

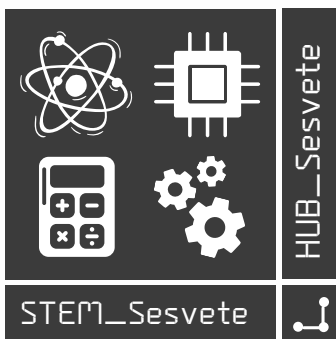


# ADITIVNA TEHNOLO -GIJA

PAMETNI MATERIJALI,  
PROTOTIPIZIRANJE  
I 3D PRINT



Projekt je u cijelosti financiran prema Ugovoru o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte financirane iz Europskog socijalnog fonda u sklopu programa 2014-2020 br. UP.04.2.1.10.0049



# zelen i plave Sesvete

## STEM tehnologijama za budućnost Sesveta



Projekt je u cijelosti financiran prema Ugovoru o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte financirane iz Europskog socijalnog fonda u sklopu programa 2014-2020 br. UP.04.2.1.10.0049

# SADRŽAJ



- 1. Uvod u 3D printanje**
- 2. Povijest 3D printanja**
- 3. Tehnologije i procesi 3D printanja**
  - a. Ekstruzija materijala (FDM – Fused deposition modelling)
  - b. Stereolitografija (SLA/DLP/MSLA)
  - c. Powder bed fusion (SLS/DMLS/SLM/EBM/3DP)
  - d. Ostale tehnologije (Inkjet/LOM/DED/EBF3)
- 4. Primjene 3D printanja**
  - a. Primjena u zdravstvu
  - b. Primjena u arhitekturi i građevinskoj industriji
  - c. Primjena u umjetnosti
  - d. Primjena u prehrambenoj industriji
  - e. Primjena u modnoj industriji
  - f. Primjena u proizvodnim djelatnostima
  - g. Primjena u automobilskoj industriji
  - h. Primjena u vojnoj industriji
  - i. Primjena u svemiru i svemirskim istraživanjima
  - j. Primjena u obrazovanju
- 5. Utjecaj danas, perspektive i predviđanje budućnosti**
- 6. Proces aditivne proizvodnje pomoću 3D printera**
  - a. Modeliranje/3D dizajn
  - b. Priprema za printanje (slicing)
  - c. Printanje
  - d. Završna obrada (post-processing)
- 7. Praktični dio**
  - a. Thingiverse
  - b. Tinkercad

# 1. UVOD U 3D PRINTANJE

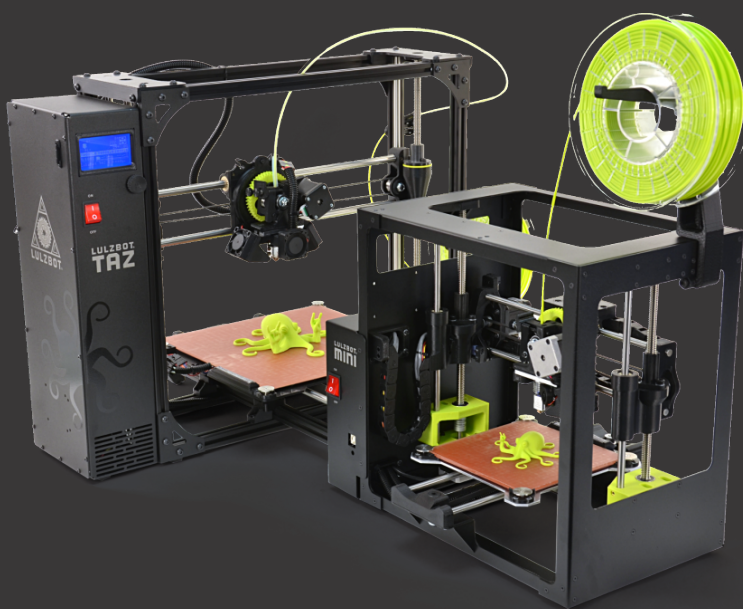
**3D print** - proces konstrukcije trodimenzionalnog objekta iz CAD modela ili digitalnog 3D modela.

3D printanje je kolokvijalni naziv za ono što se najčešće naziva aditivnom proizvodnjom, odnosno proizvodnjom dodavanjem/polaganjem/fuzioniranjem materijala. Promatrano u odnosu na klasične proizvodne metode koje su suptraktivne (glodalice, tokarilice, strugovi, laser itd.)

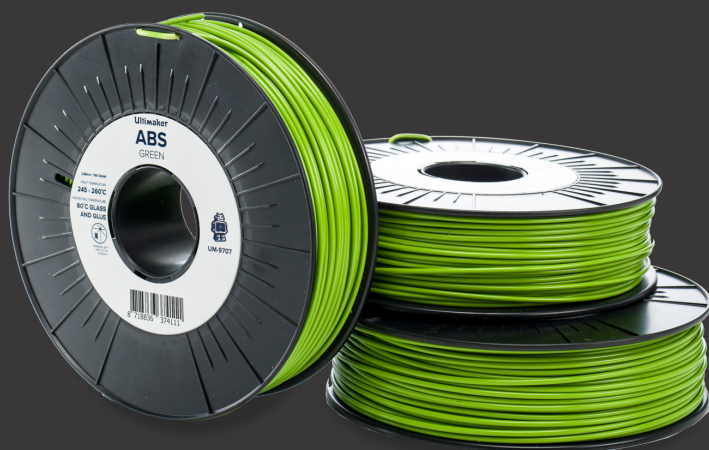
Kad se danas spomene 3D printanje uglavnom se misli na male, hobby printere i proces printanja upotrebom plastične niti (filamenta), koja se polaže sloj po sloj na podlogu.

Glavna prednost 3D printanja nad ostalim metodama proizvodnje je mogućnost proizvodnje kompleksnih oblika i nepravilne geometrije kakve nije moguće proizvesti tradicionalnim metodama. Tu se misli na šupljine unutar konstrukcije, odnosno organske oblike, kojima se proizvodu često značajno smanjuje težina uz zadržavanje fizičkih karakteristika (čvrstoća, žilavost itd.)

Osim toga, primjenu su našli i kao alati za brzo prototipiranje, tj. za ubrzavanje procesa dizajna novog proizvoda.



*Slika 1. 3D printer, primjer*



*Slika 2. Filament, primjer*

## 2. POVIJEST 3D PRINTANJA

Prvi patenti za 3D printanje izdani su još 1984. godine. Dominanta metoda tada je bila stereolitografija, ali nije zaživjela zbog slabe komercijalne isplativosti.

Dominantna metoda 3D printanja danas je FDM (Fused deposition modeling), koju je patentirala tvrtka Stratasys 1988. Ovaj patent pokazao se ključan u razvoju 3D printanja kakvo poznajemo danas. Naime, iako su sljedećih 20 godina hobisti eksperimentirali i tehnologija je sazrijevala, komercijalna eksploatacija FDM 3D printera nije bila moguća zbog pitanja patentnih prava. To je potrajalo sve do 2009, odnosno do isteka Stratasys-ovog patenta. Od tada počinje rapidna ekspanzija 3D printanja i ulazak malih printera u kućanstva.

U 90-ima je razvijena metoda SLM (selective laser melting), koja je omogućila 3D printanje iz metala i ostalih složenijih materijala. U međuvremenu je i stereolitografija doživjela „comeback“, ponajviše zahvaljujući napretku tehnologije i oštrom padu cijena.

Cijene prvih 3D printera kretale su se oko 600-700 tis. USD. Sredinom 2010-ih cijene su pale na prosječno 2000 USD. Danas se cijene desktop uređaja kreću uglavnom između 200 i 500 USD.

Iako tehnologija 3D printanja danas još uvijek nije prešla stepenicu između hobby uređaja i potpuno komercijalnog proizvoda, stopa usvajanja je došla do točke gdje je svaki prostor za učenje postao nezamisliv bez 3D printera.

Kako stasaju nove generacije koje rastu uz 3D printanje, a FDM biva usavršavan, tako možemo očekivati nastavak proliferacije ove tehnologije, pa čak i pretpostaviti da ćemo u sljedećih dvadesetak godina vidjeti 3D printer kao potpuno kućanski alat.



*Slika 3. Rezultat printa, primjer*

# 3. TEHNOLOGIJE I PROCESI 3D PRINTANJA

## A. EKSTRUZIJA MATERIJALA (FDM – FUSED DEPOSITION MODELLING)

Trenutno najpopularnija i najrasprostranjenija metoda 3D printanja jest ekstruzija polimera, poznata još i kao FDM - Fused deposition modeling ili FFF - fused filament fabrication.

