automobila, dobavljača materijala i regulatornih tijela. Potrebna je usklađenost s propisima o sigurnosti i kvaliteti, kao i kontinuirana istraživanja i razvoj novih materijala i tehnologija kako bi se postigla optimalna izvedba i pouzdanost (Garmulewicz *et al.*, 2020).

Sumirajući, tehnologija 3D printanja predstavlja velik potencijal za transformaciju automobilske industrije prema održivijem i inovativnijem modelu proizvodnje. Uz pravilnu upotrebu i integraciju u strategije održivosti, 3D printanje može biti ključni faktor u stvaranju automobila budućnosti koji su energetski učinkoviti, ekološki prihvatljivi i prilagođeni individualnim potrebama vozača.

## 6.2. Medicina

Koncept "makerspace" integrisan je s tehnologijama 3D printanja kako bi se pružila podrška osobama s invaliditetom. Kada je riječ o medicinskim uređajima za osobe s invaliditetom, oni često su veoma skupi zbog potrebe prilagođavanja različitim pacijentima i nemogućnosti masovne proizvodnje. Upotrebom 3D printera, moguće je izraditi prilagođene pomagala po znatno nižim troškovima. Istraživanje koje su proveli Pearce i Qian (2022) pokazalo je da distribuirano 3D printanje prilagođenih pomagala za pacijente s artritisom donosi financijske uštede veće od 94% u poređenju s komercijalno dostupnim proizvodima. Čak i printanje manjeg broja pomagala za jednog pacijenta može pokriti sve troškove 3D printera open-source koda.

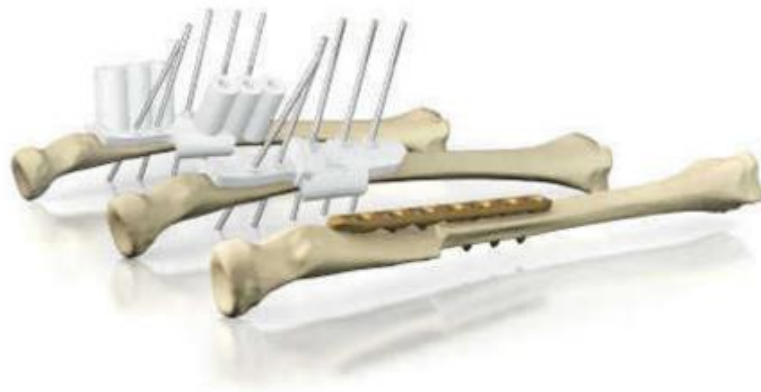
Abeliansky *et al.* (2020) su iznijeli u radu da je okom protekle decenije, 3D printanje postalo ključna tehnologija u industriji slušnih aparata. Stručnjaci tvrde da je već proizvedeno preko



10 miliona ovih aparata korištenjem aditivne proizvodnje. Starkey, jedna od vodećih kompanija u ovoj oblasti, započela je upotrebu 3D printanja još 1998. godine, dok je Phonak na tržištu prisutan od 2000. godine. Zahvaljujući 3D printanju, proizvodni proces je značajno optimiziran, smanjivši se sa devet na samo tri koraka: skeniranje, modeliranje i printanje. Prema izvještaju kompanije Materialise, od 2000. godine, čak 99 posto slušnih aparata u svijetu proizvedeno je korištenjem tehnologije Rapid Shell Modeling. Iako je ova tehnologija efikasnija i smanjuje troškove u poređenju s tradicionalnim metodama, samo nekoliko kompanija je u mogućnosti priuštiti početna ulaganja koja su neophodna. Starkey, kao jedna od vodećih kompanija, angažovana je u stranim investicijama s preko 30 printera raspoređenih na sedam različitih lokacija širom svijeta. Tržište se polako transformiše, jer su 3D printeri već postali pristupačni. Koristeći aditivnu proizvodnju, kompanija Sonova, vlasnik brenda slušnih pomagala Phonak, proizvode prilagođene ušne uloške za slušne aparate iza uha, kao i one koji se nose u ušnom kanalu. Implementacija 3D printanja značajno smanjuje vrijeme potrebno za proizvodnju, kao i proizvodne troškove, omogućavajući reproduciranje procesa na svim lokacijama kompanije. Njihova tehnologija omogućava proizvodnju do 40 školjki pomoću printera EnvisionTec Perfactory III, uz vrijeme printanja od otprilike 80 minuta. Ova tehnologija donosi brojne prednosti, uključujući brzinsku efikasnost, ekološki prihvatljiv proces s bezbjednim radnim okruženjem, kao i jedinstveni proces koji garantuje kvalitetu proizvoda kupcima, bez obzira na njihovu geografsku lokaciju. Sonova posjeduje različite proizvodne pogone širom svijeta, koji koriste 3D printanje, uključujući jedan u Latinskoj Americi, tri u Sjevernoj Americi, pet u Europi, tri u Aziji i dva u Oceaniji. U Aziji i Latinskoj Americi su otvorena dva najnovija pogona. Ovaj primjer pruža izvrstan primjer za teoretske predikcije: samo najproduktivnije kompanije koriste najnoviju tehnologiju i već su angažirane u stranim izravnim ulaganjima na različitim lokacijama širom svijeta.

Također, i Brans (2013) u svom radu ističe prednosti korištenja 3D printanja u medicini, konkretno na primjeru "nepravilnog zarastanja" datog na slici 16. U ovom slučaju, nakon preloma, kost je nepravilno zarasla te počela rasti u pogrešnom položaju. Za ispravak, potrebno je izvršiti hirurški zahvat koji uključuje prekid kosti (osteotomija), ponovo pozicioniranje i fiksiranje pomoću standardnog implantata. U prvoj fazi, hirurg dobija 3D model pacijentove kosti koji se generiše iz 2D medicinskih skenova, a ovaj proces se obavlja korištenjem programa Mimics by Materialise. Zatim, hirurg virtuelno izvodi operaciju koristeći specijaliziran softver (SurgiCase) tako što označava gdje treba izvršiti rez na prečniku i kako treba ponovo pozicionirati kost, a to se prenosi na trenutni oblik kosti, određujući mjesta za bušenje i rezanje. Konačno, dizajnira se poseban vodič koji savršeno pristaje na površinu kosti i pokazuje mjesta za rezanje i bušenje. Vodič se izrađuje od poliamida, a cijeli proces se može dovršiti u samo nekoliko dana. Kompanija Materialise primjenjuje ovu tehniku i mjesečno tretira oko 5000 pacijenata.

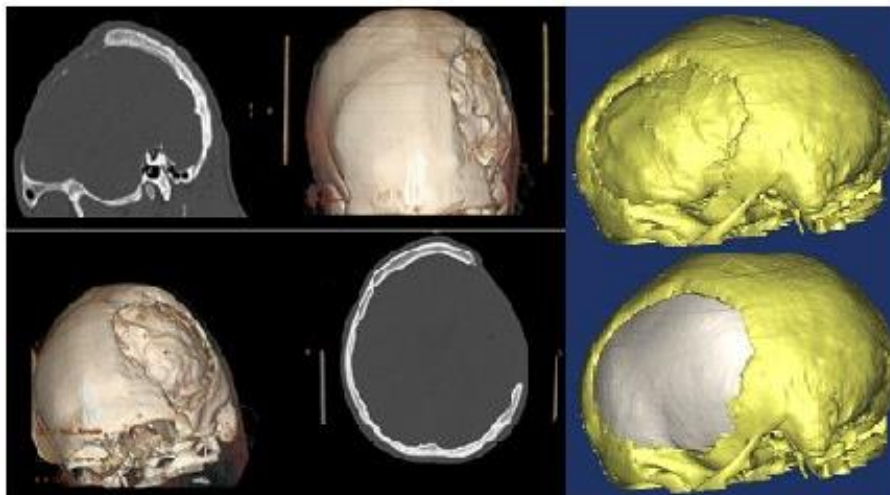
Slika 16: Primjer "nepravilnog zarastanja" kosti



Izvor: Brans (2013)

Također, pogledajmo uspješan primjer korištenja 3D printanja u odjelu hirurgije postignutoj u Zenici. Riječ je o ugrađivanju dijela lobanje koji je prvi put izvedeno još 2018. godine, a onda se uspješna operacija ponovila u junu 2023. godine kod drugog pacijenta. U nesretnom slučaju je mladić sa tek 17 godina ostao bez dijela lobanje u predijelu zida očne šupljine te dio baze lobanje, a tek dvije godine kasnije dobio priliku da popravi zdravstveno stanje. Taj kompleksni zahvat su izvela dva doktora hirurgije te inženjer mašinstva koji poznaje rad 3D printera. Operacija je prošla uspješno te je mladiću vraćen život u potpunosti (admin, 2023).

Slika 17: Primjer korištenja 3D printanja u hirurgiji u Tuzli



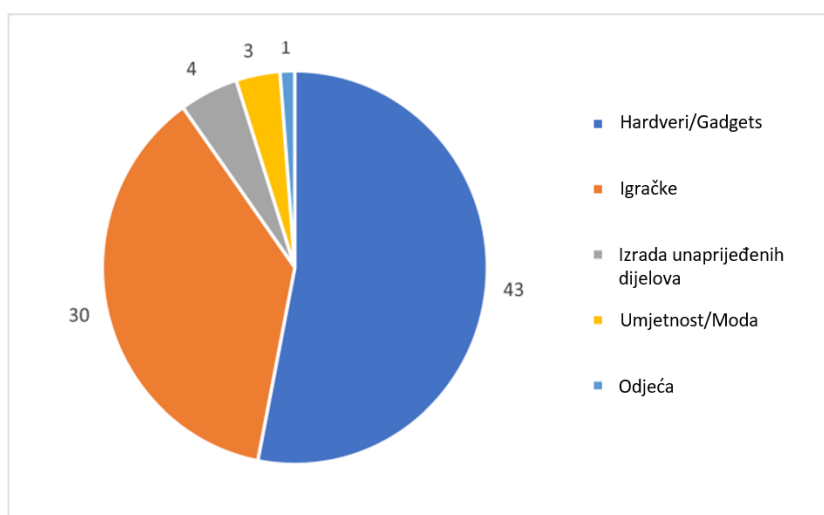
Izvor: admin (2023)

### 6.3. Primjeri iz svakodnevnice

Slika 18 prikazuje da više od polovine dostupnih dizajna čine hardverski alati i gadgeti, pružajući širok spektar opcija za korisnike s različitim budžetima. Na primjer, rezač banana koji je preuzet 857 puta s platforme YouMagine predstavlja odličan primjer kako open-

source dizajni mogu donijeti značajne finansijske prednosti. Još jedan primjer poređenja između open-source dizajna i komercijalne ekvivalentne verzije pokazuje konkretan primjer uštede. Korištenjem open-source dizajna i 3D printanja, korisnici mogu dobiti rezač banana po cijeni od samo 1 USD, dok bi za komercijalnu verziju trebali izdvojiti 6 USD na Amazonu. Ovo poređenje jasno ističe prednosti 3D printanja i open-source dizajna u pogledu dostupnosti i finansijske efikasnosti. Također, važno je istaknuti da, iako pojedinačni proizvodi poput rezača banana donose značajne uštede korisnicima, njihova ukupna vrijednost za zajednicu 3D printanja nije zanemariva. Do danas, ovi open-source dizajni su omogućili zajednici 3D printanja da ostvari ukupnu uštedu od 4316 dolara. Ovaj broj svjedoči o snazi dijeljenja open-source dizajna i njihovom pozitivnom uticaju na ekonomiju korisnika 3D printanja (Zhu *et al.*, 2021).

Slika 18: Najčešće printani predmeti



Izvor: Zhu *et al.* (2021).

Open-source proizvodi pružaju korisnicima nevjerojatnu fleksibilnost da sami izrađuju proizvode i istovremeno ostvaruju finansijske uštede. Primjer takvog proizvoda je model igračke/pištolja za cosplay inspiriran likom Hana Sola iz Star Wars filmova. Ovaj konkretni model za izradu koristi 3D printer, te zahtijeva 387 grama filameta s 10% ispune, što iznosi samo 8,66 dolara. U poređenju s komercijalnom verzijom istog proizvoda koja se prodaje na Amazonu po cijeni od 140, razlika u cijeni je izuzetno značajna. Slika 19 prikazuje poređenje između open-source verzije i komercijalne verzije. Uz svaku izrađenu kopiju ovog open-source hardverskog modela igračke/pištolja, korisnici ostvaruju uštedu od iznosa od 131 dolara. S obzirom na čak 28.608 preuzimanja, procjenjuje se da će ukupna ušteda za zajednicu 3D printanja iznositi čak 3,8 miliona dolara samo za ovaj jedan dizajn. Ova impresivna brojka jasno ukazuje na popularnost i ekonomsku isplativost open-source hardverskih proizvoda (Zhu *et al.*, 2021).

Slika 19: Primjer modela igračke pištolja 3D printanog (lijevo) i kupovnog (desno)



Izvor: Zhu et al. (2021).

