

Primjena 3D skenera, 3D printera i 3D olovke u računalnoj grafici

Štefanek, Jani

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:195:416858>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Informatics and Digital Technologies - INFORI Repository](#)





Sveučilište u Rijeci

**Fakultet informatike
i digitalnih tehnologija**

Sveučilišni prijediplomski studij Informatika

Jani Štefanek

Primjena 3D skenera, 3D printera i 3D olovke u računalnoj
grafici

Završni rad

Mentor: izv. prof. dr.sc. Martina Holenko Dlab

Rijeka, rujan 2024.



Rijeka, 27.5.2024.

Zadatak za završni rad

Pristupnik/ica: Jani Štefanek

Naziv završnog rada: Primjena 3D skenera, 3D printera i 3D olovke u računalnoj grafici

Naziv završnog rada na engleskom jeziku: Use of 3D scanners, 3D printers and 3D pens in computer graphics

Sadržaj zadatka:

U radu je potrebno opisati primjenu 3D olovke, 3D printera i 3D skenera u računalnoj grafici. Uz opis tehničkih aspekata funkcioniranja ovih tehnologija, potrebno je ukratko opisati programske alate koji su potrebni za njihovo korištenje, a zatim kroz primjere prikazati praktičnu primjenu ovih tehnologija.

Mentor/ica:

Izv. prof. dr. sc. Martina Holenko Dlab

Voditelj za završne radove

Izv. prof. dr. sc. Miran Pobar

Zadatak preuzet: 27.5.2024.

(potpis pristupnika/ice)

Sažetak

Završni rad istražuje primjenu tri ključne 3D tehnologije u računalnoj grafici: 3D olovku, 3D printer i 3D skener. Svaka tehnologija ima specifičnu ulogu u stvaranju i manipulaciji 3D modelima, što omogućuje razvoj kompleksnih i realističnih dizajna. Rad analizira tehničke aspekte ovih tehnologija, uključujući principe rada, korištene materijale te softverske alate. Praktične primjene prikazane su kroz primjere iz industrija kao što su medicina, umjetnost, arhitektura i arheologija. U radu se također istražuju prednosti i nedostaci svake tehnologije, uključujući preciznost, brzinu i troškove, kao i usporedba njihovih primjena. Uz to, razmatraju se potencijalne buduće primjene 3D tehnologija u računalnoj grafici i drugim industrijama, s naglaskom na inovacije i poboljšanje procesa dizajna i proizvodnje. U Zaključku može se vidjeti njihov značajan utjecaj na modernu računalnu grafiku te očekivani daljnji razvoj u budućnosti, što će omogućiti širu primjenu i dostupnost ovih tehnologija.

Ključne riječi: 3D tehnologija; računalna grafika; 3D printer; 3D olovka; 3D skener; softverska podrška; primjena; budućnost; inovacije; dizajn.

Sadržaj

1. Uvod	6
2. 3D Olovka	7
2.1. Princip rada.....	7
2.2. Upotreba u računalnoj grafici.....	8
2.3. Primjeri upotrebe	8
2.4. Prednosti i nedostaci.....	9
3. 3D printer	10
3.1. Tehnologija 3D printanja.....	10
3.2. Vrste 3D printera	10
3.2.1. FDM printeri	10
3.2.2. SLA printeri.....	11
3.2.3. SLS printeri.....	12
3.2.4. DLP printeri	13
3.2.5. <i>Binder Jetting</i> printeri.....	14
3.2.6. <i>Multi Jet Fusion</i> printeri	15
3.3. Softverska podrška.....	16
3.4. Primjene u računalnoj grafici	16
3.6. Prednosti i nedostaci.....	19
4. 3D Skener	20
4.1. Tehnologija skeniranja	20
4.2. Vrste 3D skenera	20
4.2.1. 3D skeneri za kratke udaljenosti.....	20
4.2.2. 3D skeneri za srednje i velike udaljenosti	22
4.2.3. Koordinatni mjerni stroj.....	23
4.2.4. 3D skeneri i sustavi sa rukom i sondom	24
4.2.5. Optički praćeni 3D skeneri i sustavi sa sondom.....	25
4.3. Primjene u računalnoj grafici	26
4.5. Prednosti i nedostaci.....	28
5. Materijali	29
5.1. Filament.....	29
5.2. Smola.....	30
5.3. Prah.....	31
6. Usporedba 3D olovke i 3D printera i 3D skenera te praktični rad	32
7. Budućnost 3D tehnologije	38
8. Zaključak	39

9. Popis slika i tablica.....	40
10. Bibliografija.....	42
11. Prilozi	44

1. Uvod

Trodimenzionalne (3D) tehnologije su u proteklim desetljećima prošle kroz rapidan razvoj, postajući neizostavan alat u mnogim industrijama i disciplinama, od računalne grafike do biomedicine, umjetnosti i industrijskog dizajna. 3D tehnologije omogućuju stvaranje trodimenzionalnih objekata u virtualnom prostoru, a zatim i njihovu realizaciju u fizičkom svijetu pomoću 3D printera ili njihovo digitalno snimanje pomoću 3D skenera. U ovom radu istražuju se tri glavne 3D tehnologije: 3D olovku, 3D printer i 3D skener. Svaka od ovih tehnologija pruža jedinstvene mogućnosti u kreiranju i manipulaciji 3D modelima, čime značajno doprinose razvoju računalne grafike i vizualizacije [23].

Uvođenjem ovih tehnologija, granice između digitalnog i fizičkog svijeta postaju sve tanje. 3D olovka omogućava korisnicima direktno crtanje u prostoru, što donosi novu razinu kreativne slobode i interaktivnosti. S druge strane, 3D printer omogućuje fizičku realizaciju digitalnih modela, dok 3D skener omogućava digitalizaciju fizičkih objekata, čime se olakšava njihova obrada i daljnja upotreba u digitalnim okruženjima. Povijesno gledano, razvoj ovih tehnologija bio je potaknut potrebom za preciznijim i efikasnijim alatima u inženjeringu i industriji, ali su ubrzo pronašle primjenu u mnogim industrijama, uključujući umjetnost, edukaciju i medicinu [23].