Funkcionira tako da se plastični materijal u obliku filameta uvodi u glavu za printanje. Tamo se zagrijava do rastapanja i kroz mlaznicu (najčešće promjera 0,4mm) polaže na radnu plohu. Koordiniranim pomicanjem platforme sa radnom plohom, te glave sa hotendom, materijal se ekstrudira u željenom obliku i tako polaže sloj na sloj dok ne stvori zadani objekt.

Budući da se materijal hladi odmah po polaganju, radna ploha se također zagrijava kako ne bi došlo do odvajanja materijala od plohe tijekom rada.

Materijal dolazi u obliku plastičnog filameta namotanog na kolut u dvije standardne veličine (odnosno promjera) - 1,75mm i 2,85mm. Još uvijek ne postoje propisani standardi, ali je promjer od 1,75mm najšire prihvaćen kao najpopularniji.

Postoji vrlo široka paleta materijala od kojih se proizvodi filament - PLA, ABS, PETG, PC, PP, Nylon, HIPS, TPU, ASA, Flex, kompoziti polimera i metala ili drveta, te razni specijalni materijali za specifične namjene. Najčešće korišteni materijal je PLA, odnosno polilaktidna kiselina, koji svoju popularnost duguje vrlo dobrim fizičkim svojstvima i vrlo jednostavnoj ekstruziji na nižim temperaturama (oko 200C).

Zbog jednostavnosti procesa, niske cijene i adekvatne kvalitete printa ova metoda je odmah po isteku patentnih prava doživjela eksploziju razvoja uz rapidan pad cijena. Glavni pokretači su bili hobisti i entuzijasti koji su eksperimentirali kroz open-source projekte od kojih je najpoznatiji RepRap, pokrenut 2005. na University of Bath u Engleskoj.

Iz RepRap zajednice je nastao danas najpoznatiji proizvođač FDM/FFF printera - Prusa iz Češke.

Paraleleno sa open-source zajednicom razvijali su se i prvi komercijalni ponuditelji ovakve vrste printera - Ultimaker, MakerBot, Formlabs, Zortrax itd.

Danas tržište rapidno preuzimaju kineski proizvođači koji iz faze kloniranja polako prelaze u fazu istinskog inoviranja. Najveći nedostatak ove metode je sporost printanja i nemogućnost postizanja vrlo visoke preciznosti tijekom ekstruzije.

O ovoj metodi printanja ćemo najviše pričati u kasnijim predavanjima, budući da je od najvećeg interesa u procesima učenja i korištenja od strane tzv. makers zajednice

## **B. STEREOLOGRAFIJA (SLA/DLP/MSLA)**

U ovome trenutku stereolitografija je druga najpopularnija metoda 3D printanja u svijetu hobista i makera.

Iako je razvijena prije puno popularnije FDM metode, nije zaživjela zbog visokih troškova i nedostatka potražnje.

Moglo bi se reći da je smišljena prije svog vremena jer je tek napretkom tehnologije i padom cijena došla na svoje.

U zadnjih nekoliko godina događa se osjetan rast popularnosti ovih printera i veliki povratak na scenu.

Pojavom jeftinih LCD matrica cijene printera su ubrzano padale i potaknule su hobiste na usvajanje ovih printera kao dodatnih alata uz FDM uređaje.

Princip rada ove metode se može opisati kao fotokemijski proces gdje se upotrebom izvora svjetla pretvara monomere u slojeve polimera. Slaganjem ovakvih slojeva jedan na drugi dobiva se konačni izgled trodimenzionalnog objekta.

Može se ugrubo podijeliti na dva pristupa - SLA koji koristi UV laser za polimerizaciju smole ili noviji DLP/MSLA koji koristi DLP projektor i LCD matricu za maskiranje.

SLA je originalna metoda, razvijena u 80-ima. Koristi UV laser kojime „crta“ oblike na površini posude u kojoj se nalazi smola. Budući da je smola UV osjetljiva laser uzrokuje stvrdnjavanje smole i tako stvara jedan sloj printanog objekta. Platforma se tada pomiče za jedan sloj i postupak se ponavlja. Kada je proces završen, predmet se skida sa radne plohe, ispire se otapalom (najčešće alkoholom) i izlaže UV svjetlu kako bi došlo do dodatnog stvrdnjavanja.

Druga, puno novija i popularnija metoda su ustvari dvije vrlo slične metode sa istim završnim procesom, a nazivaju se DLP i MSLA. Kod DLP se koristi projektor koji selektivno projicira UV svjetlo na određene dijelove površine posude sa smolom. Pri tome se čitavi sloj polimerizira odjednom što značajno ubrzava rad ovakvog printera. I u usporedbi sa SLA, a pogotovo u usporedbi sa „klasičnim“ FDM printerima.

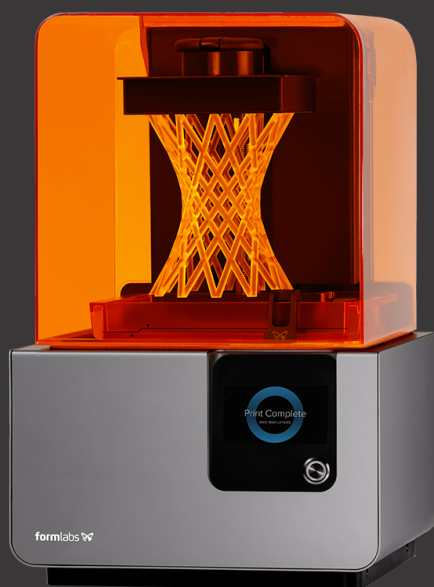
Kod MSLA imamo malo drugačiji pristup. Ovdje se koristi kontinuirani izvor UV svjetla koji ne prolazi do smole jer se između nalazi LCD matrica koja ne propušta svjetlost. Tijekom printanja LCD selektivno propušta svjetlost formiranjem oblika sloja na matrici, čime se čitavi sloj odjednom polimerizira i proces printanja značajno ubrzava. Padom cijena LCD ekrana za mobilne uređaje, odnosno upotrebom istih u ovakvim printerima, došlo je do brzog pada cijena tih uređaja i popularizacije u kratkom vremenu. Daljnjim razvojem displaya vrlo visokih rezolucija otvaraju se vrata do nedavno nezamislivim razinama detalja (4K i 6K) i možemo očekivati najdinamičniji razvoj 3D printanja upravo u ovoj tehnologiji.

Za razliku od FDM printera koji mogu koristiti izrazito raznoliki spektar materijala za printanje, kod stereolitografskih printera je izbor sužen na nekoliko vrsta smola za određene namjene (normalna, fleksibilna, čvrsta, za zubare, za zlatare itd.)

Najveće prednosti ove tehnologije su brzina printanja koja je nekoliko puta veća u usporedbi s FDM i izuzetna preciznost izrade modela, gdje je moguće da piksel bude 0,01mm ili čak manji.

Najveće mane i ujedno glavni razlog zašto je na drugom mjestu po popularnosti su cijena (printeri su tek zadnjih par godina postali cjenovno dostupni, a smola (resin) je još uvijek puno skuplja od običnog filameta), male dimenzije radne plohe (što limitira veličinu modela koji se mogu isprintati), te kompliciranost čitavog procesa gdje je potrebno znati baratati prljavom, toksičnom smolom (filament je vrlo jednostavan i čist za korištenje). Zbog svoje preciznosti i sposobnosti izrede vrlo malih modela vrlo čistih linija, postali su popularni kod izrade nakita i u zubarstvu.

Budući da je tehnologija sazrijela dovoljno da bude dostupna hobistima, a uređaj nam je dostupan u udruzi, kasnije ćemo detaljnije obraditi ovu temu kako bi se lakše upoznali s njom u praksi.



*Slika 4. Stereolitografija, primjer*

## **C. POWDER BED FUSION (SLS/DMLS/SLM/EBM/3DP)**

Postoji nekoliko različitih tehnologija koje spadaju pod istu kategoriju - **PBF**.

Prema zastupljenosti na tržištu možemo ove tehnologije smatrati trećim najkorištenijim metodama 3D printanja u ovome trenutku.

Zajednička karakteristika im je vrlo visoka cijena, kako nabave tako i eksploatacije. To zasada sprječava širu proliferaciju među makerima, odnosno zadržava ovakve uređaje u kategoriji industrije.

Prva metoda iz ove kategorije je SLS - Selective laser sintering. Kod ovog procesa se koristi snažni laser kao izvor energije kojim se metodom sinteringa zagrijava materijal u prahu (tipično najlon ili poliamid). Laser se usmjerava u određene točke dvodimenzionalne površine, čime se materijal u prahu fuzionira zajedno i tvori čvrstu strukturu.