Sa druge strane troškova proizvoda, na slici 20a je prikazan 3D glidecam za printanje koji je prenio Thomas i koji je preuzet 15355 puta. Preporučuje se ispuna od 40%, što rezultira otprilike 500 grama potrebnog filameta jer je potpora potrebna za printanje određenih komponenti. Dodani su troškovi dodatnih materijala kao što su vijci, šipke od aluminija i slično, što daje ukupne troškove materijala od otprilike 40 USD. Komercijalni ekvivalent tog proizvoda košta 224 USD. Svaki pojedinac koji je sam izradio ovaj proizvod uštedio je više od 80% u odnosu na kupovinu komercijalnog proizvoda, zbog čega je samo ovaj open-source dizajn generisao uštedu od preko 2,9 miliona dolara kod kursorinika open-source-a (Pearce i Qian, 2022). Glidecam; Nefertiti - kupovni model (lijevo) i 3D printani

Slika 20: a)Glidecam i b)Nefertiti



Izvor: (Pearce i Qian, 2022).

Ako pogledamo sliku 20b vidjet ćemo prikaz egipatskog lika, poredeći 3D print i komercijalni ekvivalent, čime vidimo uštede i kod umjetničkih proizvoda. Open-source dizajn živog umjetničkog djela Neferneferuaten Nefertiti (oko 1370. - oko 1330. p. n. e.), kraljice iz 18. dinastije drevnog Egipta, preuzet je 4.177 puta te je u ekonomskoj analizi dizajna pretpostavljena 10% ispuna te je za izradu velikog printa potrebno je 1.816 grama

filamenta, što košta 39 dolara. Komercijalni ekvivalent tog proizvoda košta 150 dolara. Samo ovaj predmet generiše procijenjenu uštedu od 460000 dolara za prosumer zajednicu (Pearce i Qian, 2022).

Open-source proizvodi imaju pozitivan uticaj na održivost jer omogućavaju recikliranje i ponovu upotrebu komponenti te smanjenje e-otpada. Sve ovo čini open-source ne samo finansijski isplativim, već i izuzetno privlačnim za kreativne entuzijaste i profesionalce širom svijeta. Primjer umjetničkog proizvoda pokazuje koliko open-source dizajni mogu pružiti pristupačne alternative skupim umjetničkim proizvodima. Umjetnici i entuzijasti sada mogu stvarati vlastita umjetnička djela inspirirana historijom i kulturom, bez velikih troškova.

## **7. BARIJERE PRI 3D PRINTANJU**

Autori Madhu *et al.* (2022) su dali uvid u neke barijere koje se mogu pojaviti pri korištenju 3D printera, dajući na znanje da rad sa printerima nije uvijek besprijekoran te da sve ide lako.

Jedan od njih je problem s kalibracijom podataka. Nepravilno primijenjena kalibracija printera mogla bi dovesti do kvarova komponenti printanja jer ljudi obično ne obraćaju previše pažnje samom procesu printanja. Za razliku od drugih vrsta kvarova koje printer automatski može otkriti, poput savijanja uzrokovano nedovoljnim zagrijavanjem platforme, problemi s kalibracijom printera mogu proći nezapaženo. Važno je napomenuti da pravilna kalibracija printera osigurava visoku kvalitetu printanja i sprječava nepotrebno rasipanje materijala. Neprozirni poklopci na malim 3D printerima marke UP pomažu u sprječavanju gubitka toplote, ali istovremeno otežavaju korisnicima prepoznavanje kvarova što može smanjiti gubitke toplote. Kupci koji redovno prate status printanja svakog printera i odmah identificiraju sve probleme mogu smanjiti rasipanje materijala. Uz to, redovno čišćenje i održavanje printera također igra ključnu ulogu u sprečavanju problema s kalibracijom i održavanju optimalnih performansi. Edukacija korisnika o pravilnom korištenju printera i održavanju može smanjiti učestalost problema s kalibracijom i pomoći u povećanju učinkovitosti printanja. Kontinuirano praćenje tehnoloških napredaka i ažuriranje softvera printera također je važno kako bi se osigurala optimalna kalibracija i ispravan rad printera.

Kvar sistema zagrijavanja platforme predstavlja drugu vrstu kvara. Preliminarno zagrijavanje platforme je neophodno kako bi se spriječilo savijanje i poboljšalo prijanjanje svake pojedine komponente na platformu za printanje. Preliminarno zagrijavanje može trajati od nekoliko minuta do nekoliko sati, ovisno o temperaturi platforme kada je proces započeo. Ako je printer nedavno završio prethodni posao, vrijeme zagrijavanja platforme će biti kraće, čime se štedi vrijeme. S druge strane, ako je printer neaktivno stajao duže vrijeme, vrijeme zagrijavanja će biti produženo. Također, važno je napomenuti da kvarovi u sistemu zagrijavanja mogu negativno uticati na kvalitetu printa. Neispravno zagrijavanje platforme

može rezultirati lošim prianjanjem materijala, što može dovesti do nepravilnosti i deformacija pri printanju. Stoga je redovno održavanje i provjera ispravnosti sistema zagrijavanja ključno za postizanje optimalnih rezultata printanja i sprečavanje gubitka materijala. Da bi se smanjila količina izgubljenog materijala zbog pomaka slojeva, zaustavljanja rada printera i preskakanja slojeva, važno je redovno provjeravati i održavati printer. Kako bi se smanjila količina materijala izgubljenog zbog fizičkih i nefizičkih problema, može biti potreban bolji dizajn za aditivnu proizvodnju i bolja ukupna struktura (Madhu *et al.*, 2022).

Također, još jedna prepreka sa kojom se suočava svijet 3D printanja jeste pitanje autorskih prava koja se odnose na zaštitu stvaranja originalnih 3D modela. Veliki broj 3D CAD modela se danas dijeli online u obliku open-source-a, omogućavajući svakome da preuzme te modele i izradi fizičke objekte. Međutim, ova praksa dovodi do problema u vezi sa autorskim pravima, posebno kada se ti modeli koriste za printanje predmeta koji su zaštićeni intelektualnim vlasništvom. Veliku zabrinutost pružaju korisnici 3D printera koji kući posjeduju printere pa izrađuju modele s nekim ciljem, da li preprodaje ili jednostavno iz zabave. Oni koriste nacрте, modele, ideje i fajlove koje nađu na internetu, ali je najveći problem u tome što je teško stati u kraj takvim radnjama, jer sve što je na internetu je dostupno širem auditoriju. Jedan od mogućih pristupa rješavanju ovog problema je u primjeni digitalnog upravljanja pravima (DRM) kako bi se ograničilo dijeljenje fajlova 3D modela online. Međutim, implementacija DRM sistema u 3D printanju može biti kompleksna i suočava se sa raznim tehničkim i pravnim izazovima. Pitanje kako zaštititi autorska prava i istovremeno omogućiti razmijenu i dijeljenje 3D modela ostaje otvoreno. Važno je napomenuti da zakoni o autorskim pravima u zemljama u razvoju još uvek nisu adekvatno regulisali pitanje dijeljenja i upotrebe 3D modela online (Ishengoma i Mtaho, 2014).

Nakon tri teorijska poglavlja, detaljno obrađena, u osmom poglavlju bilo je riječ o barijerama 3D printanja, jer, kao i svaka tehnologija dosada, pa tako i ova, ima svoje mane i nedostatke. Potrebno je naučiti i doći do rješenja kako ispratiti malverzacije krađe autorskim prava, kako naći pravi način popravke dijelova 3D printera te na koje sitnice obraćati pažnju. U naredna tri poglavlja bit će riječ o tržištima Evrope, Bosne i Hercegovine, gdje je predstavljena slika ponude usluga za 3D printanje te Srbije i Hrvatske.

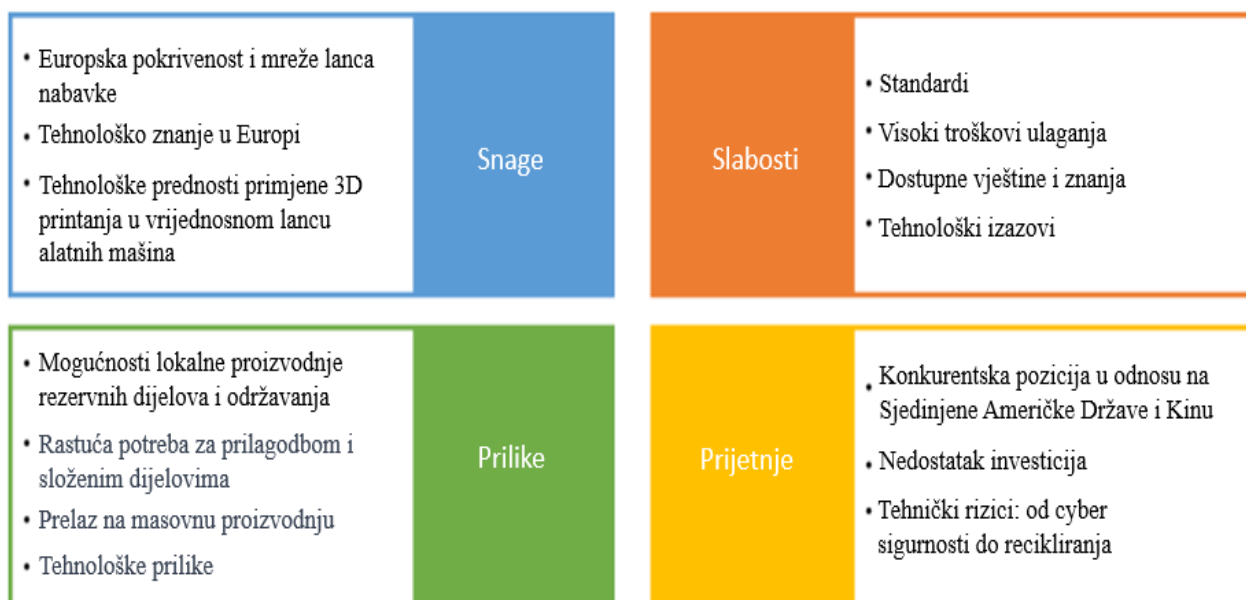
## **8. TRŽIŠTE 3D PRINTANJA U EUROPI**

Nakon što je dat detaljan uvid o 3D printanju kao vodećoj industriji u novoj eri Industrije 4.0, sada će biti riječ o brojkama koje pokazuju nivo razvijenost tržišta 3D printanja. Prvo će se dati uvid u širu geografsku sliku, Europu, a zatim će se preći na uže dijelove poput Balkana, zatim Bosne i Hercegovine te susjedstva, Hrvatske i Srbije.

Nedavni izvještaj Europske komisije stavlja 3D printanje kao jednu od pet ključnih tehnologija koje otvaraju prilike i mijenjaju mehanizme dugogodišnjeg stvaranja (Kanyilmaz *et al.*, 2022).

Van de Velde i Kretz (2021) iz Europske komisije dali su uvid u SWOT analizu 3D printanja u Europi, fokusirajući se na Snage (Strengths – S), Slabosti (Weaknesses – W), Prilike (Opportunities – O) i Prijetnje (Threats – T).

Slika 21: SWOT analiza 3D printanja u Europi



Izvor: Autorica, prema Van de Velde i Kretz (2021)

## SNAGE

U snage, odnosno strengths, SWOT analize 3D printanja u Europi spada Europska pokrivenost i mreža lanca nabavke, Tehnološko znanje u Europi te Tehnološke prednosti primjene 3D printanja u vrijednosnom lancu alatnih mašina.

- *Europska pokrivenost i mreže opskrbe*

Prema izvještaju Europske Komisije iz 2021 godine (Van de Velde i Kretz, 2021), iako tehnologija 3D printanja nije još u potpunosti razvijena, može se reći da razvijenost mreže i saradnje predstavlja veliku snagu Europe. Također, postoji dobro pokrivanje demonstracijskih platformi i laboratorija na terenu koji primjenjuju 3D printanje širom Europe. Pa tako, proizvođači i kupci dijelova se nalaze u Europi što govori da pored proizvodnje postoji i potražnja za takvim dijelovima unutar tržišta i ekosistema. Zaključno, EU se nalazi ispred SAD-a i Kine kada je riječ o povezivanju i optimizaciji lanca nabavke (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Tehnološko znanje u Europi*

Tehnološko znanje i inovacijska kulura su u Europi veoma visoka pa se može reći da se otvorenost prema novim tehnologijama, konkretno u ovom slučaju 3D printanja, povećava što Europu stavlja ispred SAD-a. Također, Europa je na visokom nivou kada je pitanje printanje metala i inkjet tehnologije (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Tehnološke prednosti primjene 3D printanja u vrijednosnom lancu alatnih mašina*

U tehnološke prednosti primjene 3D printanja spada kraće vrijeme dostave proizvoda, korištenje materijala u odnosu na tradicionalne načine proizvodnje i povećane performanse dijelova koristeći bolje materijale. Ovo je sve zahvaljujući lakšoj proizvodnji prototipa, malih serija i izrade kalupe (Van de Velde i Kretz, 2021).

## PRILIKE

U prilike SWOT analize spadaju Mogućnosti lokalne proizvodnje rezervnih dijelova i održavanja, Rastuća potreba za prilagodbom i složenim dijelovima, Prijelaz na masovnu proizvodnju te Tehnološke prilike.