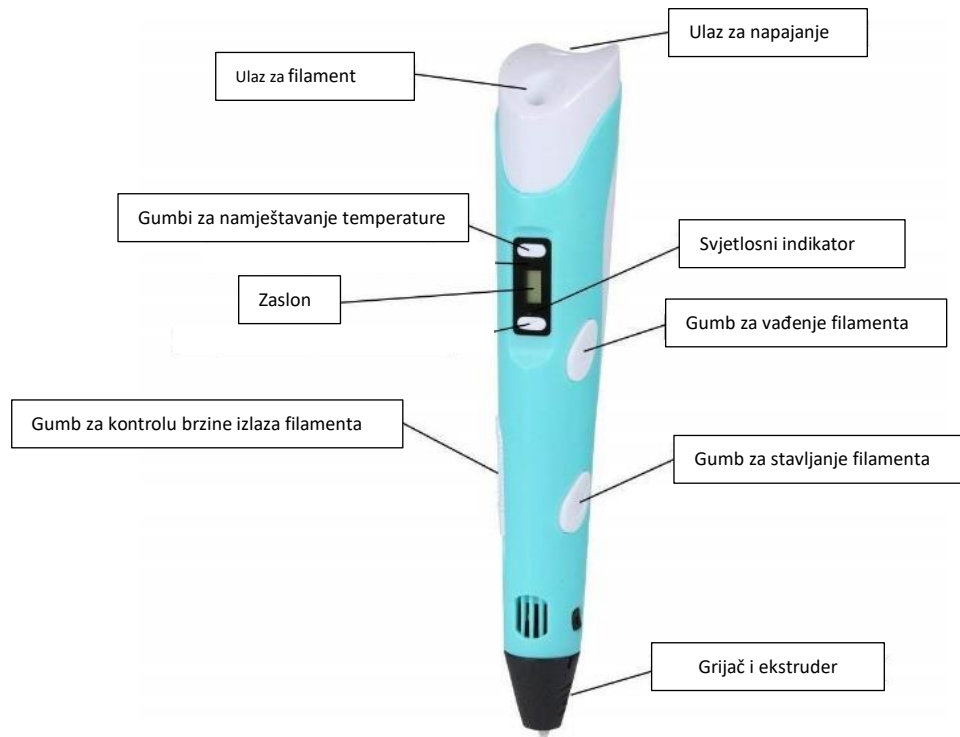
Cilj ovog rada je pružiti detaljan pregled tehničkih karakteristika, primjena i utjecaja ovih 3D tehnologija na računalnu grafiku, kao i istražiti kako ove tehnologije mogu transformirati način na koji percipiramo i kreiramo trodimenzionalne objekte. Rad također razmatra buduće smjernice razvoja 3D tehnologija i njihov potencijal za inovacije u različitim industrijama.

2. 3D Olovka

3D olovka funkcionira na način sličan kao i 3D printer. Za razliku od 3D printera, olovkom upravljamo ručno, što je čini puno manje preciznom od printera. Iako koristi sličan princip rada, 3D olovka zahtijeva mnogo manje dijelova jer nema X, Y i Z motore. Zbog toga je 3D olovka pristupačnija i jednostavnija za korištenje [8].

2.1. Princip rada

Korištenje 3D olovke uključuje nekoliko ključnih koraka: umetanje filamenata, zagrijavanje, ekstruziju i stvrdnjavanje. Filament, koji može biti od različitih materijala poput PLA ili ABS plastike, umetne se u stražnji dio olovke, a grijač ga zagrijava do temperature potrebne za topljenje. Kada je filament rastopljen, ekstrudira se kroz mlaznicu na prednjem dijelu olovke, a korisnik kontrolira brzinu i količinu istisnutog materijala pomoću gumba ili okidača. Materijal se brzo stvrdnjava u kontaktu sa zrakom, omogućavajući korisniku da gradi strukture sloj po sloj u trodimenzionalnom prostoru. Primjer 3D olovke i njene dijelove moguće je vidjeti na slici 1. Po mom iskustvu, 3D olovka je izuzetno korisna u svakom kućanstvu za sitnije popravke, poput popravka ručke od vrata, te je idealna za edukativne svrhe i kreativne projekte [8].



Slika 1: Glavni dijelovi 3D olovke (Izvor: <https://protomont.com/3d-printing-pen/>)

2.2. Upotreba u računalnoj grafici

Primjena 3D olovke u računalnoj grafici je široka za početak 3D olovke omogućuju dizajnerima i umjetnicima da digitalno skiciraju i modeliraju koncepte u trodimenzionalnom prostoru. Umjesto tradicionalnog 2D crtanja, umjetnici mogu kreirati 3D skice koje se mogu rotirati, skalirati i pregledavati iz različitih kutova, što olakšava vizualizaciju konačnog proizvoda. Isto tako mogu se i koristiti za dodavanje sitnih detalja i tekstura na 3D modele. Umjesto korištenja digitalnih alata unutar softvera, umjetnici mogu ručno "crtati" teksture i detalje na modelima, omogućujući precizniju kontrolu nad konačnim izgledom objekta. Također može se koristiti i za kreiranje osnovnih oblika i kostura za animaciju (engl. *rigging*). Umjetnici mogu koristiti olovke za brzo skiciranje kostura likova, koje se zatim mogu koristiti kao osnova za animaciju. To olakšava proces animacije i omogućava brže testiranje iste [19].

2.3. Primjeri upotrebe

Kako je ranije i navedeno, mogućnosti korištenja 3D olovke zaista su neograničene zapravo, jedini limit je ljudska kreativnost. U nastavku ću predstaviti nekoliko konkretnih primjera primjene 3D olovke iz stvarnog života.

Slika 2 prikazuje primjer korištenja 3D olovke u sitnim popravcima u domaćinstvu. Na slici su prikazane škare čija je drška pukla te je popravljena 3D olovkom. Drugi primjer koji možemo na slici spomenuti je izrada sitnih dodataka koji nam olakšavaju život. Na slici niže mogu se vidjeti držači kablova od punjača koji su također napravljeni 3D olovkom. Međutim, na slici se može vidjeti i glavni nedostatak 3D olovke držači izgledaju dosta neuredno upravo zato što 3D olovkom upravljamo mi, a ne stroj, te nedostaje preciznosti i urednosti.



Slika 2: Primjer primjene 3D olovke (Izvor: <https://www.3dmake.net/3d-printing-trends/cool-ideas-you-can-realize-with-a-3d-pen/>)



Slika 3: Primjer primjene 3D olovke (Izvor: Resources - 3Doodler)

Također, 3D olovka može biti izuzetno korisna u umjetničkom izražavanju. Naprimjer, mnogi umjetnici koriste 3D olovke za izradu skulptura i modela koji su previše složeni za izradu tradicionalnim metodama. Još jedan zanimljiv primjer je izrada personaliziranih poklona, kao što su unikatni privjesci ili ukrasi za dom.