SLS je razvijen kada i većina tehnika za 3D printanje, u 80-im godinama prošlog stoljeća. Patenti su uglavnom istekli, ali budući da za rad koristi vrlo snažne lasere, zadržao je visoku cijenu upotrebe sve do danas. Uz to, takvi laseri su i potencijalno opasni za neobučene poslužioce. Zbog toga se ova tehnologija nije uspjela probiti među makerima i ostala je uglavnom prisutna u većim industrijskim pogonima. Ipak u zadnje vrijeme počinjemo primjećivati opadanje cijena i sramežljivi iskorak prema hobbistima.

Princip rada je tipičan za uređaje koji rade na temelju materijala u prahu. Prah se nanosi na radnu površinu. Glava sa laserom (npr. CO2 tip lasera) prelazi preko površine i selektivno zagrijava željene točke, prilikom čega se događa fuzija materijala na tim točkama. Kada je jedan prijelaz završen, platforma sa radnom plohom se spušta za jedna sloj, aplikator ponovno nanosi sloj praha i postupak se ponavlja.

Za razliku od FDM i SLA tehnologija, gdje je potrebno u printani objekt dodavati potporne strukture koje ga pridržavaju tamo gdje ne dotiče radnu površinu, kod ove metode taj problem ne postoji. Naime, kod SLS printanja se objekt u svakom trenutku u potpunosti nalazi uronjen u prah iz kojeg se konstruira. Tako ga prah pridržava sa svih strana i omogućuje izradu posebnih geometrijskih oblika kakvi nikad prije nisu bili mogući tradicionalnim metodama proizvodnje. No, treba napomenuti da za razliku od FDM i SLA, ovom tehnikom nije moguće proizvesti šuplji proizvod, jer prah ostaje zarobljen unutar stvorene šupljine.

Ova metoda je svoju primjenu našla ponajviše u prototipiranju, izradi vrlo malih serija specijaliziranih proizvoda (zrakoplovstvo, vojska, medicina itd.) i za brzu proizvodnju specijaliziranih alata i pomagala. Druga kategorija dolazi pod više naziva – Selective laser melting (SLM), Direct metal laser melting (DMLM), Direct laser metal sintering (DMLS) ili Laser powder bed fusion (LPBF).

Sve su to komercijalni nazivi različitih patenata, a zajedničko im je da sve funkcioniraju vrlo slično SLS metodi. Koriste laser kojim fuzioniraju materijal u prahu, samo što je u ovom slučaju riječ o metalima u prahu.

Metali koje je moguće koristiti uključuju: aluminij, bakar, inox čelik, alatni čelik, kobalt, titan, tungsten, te razno razne legure. Popis se širi konstantno.

Fuzioniranje metala je trenutno metoda od najvećeg interesa u industriji i znanosti zbog značajnih benefita koje donosi. Najviše inoviranja se događa upravo u ovom području. SLM omogućuje stvaranje proizvoda sa jedinstvenim svojstvima, sa smanjenom masom uz zadržavanje svih fizičkih svojstava ili sa više slobode u dizajnu (koja nije moguća sa tradicionalnim metodama).

U kombinaciji sa visokom brzinom proizvodnje i impresivnim svojstvima konačnog proizvoda, može odgovoriti na izazove koji su uistinu revolucionarni (primjer rapidno printanje aviodijelova od titana u Izraelu ili raketni motor za SpaceX).

Najveći nedostaci ove tehnologije su gruba površina gotovog printa (koja često zahtijeva dodatnu obradu strojevima koji uklanjaju materijal kako bi se dobilo poliranu površinu) i formiranje mikrostrukturnih defekata tijekom procesa fuzioniranja. Pore ili nedovoljno fuzionirani dijelovi mogu dovesti do strukturalnih oštećenja koja mogu kompromitirati performanse čitavog proizvoda. S obzirom da je riječ o visokotehnološkim primjenama (svemirska, auto i avioindustrija, te medicina), to može predstavljati vrlo ozbiljan problem.

Treća metoda naziva se Electron beam melting (EBM). Riječ je ponovno o proizvodnji iz metalnog praha, ali ovaj put umjesto lasera se upotrebljava elektronska zraka, koja zagrijavanjem pretvara prah u čvrsti proizvod. Proces se odvija u komori koja je pod vakuumom.

U usporedbi sa sinteringom ova metoda je brža i zbog više temperature stvara proizvod koji ne zahtijeva nikakav post-processing nakon izlaska iz printera.

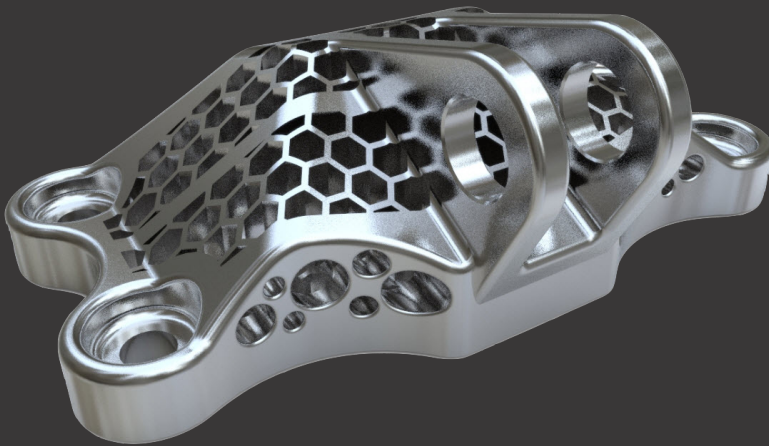
Noviji pristup ovoj metodi je upotreba elektronske zraka za taljenje žice za varenje, kako bi se polaganjem te žice na površinu sloj po sloj gradio objekt. Ovo je vrlo sličan pristup kao i kod FDM, ali sa metalom umjesto plastike.

Brzina polaganja žice je oko 18kg po satu što čini ovaj proces izuzetno brzim i trenutno velikim potencijalom za budućnost.

Binder jetting (3DP) je četvrta metoda printanja koja spada pod powder bed fusion tehnologije. Funkcionira tako da se na slojeve materijala u prahu nanosi vezivno sredstvo. Materijal u prahu mogu biti metali ili materijali na bazi keramike.

Proces je najbliži principu rada inkjet printera, sa glavom koja se kreće po dvije osi i polaže tekuće vezivno sredstvo prema instrukcijama.

Unikatna karakteristika ovakvog načina printanja je mogućnost dobivanja proizvoda u šarolikom spektru boja. Najveći nedostatak je sličan kao i kod ostalih procesa na bazi praha, a to je grublja i manje detaljna površina u usporedbi sa FDM/SLA/SLS procesima.



*Slika 5. Selective laser sintering, primjer*

## **D. OSTALE TEHNOLOGIJE (INKJET/LOM/DED/EBF3)**

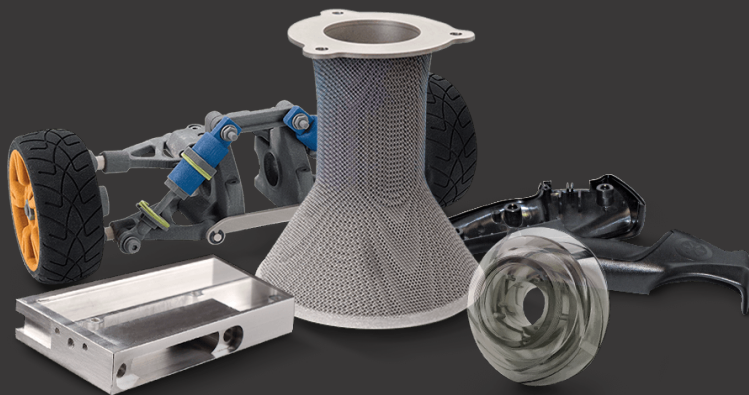
Ostale tehnologije ćemo spomenuti zajedno jer njihov značaj danas nije toliki da bi bilo potrebno objašnjavati ih predetaljno.

Početak tehnologije 3D printanja možemo pratiti sve do 60-ih godina prošlog stoljeća kada je izumljena inkjet tehnologija. Iako je zamišljena kao tehnologija za klasično 2D printanje tintom na papir, eksperimentiranjem i inoviranjem pronađene su alternativne metode upotrebe. Tako je početkom 80-ih smišljen način printanja termoplastičnim tintama i po trećoj, z osi. Ova tehnologija je danas zastarjela i ne koristi se, ali je otvorila put prvim pravim patentima iz područja 3D printanja.