- *Mogućnosti lokalne proizvodnje rezervnih dijelova i održavanja*

Proizvodnja rezervnih dijelova na lokalnim područjima ili unutar Europe može donijeti velike benefite, od kraćeg vremena dostave i dostupnosti dijelova na kratkoj udaljenosti do smanjene potrebe za plaćanjem skladišta za čuvanje tih dijelova. Prednost se još može ogledati u proizvodnji tačno određene količine proizvoda koji se traže, kako bi se izbjeglo skladištenje i dugo vrijeme za prodaju, a možda na kraju i ne dođe do prodaje svih proizvedenih dijelova (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Rastuća potreba za prilagodbom i složenim dijelovima*

Složeni dijelovi zahtijevaju složene mašine za proizvodnju, koje su često skupe. Sa 3D printanjem, može se doći i do te eliminacije, gdje će se printati svi potrebni dijelovi za jedan proizvod bez ulaganja u skupu i veliku opremu. Dolazi do smanjenja troškova te manje mogućnosti za kvarom (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Prijelaz na masovnu proizvodnju*

3D printanjem se lako može doći do proizvodnje modela sa trenutnim tehnološkim ili drugim zahtjevima, u skladu sa napretkom svijeta. Inkjet tehnologija se može koristiti za printanje elektorinike za izradu mašina. Dugoročno, ovo može premjestiti proizvodnje dijelova u Europu i odmaknuti od Dalekog Istoka (Van de Velde i Kretz, 2021).



- *Tehnološke prilike*

3D printanjem može se doći do raznih tehnoloških prilika kao što su optimizacija materijala na način da se koriste tačni materijali potrebni za određeno printanje, optimalna struktura dizajna te prilagodljivost i smanjenje troškova i vremena proizvodnje poredeći sa tradicionalnim načinima proizvodnje (Van de Velde i Kretz, 2021).

## PRIJETNJE

Kada je riječ o prijetnjama 3D printanja u Europi, Van de Velde i Kretz (2021) su naveli četiri, a to su: Konkurentska pozicija u odnosu na Sjedinjene Američke Države i Kinu, Nedostatak investicija, Tehnološki rizici: kibernetička sigurnost do recikliranja.

- *Konkurentska pozicija u odnosu na Sjedinjene Američke Države i Kinu*

Različite strategije korištenja i regulisanja 3D printanja se ogledaju kada je riječ o SAD-u, Kini i Europi. Što se tiče SAD-a, oni 3D printaju tehnikom pokušaj-pogreške što ne zahtijeva veće regulative, dok Kina održava razne incijative kako bi podržala razvoj kompanija korištenjem 3D printanja. S druge strane, Europa ima jaču regulativu kada je riječ o tehnici pokušaja-pogreške, a trenutno i nedostaje koncizna i detaljna administracija sa SAD-om oko trgovine 3D printanja i postavljanja standarda (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Nedostatak investicija*

Kao i za sve projekte, u nedostatku investicija za napredovanje i razvoj, može doći do gubitka javnog interesa za 3D printanje. S druge strane, ukoliko neka druga regija ili zemlja odluči investirati u to polje, Europa može pasti u drugi plan. Iako je poznato da je EU tehnološki lider u 3D printanju, to neće biti dugoročno ukoliko investicije budu manjkale (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Tehnološki rizici: kibernetička sigurnost do recikliranja*

Kao što je bilo riječ u dijelu o barijerama 3D printanja, tako se i ovdje spominje problem prava intelektualnog vlasništva zbog same prirode dizajnerskih datoteka. Postoje neka rješenja, ali cyber napadi su idalje problem, kao i svakom segmentu tehnologije. S druge strane, još jedan od rizika jeste dostupnost sirovina i dostupnost recikliranja. Potrebno je pažnju posvetiti održivosti kako bi recikliranje imalo smisla te donijelo napredak u upravljanju otpadom i zagađivanju okoline (Van de Velde i Kretz, 2021).

## SLABOSTI

I posljednje od SWOT analize, slabosti, dati su u obliku: Standarda, Visoki troškovi ulaganja, Dostupne vještine i znanje te Tehnološki izazovi.

- *Standardi*

Standardi predstavljaju veoma važnu kariku u lancu proizvodnje i prodaje proizvoda jer osiguravaju određene mjere zaštite te pouzdanost za krajnje korisnike. Međutim, kada je 3D printanje u pitanju, trenutno nedostaju usklađeni standardi za 3D printane proizvode, što može mnoge korisnike odbiti od kupovine i korištenja istih. Kada se donese konačna odluka o standardima, bit će potrebno da se navede u Službenom listu Europske Unije kako bi bila validna (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Visoki troškovi ulaganja*

Jedna velika prepreka kompanijama i odluka da ne započnu posao sa 3D proizvodnjom jesu visoki incijalni troškovi nabavke mašina – 3D printera, materijala, pogotovo metala te edukovane radne snage (Van de Velde i Kretz, 2021).

- *Dostupne vještine i znanje*

Veoma je važno da inženjeri i radnici budu otvoreni za učenje novih tehnologija rada, u skladu s vremenom i napretkom tehnologije. Edukacije u 3D printanju dosada nisu veoma razvijene, ali postoje kompanije koje godinama rade u toj branši koje imaju edukacije u tom polju (Van de Velde i Kretz, 2021).

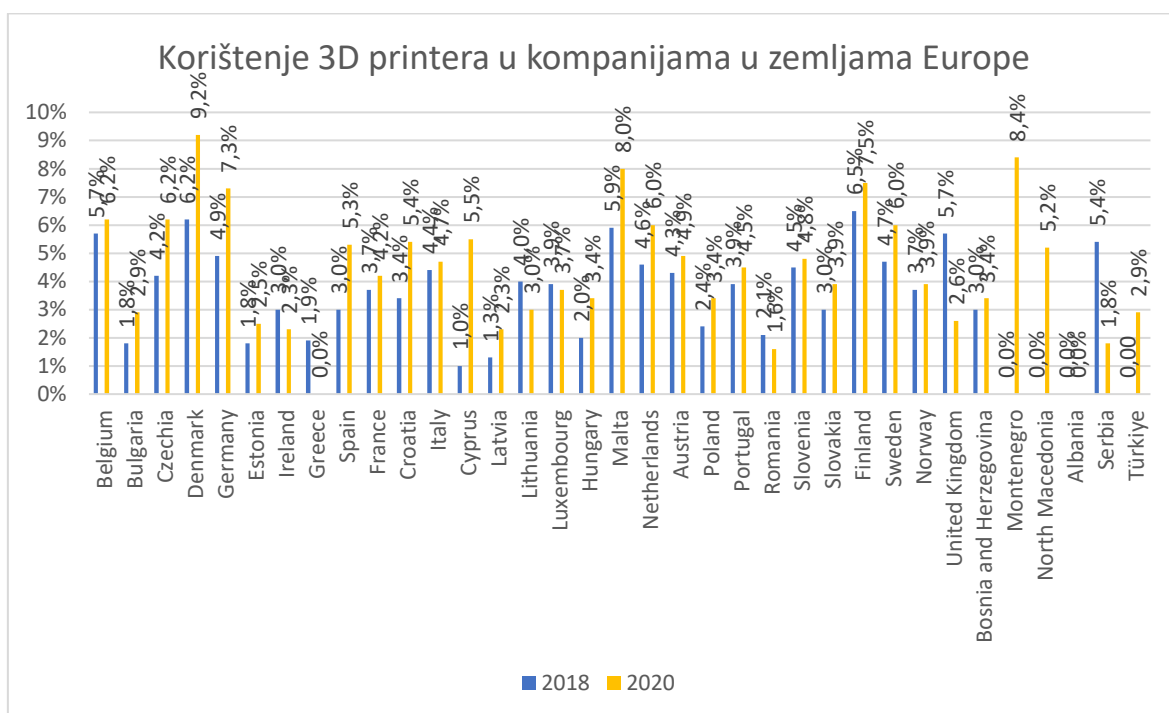
### *Tehnološki izazovi*

Neki od tehnoloških izazova jeste relikiranje materijala, posebno hibridnih; dalje su masovne proizvodnje koje mogu postati prepreka 3D printerima jer su manje serije više izvodive te potreba za završnim obradama modela, posebno onih od metala, a tu je i kontrola kvalitete koja je, kako je već rečeno, nedovoljno regulisana zakonima (Van de Velde i Kretz, 2021).

### *Eurostat istraživanje*

Eurostat je sproveo istraživanje za korištenje 3D printanja u kompanijama sa više od 10 zaposlenih. Podaci su predstavljeni godišnje za 2018. i 2020. godinu. Plava boja predstavlja 2018.godinu, a narandžasta 2020. Mjerna jedinica su procenti kompanija koji koriste 3D printanje, na nivou svake države zasebno, a riječ je o svim sektorima izuzev finansijskog.

Grafikon 1: Korištenje 3D printera u kompanijama u zemljama Europe

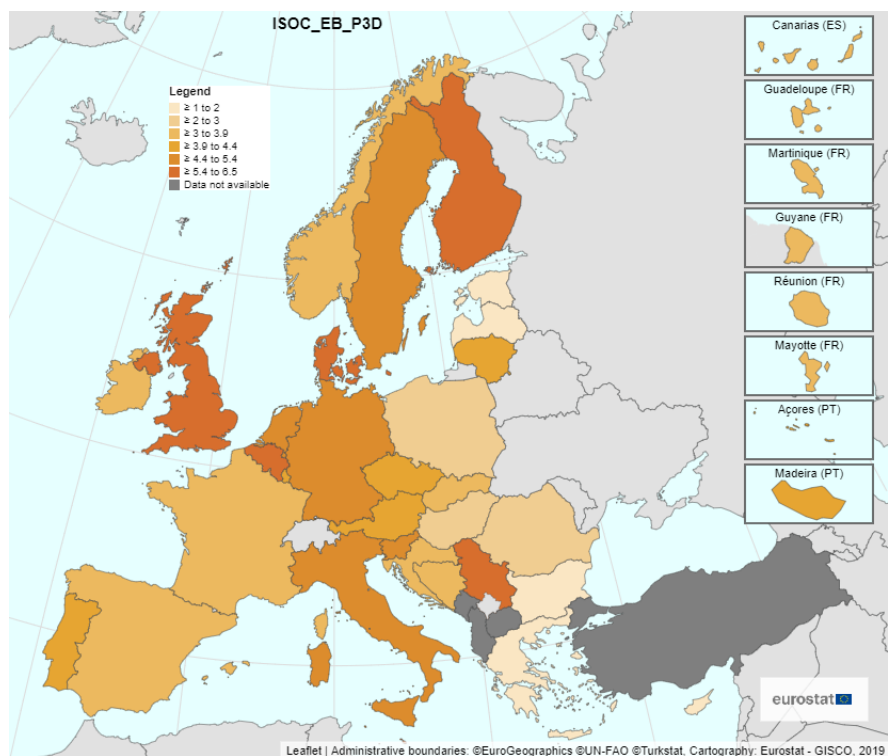


Izvor: Autorica, prema Eurostat, (2023)

Ako se obrati pažnja na 2018. godinu, Finska i Danska se nalaze veoma blizu jedna druge kao države sa najvećim brojem kompanija koje koriste 3D printanje u poslovanju, sa 6,5% i 6,2%, respektivno. Dalje se nalaze Malta sa 5,9%, a Velika Britanija i Belgija sa po 5,7% te ih slijedi Srbija sa 5,4% preduzeća koje koriste 3D printanje uzimajući u obzir sve industrije, izuzev finansija. Što se tiče država koje se nalaze među najslabijim u Europi kada je riječ o broju kompanija koje koriste 3D printanje u poslovanju, to su Kipar, Latvija i Bugarska, sa 1,0%, 1,3% te 1,8%, respektivno.