2.4. Prednosti i nedostaci

Glavna prednost 3D olovki je jednostavnost korištenja naime za razliku od 3D printera 3D olovke dosta su jednostavnije za korištenje te zahtijevaju gotovo nikakve tehničke vještine. Slijedeća prednost je cjenovna pristupačnost, 3D olovke su često mnogo jeftinije od 3D printera što ih čini pristupačnim širem krugu ljudi, također još jedna velika prednost 3D olovki je mobilnost naime veoma su lagane i prijenosne što omogućava njihovo korištenje bilo gdje [19].

U nastavku će se pisati o nedostacima 3D olovki, kao glavni nedostatak bi izdvojio preciznost i urednost jer to možemo vidjeti na prvi pogled na model, naime 3D olovke ne pružaju visoku razinu preciznosti i urednosti kao što pružaju 3D printeri te zbog toga automatski gotovi model gubi na kvaliteti. Slijedeći veliki nedostatak je manjak automatizacije, 3D olovke zahtijevaju stalnu ručnu kontrolu što može biti zamorno kod izrade većih ili složenijih elemenata. Također u nedostatke bi stavio i materijalna ograničenja, hardver 3D olovke često je mnogo manje kvalitete te su 3D olovke često namijenjene samo izradi modela od plastike dok su 3D printeri prilagođeni korištenju mnogo više vrsti materijala [19].

3. 3D printer

3D printanje naziv je za proces u kojem se izrađuje trodimenzionalni objekt dodavanjem materijala sloj po sloj na temelju digitalnog modela ranija napravljenog na računalu korištenjem posebnih programa. Prvi 3D printer napravio je Charles Hull, suosnivač jedne od najprofitabilnijih organizacija u sektoru 3D ispisa. Prvi komercijalni 3D printer pojavio se 2007. godine sa cijenom od 10 000 dolara [6].

3.1. Tehnologija 3D printanja

3D printeri sadrže sustav sa numeričkim upravljanjem u x, y i z osi. Kako bi se model isprintao potrebno je nacrt prvo pretvoriti u poprečne presjeka odnosno slojeve koje će printer printati. Svaki sloj može biti debljine između 0.09 milimetara i 0.2 milimetara. Debljina sloja ovisi o razini detalja koja se želi postići, što je tanji sloj to će više sitnih detalja biti vidljivo na modelu te će i on automatski biti veće kvalitete [6].

3.2. Vrste 3D printera

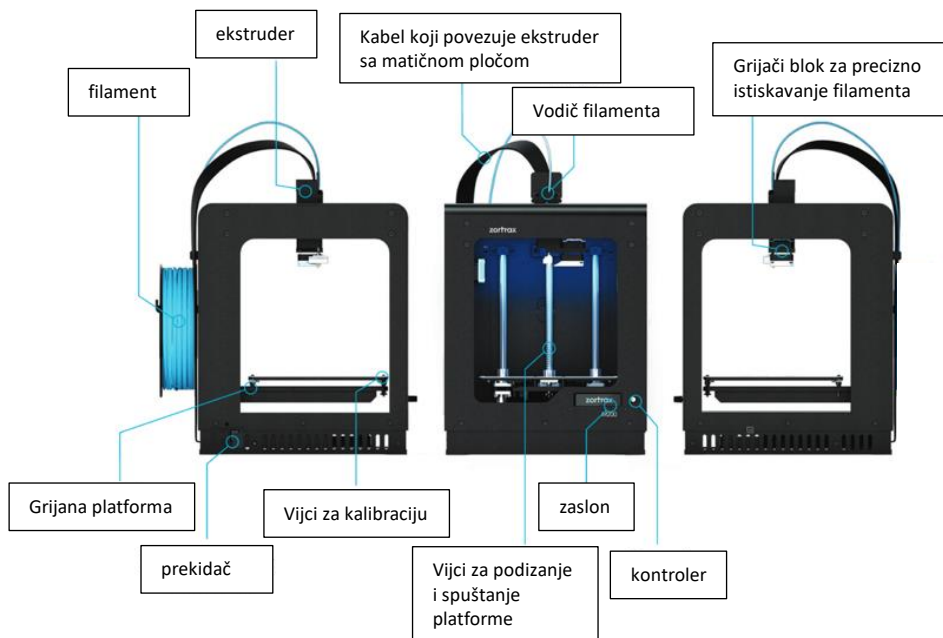
U nastavku navesti će se razne vrste 3D printera. Kako su 3D printeri danas sve češći i češći postoji i mnoštvo različitih vrsta, najčešće se one razlikuju po mediju u kojem printaju ili principu rada. Neki printaju po principu slaganja sloj po sloj plastike dok neki printaju u smoli ili iz praha, neki koriste toplinu dok neki koriste veziva kako bi slagali slojeve [7].

3.2.1. FDM printeri

FDM printeri koriste plastične filamente koji se tope i ekstrudiraju kroz mlaznicu, slažući sloj po sloj kako bi se formirao objekt. Mlaznica se kreće kroz x i y osi kako bi nacrtala sloj te kako završi sa jednim slojem mlaznica se podiže po z osi kako bi prešla na slijedeći sloj te se tako taj proces iterativno ponavlja sve dok se model ne završi. Kada pričamo o 3D printerima najčešće mislimo upravo na FDM printere. Primjer jednog FDM printera može se vidjeti na slici 4 te se dijelovi jednog FDM printera mogu vidjeti na slici 5 [1].