LOM ili Laminated object manufacturing je sustav rapidnog prototipiranja kojeg je razvio Helisys inc. Funkcionira tako da laminate papira, plastike ili metala premazane vezivnim sredstvom spaja zajedno i potom izrezuje oblike nožem ili laserskim rezačem. Ovo je također metoda koja zasad nije zaživjela na tržištu.

Directed energy deposition (DED) je još jedna metoda fuzioniranja materijala u prahu pomoću lasera. Izdvaja se od ostalih jer je postupak proizvodnje netipičan i drugačiji od ostalih powder bed fusion metoda.

Posljednja tehnologija koju se još izdvaja je EBF3 ili Electron beam freeform fabrication. Ovu tehnologiju je razvila i patentirala NASA, s ciljem izrade metalnih objekata u uvjetima nulte gravitacije.



*Slika 6. Selective laser sintering, primjer*

# 4. PRIMJENE 3D PRINTANJA

Danas je primjena 3D printanja izuzetno rasprostranjena i šarolika, što samo pokazuje koliko je ova tehnologija sazrijela do sada, odnosno u kojoj mjeri je postala dio mainstreama. Naime, u početku je 3D printanje korišteno isključivo kao način za ubrzavanje/olakšavanje prototipiranja u industriji, dok je danas prisutno u medicini, arhitekturi, umjetnosti, prehrambenoj industriji, proizvodnji, modi, auto industriji, vojnoj industriji, obrazovanju itd.

## A. PRIMJENA U ZDRAVSTVU

U medicini i zdravstvenoj industriji počela se primjenjivati kao vizualna ispomoć u pripremi kirurških zahvata još u 90-ima.

Kako je tehnologija napredovala tako je otvorila vrata mogućnosti izrade personaliziranih implanata. Postalo je moguće izraditi metalni implant koji savršeno odgovara svakom pacijentu i podiže kvalitetu pružene skrbi na jednu višu razinu. U početku je to bilo orijentirano na rekonstrukciju kostiju, danas je u većoj mjeri prisutno i u dentalnoj medicini, a ubuduće se očekuje napredak i u području liječenja oštećenja sluha.

Još jedno područje koje je javnosti bolje poznato je izrada personaliziranih prostetičkih pomagala. U ovom slučaju kao i kod implanata dolazi do izražaja generativni dizajn (o kojem će biti riječi kasnije) i jedinstvena geometrija koju je moguće postići isključivo 3D printanjem.

U tijeku su istraživanja kojima je cilj pomoću 3D printanja omogućiti stvaranje tkiva, odnosno organa polaganjem stanica sloj po sloj. Ili recimo, omogućiti proizvodnju lijekova i preparata izravno na krajnjem odredištu (bolnica, ljekarna, mjesto nesreće, bojište...).

Tijekom prošle godine u javnosti je došlo do popularizacije 3D printanja u zdravstvene svrhe, kada su hobisti diljem svijeta printali zaštitne maske za medicinsko osoblje.



*Slika 7. 3D printanje u zdravstvu, primjer*

## **B. PRIMJENA U ARHITEKTURI I GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI**

U javnosti je najviše poznata kroz često spominjanje izgradnje kuća 3D printanjem.

Trenutno prevladavaju dvije metode printanja – polaganjem gline kao građevinskog materijala, odnosno polaganjem betona. U oba slučaja materijal se polaže sloj po sloj kao u FDM metodi printanja. Printanje betonom zasad pokazuje najviše potencijala.

Stupanj zrelosti tehnologije još nije mjerljiv sa onim u nekim drugim djelatnostima, ali je napredak vrlo brz i možemo u sljedećem desetljeću očekivati značajan skok u ovom području. Dapače, razumno je očekivati da će autonomna izgradnja temeljito promijeniti građevinski sektor, tj. učiniti ga u značajnoj mjeri manje radno-intenzivnom djelatnošću. Potencijalne prednosti nad klasičnom gradnjom su: brzina gradnje, niži troškovi, pojednostavljenje samog procesa gradnje, izravna gradnja bez posrednika, značajno kompleksnije strukture, veća preciznost, izgradnja na teško dostupnim lokacijama, smanjenje zagađenja i održivi pristup gradnji.

Do sada je izgrađeno nekoliko kuća i zgrada koje služe kao showcase ili čak gotova građevina za život. Jedna od njih je kuća uz kanal u Amsterdamu koja je izgrađena više kao model za pokazivanje nego funkcionalna građevina. U Jaroslavu u Rusiji je izgrađena prva potpuno funkcionalna obiteljska kuća koja je i useljena. U Rusiji je izgrađena i prva javna struktura upotrebom tehnologije 3D printanja – fontana u gradu Paleku.

U Španjolskoj je 2016. izgrađen most za pješake dugačak 12 metara. A prije nekoliko mjeseci u Amsterdamu je otvoren prvi most u svijetu u potpunosti printan iz metala. Jedno područje u kojem se od ove tehnologije očekuje mnogo je printanje nastambi na Marsu i Mjesecu. Zbog očitih razloga 3D printanje materijalima koji postoje na licu mjesta je jedina prihvatljiva metoda izvanzemaljske gradnje u ovome trenutku.



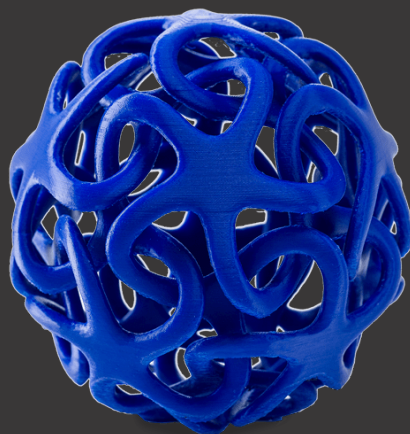
*Slika 8. Maketa Eiffelovog tornja, primjer*

## C. PRIMJENA U UMJETNOSTI

3D printanjem je moguće izrađivati organske oblike kakvi su tradicionalnim metodama neostvarivi. Sama ta činjenica je učinila printanje zanimljivim među umjetnicima jer nudi mogućnost eksperimentiranja sa nečim novim.

Važno je spomenuti i ulogu koju 3D skeniranje ima u ovom području. Upotreba 3D skeniranja omogućuje replikaciju fizičkih objekata bez upotrebe kalupa, što je puno brže, jednostavnije i jeftinije, a također jamči da originalni predmet neće biti oštećen jeru niti jednom trenutku ne dolazi do fizičkog kontakta.

Najbrže je usvojena u zlatarstvu i proizvodnji nakita. Od izrade kalupa u koje se lijevaju plemenite kovine (lost wax metoda) pa do izrade samog nakita izravno 3D printanjem. Omogućuje personalizaciju poklona, replika i konstrukcija prema željama kupca i stvaranje donedavno kompliciranih proizvoda na individualnoj razini.



*Slika 9. Organski oblik, primjer*

## **D. PRIMJENA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI**

Primjena 3D printanja u prehrambene svrhe započela je tek prije 15-ak godina i to kao pokušaj entuzijasta da postojeće FDM printere prilagode za ekstrudiranje hrane (čokolada, tijesto, sir).

Riječ je o klasičnim desktop printerima, kojima je glava za printanje (hotend) koja deponira plastiku zamijenjena uređajem koji deponira hranu. Sama funkcija i način rada su ostali nepromijenjeni.

Ovakvi printeri mogu naći primjenu u slastičarskoj djelatnosti (izrada kompleksnih struktura od čokolade ili neke druge slastice), ali do sada nisu zabilježili značajnu upotrebu izvan hobi projekata.

Tek u zadnjih nekoliko godina je došlo do značajnog napretka u upotrebi 3D printanja u prehrambene svrhe i to na području tzv. bioprintanja mesa. Riječ je o procesu kojim se stanice životinje umnažaju u laboratoriju, printerom polažu u željeni oblik (odrezak) i potom dodatno obogaćuju dodacima kako bi na kraju dobili potpuno umjetno uzgojeno meso za prehranu ljudi.

Osim životinjskog mesa, ovu proceduru se koristi i za proizvodnju supstituta mesa na biljnoj osnovi.

## **E. PRIMJENA U MODNOJ INDUSTRIJI**

Glavna privlačnost 3D printanja kao alata u modnoj i tekstilnoj industriji je njegova sposobnost za brzu proizvodnju personaliziranih proizvoda.