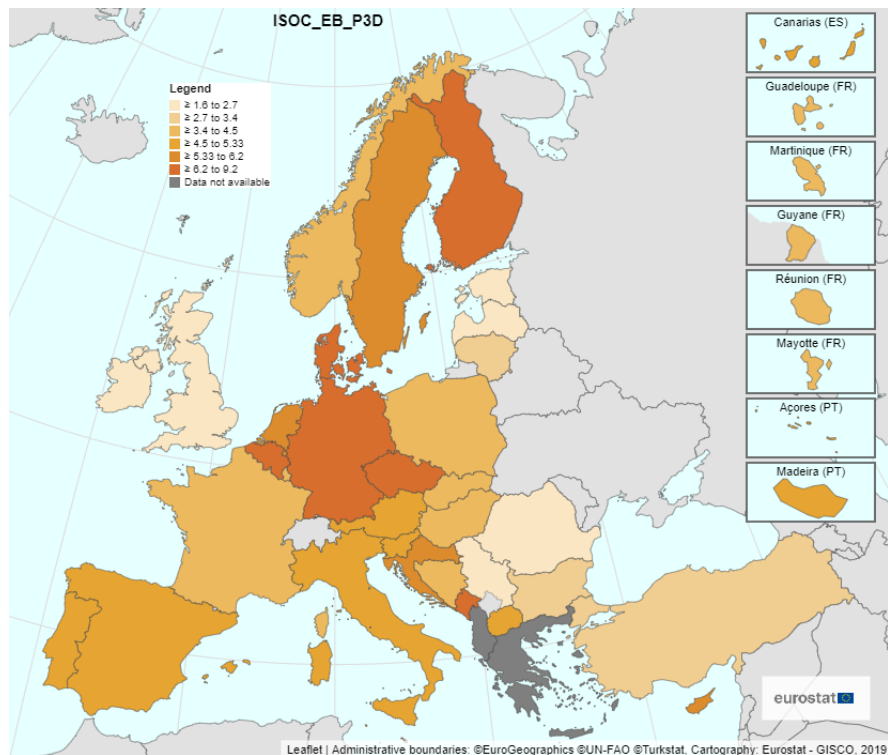
Danska se nalazi na vrhu liste kompanija koje koriste 3D printanje u 2020. godini, sa 9,2%. Slijedeći Danski, tu je Crna Gora sa 8,4%, što može biti poprilično iznenađujuće budući da su pojedine zemlje Europe mnogo bolje razvijenije od Crne Gore, a uzimajući i u obzir da Crna Gora nije članica Europske Unije. Na trećem mjestu se nalazi Malta sa 8,0% kompanija koje koriste 3D printanje, a zatim tu su Finska sa 7,5%, Njemačka sa 7,3%, Češka sa 6,2% itd. Ono što je interesantno jeste da su sve dosada pomenute zemlje doživjele porast broja kompanija koje koriste 3D printanje u svom poslovanju, s tim što za Crnu Goru nema podataka za 2018. godinu. Na posljednjem mjestu država sa najvećim brojem, tj. najmanjim brojem preduzeća koji koriste 3D printanje u svom poslovanju za 2020. godinu to je Rumunija sa 1,6%, zatim Srbija 1,8% te Irska i Latvija imaju po 2,3% kompanija koje koriste 3D printanje u svom poslovanju. Veoma iznenađujući podatak je za Srbiju budući da je u 2018.godini bila u vrhu zemalja Europe, a u 2020. se našla među posljednjim mjestima.

Slika 22: Korištenje 3D printanja u kompanijama kroz zemlje Europe, 2018. godina



Izvor: Eurostat, (2023)

Slika 23: Korištenje 3D printanja u kompanijama kroz zemlje Europe, 2020. godina



Izvor: Eurostat, (2023)

Poredeći rezultate 2018. i 2020. godine, što se najbolje vidi na slikama 22 i 23 gdje se uočavaju tamnije i svjetlije boje u zavisnosti od veličine procenta kompanija koje koriste 3D printanje, može se reći da je većina zemalja napredovala u roku od 2 godine što se tiče korištenja 3D printanja u kompanijama. To je veoma pohvalno i bitno da države nastoje da prate napredak na globalnom nivou. Najveći napredak je napravila Danska koja je u 2018. godini imala 6,2% kompanija koje koriste 3D printanje, a dvije godine poslije imaju 9,2% kompanija, što je porast od 3%. Dalje je prati Njemačka, koja je doživjela porast od 2,4%, zatim Malta sa porastom od 2,1% i Češka sa 2%. Ono što je zanimljivo jeste da su pojedine zemlje imale veći procenat kompanija koje koriste 3D printanje u 2018. nego u 2020. godini, što se ne može reći da je pohvalno budući da su odlučili da dalje ne investiraju u razvoj 3D printanja, jedne od glavnih industrija koje napreduju u današnjici. Takva zemlja je Srbija, koja je doživjela pad od 3,6%, sa 5,4% na 1,8%, što predstavlja najveći pad poredeći sa ostalim zemljama Europe. Dalje je slijede Velika Britanija sa padom od 3,1%, Litvanija sa 1% i Irska sa 0,7%.

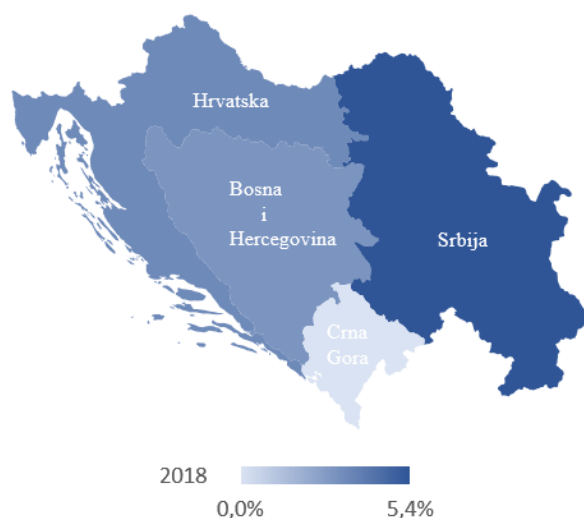
#### *Eurostat podaci za Bosnu i Hercegovinu i susjedne države*

Kao uvod u naredna poglavlja, gdje će se govoriti detaljnije o tržištu BiH te Hrvatske i Srbije, podaci Eurostata za BiH te susjedne države daju podatke kako slijede.

Kao što slika 24 pokazuje, Srbija je u 2018. godini imala najveći udio kompanija (5,4%) koje koriste 3D printanje u svim sektorima osim finansijskog, poredeći sa ostalim susjednim zemljama BiH. Zatim slijedi Hrvatska sa 3,4% te BiH sa 3%. Nažalost, podaci za Crnu Goru nisu dostupni.

*Slika 24: Korištenje 3D printanja u kompanijama; BiH i susjedne zemlje za 2018. godinu*

#### Korištenje 3D printanja u kompanijama; BiH i susjedne zemlje za 2018. godinu

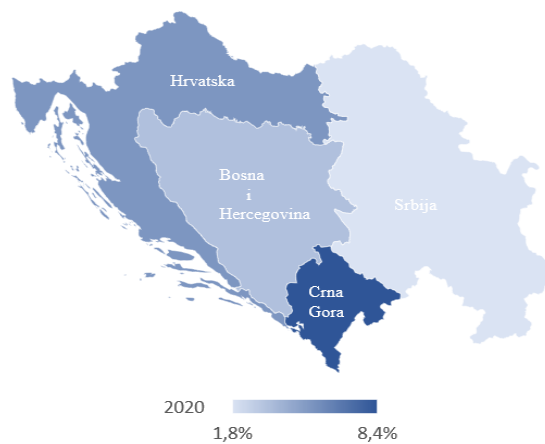


*Izvor: Autorica, prema Eurostat, (2023)*

Za 2020. godinu, situacija je dosta drugačija u odnosu na 2018. godinu, što se može vidjeti i na slici 25. Sada prednjači Crna Gora sa čak 8,4% kompanija koje koriste 3D printanje, dok je Srbija pala čak na 1,8% za samo dvije godine. I Hrvatska i Bosna i Hercegovina su doživjele rast, pa je tako Hrvatska porasla za 2%, sa 3,4% na 5,3%, a BiH za 0,4%, sa 3% na 3,4% kompanija koje koriste 3D printanje u svom poslovanju, što se može protumačiti kao pozitivan trend rasta te dokaz da se i zemlje Balkana trude ići u korak s vremenom i tehnologijom.

Slika 25: Korištenje 3D printanja u kompanijama; BiH i susjedne zemlje za 2020. godinu

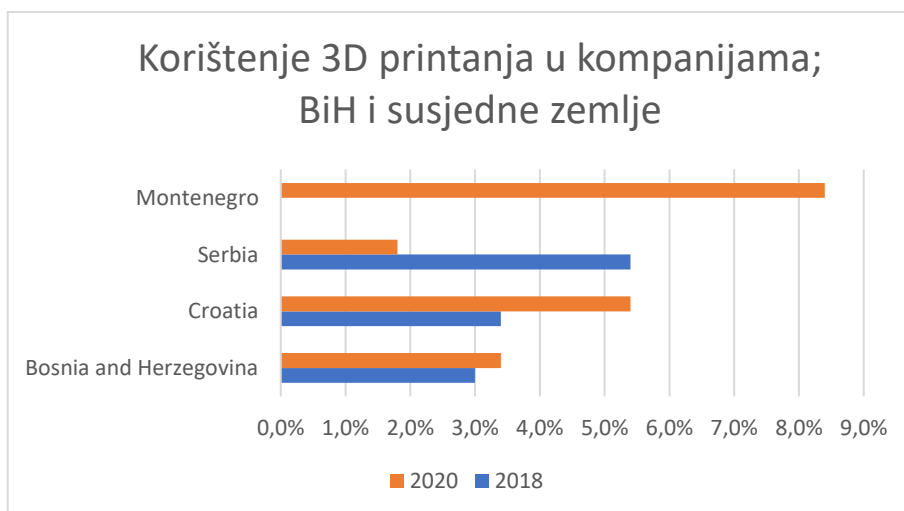
Korištenje 3D printanja u kompanijama; BiH i susjedne zemlje za 2020. godinu



Izvor: Autorica, prema Eurostat, (2023)

Grafički prikaz korištenja 3D printanja u kompanijama, u BiH i susjednim zemljama je dat na grafikonu 2, gdje se odmah primijeti dominacija Crne Gore za 2020. godinu, te Srbije za 2018. godinu.

Grafikon 2: Korištenja 3D printanja u kompanijama, u BiH i susjednim zemljama



Izvor: Autorica, prema Eurostat, (2023)

## 9. TRŽIŠTE 3D PRINTANJA U BIH

Što se tiče tržišta Bosne i Hercegovine, najpoznatija kompanija koja se bavi 3D printanjem, nabavom materijala i 3D printera jeste Snea d.o.o, sa lokacijom u Sarajevu. Oni su također ovlašteni distributeri BASF Forward AM materijala, globalne kompanije koja se bavi 3D printom i svime vezanim za tu vrstu usluge. Snea ima online web shop na kojem prodaju 3D printere, materijale raznih dimenzija, upotreba te cijena. U svom asortimanu proizvoda imaju i opciju da se iznajme uređaji, što može biti veoma korisno za nekoga ko je početnik i ko želi da se oproba u 3D printanju.

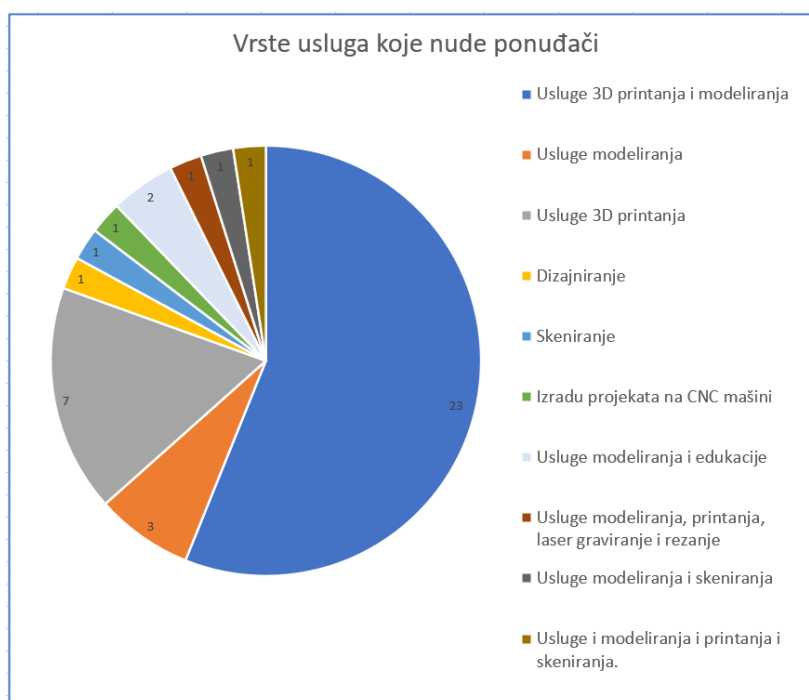
Tabela 5: Prikaz usluga Snea kompanije

3D printeri	Filament	Resin	Dodaci	3D print
Raise 3D	BASF Ultrafuse	BASF Ultracur 3D	Magigoo	
Zortrax 3D	PolyMaker	BlueCast Resin	Dodaci i dijelovi	
Prusa 3D	Prima	3D Pen		
Trilab 3D	Filalab			
SEGA dental 3D				
Zmorph 3D				

Izvor: Autorica, prema SNEA (n.d.)

Kao metodologija istraživanja na temu 3D printanja kao poslovnog modela odabrano je pretraživanje internet stranica koje povezuju kupce i prodavce, konkretno, u Bosni i Hercegovini. Kao filter pretrage korištene su ključne riječi kao što je *3D printanje*, *modeliranje*, *dizajniranje*, *skeniranje itd.* Pri tome su izbačene usluge konstruisanja 3D prostora te bilo kakva izrada arhitektonskih i građevinskih usluga. Rezultati pretrage su izbacili 4 stranice sa po 15 oglasa na svakoj stranici. Treba uzeti u obzir da jedan prijavljeni profil te stranice, koji vrši prodaju, može nuditi više usluga koje objavljuje odvojeno u oglasima, pa uzimajući to u obzir, rezultati su prikazali 41 profil koji nude razne usluge vezane za 3D printanje. Na taj način se došlo do informacija o tržištu u Bosni i Hercegovini povezanog za 3D printanje te dalo mnogo jasniju sliku o trenutnom stanju tržišta. O detaljima tržišta bit će riječ u nastavku. Za početak, bitno je predstaviti usluge koje ponuđači nude pa na pita-graifikonu 3 možemo vidjeti pobrojane te usluge.