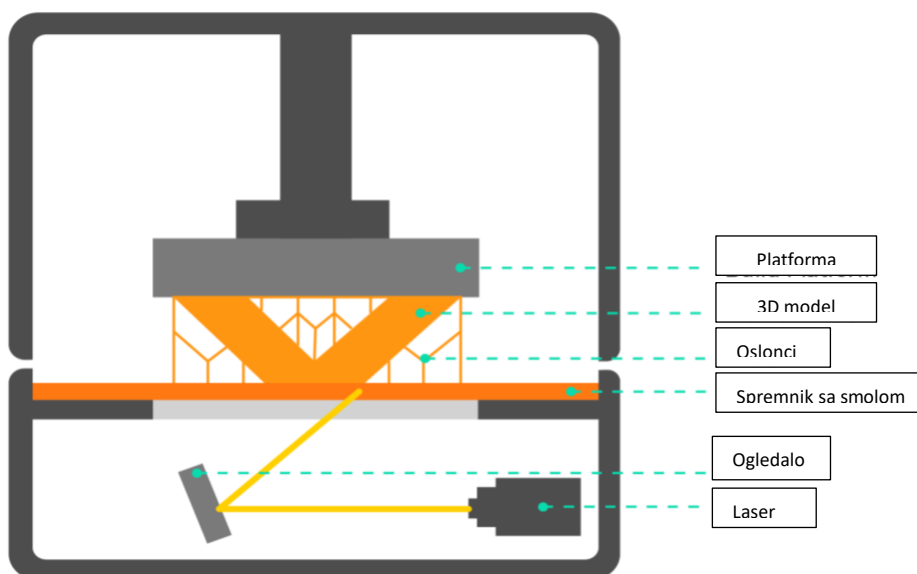
Slika 4: Zortrax M200 3D printer (Izvor: <https://printer3d.hr/shop/zortrax-m200-plus/>)



Slika 5: Glavni dijelovi FDM 3D printera (Izvor: <https://courses.ideate.cmu.edu/62-478/s2017/3dprint/m200/start/>)

3.2.2. SLA printeri

SLA printer koristi tekuću foto polimernu smolu koja se nalazi u rezervoaru. UV laser ili drugi izvor svjetlosti selektivno osvjetljava sloj smole prema digitalnom modelu, očvršćujući smolu na određenim mjestima. Nakon što jedan sloj očvrstne, radna platforma se spušta za visinu sloja i novi sloj smole se nanosi. Proces se ponavlja dok se objekt ne formira. Kada se objekt formira objekt se uklanja iz smole i dodatno prebacuje u otopinu koja se sastoji od izopropilnog alkohola minimalne koncentracije 90 posto kako bi se dodatni sloj smole koji se stvori oko modela otopio i dobio dodatni sjaj. Dijelovi SLA printera vidljivi su na slici 6 dok je primjer takvog printera vidljiv na slici 7. Nakon toga model se dodatno očvršćuje UV lampom [2].



Slika 6: Glavni dijelovi SLA printera (Izvor: <https://www.making.unsw.edu.au/learn/3d-printing-with-sla-resin-printers/>)



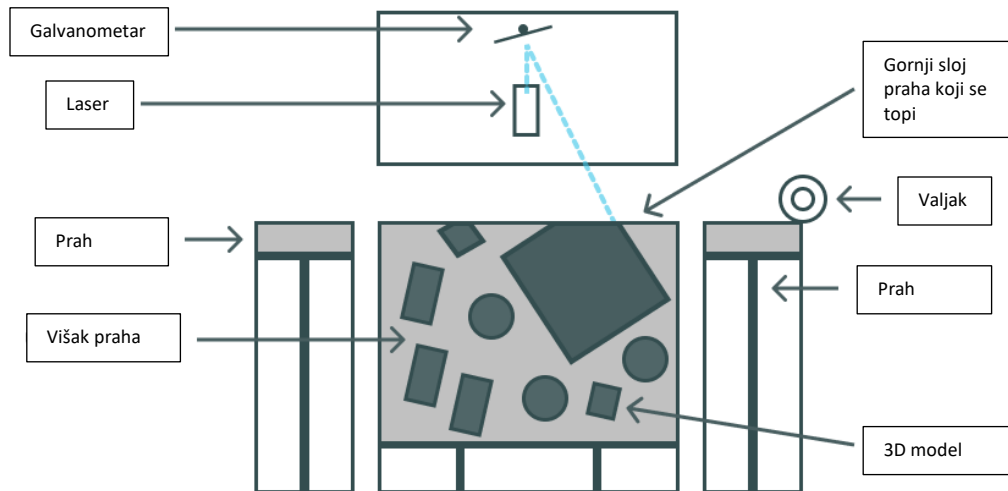
Slika 7: SLA 3D printer (Izvor: <https://www.foundry.babson.edu/sla-printers>)

3.2.3. SLS printeri

SLS printer koristi prah, najčešće se taj prah sastoji od plastike, najlona ili metala koji se ravnomjerno raspoređuje u tankom sloju preko radne površine. Laser koji se odašilje odbija se od zrcala koji ga usmjeravaju te on selektivno topi čestice praha prema digitalnom modelu, spajajući ih u čvrsti sloj. Nakon što je jedan sloj završen, radna površina se spušta, a novi sloj praha se nanosi i proces se ponavlja. Višak praha služi kao potpora za izradu složenih geometrija i uklanja se nakon završetka printanja. Primjeri raznih SLS primjera mogu se vidjeti na slici 8 te dijelovi takvih printera na slici 9 [3].



Slika 8: Primjeri SLS printera (Izvor: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/>)



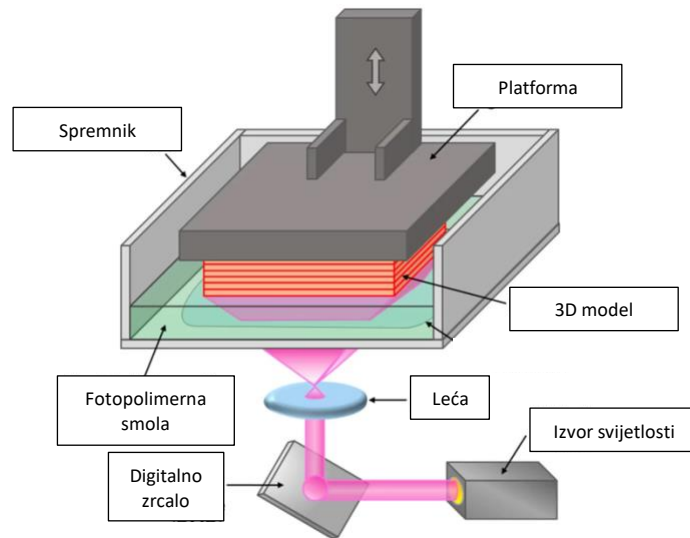
Slika 9: Glavni dijelovi SLS printera (Izvor: <https://www.printpool.co.uk/articles/design-for-sls-3d-printing-the-ultimate-guide>)

3.2.4. DLP printeri

DLP koristi tekuću foto polimernu smolu sličnu onoj u SLA tehnologiji. Umjesto lasera, DLP koristi digitalni projektor za osvjetljavanje cijelog sloja smole odjednom, očvršćujući je na predviđenim mjestima prema digitalnom modelu. Nakon očvršćivanja jednog sloja, radna platforma se spušta, novi sloj smole se nanosi i proces se ponavlja. DLP printanje je brže od SLA jer cijeli sloj smole očvršćuje odjednom, a ne točku po točku. Na slici 10 vidljiv je primjer takvog printera a njegove dijelove moguće je vidjeti na slici 11 [4].