Do sad su Nike i New Balance eksperimentirali sa proizvodnjom individualno prilagođene obuće za sportaše. Proizvođači naočala također počinju nuditi okvire prilagođene kupcu, čime se otvara mogućnost za ponudu proizvoda sa višom dodanom vrijednosti.

Osim navedenih primjera, printanje je korišteno i u visokoj modi, kao inspiracija u stvaranju odjeće novim metodama (print direktno na tekstil).

Postoji i potencijal za inkorporaciju 3D printanja i digitalne imovine, čime bi krajnjem korisniku bilo omogućeno da kupi npr. digitalnu licencu za modni dodatak i sam ju kod kuće isprinta u gotovi proizvod.

## **F. PRIMJENA U PROIZVODNIM DJELATNOSTIMA**

Može se reći da je 3D printanje započelo upravo u proizvodnim djelatnostima.

Najranije primjene aditivne proizvodnje nalazimo u području rapidnog prototipiranja. S jedne strane imamo izradu fizičkih modela finalnog proizvoda, čime se nastoji dati dizajnerima bolji uvid u proizvod i tako ubrzati proces industrijskog dizajna. S druge strane imamo upotrebu printera u izradi kalupa i alata, koji se pak koriste u izradi finalnog proizvoda.

U oba slučaja dolazi do smanjenja cijene i vremena potrebnih za proizvodnju potpuno novog proizvoda, čime se ubrzava čitav proizvodni proces. Pionir u ovom području je Stratasys koji i dan danas dominira u pogonima proizvodnih divova.

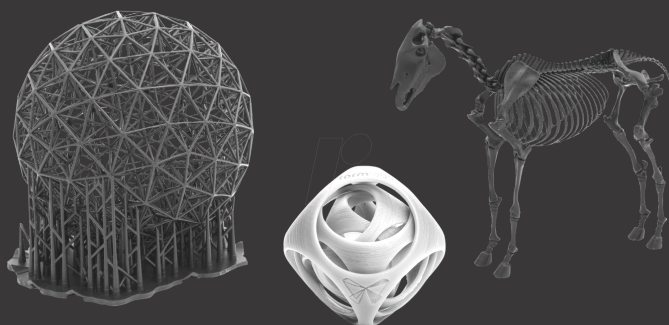
U zadnjem desetljeću je tehnologija printanja iz metala dovoljno napredovala, a takvi printeri su postali nezaobilazni dio većih proizvodnih pogona. Za razliku od printanja iz polimera koje više služi kao alat u procesu proizvodnje, printanje iz metala češće preuzima ulogu proizvodnje finalnog proizvoda izravno na printeru. Iako se po brzini i preciznosti proizvodnje ne može mjeriti sa tradicionalnim metodama poput CNC-a, omogućuje nekoliko prednosti nad njima. To su brza prilagodljivost svakom individualnom kupcu/korisniku (što je vrlo bitan faktor u četvrtoj industrijskoj revoluciji), proizvodnja na licu mjesta (što osjetno reže troškove i downtime) i dizajn koji je klasičnim metodama nemoguć, a donosi veću čvrstoću uz manju masu (generativni dizajn, avioindustrija).

Ranije spomenuta masovna prilagodljivost finalnog proizvoda željama i potrebama kupca pokazuje se kao vrlo lukrativna niša u proizvodnji. Tako danas već nekoliko poznatijih brandova nudi kupcu mogućnost personalizacije proizvoda prije naručivanja. S druge strane, neki se odlučuju na dijeljenje nacрта i 3D modela svojih proizvoda na internetu, kako bi olakšali svojim kupcima da modificiraju proizvode pomoću svojih kućnih 3D printera. Primjer toga je Nokia, koja potiče kupce da sami printaju maskice za svoje Nokia mobitele. Ili Ikea koja besplatno nudi dokumente za printanje nadogradnji za namještaj, kako bi bio dostupniji ljudima s invaliditetom.

Još jedna primjena 3D printanja u proizvodnji koja puno obećava jest rapidna proizvodnja. Tu se misli prvenstveno na brzu proizvodnju malih, ograničenih serija kakva je inače upotrebom tradicionalnih metoda (kalupi, injektiranje plastike) neisplativa. Osim toga, otvara vrata i mogućnosti izravne proizvodnje kod kuće ili na mikro-lokacijama.

Interesantno je da barijera usvajanju ovakvog pristupa nije tehnologija već pravna regulativa (povreda intelektualnog vlasništva). Prikladno je ovdje spomenuti primjere Lego i Games Workshop, koji su tužili 3D entuzijaste zbog povrede int. vlasništva i izgubili na sudu. Disney je krenuo drugim putem i odlučio podržati 3D makere, kako bi generirao goodwill i tako ojačao svoj brand.

Distribuirana proizvodnja je još jedan odličan primjer kako 3D printanje mijenja percepciju proizvodnje. Aditivna proizvodnja u kombinaciji s računalstvom u oblaku omogućuje decentraliziranu i geografski distribuiranu proizvodnju bez ograničenja. Primjer navedenog je 3D Hubs. Servis koji povezuje ljude i grupe koje trebaju 3D print sa vlasnicima printera koji ga mogu isporučiti. Time se efektivno preskače barijera između digitalnog i fizičkog modela.



*Slika 10. Mogućnosti 3D printa, primjer*

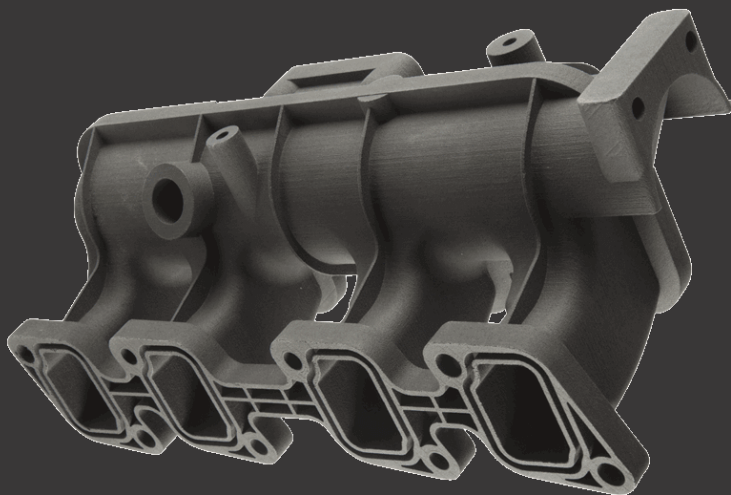
## **G. PRIMJENA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI I GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI**

Automobilske tvrtke su bile među prvima koje su prepoznale korist 3D printera u procesu dizajna novih vozila, i među pionirima upotrebe Stratasys-ovih printera u tu svrhu. Danas nema konstrukcijskog biroa koji se ne oslanja na 3D tehnologije u procesu dizajna i prototipiranja.

Kako je vremenom tehnologija napredovala, tako su se printeri počeli seliti iz ureda na proizvodne linije. Dijelovi printani iz metala nudili su prednost u masi i performansama koja nije mogla biti ignorirana.

Godine 2014. je Koenigsegg predstavio automobil sa produkcijskim dijelovima koji su dobiveni 3D printanjem (retrovizori, uvodnici zraka, komponente auspuha i turbopunjača). U zadnjih desetak godina proizvedeno je nekoliko demonstratora tehnologije, odnosno vozila čija je konstrukcija većinom 3D printana. Pojavilo se i nekoliko privatnih projekata koje su izradili entuzijasti. Najpoznatiji je primjer je iz Denvera, USA, gdje je otac svom sinu, u garaži 3D printanjem, na podvozju Corvette izgradio repliku Lamborghini Aventador-a.

Tehnologija ipak još uvijek nije evoluirala do razine gdje bi mogla zamijeniti masovnu proizvodnju na traci za sklapanje, ali se jest etablirala kao nezaobilazan dodatak proizvodnji. Tako npr. Volkswagen koristi 3D printere na proizvodnoj liniji za printanje alata, stegi, šablona i ostalih pomoćnih alata koji štede i ubrzavaju proces proizvodnje. Zgodno je spomenuti da i naš Rimac također koristi 3D printanje u svojoj djelatnosti. A Bugatti Chiron je prvi automobil sa 3D printanim kočionim sustavom.



*Slika 11. 3D print automobilskeg dijela, primjer*

## **H. PRIMJENA U VOJNOJ INDUSTRIJI**

Budući da je vojna industrija pokretač mnogih tehnoloških noviteta, nije čudno da je vrlo brzo počela eksperimentirati sa 3D printanjem u različitim područjima primjene.