Grafikon 3: Vrste usluga koje nude ponuđači na tržištu BiH



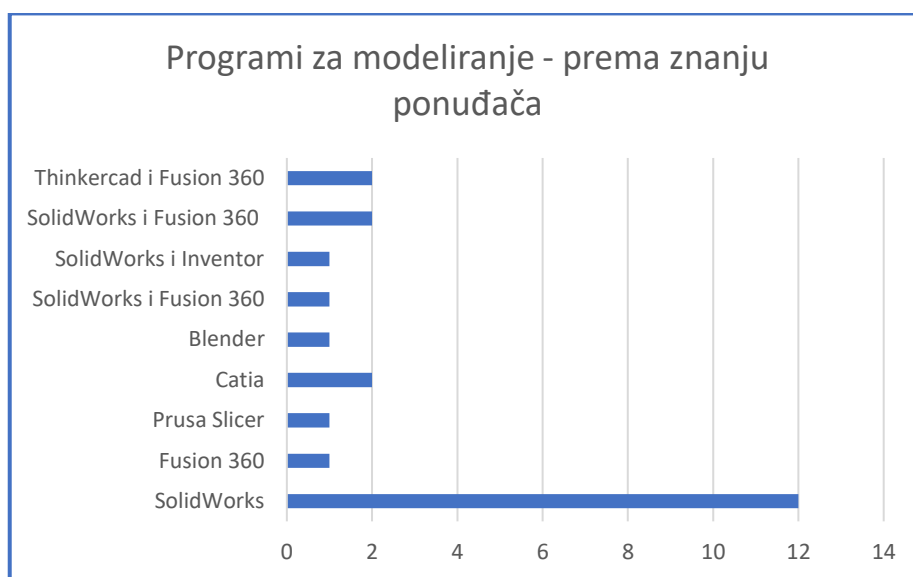
Izvor: Autorica

Detaljnije gledajući, 23 profila pružaju usluge 3D printanja modeliranja i, 3 profila samo modeliranje, a 7 profila samo printanje. Znači, 30 profila nudi usluge 3D printanja, odnosno 73% pregledanih profila. To je za tržište Bosne i Hercegovine dobar početak budući da se može govoriti o području koje sporo napreduje i prati razvoje na svjetskoj razini, ne samo u tehnologiji. To nam govori da je stanovništvo zainteresovano da ide u korak s vremenom i odlučuje se sve više da se educira u tim poljima kako bi doprinio razvoju Bosne i Hercegovine. Dalje, po jedan profil rade samo dizajniranje, skeniranje i izradu projekata na CNC mašini. Dva profila, pored modeliranja, nude usluge podučavanja za modeliranje, odnosno instrukcije za softvere. Gledajući to procentualno, samo 5% profila nudi edukaciju vezanu za, u ovom slučaju, jedan od važnih koraka pri 3D printanju. To definitivno nije dovoljno, ali to bi moglo napredovati kako se i tržište bude razvijalo. Edukacija u svakom smislu je veoma važna, a učiti od stručnih ljudi je velika prednost. Što se tiče ostalih usluga, jedan profil pruža usluge i modeliranja i printanja, a uz to i laser graviranje i rezanje. Jedan profil nudi usluge modeliranja i skeniranja, a jedan profila radi usluge i modeliranja i printanja i skeniranja.

Dalje, budući da od 41 obrađen profil, 31 profil nudi usluge modeliranja kao jedinu uslugu koju nude ili uz druge usluge kombinovano (od toga su zabilježeni odgovori za 23 profila, a 8 profila nije dalo odgovor na pitanje o vrsti softvera koje korite) vrijedno je spomenuti i obraditi to detaljnije. Grafik 4a i grafik 5b daju grafički prikaz korištenih programa za modeliranje.

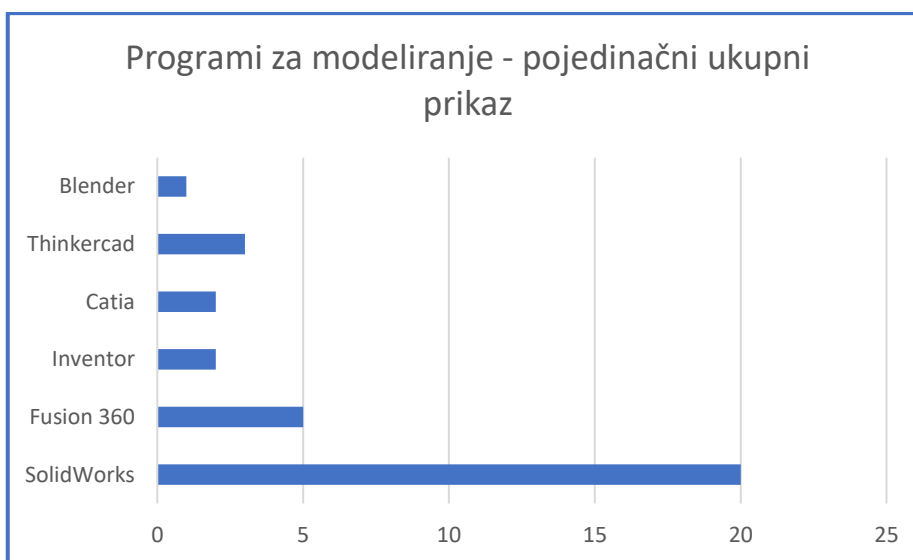


Grafikon 4: a) Programi za modeliranje ponuđača na tržištu BiH



Izvor: Autorica

Grafikon 5: b) Programi za modeliranje ponuđača na tržištu BiH



Izvor: Autorica

Najveći broj profila koriste SolidWork, 20 od 23 profila, bilo da je riječ o jedinom softveru u kojem rade (njih 12, grafik 4a) ili o tome da imaju znanje i za druge softvere. Također, među poznatijim softverima su Thinkercad (3 profila koriste ovaj softver), Fusion 360 koristi 5 profila, što je veoma mali broj uzimajući u obzir da su oba softvera besplatna, dok se SolidWorks plaća. S druge strane, cijena SolidWorks-a je prihvatljiva – za studente taj iznos je 99\$ na godišnjem nivou, ako start-up kompanije kupuju navedeni softver, i ako ispunjavaju neke od uslova, prvu godinu korištenja dobijaju besplatno, drugu godine dobijaju 70% popusta, a treću 50% popusta (SOLIDWORKS, 2017). Ostali pružaoci usluge

modeliranja koriste Catia softver (2 profila), Inventor (2 profila), Blender (1 profil) te Prusa Slider (1 profil).

Tabela 6 pokazuje pet najboljih softvera za 3D modelovanje prema autorima članaka koji iza sebe ima višegodišnje iskustvo u radu u industriji 3D printanja (Enfroy (2020); findstack.com (2022); SelfCAD (n.d.)) Što je zanimljivo za vidjeti jeste da se ni kod jednog autora ne spominje SolidWorks kao softver za modelovanje, kao što je riječ kod ponuđača. Fusion 360 koristi 5 ponuđača, a on se nalazi na 1. i 2. mjestu u tabeli. Također, ThinkerCAD se nalazi u top 5 najboljih softvera za 3D modelovanje, a i 3 ponuđača koriste navedeni softver.

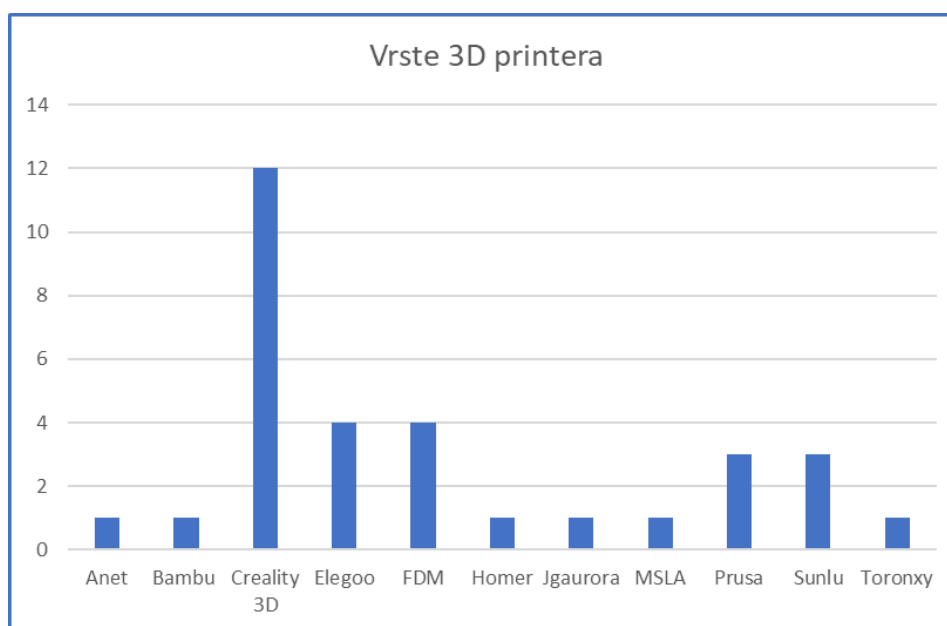
*Tabela 6: Top 5 najboljih softvera za 3D modelovanje*

<b>Top 5 najboljih softvera za 3D modelovanje</b>		
Prema	Prema	Prema
SelfCAD	Fusion 360	Fusion 360
Fusion 360	AutoCAD	AutoCAD
Cura	Cura	ThinkerCAD
Lychee Slicer	ThinkerCAD	Cura
AstroPrint	SketchUp	MeshLAB

*Izvor: Autorica, prema Enfroy (2020); findstack.com (2022); SelfCAD (n.d.)*

Kada je riječ o korištenim printerima, dominiraju modeli brenda Creality, Prusa, Sunlu i Elegoo. Od 41 profil njih 33 nudi usluge printanja. Obično posjeduju samo po jedan printer, a njih šest posjeduje dva ili više. 13 profila koristi neki model Creality 3D printera, najviše Creality Ender 3 i Ender 3 v2, zatim Ender 3 pro, Ender 5 te na kraju Creality premium CR. Dalje, modeli Prusa brenda su MK3S+ i Prusa Josef kit. Sunlu modeli su Sunlu S8, Pro, T4 te Sunlu S8 Plus, a od brenda Elegoo to su Elegoo Mars 3 i Neptun 2. Od ostalih printera tu su FDM, Bambu lab p1p, Jgaurora a5 te Homer tarantula pro i Toronxy.

Grafikon 6: Vrste 3D printera koji ponuđači na tržištu BiH koriste

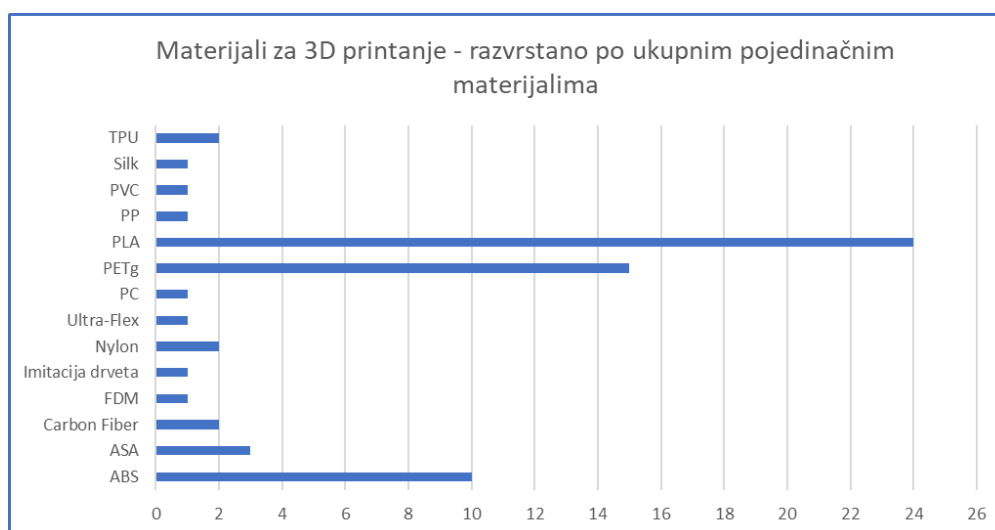


Izvor: Autorica

Maksimalna zapremina koju 3D printeri mogu da isprintaju kreću se u intervalu 220x220x200mm do 450x450x470mm. Najzastupljeniji su upravo ove najmanje zapremine, a onda poslije njih dolaze 220x220x250 te 310x310x400 mm za modele Sunlu 3D printera.