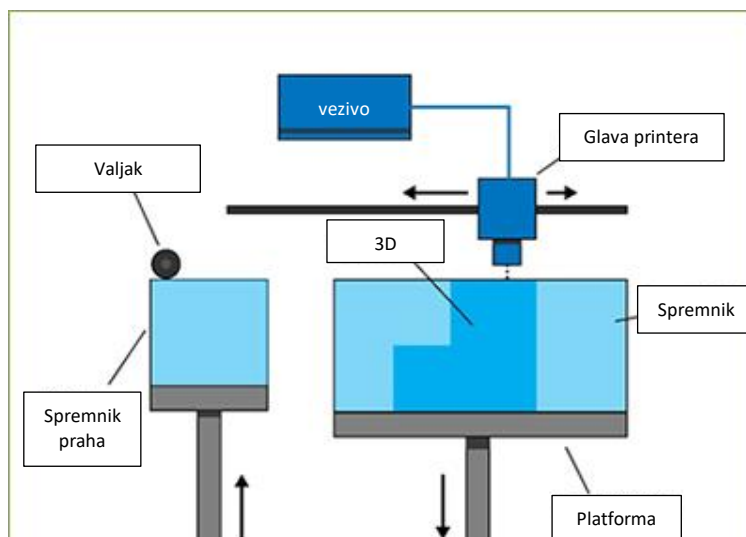
Slika 10: DLP 3D printer (Izvor: <https://store.anycubic.com/products/photon-d2-dlp-3d-printer>)



Slika 11: Glavni dijelovi DLP printera (Izvor: <https://www.zongheng3d.com/dlp-3d-printing-comprehensive-guide/>)

3.2.5. Binder Jetting printeri

Binder jetting koristi praškasti materijal (metal, pijesak, keramika) koji se ravnomjerno raspoređuje u tankom sloju preko radne površine. Glava printera selektivno nanosi vezivo na sloj praha prema digitalnom modelu, vezujući čestice praha zajedno. Nakon završetka jednog sloja, radna površina se spušta, novi sloj praha se nanosi i proces se ponavlja. Nakon završetka printanja, objekt je potrebno dodatno obraditi, uključujući infiltraciju za jačanje objekta. Prikaz njegovih glavnih dijelova moguće je vidjeti na slici 12 dok se primjer jednog takvog printera može vidjeti na slici 13 [5].



Slika 12: Glavni dijelovi Binder Jetting 3D printera (Izvor: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/>)



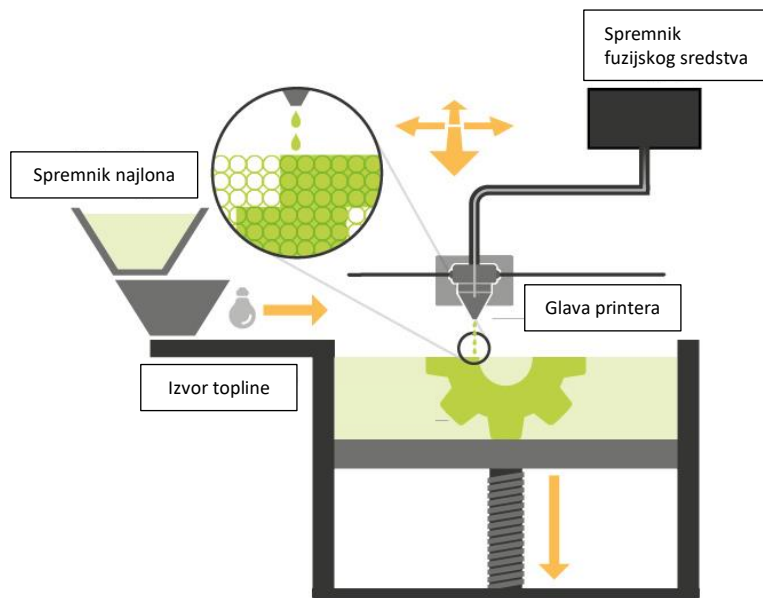
Slika 13: Slika Binder Jetting 3D printera (Izvor: <https://amfg.ai/2018/04/27/top-5-binder-jetting-machines/>)

3.2.6. Multi Jet Fusion printeri

Multi Jet Fusion printeri također poznati kao MJF printeri koriste sloj praha najčešće najlona koji se ravnomjerno raspoređuje preko radne površine. Glava printera selektivno nanosi fuzijsko sredstvo i detaljno sredstvo na sloj praha prema digitalnom modelu. Toplina se primjenjuje kako bi se čestice praha spojile tamo gdje je fuzijsko sredstvo nanoseno. Proces se ponavlja sloj po sloj dok se objekt ne završi, a zatim se višak praha uklanja. Na slici 14 može se vidjeti primjer jednog takvog printera dok su na slici 15 vidljivi njegovi dijelovi [9].



Slika 14: Multi Jet Fusion 3D printer (Izvor: <https://forgelabs.ca/multi-jet-fusion-mjf/>)



Slika 15: Glavni dijelovi Multi Jet FUSion 3D printera (Izvor: <https://rapidfab.ricoh-europe.com/technologies/mjf-printing/>)

3.3. Softverska podrška

Za uspješno 3D printanje potrebni su specijalizirani softverski alati. Neki od najčešće korištenih programa uključuju AutoCAD, koji se koristi za precizno tehničko crtanje i modeliranje, te Blender, softver otvorenog koda za 3D modeliranje, animaciju i rendering. SolidWorks je popularan alat za 3D CAD dizajn, poznat po svojoj preciznosti i širokoj upotrebi u industriji. Tinkercad je jednostavan online alat za početnike u 3D modeliranju, koji omogućuje brzo učenje i stvaranje osnovnih 3D modela. Najčešće 3D modeli koji služe za printanje nalaze se u STL formatu.

Nakon izrade modela, potrebno je koristiti softver za pripremu za printanje. Ovi alati pripremaju model za 3D printere, generirajući potrebne slojeve i putanje za ispis. Cura je softver otvorenog koda koji podržava mnoge vrste 3D printera, dok je PrusaSlicer softver dizajniran za Prusa 3D printere, ali kompatibilan i s drugim modelima. Simplify3D je komercijalni softver poznat po svojoj fleksibilnosti i mogućnostima prilagodbe, omogućujući korisnicima detaljno podešavanje parametara ispisa za optimalne rezultate.