Iz dostupnih primjera istraživanja i razvoja, vidljivo je da je glavna misao vodilja u primjeni ovih tehnologija unapređenje performansi u odnosu na tradicionalno proizvedene alate i oružja, izravna dostupnost na operativnom području, te smanjenje operativnih troškova i skraćivanje vremena proizvodnje.

U prvom slučaju riječ je o postizanju boljih kinetičkih svojstava kod ofanzivnih sustava i boljih mehaničkih svojstava kod defanzivnih sustava.

U drugom slučaju riječ je o dopremanju proizvodnje rezervnih dijelova, potrošnih komponenti, pa čak i streljiva izravno na bojište.

U trećem je riječ o skraćivanju vremena potrebnog za proizvodnju uz istovremeno snižavanje izravnih i neizravnih troškova, te općenito podizanje logistike na jednu novu višu razinu.

Odličan primjer navedenog dolazi iz Izraela, gdje su probleme sa održavanjem starijih zrakoplova odlučili riješiti printanjem potrebnih dijelova iz titana. Isti pristup primijenjen je već i u američkoj i britanskoj vojsci uz odlične rezultate.

Iako nije izravno vezano uz vojsku, u ovome kontekstu treba spomenuti i printanje osobnog naoružanja kao rastući trend. U ovome trenutku to je jedna od najpropulzivnijih supkultura unutar 3D printanja iako je riječ o polu-legalnoj (SAD) ili potpuno ilegalnoj djelatnosti (EU).

## **I. PRIMJENA U SVEMIRU I SVEMIRSKIM ISTRAŽIVANJIMA**

NASA je u 2014. demonstrirala prvi 3D printer za upotrebu u svemiru. Printer je poslan na ISS, gdje je isprintao nasadni ključ za popravak sustava na svemirskoj stanici i tako dokazao prednost ovakvog pristupa rješavanju problema. Osim u ovom slučaju, printanje specijaliziranih alata na lokaciji gdje su i potrebni se već etabliralo kao vrlo popularna i efikasna mjera u vojnim primjenama kao i u automobilske industriji.

Ovdje u punom smislu dolaze do izražaja tzv. compliant mechanism alati. To su alati kod kojih ne postoje spojni dijelovi, već je čitavi alat jedan fleksibilni mehanizam koji silu i okretni moment postiže kroz deformaciju elastičnog tijela alata.

Druga važna primjena 3D printanja u svemiru, koja pokazuje veliki potencijal, je printanje nastambi i konstrukcija na licu mjesta i upotrebom dostupnih materijala.

Sinterhab projekt istražuje metodu izgradnje lunarne baze upotrebom mjesečevog regolita kao građevinskog materijala. Sličan pristup se proučava i u slučaju eventualne izgradnje na Marsu.

## **J. PRIMJENA U OBRAZOVANJU**

Prisutnost 3D printera u učionicama danas postaje više potreba nego luksuz. Usudio bih se čak usporediti trenutnu situaciju s ulaskom računala u učionice u 80-im godinama prošlog stoljeća.

Prvenstveno, printanje otvara učenicima i studentima neke nove vidike. Omogućuje im da svoje ideje prenesu na digitalni model i odmah potom ga pretvore u fizički model koji mogu opipati.

Pristupačne cijene uređaja i potrošnog materijala, jednostavnost upotrebe printera i široka zajednica entuzijasta i kreatora nude prednosti koje strojna obrada nije mogla ponuditi.

Osim prihvatljivih cijena printanja, u sinergiji sa današnjom elektronikom (Arduino, Raspberry Pi) omogućuje pravu revoluciju u implementaciji STEM obrazovanja u učionicama. Donedavno preskupi i nedostupni uređaji i alati za istraživanje i učenje postaju dostupni kroz samoizradu open-source modela istih.

Kroz dizajn i printanje, korisnici stječu praktična znanja iz područja strojarstva, arhitekture, svojstava materijala, principa dizajna itd.

Studenti mogu rekreirati u učionicama 100% vjerne replike fosila ili povijesnih artefakata kako bi ih mogli detaljno proučavati bez straha od oštećenja originala.

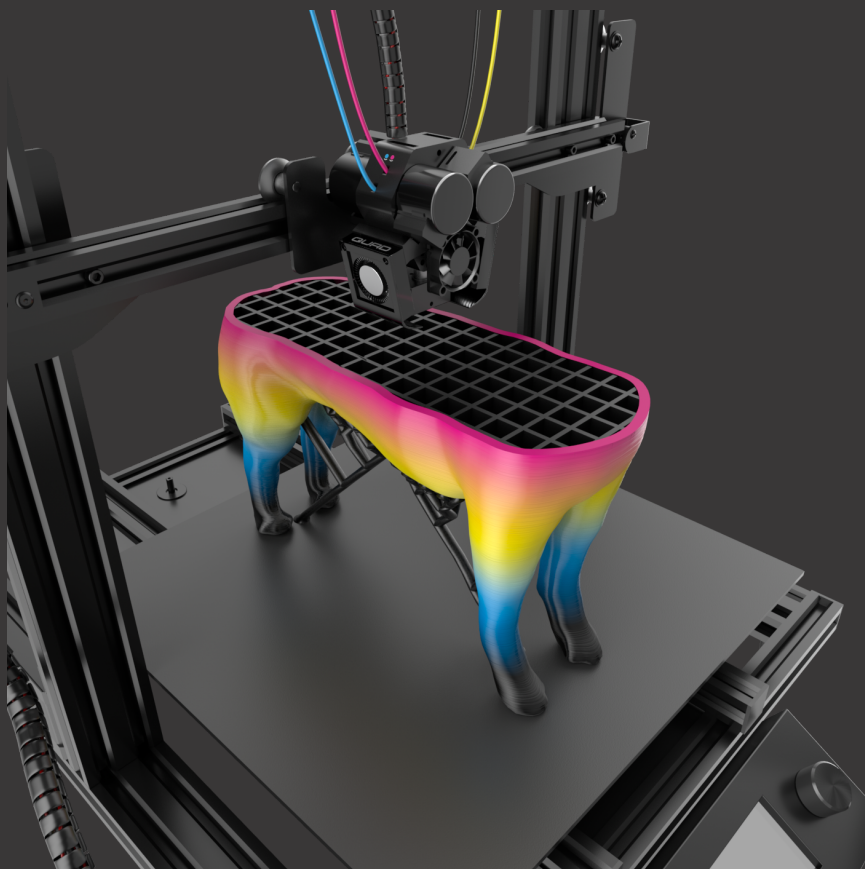
Studenti medicine mogu rekreirati vjerne replike organa i proučavati ih u njihovim pravim dimenzijama.

U kemiji je moguće proizvesti modele molekula i proučavati njihove interakcije na interaktivan način.

U geografiji i vezanim područjima, moguće je izraditi 3D topografske karte koje daju realnu sliku prostora.

3D printanje ipak najviše dolazi do izražaja u područjima fizike, IT-a, robotike i ostalih čisto STEM područja.

Integracija sa elektroničkim uređajima, senzorima, motorima, napajanjima, kao i programiranjem kao komponentom koja to sve povezuje, tvori jednu prirodnu cjelinu (simbiozu) na koju prvo i pomislimo kad kažemo STEM.



*Slika 12. 3D print u procesu, primjer*

# 5. UTJECAJ DANAS, PERSPEKTIVE I PREDVIĐANJE BUDUĆNOSTI

Aditivna proizvodnja se danas nalazi u vrlo interesantnom periodu. Ako bismo se poslužili Gartnerovom „hype“ krivuljom onda bi mogli reći da smo izašli iz doline razočaranja te se trenutno nalazimo na padinama prosvijetljenja. Čak bi bio toliko hrabar da kažem da se već vrlo uspješno penjemo prema prosvijetljenju.

Gartner Hype Cycle krivulja pokušava dati odgovor na pitanje koliko je neka tehnologija sazrijela i kakav joj je potencijal.

Trenutna situacija izazvana COVID-19 je dovela do pucanja lanaca opskrbe i logističke krize. Istovremeno je 3D printanje dovoljno napredovalo da može adekvatno supstituirati klasičnu proizvodnju u nekim područjima. S obzirom na okolnosti očekujem značajan iskorak u sljedećih nekoliko godina.

I prije ove krize očekivanja su išla u smjeru anti-globalističkog efekta 3D printanja. Tj. očekivanja da će krajnji korisnici sami proizvoditi proizvode umjesto da ih kupuju od originalnog proizvođača. Kombinacija trenutnog logističkog pritiska i tzv. near-shoring-a bi mogla ova očekivanja realizirati u bliskoj budućnosti. U prilog ovoj tezi ide i činjenica da već godinama postoje želje da se proizvodnja vrati u zapadne zemlje. Korist koju bi lokalne zajednice mogle imati od toga su povećane i trenutak je politički i društveno povoljan.