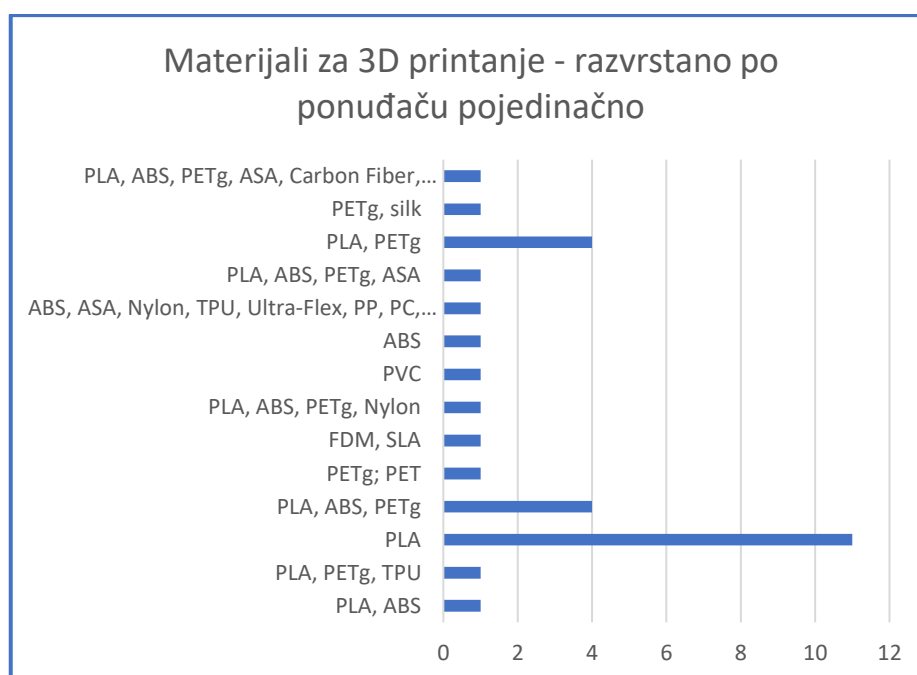
Materijali koji se koriste pri printanju su većinom oni koji su obrađeni u teorijskom dijelu rada, sa akcentom na PLA, PETg i ABS. Grafici pokazuju korištenje materijala ponuđača za svakoga posebno, odnosno ponuda svakako od ponuđača, a onda opći pregled ponuđenih materijala. 24 profila koriste PLA, 15 PETg i 10 ABS, s tim što neki koriste samo jedan od navedenih, a neki imaju dva i više materijala u ponudi. Četvrti najkorišteniji materijal je ASA sa 3 profila koji nude navedeni materijal, nadalje TPU, Nylon i Carbon Fiber nude 2 profila. Ostali materijali se spominju samo kod po jednog profila, a to su Silk, PVC, PP, PC, Ultra-Flex, FDM i Imitacija drveta. Što se tiče grafika 7 može se uočiti da najviše profila nudi samo PLA i to njih 11, a ostali pojedinačni materijali kao što su ABS i PVC nude samo po jedan profil. Sedam profila nudi kombinaciju PLA materijala sa ostalim, tako da daju na izbor kupcu koji od materijala žele da se koriste pri 3D printanju njihovih željenih modela. Kombinacija sa PLA materijalom, PLA i PETg nude 4 profila, zatim PLA, PETg i ABS nude također 4 profila. Ostale kombinacije materijala su PETg i silk, PLA i ABS, FDM i SLA itd.

Grafikon 7: a) Materijali za 3D printanje korišteni od strane ponuđača usluga 3D printanja na tržištu BiH



Izvor: Autorica

Grafikon 8: b) Materijali za 3D printanje korišteni od strane ponuđača usluga 3D printanja na tržištu BiH



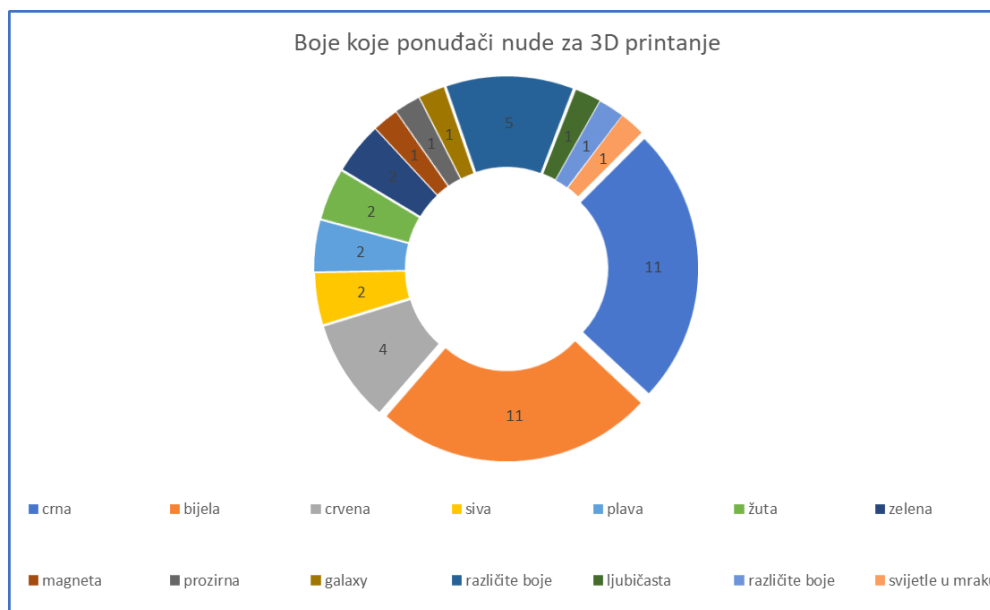
Izvor: Autorica

Što se tiče boja materijala koje ponuđači nude za 3D printanje, najzastupljenije su crna i bijela, to je bilo i za očekivati i 11 profila nudi navedene boje. Od ostalih boja, tu su crvena, ljubičasta, žuta i zelena, a onda postoje i neke kombinacije boja koje daju galaxy boju, a jedan profil nudi i materijale koji svijetle u mraku ili prozirne. Potrebno je reći da neki profili nude kombinacije boja što ih izdvaja na tržištu, posebno profil koji nude boje koje svijetle u mraku, prozirne i galaxy budući da su to veoma neobične boje pa kupac koji želi da istakne

svoje 3D printane modele mogu to učiniti na ovaj način. Neobične i šarene boje su široko korištene kod estetskih materijala, uzimajući u obzir da izgled igračkaka, ukrasa, privjesaka igra veliku ulogu, dok kod materijala od kojih se izrađuju prototipi ili zamijenski dijelovi uglavnom koriste neutralnije boje poput crne i bijele, tako da je razumno zašto ponuđači najviše nude ove dvije boje.

Ponuđači usluga nabavljaju materijal na Snea web shopu. Oni kažu da je to najjeftiniji način nabavke materijala i najviše vjeruju njihovoj kvaliteti budući da su oni zastupnici globalne BASF Forward AM materijala kompanije. Također, nabavku materijala vrše preko jednog od profila sa internet prodaje, 3DPart, koji šalje materijal iz Banja Luke, vjerovatno kao preprodavac od neke kompanije. Također, nekoliko ponuđača naručuje materijal iz susjednih zemalja Hrvatske i Srbije, ali i Slovenije. S tim što pri takvim kupovinama potrebno je platiti poštarinu pa nije najbolje finansijsko rješenje, ali se isplati ukoliko se naručuje nešto što nema na tržištu BiH.

Grafikon 9: Boje materijala koje nude ponuđači usluga 3D printanja na tržištu BiH



Izvor: Autorica

Cijene usluga su u većini slučajeva date “po dogovoru” budući da se mjere troškovi potrošenog materijala, struje, rada 3D printera te složenosti i kompleksnosti izrade i količine modela. Profili koji nude i usluge modeliranja također naplaćuju posebno, a najvažniji kriterij je složenost projekta te vrijeme rada u softveru.

Nekoliko profila nudi i male serijske proizvodnje pa se i na osnovu toga formira cijena gdje se daje popust na količinu, a jedan profil nudi i veće serijske proizvodnje koristeći model

Prusa MK3S+, gdje u ponudi ima različite boje materijala uključujući i one koje svijetle u mraku.

## 10. TRŽIŠTE 3D PRINTANJA U HRVATSKOJ I SRBIJI

Da bismo bolje shvatili u kakvom položaju se nalazi tržište Bosne i Hercegovine u pogledu 3D printanja dat će se uvid i u tržište Hrvatske i Srbije.

Internet kaže da, na tržištu *Hrvatske*, postoji nekoliko društava sa ograničenom odgovornosti koje se bave 3D printanjem, a to su: AC Group d.o.o, 3Way d.o.o, 3DTech d.o.o, Enso d.o.o, MakeIdea d.o.o... Od ostalih kompanija koje nude usluge 3D printanja, a ostvaruju značajne rezultate su: 3DGlobe, Finder, 3DPrintanje, 3DPrintaj... Većina navedenih kompanija nude samo usluge 3D printanja ili 3D modelovanja, dok neke od njih nude i online prodaju materijala i 3D printera i dostave susjednim zemljama, a neke od njih nude i edukacije. Najobuhvatnija kompanija je 3DPrintaj koji nude, pored usluga 3D printanja, 3D modelovanje, online prodaju te edukacije razvrstane u 3 različite ponude – edukacija u trajanju od 3 sata gdje se uče osnovne stvari o 3D printanju kao što su šta je 3D printanje, kako pravilno pripremiti printer za rad, kako odabrati filamente i sl, zatim tu je edukacija od 8h raspoređena u 2 dana i ponuda. Također, online shop nudi dostavu za Srbiju, Bosnu i Hercegovinu i Sloveniju (3DPrintaj, n.d.). Također, 3DGlobe nudi iste navede usluge kao i 3DPrintaj, s tim što ne nude usluge 3D modelovanja, ali imaju opciju podrške i savjetovanja u ponudi. 3DTech, pored osnovnih usluga 3D printanja i modelovanja, nude i usluge 3D skeniranja te povratno inženjersvo koje radi suprotno od 3D printanja – gotovi proizvod skenira i na taj način dobije oblik predmeta u digitalnom 3D obliku na računaru (3DGlobe, n.d.). 3Way kompanija nudi i usluge kontrole kvalitete proizvoda. Nijedna kompanija nije direktno izrazila cijenu koštanja 3D printanja ili neku drugu od usluge budući da se cijena formira u zavisnosti od složenosti projekta, veličine, materijala, vremena rada 3D printera te uključenosti radnika u čitav proces (3WAY, n.d.).

Što se tiče *Srbije*, internet pretraživanje nije pronašlo d.o.o kompanije koje se bave 3D printanjem, ali idalje postoje ozbilje kompanije koje uspješno rade posao. Neke od njih su: Wematter3D, Voxellab, 3Dlimbo, InfinityPrint, 3D Print... Što se tiče ponuda koje kompanije nude, glavna je 3D printanje. Wematter3D nudi i ponudu čišćenja dijelova 3D printanja. Voxellab nudi usluge 3D skeniranja i modeliranja te imaju online prodavnice za prodaju 3D printera, dijelova, skenera i materijala. Zanimljivo je što nude i opciju izrade mini verzije čovejka, na način da uređaj prvo skenira osobu, izradi 3D model u digitalnoj formi te oblikuje i printa. Nude i opcije korištenja softvera ZBrush za 3D modelovanje predmeta i Rhinoceros6 za projektovanje arhitektonskih i građevinskih 3D objekata. Infitnity print nudi opciju 3D skeniranja (Wematter.se, n.d.) Budući da samo jedna od navedenih kompanija nudi online prodaju sa veoma malom ponudom, pronađene su neke online trgovine kao što su Klik lak i Bazaar.

U poređenju sa Bosnom i Hercegovinom, Hrvatska ima mnogo veći broj ozbiljnih i velikih kompanija koje se bave uslugama 3D printanja te više online prodavnica za nabavke printera, materijala i dijelova. S druge strane, Srbija nema društava sa ograničenom odgovornosti koja se bavi 3D printanjem, ali idalje imaju ponuđači navedenih usluga, a tu su i online shopovi koji su zasebni, odnosno koji nude samo prodaju dijelova i materijala, bez prodaje usluga 3D printanja. Možemo reći da je prednost nad BiH što stanovnici ovih zemalja imaju veći izbor gdje nabavljati dijelove i materijale, dok u BiH time se bavi sarajevska kompanija Snea i preprodavac iz Banja Luke.

## 11. DISKUSIJA

Napredak 3D printanja, odnosno aditivne proizvodnje, danas, nije upitan. Bolje pitanje je kako će taj napredak uticati na globalnu razvijenost te koliko pozitivnih stvari će se moći vidjeti kroz nekoliko godina primijene 3D printanja.

U prethodnim poglavljima ovog rada jasno je rečeno da je 3D printanje svijetla tačka današnje proizvodnje. Male ili velike serije proizvodnje donose jasne prednosti – niži troškovi proizvodnje, fokusirana i specifična proizvodnja, manji otpaci te manja potencijalna zagađenost dovoljne su prednosti da se stanovništvo što više okrene ka aditivnoj proizvodnji. Umjesto da se oslanjamo na masovnu proizvodnju u velikim tvornicama i globalne lance nabave, 3D printanje omogućava lokalnu proizvodnju što prevodi njihovom razvijanju. Ovo znači da se proizvodnja može prilagoditi lokalnim potrebama i preferencijama, što može biti ekonomski isplativo budući se da se smanjuju troškovi transporta i skladištenja prevozeći proizvode s jedne strane svijeta na drugu. Konkretna proizvodnja vodi ka ogromnim uštedama – unaprijed je određena potrebna količina sa čime se izbjegavaju troškovi skladištenja neprodanih proizvoda gdje neće doći do stalnog gomilanja neprodanih proizvoda.