3.4. Primjene u računalnoj grafici

3D printeri su revolucionirali način na koji dizajneri i inženjeri stvaraju prototipove i modele. U računalnoj grafici, 3D modeli se koriste za razne svrhe, od animacija do simulacija. Sada je moguće pretvoriti digitalne modele u opipljive objekte, što omogućava testiranje i poboljšavanje dizajna na način koji prije nije bio moguć. Ova tehnologija omogućava detaljan pregled i fizičku interakciju s modelom, što može biti ključno za otkrivanje eventualnih nedostataka i poboljšanje konačnog proizvoda [7].

Prototipiranje je jedan od najčešćih načina korištenja 3D printera. Brza proizvodnja prototipova omogućuje tvrtkama da brzo testiraju i iteriraju svoje dizajne. To je posebno korisno u industrijama gdje je važno brzo reagirati na povratne informacije i prilagoditi proizvode. Uz pomoć 3D printera, prototipi se mogu proizvesti u kratkom vremenskom roku, što omogućava brzo prilagođavanje i implementaciju novih ideja i poboljšanja. Konkretna primjena prototipiranja pomoću 3D printera bila bi automobilska industrija, naime 3D printanje se koristi u automobilskoj industriji za izradu prototipova dijelova, alata i kalupa, kao i za proizvodnju pojedinih komponenti. Trenutno 30 do 40 posto svjetskih automobilskih kompanija koristi 3D printere za brzo testiranje i prilagođavanje dijelova, čime se smanjuje vrijeme potrebno za razvoj i lansiranje novih modela vozila. 3D Tehnologija se u automobilskoj industriji koristi do te mjere da se procjenjuje da će rasti 20% godišnje i tako dosegnuti potrošnju od gotovo osam milijardi dolara do 2027. godine. Također naišao sam na podatak kako korištenje 3D printera u automobilskoj industriji smanjuje fizički rad za 90 posto. Primjer korištenja 3D printera u automobilskoj industriji vidljiv je na slici 16 [20].

U stop-animaciji, 3D printeri omogućuju brzu i preciznu izradu složenih modela likova. Animatori mogu dizajnirati različite varijante izraza lica, položaje tijela ili rekvizite u digitalnom obliku, a zatim ih brzo isprintati. Ovaj proces omogućava konzistentnost i preciznost u ponavljanju modela, što je ključno za fluidnu animaciju [7].



Slika 16: Primjer prototipiranja u automobilskoj industriji (Izvor: <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-automotive-industry-3-132584/>)

Korištenje 3D printera u simulaciji odnosi se na primjer na printanje realističnih kopija organa u medicini kako bi doktori i studenti mogli uvježbati zahvat ili bolje shvatiti odnos veličine i položaj određenog organa. Osim simulaciju u medicini se 3D printeri koriste i za izradu prilagođenih proteza i implantata. Ovo omogućava personaliziranu medicinsku njegu, poboljšavajući rezultate za pacijente uz to one zahtijevaju i mnogo manje vremena i resursa za proizvodnju pa im se i cijena automatski smanjuje te postaju mnogo pristupačnije širem krugu ljudi. Na primjer, 3D printane proteze mogu se prilagoditi individualnim potrebama pacijenta, što značajno poboljšava njihovu funkcionalnost i udobnost. Također, 3D printanje omogućava izradu složenih medicinskih uređaja koji su prilagođeni anatomiji pacijenta, što može poboljšati ishode kirurških zahvata. Prva isprintana proteza u medicini nastala je 2011 godine. Slijedeći veliki korak bio je 2014. godine kada su Nizozemski kirurzi pacijentici od 22 godine isprintali i ugradili gornji dio lubanje. Također iste godine pacijentu koji je bolovao od raka kostiju ugrađen je isprintani kralježak. Na slici 17 može se vidjeti primjer korištenja 3D printera u medicini [10].



Slika 17: Primjena 3D printera u medicini (Izvor: <https://healthcare-in-europe.com/en/news/3d-printed-implants-on-demand.html>)

U industriji filma i videoigara, 3D printeri se koriste za izradu fizičkih rekvizita i kostima. Ovi rekviziti, kao što su oružje, oklopi ili fantastični predmeti, često započinju kao digitalni modeli u softverima za računalnu grafiku. 3D printanjem, ti se digitalni modeli pretvaraju u stvarne objekte koji se koriste na filmskim setovima ili u promotivnim materijalima za videoigre. To omogućava stvaranje složenih i detaljnih predmeta koji bi inače bili teško ili nemoguće izraditi ručno.

3.6. Prednosti i nedostaci

Jedna od glavnih prednosti 3D printanja je brzina. 3D printeri mogu brzo izraditi prototipove i dijelove, smanjujući vrijeme razvoja proizvoda. Preciznost je također ključna prednost; moderni 3D printeri mogu proizvesti vrlo precizne dijelove s visokim stupnjem detalja. Prilagodljivost je još jedna važna prednost, jer 3D printanje omogućava izradu prilagođenih proizvoda prema specifičnim zahtjevima kupaca. Također, širok spektar materijala, uključujući plastiku, metal, keramiku i biološke materijale, omogućava različite primjene u raznim industrijama [6][7].

Unatoč brojnim prednostima, postoje i nedostaci 3D printanja. Troškovi mogu biti visoki, posebno za napredne 3D printere i specijalizirane materijale. Ograničenja veličine su također izazov, jer većina 3D printera ima ograničenja u veličini objekata koje mogu ispisati. Brzina proizvodnje može biti sporija u usporedbi s tradicionalnim metodama masovne proizvodnje, što može biti prepreka za veće serije proizvoda. Također, ne mogu svi 3D printani materijali pružiti iste mehaničke osobine kao materijali obrađeni tradicionalnim metodama, što može utjecati na trajnost i funkcionalnost printanih dijelova [6][7].

4. 3D Skener

3D skeniranje naziv je za proces skeniranja trodimenzionalnih objekata ili okoline u svrhu prikupljanja podataka uglavnom o obliku. Koriste se u velikoj mjeri u filmskoj i industriji igara no u i mnogim ostalim industrijama kao na primjer u medicini, automobilskoj industriji, zrakoplovstvu, nautici te mnogim drugim. Kako se koriste u mnogim industrijama tako imamo i mnogo vrsta različitih 3D skenera jer svaki ima neka svoja ograničenja kao na primjer 3D skener koji se zasniva na optici nije dobar za nautiku jer se javljaju problemu ukoliko se pokušava skenirati tamne, sjajne, reflektirajuće ili prozirne objekte [21].