Na putu ovome stoji još uvijek čitav niz problema koji su više društvene nego tehnološke prirode. Prvenstveno to je problem 3D dizajna koji je barijera ekspanziji prema krajnjim korisnicima. Možda umjetna inteligencija pomogne riješiti ovaj problem, ali to je sve još uvijek u domeni spekuliranja. Na srednjim razinama ovo ne predstavlja toliko problem, odnosno postoji dovoljno znanja i dizajnera da su mini hub-ovi mogući već danas.

S druge strane, benefiti su veliki. Skraćivanje lanaca opskrbe, smanjenje troškova i zagađenja koje stvara današnji transport (pomorski, željeznički, zračni), tzv. demokratizacija proizvodnje i „economies of scope“. Osim toga sveprisutan je i problem zakonske regulative, odnosno vlasničkih prava. Ovo pitanje trenutno predstavlja najveći izazov snažnoj ekspanziji 3D printanja u komercijalne svrhe.

Pravna regulativa uvijek kaska za novim tehnologijama, ali u ovom slučaju problem je dublji. Nije riječ samo o zaštiti intelektualnog vlasništva već i o tome kako riješiti problem distribucije digitalne imovine krajnjem proizvođaču, a da pri tome vlasnik ne bude oštećen (piratstvo).

Dosadašnja praksa je pokazala da je najbolji pristup uvođenje tzv. pretplatnog modela, pa je za očekivati da će i printanje krenuti u istom smjeru. Potencijalno rješenje je i blockchain.

Još jedno područje gdje postoje pravni problemi je korištenje printera kao alata za lakšu distribuciju i proizvodnju ilegalnih proizvoda poput oružja. Distribuciju digitalnih datoteka je gotovo nemoguće kontrolirati. Bilo je nekoliko pokušaja koji su završili neuspješno. Trenutno su sigurnosne službe orijentirane na online praćenje i špijunažu kao metodu prevencije.

Unatoč velikom strahu do sada u zapadnom svijetu nisu zabilježeni ozbiljni slučajevi zlorabe printanog oružja u kriminalne svrhe. Iskustvo je pokazalo da umjesto kriminalaca, oružje uglavnom printaju štreberi skloni eksperimentiranju.

3D printanje nije uzrok ovakvim pojavama već proliferacija znanja i informacija. Printanje je samo riješilo neke probleme ergonomije i jednostavnosti proizvodnje.

Potrebno je u kontekstu budućnosti printanja spomenuti još i 4D printanje. To je proces 3D printanja koji uključuje tzv. pametne materijale. Razlikuje se od klasičnog 3D printanja u tome što tako printani materijal mijenja svojstva pod utjecajem vanjskih faktora. Tako bi recimo mogli proizvesti vodovodne cijevi koje mijenjaju promjer ovisno o protoku vode ili same popravljaju nastale pukotine.



Slika 13. 3D print prototipa, primjer

# 6. PROCES ADITIVNE PROIZVODNJE POMOĆU 3D PRINTERA

## A. MODELIRANJE/3D DIZAJN

Da bi 3D printer mogao proizvesti objekt, prvi korak je posjedovanje modela u trodimenzionalnom digitalnom obliku. To je tzv. 3D model objekta.

Postoji više načina kako doći do 3D modela. Prvi i najuobičajeniji je modeliranjem pomoću CAD software-a. To je proces kojim se objekt konstruira („crta/oblikuje/dizajnira“) u tri dimenzije kako bi se stvorila digitalna reprodukcija objekta koji se želi printati.

Ovisno o vrsti software-a koji se koristi, odnosno o pristupu problemu, može se objekt stvarati metodom koja bi se najbliže mogla opisati kao digitalno kiparstvo (organski dizajn, Blender) ili metodom koja je najsličnija tehničkom crtanju (funkcionalni dizajn, parametrijski modeli, Fusion360). Tehnički dizajn je uglavnom prikladniji za 3D printanje, ali iskustvo pokazuje da se izbor češće svodi na onaj CAD program s kojim je korisnik bolje upoznat.

Ovakva metoda stvaranja 3D modela zahtijeva adekvatno poznavanje upotrebe CAD programa (Fusion360, Solidworks, Blender, Tinkercad...), te predstavlja prema mom mišljenju, glavnu barijeru širem usvajanju 3D printanja kao tehnologije. Ovo je točka na koju je potrebno usmjeriti najviše pažnje pri edukaciji mlađih naraštaja jer je presudna za kvalitetno usvajanje vještina iz područja 3D printanja.

Druga najčešća metoda stvaranja 3D modela je digitaliziranje postojećeg objekta pomoću 3D skenera ili pomoću procesa fotogrametrije.

3D skeneri su uređaji koji najčešće pomoću lasera/svjetla mapiraju predmet i omogućuju stvaranje digitalne reprodukcije fizičkog objekta. Tako stvoreni 3D model se potom digitalno obrađuje kako bi se ispravile eventualne nepravilnosti koje skener nije „uhvatio“ i zatim se može printati. Iako su danas puno pristupačniji, još uvijek pripadaju u klasu tehnologije koja je značajnije skuplja od 3D printera.

Fotogrametrija funkcionira na sličnom principu, ali za razliku od 3D skeniranja ne koristi specijalizirani alat već običnu kameru/fotoaparatus. Fizički objekt se fotografira iz različitih uglova, a software iz tih fotografija formira 3D digitalnu kopiju objekta. Fotogrametrija je još uvijek tehnologija u razvoju i trenutno ne može postići kvalitetu reprodukcije usporedivu sa 3D skeniranjem. Ostaje za vidjeti hoće li prije doći do usavršavanja fotogrametrije ili do pada cijena 3D skenera.

Treći način dolaska do 3D modela potrebnog za printanje jest preuzimanje gotovog modela sa jednog od servisa za dijeljenje/kupoprodaju 3D modela ili angažiranje treće strane koja se bavi modeliranjem kako bi izradila model prema narudžbi. Prednosti repozitorija 3D modela su laka dostupnost, niski troškovi, bogatstvo ideja i kolaboracija dok je glavna mana to što su modeli generički i nisu prilagođeni individualnom korisniku. Trenutno najpopularniji servisi su Thingiverse, Cults, My Mini Factory, CGTrader, Prusa Printers itd.

## **B. PRIPREMA ZA PRINTANJE (SLICING)**

Gotovi 3D model nije moguće izravno poslati na printer kako bi bio isprintan već je potrebno izvršiti pripremu u specijaliziranom software-u koji se naziva slicer.

Da bi printer mogao pretvoriti 3D model u isprintani proizvod, mora biti u mogućnosti u svom programskom jeziku „razumjeti“ oblike koje treba konstruirati. Točnije, mora imati set instrukcija koje mu „govore“ gdje, kada i kakvu akciju mora izvesti kako bi konstruirao traženi model. Ovo je princip rada usporediv sa bilo kojim sličnim strojem koji funkcioniра tako da pomiče „glavu“ u 3 ili više osi (CNC, laserski rezač, ploter itd.). Većina 3D printera danas su kartezijanski printeri, odnosno funkcioniraju u tri osi (x, y i z) i jezik na temelju kojeg interpretiraju instrukcije je g-code.

Svaki model printera je različit, ima različite dijelove, dimenzije, parametre funkcioniranja i stoga za svaki zasebni model printera 3D model mora biti zasebno pripremljen. 3D model se učitava u slicer, podešava se orijentacija modela na radnoj površini, podešavaju se karakteristike koje želimo dobiti u gotovom proizvodu, prilagođavaju se parametri koji su specifični za određeni printer i materijal koji služi kao sirovina i naposljetku se prema postavljenim parametrima vrši konverzija 3D modela u set instrukcija koje će printer čitati i prema njima postupati.

Takva gotova priprema u obliku g-coda se prenosi na 3D printer i pokreće se printanje.

## C. PRINTANJE

3D printer FDM tipa čita dobivene instrukcije i prema njima gradi model unutar svoje radne površine, sloj po sloj. Tj. printer stvara trodimenzionalni objekt tako što rastapa plastiku i nanosi ju u tankim slojevima, koje slaže jedan na drugi.

Uobičajena visina jednog sloja (to je svojevrsna rezolucija printanja) kod tipičnog FDM printera iznosi 0,1mm-0,2mm iako može varirati ovisno o potrebama konstrukcije. Odnosno, riječ je o parametru koji može u sliceru biti podešen prema željama i potrebama za svaki zasebni proizvod.