Načelo 3R – reduce, resuse i recycle, odnosno smanji, ponovo iskoristi i recikliraj je baza razumijevanja cirkularne ekonomije. Cilj je *smanjiti* upotrebu sirovina i energije tokom proizvodnje proizvoda. To se postiže efikasnijim procesima proizvodnje i dizajnom proizvoda koji zahtijevaju manje resursa za izradu. Osnovna svrha je smanjiti stvaranje otpada i zagađenje smanjenjem potrebe za sirovinama. Umjesto da se proizvodi nakon upotrebe bace, cilj je produžiti njihov životni vijek kroz *ponovnu upotrebu*. Ovo smanjuje potrebu za stalnim stvaranjem novih proizvoda i pomaže u očuvanju resursa. Treći princip naglašava važnost *recikliranja* materijala nakon što se proizvod ne može više koristiti. Recikliranje omogućava da se materijali iz odbačenih proizvoda ponovno iskoriste kao sirovine za nove proizvode.

Sa praktične strane primijene 3D printanja, za početnike se to najviše ogleda u printanju ukrasa, igračaka, modela koji nisu od prevelike važnosti budući da su i materijali za takav tip proizvodnje najjeftiniji, ali ujedno i sa najslabijim karakteristikama. Za izradu dijelova za auta potrebni su jači printeri koji koriste bolje materijale sa boljim kvalitetama. Zatim,

ako je riječ o printanju uređaja ili protipova opet je potreban veoma kvalitetan materijal koji mora biti čvrst, otporan na razne hemijske spojeve, fizičke udarce i sl. S druge strane, kada je riječ o medicinskim i stomatološkim elementima, tu je potrebno koristiti materijale predviđene samo za tu svrhu.

Kada je riječ o konkretnim brojkama i realnom stanju na tržištu, trebamo pogledati situaciju u Europi, a onda i malo uža područja poput Bosne i Hercegovine i susjednih zemalja. Prema bazi podataka iz Eurostata dat je uvid u postotak kompanija koje koriste 3D printanje u svom poslovanju, uzimajući u obzir sve industrije, osim finansija. Period obrade podataka je na godišnjem nivou, a riječ je o 2018. i 2020. godini. Pojedine države nisu imale dostupne podtke, poput Albanije koja nije imala niti za jednu godinu, dok Crna Gora i Sjeverna Makedonija nisu imale podatke za 2018. godinu. Ono što je interesantno jeste da je Crna Gora u 2020. godini imala 8,4% kompanija koje koriste 3D printanje, a iznad nje je samo Danska sa 9,2%. Očekivalo se da i druge razvijene zemlje Europe poput Njemačke, Francuske i Austrije imaju visok udio korištenja 3D printanja, ali u ovom slučaju nije riječ o tome. Njemačka je imala 7,3%, a Austrija i Francuska puno manje – 4,9% i 4,2%, respektivno. To je kada je riječ o 2020. godini, dok su u 2018. godini imali 4,3% i 3,7%. Još jedno iznenađenje jeste Malta koja je u 2020. godini imala 8,0% kompanija koje koriste 3D printanje, što je stavilo na treće mjesto najvećeg broja kompanija koje koriste 3D printanje. Može se zaključiti da neke zemlje, uprkos nedovoljnoj razvijenosti, ipak žele napredovati na poljima proizvodnje i postati još više profitabilni.

Bosna i Hercegovina je u 2018. godini imala 3% kompanija koje koriste 3D printanje, a u 2020. godini 3,4% što ipak pokazuje trend rasta. Također, kada je riječ o tržištu BiH u pogledu 3D printanja, najveći broj usluga nude 3D printanje i modelovanje, a softvere koje najviše koriste su SolidWorks i Fusion360. Creality, Prusa, Elegoo, FDM su 3D printeri koji najviše dominiraju među ponuđačima usluga 3D printanja. Također, od materijala su najpoznatiji PLA i ABS koji se najviše koriste na printanje ukrasa, igračaka, sportske opreme, odnosno predmeta koji nisu od velike važnosti. Treba spomenuti i da neki ponuđači koriste PETg koji se koristi za izradu prototipova i male elektronike poput kućišta i dioda. Ovo nam daje sliku da tržište 3D printanja u Bosni i Hercegovini postoji, napreduje iz godine u godinu, ali veoma sporo i nedovoljno da se proizvodni proces sa sigurnošću prebaci na 3D printanje iako bi donijelo mnogo prednosti, kako za proizvodni sektor tako i za ekonomsku stabilnost.

S druge strane, Hrvatska i Srbija imaju malo bolje razvijeno tržište, što se vidi po porastu kompanija koje koriste 3D printanje u poslovanju – za Hrvatsku je to rast od 2%, dok je Srbija imala negativan trend rasta sa 2018. Na 2020. godinu, gdje je procenat korištenja 3D printera u kompanijama pala za 3,6%. Hrvatska raspolaže sa mnogo većim brojem kompanija koje nude usluge 3D printanja te online prodaje materijala i opreme te dostavu za susjedne zemlje. Srbija nema toliko razvijena preduzeća koja nude usluge 3D printanja, ali raspolažu sa većim brojem online prodavnica koje također vrše dostavu okolnim zemljama.



Definitivno je potrebno ovim zemljama još razvoja na polju 3D printanja, ali bitno je da se održava pozitivan trend rasta zainteresovanosti i spremnosti da se ulaže u to polje koje obećava.

## 12. ZAKLJUČAK

Iako se već posljednjih 12 godina nalazimo u Četvrtoj industrijskoj revoluciji, sa znanjem o 3D printanju još od '80-ih godina, još uvijek možemo reći da se polje 3D printanja razvija do savršenstva. Možemo reći da je trenutno u fokusu rapidni razvoj 3D printanja, sa boljim saznanjem o metodama, materijalima, printerima i koracima 3D printanja iz dana u dan.

Tranzicijom sa tradicionalne proizvodnje na 3D printanje možemo postići velike prednosti glede troškova proizvodnje, povezivanja lokalnih resursa sa kompanijama za proizvodnju, recikliranja korištenog te ponove upotrebe istog. Glavne prednosti cirkularne ekonomije uključuju veću materijalnu učinkovitost, mogućnost iskorištavanja otpadne plastike za izradu novih proizvoda te smanjenje logističkih izazova kroz lokalnu proizvodnju. Inovacije 3D printanja pomažu u ostvarivanju ciljeva cirkularne ekonomije temeljenog na načelima smanjenja, ponove upotrebe i recikliranja.

Tržište 3D printanja u Bosni i Hercegovini nije posebno razvijeno budući da nema velikih kompanija koje nude usluge 3D printanja te popratne usluge. *Snea* je jedina kompanija koja takvo nešto nudi, ali sa druge strane, oni su zastupnici globalne kompanije prodaje materijala za 3D printanje, čineći ih jedinim na tržištu BiH koji posluju na ovaj način. Korisnici materijala za 3D printanje se snalaze na druge načine za dobavljanje materijala; online narudžbe iz susjednih zemalja ili narudžbe sa velikih web shopova poput Amazona i Ebuy-a. Ipak, može se reći da stanovnici BiH imaju izbor između 40 ponuđača usluga 3D printanja, modeliranja, skeniranja. Za razliku od BiH, Hrvatska ima veće kompanije koje se bave 3D printanjem i koje nude razne druge opcije poput skeniranja čovjeka i pravljenja manjih verzija, online shopova te reverznog skeniranja. Srbija je negdje između BiH i Hrvatske, budući da nema velikih kompanija koje pružaju usluge 3D printanja, ali imaju nekoliko dostupnih web shopova za građane Srbije.

Zhu *et al.* (2021) pretpostavljaju da postoji 128,45 miliona domaćinstava koja posjeduju recyclebot te da svako domaćinstavo prosječno proizvodi 130 kg plastičnog otpada godišnje. Ako se sav taj otpad sakupi i reciklira u filament za 3D printanje, moglo bi se kolektivno uštediti više od 359 milijardi dolara godišnje. Ostaje nam još da vidimo šta će budućnost donijeti u pogledu korištenja 3D printera te kolike će zapravo uštede nastati na globalnom nivou.

## REFERENCE

1. 3D Limbo. (n.d.). *3D Limbo*. Dostupno na: <https://www.3dlimbo.rs/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
2. 3D PRINTANJE. (n.d.). *3D Printanje - 3D Printeri - Izrada 3D Modela - Ukrasi za torte toperi*. Dostupno na: <https://3dprintanje.hr/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
3. 3DGlobe. (n.d.). *3DGlobe*. Dostupno na: <https://www.3dglobe.net/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
4. 3DPrintaj. (n.d.). *3DPrintaj platforma*. Dostupno na: <https://www.3dprintaj.com/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
5. 3WAY. (n.d.). *Početna*. Dostupno na: <https://www.3way.hr/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
6. Abdelazim Idris Alzain, R. (n.d.). *Large-Scale 3D Printing -Market Analysis*. Dostupno na: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2301/2301.00680.pdf> (Pristupljeno 11 May 2023).
7. Abeliansky, A., Martinez-Zarzoso, I. i Prettnner, K. (2015). *The Impact of 3D Printing on Trade and FDI*. SSRN Electronic Journal. doi:<https://doi.org/10.2139/ssrn.2684007>. (Pristupljeno 21 May. 2023).
8. AC group d.o.o. (n.d.). *3D printanje*. Dostupno na: <https://www.ac-group.hr/3d-printanje/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
9. admin (2023). *Zenički neurolozi mladiću iz Konjica ugradili dio lobanje izgrađen na 3D printeru*. *ZDKinfo*. Dostupno na: <https://zdkinfo.ba/zenicki-neurolozi-mladicu-iz-konjica-ugradili-dio-lobanje-izgradjen-na-3d-printeru/> (Pristupljeno 23 Jul. 2023).
10. admin (n.d.). *Pocetna 3D Print*. Dostupno na: <https://3d-print.rs/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
11. Anon, (n.d.). *3dTech*. Dostupno na: <https://3dtech.hr/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
12. Anon, (n.d.). *Materijali – VertisLAB*. Dostupno na: <https://vertislab.com/materijali/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
13. Anon, (n.d.). *Voxellab – Gde virtualnost postaje stvarnost*. Dostupno na: <https://voxellab.rs/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
14. ANYCUBIC-US. (n.d.). *ANYCUBIC: Innovative & Affordable Desktop 3D Printer Manufacturer*. Dostupno na: <https://www.anycubic.com/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).

15. Awan, U., Sroufe, R. and Shahbaz, M. (2021). *Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research*. *Business Strategy and the Environment*, 30(4). doi:<https://doi.org/10.1002/bse.2731>. (Pristupljeno 8 Aug. 2023).
16. Baldassarre, F. and Ricciardi, F. (2017). *The Additive Manufacturing in the Industry 4.0 Era: The Case of an Italian FabLab*. *Journal of Emerging Trends in Marketing and Management*, I(1). Dostupno na: [http://www.etimm.ase.ro/RePEc/aes/jetimm/2017/ETIMM\\_V01\\_2017\\_89.pdf](http://www.etimm.ase.ro/RePEc/aes/jetimm/2017/ETIMM_V01_2017_89.pdf) (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
17. Bastawrous, S., Wu, L., Liacouras, P., Levin, D., Ahmed, M.H., Strzelecki, B., Amendola, M.F., Lee, J.D., Coburn, J.C. and Ripley, B. (2022). *Establishing 3D Printing at the Point of Care: Basic Principles and Tools for Success*. 42(2), pp.451–468. doi:<https://doi.org/10.1148/rg.210113>. (Pristupljeno 15 May. 2023).
18. Bazli, M., Ashrafi, H., Rajabipour, A. and Kutay, C. (2023). *3D printing for remote housing: Benefits and challenges*. *Automation in Construction*, 148, p.104772. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104772>. (Pristupljeno 2 May. 2023).
19. bazaar.rs. (n.d.). *Bazaar Online Shop - Marketplace*. Dostupno na: <https://bazaar.rs/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
20. Beltagui, A., Sesis, A. and Stylos, N. (2021). *A bricolage perspective on democratising innovation: The case of 3D printing in makerspaces*. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, p.120453. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120453>. (Pristupljeno 1 Apr. 2023).
21. Berman, B. (2012). *3-D printing: The new industrial revolution*. *Business Horizons*, 55(2), pp.155–162. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>. (Pristupljeno 17 Jun. 2023).
22. Bozkurt, Y. and Karayel, E. (2021). *3D printing technology; methods, biomedical applications, future opportunities and trends*. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, pp.1430–1450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.050>. (Pristupljeno 19 Jul. 2023).
23. Brans, K. (2013). *3D Printing, a Maturing Technology*. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), pp.468–472. doi:<https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00112>. (Pristupljeno 6 May. 2023).