4.1. Tehnologija skeniranja

3D model koji stvara 3D skener uglavnom je sačinjen od oblaka točaka na površini ili od poligonalne mreže, točke na površini modela koriste se za rekonstrukciju te ukoliko imamo dovoljno dobar skener koji prikuplja podatke i o bojama tih točaka moguće je odrediti i teksture i boje modela. 3D skeneri i kamere imaju nekoliko zajedničkih karakteristika naime oboje imaju vidno polje to jest oboje prikupljaju podatke samo o objektima koji nisu zaklonjeni. Bitna razlika kamera i 3D skenera je u tome što je glavni cilj kamere prikupiti podatke o boji objekta kojeg slikamo dok je glavni cilj skenera prikupiti podatke o udaljenostima točaka toga objekta. Kako bi dobili vjerodostojan 3D model objekta najčešće je potrebno napraviti nekoliko „Slika“ iz različitih kutova te ih kasnije poravnati i spojiti, taj proces naziva se registracija te nam je ona veoma bitna za stvaranje cjelovitog 3D modela [21].

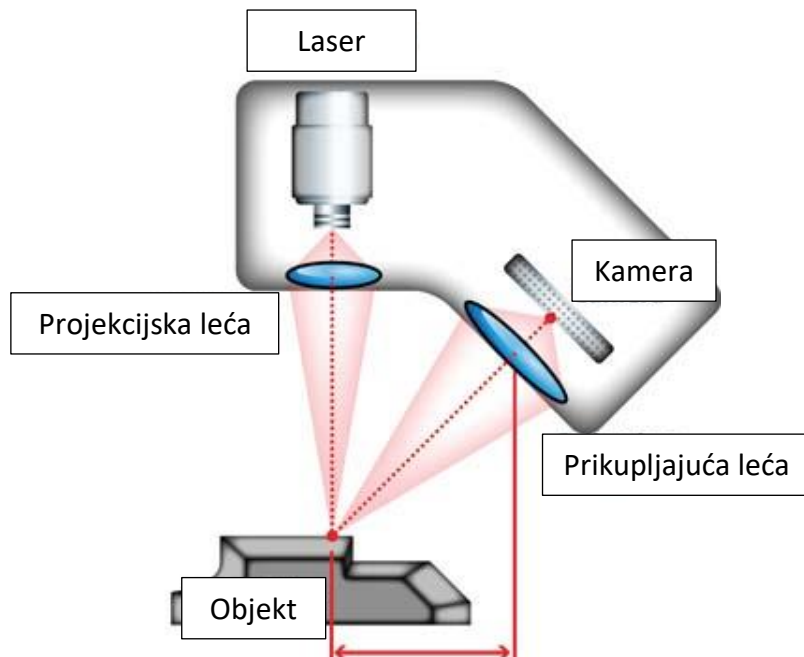
4.2. Vrste 3D skenera

Kao i kod 3D printera danas imamo sve veći i veći broj 3D skenera, kako to polje raste tako se i javljaju razne vrste ovisno o principu rada. U nastavku nalazi se podjela 3D skenera na 3D skenere za kratke udaljenosti, 3D skeneri za srednje i velike udaljenosti, koordinatni mjerni stroj, 3D skeneri i sustavi sa rukom i sondom te optički praćeni 3D skeneri i sustavi sa sondom [21].

4.2.1. 3D skeneri za kratke udaljenosti

3D skenere za kratke udaljenosti najbolje je podjeliti na laserske i strukturirane svjetlosne, oba skenera iako izgledaju veoma slično te se oba koriste za kratke udaljenosti njihov princip rada bitno se razlikuje.

Prvi su Laserski 3d skeneri, oni naime koriste tehniku trigonometrijske triangulacije za precizno snimanje 3D oblika u obliku milijuna točaka. Ovi skeneri funkcioniraju na način da projiciraju laserske linije na objekt te zatim hvataju njihov odraz pomoću senzora. Točne mjere točaka mogu se potom izračunati na osnovu kuta refleksije laserske zrake. Glavne dijelove takvog skenera moguće je vidjeti na slici 18 dok je primjer jednog takvog skenera vidljiv na slici 19. Glavne prednosti Laserskih 3D skenera su gotovo nikakva osjetljivost na promjenjive svjetlosne uvjete, često su prenosivi, mogu skenirati sjajne i tamne predmete te su veoma jednostavni za korištenje [21].

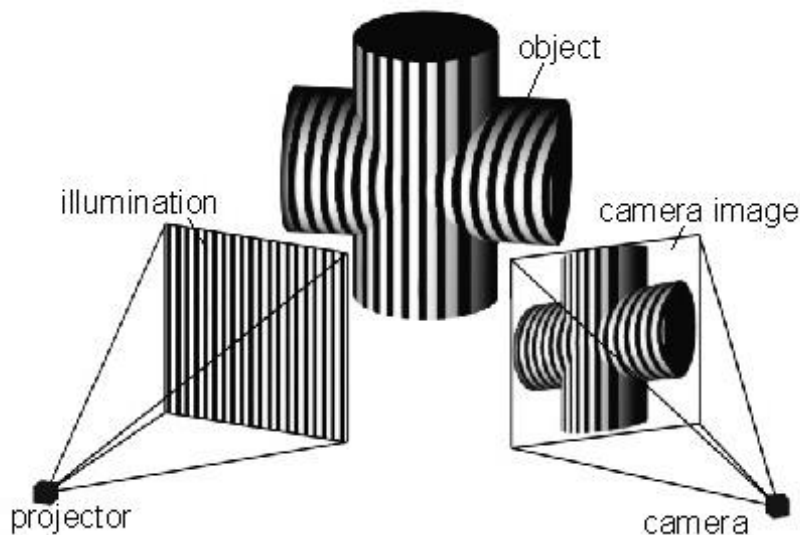


Slika 18: Glavni dijelovi Laserskog 3D skenera (Izvor: <http://anja-schneider.com/how-does-a-3d-scanner-work.html>)



Slika 19: Laserski 3D skener (Izvor: <https://www.imakr.com/shining3d-scanners/4837-shining3d-freescan-combo-handheld-3d-scanner>)

Nakon laserskih 3D skenera slijede strukturirani svjetlosni 3D skeneri od kojih većina danas koristi plavo ili bijelo LED projektirano svjetlo. Ovi skeneri projiciraju svjetlosni uzorak koji se sastoji od pruga, blokova ili drugih oblika na objekt. 3D skener ima jedan ili više senzora koji gledaju rubove tih uzoraka ili struktura kako bi odredili 3D oblik objekta. Koristeći istu trigonometrijsku metodu triangulacije kao i laserski skeneri, poznata je udaljenost od senzora do izvora svjetla. Strukturirani svjetlosni skeneri mogu se montirati na stativ ili držati u ruci. Ilustraciju principa rada takvih skenera moguće je vidjeti na slici 20. Prednosti Strukturiranih svjetlosnih 3D skenera su visoka rezolucija, veliko područje skeniranja, visoka točnost, kratko vrijeme skeniranja, pošto ne koriste lasere nisu štetni za oči [21].