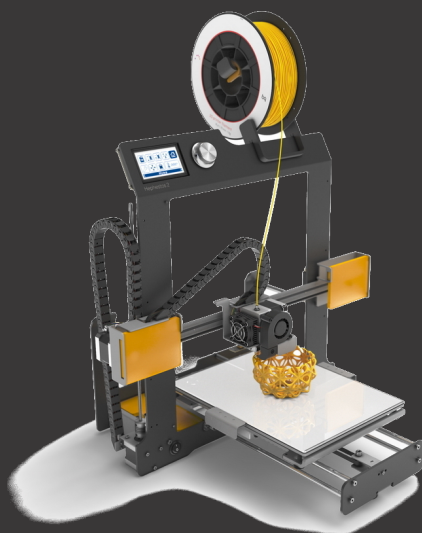
Što je visina sloja veća to je proces printanja brži i obrnuto. Točnije, količina plastike koju printer ekstrudira u svakom sloju determinira koliko brzo će slojevi biti postavljeni, odnosno koliko dugo će čitav proces printanja trajati. Printanje modela ovakvim postupkom može trajati između nekoliko sati i nekoliko dana, ovisno o izabranim parametrima, te veličini i kompleksnosti modela. Po završetku printanja slijedi hlađenje radne površine. Potom se gotovi model uklanja sa plohe čime je proces završen.

Kod printera koji gradi objekt pomoću svjetla/lasera i kao materijal koristi posebne smole, ovaj proces se opet odvija sloj po sloj, ali je smjer obrnut. Tj. platforma se diže iz smole i objekt nastaje okrenut naopačke.

U ovom slučaju ne polaže se plastika već se projekcijom svjetla na smolu stvrđavaju slojevi i tako nastaje gotovi proizvod.

Značajna razlika u odnosu na kartezijanske printere jest da kod SLA/DLP tehnologije nema 3 osi, već postoji samo z os. Točnije, samo je platforma sa radnom plohom pomična. Umjesto glave koja se pomiče po x i y osi imamo filter koji propušta svjetlost na samo određenim pozicijama matrice. Tako se istovremeno formiraju sve točke u jednom vertikalnom sloju prije nego što printer prijeđe na sljedeći sloj. Ovo čini printanje na ovakvim uređajima puno bržim u usporedbi sa FDM/FFF metodom. Opet sličan proces imamo i kod 3D printera koji koriste metodu tzv. laser sintering-a odnosno fuzioniranja čestica laserom.

Materijal iz kojeg se printa se u obliku praha polaže na radnu ploču, a laser stvaranjem izrazito visoke temperature na određenim točkama fuzionira čestice materijala. Kada je jedan sloj fuzioniran, aplikator nanosi novi tanki sloj materijala i postupak zagrijavanja laserom se ponavlja sve dok predmet ne bude završen. Ovakav pristup omogućuje izradu predmeta od puno čvršćih materijala, pa čak i metala.



Slika 14. Proces 3D printa, primjer

## **D. ZAVRŠNA OBRADA (POST-PROCESSING)**

Po završetku printanja objekt se uklanja sa radne površine i može biti upotrijebljen u svrhe u koje je i proizveden. Ali budući da fizička svojstva takvog objekta najčešće nisu na razini koju želimo, pristupa se procesu naknadne obrade printanog proizvoda, tzv. post-processing-u.

Ovaj korak se značajno razlikuje ovisno o materijalu i tehnologiji printanja.

Kod FDM metode prvi korak je fizičko uklanjanje potpornih struktura koje su nužne tijekom printanja. Ovisno o tipu i veličini tih struktura uklanjanje može biti zahtijevno te je upotreba alata poželjna. Klješta su najbolji izbor. Tako odstranjene strukture predstavljaju nusproizvod ove metode printanja, ali mogu biti reciklirane u novi filament. Kod PLA materijala završna obrada se vrši uklanjanjem površinskih slojeva brusnim papirom i dodavanjem slojeva raznim materijalima (filer, primer). Potrebno je nekoliko puta ponavljati postupak kako bi se postigla glatka tekstura površine proizvoda, spremna za bojanje.

Kod iste metode i ABS materijala postupak je isti, ali postoji i alternativna mogućnost zaglađivanja površine upotrebom acetona. ABS je kemijski reaktivan na aceton, pa izlaganjem takvog proizvoda acetonskim parama dolazi do formiranja glatke površine koja ne zahtijeva dodatnu obradu.

Neki materijali poput PVA, PVB ili HIPS se otapaju u vodi, alkoholu ili određenim kemikalijama što im omogućuje sličnu obradu kao i kod ABS-a, ili ih se jednostavno može koristiti kao potporni materijal i potpuno otopiti nakon printanja.

Nakon mehaničke i/ili kemijske obrade proizvoda, pristupa se lijepljenju (cijanoakrilat ili epoksid) dijelova u veću cjelinu, te bojanju ukoliko je potrebno.

Bojanje se može obaviti svim klasičnim metodama, ali najbolji rezultati se postižu upotrebom zračnog kista. Ukoliko je potrebno, po završetku bojanja se nanosi bezbojni lak kako bi se površina zaštitila od eksternih utjecaja.

Postoje posebni materijali koje se obrađuje specifičnim metodama. Npr. kompozitni filamenti koji se sastoje od metalne prašine u polimeru. Proizvode dobivene iz takvog materijala se može polirati abrazijom kako bi se istaknula metalna tekstura. Neke je čak moguće zagrijavati u posebnim pećima kako bi se polimer istopio i ostao potpuno metalni proizvod.

Završna obrada proizvoda dobivenog stereolitografijom je malo drugačija. Po završetku printanja proizvod prijanja za radnu površinu, nije dovoljno stvrdnut i prekriven je slojem smole koja nije bila izložena UV zračenju.

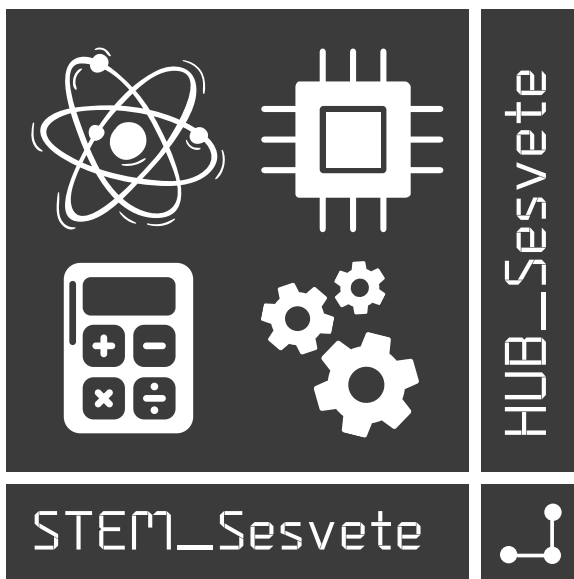
Odstranjuje se s površine špahtlom kao i kod FDM metode. Potom se uranja u isopropilni alkohol i ispire sve dok se površinski sloj smole ne ukloni. Nakon toga se izlaže UV svjetlu kako bi proces sušenja i stvrdnjavanja bio potpun. Tek po završetku sušenja se potporne strukture fizički odvajaju i proizvod dodatno obrađuje (brusi i zaglađuje) ukoliko za to ima potrebe.

Kao i u slučaju proizvoda dobivenih FDM metodom, moguće je bojati ovakav proizvod kako bi se dobio konačan izgled. Kod SLS sinteringa vrijede pak neka druga pravila. Proizvod se po vađenju iz komore ispuhuje zrakom i pjeskari plastičnim kuglicama. Tako dobiveni proizvod ima grubu teksturu i može se dodatno obrađivati ako je potrebno.

Dodatna obrada uključuje poliranje abrazivnim sredstvima, nanošenje dodatnih slojeva galvanizacijom, bojanjem, lakiranjem ili čak dodatno skidanje slojeva CNC obradom.



*Slika 15. Konačni proizvod, primjer*



zelen  
i plave  
Sesvete



Projekt je u cijelosti financiran prema Ugovoru o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte financirane iz Europskog socijalnog fonda u sklopu programa 2014-2020 br. UP.04.2.1.10.0049

Za Udrugu Zelene i Plave Sesvete, glavni urednik Marijo Spajić, mag.ing.prosp.arch.  
Stručni sadržaji za priručnik izrađeni su u suradnji sa stručnjacima iz tvrtki i obrta  
MANTICORE FORGE, ROBOKACIJA i LAFTONIC.