24. Budzik, G., Tomaszewski, K. and Soboń, A. (2022). *Opportunities for the Application of 3D Printing in the Critical Infrastructure System. Energies*, 15(5), p.1656. doi:<https://doi.org/10.3390/en15051656>. (Pristupljeno 3 Aug. 2023).
25. Chen, Y. (2022). *Advantages of 3D Printing for Circular Economy and Its Influence on Designers. Proceedings of the Design Society*, 2, pp.991–1000. doi:<https://doi.org/10.1017/pds.2022.101>. (Pristupljeno 5 Jul. 2023).
26. de Mattos Nascimento, D.L., Mury Nepomuceno, R., Caiado, R.G.G., Maqueira, J.M., Moyano-Fuentes, J. and Garza-Reyes, J.A. (2022). *A sustainable circular 3D printing model for recycling metal scrap in the automotive industry. Journal of Manufacturing Technology Management*. doi:<https://doi.org/10.1108/jmtm-10-2021-0391>. (Pristupljeno 16 May. 2023).
27. Dilberoglu, U.M., Gharehpapagh, B., Yaman, U. and Dolen, M. (2017). *The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. Procedia Manufacturing*, 11, pp.545–554. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>. (Pristupljeno 17 Jun. 2023).
28. Elegoo.com. (2011). *Elegoo Industries – Ingenious and fun DIY electronics and kits*. Dostupno na: <https://www.elegoo.com/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
29. Enfroy, A. (2020). *17 Best 3D Printing Software of 2021 (CAD and Modeling Tools)*. Adam Enfroy. Dostupno na: <https://www.adamenfroy.com/3d-printing-software>.
30. enso.hr. (n.d.). Enso d.o.o - *Industrijska automatizacija i izrada specijalnih strojeva*. Dostupno na: <https://enso.hr/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
31. Eurostat (2023). *3D printing and robotics by size class of enterprise*. Europa.eu. Dostupno na: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC\\_EB\\_P3D\\_custom\\_7231029/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_EB_P3D_custom_7231029/default/table?lang=en) (Pristupljeno 28 Aug. 2023).
32. Fabbaloo. (n.d.). *Survey Results: Most Well-Known 3D Printer Brands «Fabbaloo*. Dostupno na: <https://www.fabbaloo.com/news/survey-results-most-well-known-3d-printer-brands> (Pristupljeno 7 Aug. 2023).
33. FINDER d.o.o. (n.d.). *Finder d.o.o. - projektiranje, razvoj, održavanje i servis računalnih sustava, prodaja hardvera i softvera, izrada poslovnih aplikacija i digitalizacija poslovanja*. Dostupno na: <https://finder.hr/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).

34. findstack.com. (2022). *13 Best 3D Printing Software of 2022 (CAD and Modeling Tools)*. Dostupno na: <https://findstack.com/the-best-3d-printing-software/>.
35. Freund, C.L., Mulabdic, A. and Ruta, M. (2019). *Is 3d Printing a Threat to Global Trade? The Trade Effects You Didn't Hear About*. SSRN Electronic Journal. doi:<https://doi.org/10.2139/ssrn.3792348>. (Pristupljeno 19 May. 2023).
36. Garmulewicz, A., Holweg, M., Veldhuis, H. and Yang, A. (2018). *Disruptive Technology as an Enabler of the Circular Economy: What Potential Does 3D Printing Hold?* California Management Review, 60(3), pp.112–132. doi:<https://doi.org/10.1177/0008125617752695>. (Pristupljeno 26 Jul. 2023).
37. Gokhare, V. G., Raut, D. N., i Shinde, D. K. (2017). *A review paper on 3D-printing aspects and various processes used in the 3D-printing*. Int. J. Eng. Res. Technol, 6(06), 953-958. (Pristupljeno 12 Jun. 2023).
38. Gross, B.C., Erkal, J.L., Lockwood, S.Y., Chen, C. and Spence, D.M. (2014). *Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences*. Analytical Chemistry, 86(7), pp.3240–3253. doi:<https://doi.org/10.1021/ac403397r>. (Pristupljeno 18 Jul. 2023).
39. Ishengoma, F.R. and Mtaho, A.B. (2014). *3D Printing: Developing Countries Perspectives*. International Journal of Computer Applications, 104(11), pp.975–8887. Dostupno na: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1410/1410.5349.pdf> (Pristupljeno 15 Aug. 2023).
40. Jong (2012). *Innovation Lessons From 3-D Printing*. MIT Sloan Management Review. Dostupno na: <https://sloanreview.mit.edu/article/innovation-lessons-from-3-d-printing/> (Pristupljeno 24 Jun. 2023).
41. Kantaros, A., Diegel, O., Piromalis, D., Tsaramirsis, G., Khadidos, A.O., Khadidos, A.O., Khan, F.Q. and Jan, S. (2021). *3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services*. Materials Today: Proceedings. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.074>. (Pristupljeno 16 Jun. 2023).
42. Kanyilmaz, A., Demir, A. G., Chierici, M., Berto, F., Gardner, L., Kandukuri, S. Y., ... & Razavi, N. (2022). *Role of metal 3D printing to increase quality and resource-efficiency in the construction sector*. Additive Manufacturing, 50, 102541. (Pristupljeno 26 Aug. 2023)

43. Kliklak. (n.d.). *3D štampači i oprema - prodaja i isporuka u celoj Srbiji Kliklak*. Dostupno na: <https://www.kliklak.rs/3d-stampaci-i-oprema> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
44. Kumar, S. (2022). *Investigating Metal 3D Printing of Spare Parts for Re-manufacturing Fuel Injection Pumps*. repository.tudelft.nl. Dostupno na: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:bb557e33-7f8d-4d15-b3cb-b020abd5f7d9> (Pristupljeno 6 Jul. 2023).
45. Madhu, N.R., Erfani, H., Jadoun, S., Amir, M., Thiagarajan, Y. and Chauhan, N.P.S. (2022). *Fused deposition modelling approach using 3D printing and recycled industrial materials for a sustainable environment: a review*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 122(5-6), pp.2125–2138. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-022-10048-y>. (Pristupljeno 14 Jun. 2023).
46. Madžarević, M. (2022). *UNIVERZITET U BEOGRADU FARMACEUTSKI FAKULTET 3D ŠTAMPANJE TABLETA POSTUPCIMA FOTOPOLIMERIZACIJE I SELEKTIVNOG LASERSKOG SINTEROVANJA: RAZVOJ I OPTIMIZACIJA PROCESA* doktorska disertacija Beograd, 2022. Dostupno na: [https://nardus.mpn.gov.rs/bitstream/handle/123456789/21486/Disertacija\\_13572.pdf?sequence=1](https://nardus.mpn.gov.rs/bitstream/handle/123456789/21486/Disertacija_13572.pdf?sequence=1) (Pristupljeno 5 Jul. 2023).
47. Makeidea.hr. (2022). *Make Idea d.o.o. – 3D print | CNC glodanje, lasersko rezanje i graviranje | Split, Hrvatska*. Dostupno na: <https://makeidea.hr/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
48. Marković, F. (n.d.). *Infinity Print | 3D Štampa Novi Sad*. INFINITY PRINT. Dostupno na: <https://www.infinityprint.rs/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
49. Matias, E. and Rao, B. (n.d.). *3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business*. Dostupno na: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=fd45cff679abbe76214eae3e3237d0b569dc9667> (Pristupljeno 19 Jul. 2023).
50. Mavri, M., Fronimaki, E. and Kadrefi, A. (2021). *Survey analysis for the adoption of 3D printing technology: consumers' perspective*. Journal of Science and Technology Policy Management. doi:<https://doi.org/10.1108/jstpm-02-2020-0023>. (Pristupljeno 13 Apr. 2023).
51. Oke, A., Atofarati, J. and Bello, S. (2022). *Awareness of 3D Printing for Sustainable Construction in an Emerging Economy*. Construction Economics and Building, 22(2). doi:<https://doi.org/10.5130/ajceb.v22i2.8015>. (Pristupljeno 14 May. 2023).

52. Pearce, J. and Qian, J.-Y. (2022). *Economic Impact of DIY Home Manufacturing of Consumer Products with Low-cost 3D Printing from Free and Open Source Designs*. *European Journal of Social Impact and Circular Economy*, 3(2), pp.1–24. doi:<https://doi.org/10.13135/2704-9906/6508>. (Pristupljeno 8 Jul. 2023).
53. Petersen, E., Kidd, R. and Pearce, J. (2017). *Impact of DIY Home Manufacturing with 3D Printing on the Toy and Game Market*. *Technologies*, 5(3), p.45. doi:<https://doi.org/10.3390/technologies5030045>. (Pristupljeno 3 Aug. 2023).
54. Pîrjan, A., i Petroșanu, D. M. (2013). *The impact of 3D printing technology on the society and economy*. *J. Inf. Syst. Oper. Manag*, 7(2), 360-370. (Pristupljeno 7 Jul. 2023).
55. Prashar, G., Vasudev, H. and Bhuddhi, D. (2022). *Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0*. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. doi:<https://doi.org/10.1007/s12008-022-00956-4>. (Pristupljeno 16 Jul. 2023).
56. Prusa3D - 3D Printers from Josef Průša. (2014). *Prusa3D - Open-Source 3D Printers from Josef Prusa*. Dostupno na: <https://www.prusa3d.com/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
57. Ramya, A. (2016). Article ID: IJMET\_07\_03\_036 Cite this Article: A. Ramya and Sai leela Vanapalli, *3d Printing Technologies In Various Applications*. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 7(3), pp.396–409. Dostupno na: [https://www.robolab.in/wp-content/uploads/2017/12/IJMET\\_07\\_03\\_036.pdf](https://www.robolab.in/wp-content/uploads/2017/12/IJMET_07_03_036.pdf) (Pristupljeno 1 Aug. 2023).
58. Rayna, T., Striukova, L. and Darlington, J. (2015). *Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms*. *Journal of Engineering and Technology Management*, 37, pp.90–102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2015.07.002>. (Pristupljeno 15 Jun. 2023).
59. Rogers, H., Baricz, N. and Pawar, K.S. (2016). *3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda*. *International Journal of Physical Distribution i Logistics Management*, 46(10), pp.886–907. doi:<https://doi.org/10.1108/ijpdlm-07-2016-0210>. (Pristupljeno 11 Jun. 2023).
60. Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
61. Sculpteo. (n.d.). *What is 3D Scanning?* Dostupno na: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/what-is-3d-scanning/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).

62. SelfCAD. (n.d.). *6 Best 3D Print Design Software of 2023 (Some Are FREE)*. Dostupno na: <https://www.selfcad.com/blog/6-best-3d-print-design-software> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
63. Setiawan, K. and Maulisa, N. (2020). *The Evolution of Fintech: A Regulatory Approach Perspective. Proceedings of the 3rd International Conference on Law and Governance (ICLAVE 2019)*, 130. doi:<https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200321.029>. (Pristupljeno 18 Jun. 2023).
64. Shahrubudin, N., Lee, T.C. and Ramlan, R. (2019). *An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications*. *Procedia Manufacturing*, 35(35), pp.1286–1296. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>. (Pristupljeno 21 May. 2023).
65. SNEA. (n.d.). *SNEA*. Dostupno na: <https://snea.ba/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
66. SOLIDWORKS. (2017). *How to Buy*. Dostupno na: <https://www.solidworks.com/how-to-buy>.
67. Stevenson, K. (2023). *Survey Results: Most Well-Known 3D Printer Brands «Fabbaloo. Fabbaloo*. Dostupno na: <https://www.fabbaloo.com/news/survey-results-most-well-known-3d-printer-brands> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
68. Szulżyk-Cieplak, J., Duda, A. and Sidor, B. (2014). *3D printers – new possibilities in education. Advances in Science and Technology Research Journal*, (Vol. 8, nr 24), pp.96–101. Dostupno na: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-aca04bc4-addc-4604-ba08-a021d1ac4dd1> (Pristupljeno 25 Apr. 2023).
69. Van de Velde, E. and Kretz, D. (2021). *3D printing for the machine tool industry*. European Commission. doi:<https://doi.org/10.2826/45768>. (Pristupljeno 25 Aug. 2023).
70. Waqar, A., Othman, I. and Pomares, J.C. (2023). *Impact of 3D Printing on the Overall Project Success of Residential Construction Projects Using Structural Equation Modelling*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), p.3800. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph20053800>. (Pristupljeno 8 May. 2023).
71. Wasim, H. (2023). *The Ultimate Guide to Types of 3D Printing Materials. Wevolver*. Dostupno na: <https://www.wevolver.com/article/the-ultimate-guide-to-types-of-3d-printing-materials> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).



72. Weller, C., Kleer, R. and Piller, F.T. (2015). *Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited*. *International Journal of Production Economics*, 164, pp.43–56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>. (Pristupljeno 13 Jul. 2023).
73. Wematter.se. (n.d.). *Wematter – SLS 3D printing made accessible*. Dostupno na: <https://wematter3d.com/> (Pristupljeno 20 Aug. 2023).
74. [www.creality.com](http://www.creality.com). (n.d.). *Leading 3D Printer Manufacturer in China | Creality 3D Official*. Dostupno na: <https://www.creality.com/> (Pristupljeno 21 Aug. 2023).
75. Xu, G., Wu, Y., Minshall, T. and Zhou, Y. (2018). *Exploring innovation ecosystems across science, technology, and business: A case of 3D printing in China*. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, pp.208–221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.030>. (Pristupljeno 17 Jun. 2023).
76. Zhu, C., Li, T., Mohideen, M.M., Hu, P., Gupta, R., Ramakrishna, S. and Liu, Y. (2021). *Realization of Circular Economy of 3D Printed Plastics: A Review*. *Polymers*, 13(5), p.744. doi:<https://doi.org/10.3390/polym13050744>. (Pristupljeno 11 Apr. 2023).