Slika 20: Prikaz principa rada strukturalnih svjetlosnih 3D skenera (Izvor: <https://bitfab.io/blog/3d-structured-light-scanning/>)

4.2.2. 3D skeneri za srednje i velike udaljenosti

3D skeneri za duge udaljenosti dolaze u dva glavna formata - pulsni i fazni pomak – oba su dobro prilagođena za velike objekte poput zgrada, zrakoplova i većih vozila. Skeneri faznog pomaka također dobro rade za potrebe skeniranja srednjih udaljenosti kao što su automobili i industrijska oprema. Ovi skeneri hvataju milijune točaka rotirajući se 360 stupnjeva dok zrcalo preusmjerava laser prema objektu ili područjima koja se trebaju skenirati. Prednosti 3D skenera za srednje i velike udaljenosti su u tome što mogu vrlo brzo skenirati otprilike oni skeniraju do milijun točaka u sekundi, područje skeniranja im je vrlo veliko, prijenosni su te su vrlo točni [21].

Kod Laserskih pulsni skenera brzina svjetlosti je vrlo precizno poznata. Ako je poznato vrijeme koje laseru treba da dosegne objekt i reflektira se natrag do senzora, poznata je udaljenost od senzora do objekta. Ovi sustavi koriste krugove koji su precizni do pikosekundi kako bi uspjeli izmjeriti vrijeme koje je potrebno za povratak pulsova lasera do senzora te tako izračunali udaljenost. Rotiranjem skener može skenirati oko sebe. Jedan takav skener može se vidjeti na slici 21 [21].



Slika 21: Laserski pulsni 3D skener (Izvor: <https://3digital.tech/en-eu/products/scanxpert-fx-scanner3d-luce-strutturata>)

Sustavi laserskog faznog pomaka rade slično pulsni sustavima. Osim pulsiranja lasera, ovi sustavi također moduliraju snagu laserskog snopa i skener uspoređuje fazu lasera poslanog i vraćenog senzoru. Mjerenja faznog pomaka obično su preciznija i tiša, ali nisu toliko fleksibilna za skeniranje dugih udaljenosti kao pulsni 3D skeneri. Laserski pulsni 3D skeneri mogu skenirati objekte udaljene do 1000m, dok su skeneri faznog pomaka bolji za skeniranje objekata do 300m ili manje [21].

4.2.3. Koordinatni mjerni stroj

Koordinatni mjerni stroj ili kraće CMM koristi se prvenstveno za inspekciju dijelova. Stroj možemo kontrolirati ručno ili pomoću računala. Mjerenja se definiraju pričvršćivanjem sonde na stroj. Sonda obično ima malu kuglu poznatog promjera. CMM se zatim programira da kontaktira dio koji se skenira. Kada stroj osjeti kontakt vrha sonde, uzima se mjera u XYZ prostoru. Najčešća vrsta CMM-a je mostna vrsta koja ima 3 osi X, Y i Z. Sustav sondiranja koji je pričvršćen često može rotirati, pružajući dodatne 3 osi za ukupno 6 stupnjeva slobode (DOF). Za vrlo precizno mjerenje dijelova do nekoliko mikrona, CMM se obično postavlja u vrlo kontroliranoj inspekcijskoj prostoriji koja uključuje pojačani pod, kontroliranu vlažnost i temperaturu te izolaciju od vibracija i drugih sila koje bi mogle utjecati na točnost. Osim toga, većina CMM-ova ima veliku granitnu površinu koja je savršeno ravna. Dijelovi se pričvršćuju na granitnu površinu kako bi se spriječilo pomicanje tijekom procesa mjerenja. Primjer takvog 3D skenera nalazi se na slici 22.

Prednosti ovog tipa 3D skenera su iznimna točnost, naime jedan je od najtočnijih načina mjerenja. Uz točnost CMM-ova prednost je i tome što se njime mogu mjeriti i mali i veliki modeli te ih je jako puno različitih proizvođača na tržištu [21].



Slika 22: Koordinatni mjerni stroj (Izvor: <https://www.keyence.com/products/3d-measure/cmm/xm/>)

4.2.4. 3D skeneri i sustavi sa rukom i sondom

3D sustav skeniranja ili sondiranja s rukom sličan je koordinatnom mjernom stroju (CMM) po tome što može koristiti dodirnu sondu za mjerenje dijela. Osim sonde, mnogi sustavi s rukom također imaju pričvršćeni 3D laserski skener za prikupljanje velike količine točaka. Softver prati kretanje zgloba ruke kako bi uvijek znao gdje se nalazi u 3D prostoru. Sustavi s rukom rade tako da se artikulirana ruka pričvrsti na stol ili čvrstu bazu. Zatim se ruka drži ručkom na kraju i pomiče oko objekta za skeniranje. Glavna prednost ovih sustava je što su mnogo prjenosniji od CMM-a i mogu se koristiti u proizvodnom okruženju. Njegove glavne prednosti su prenosivost te točnost na malim do srednjim dijelovima objekta. Na slici 23 može se vidjeti jedan takav 3D skener [21].



Slika 23: Sustav sa rukom i sondom (Izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/faro-llp-3d-scanning-service-20657902348.html>)

4.2.5. Optički praćeni 3D skeneri i sustavi sa sondom

Optički praćeni sustavi za 3D skeniranje i sondiranje koriste set kamera za praćenje lokacije glave za 3D skeniranje ili sonde u 3D prostoru. Ovi sustavi nude prednosti u odnosu na sustave s rukom uključujući slobodu kretanja, bolju točnost na udaljenosti i mogućnost uključivanja "dinamičkog referenciranja". Sustavi dinamičkog referenciranja rade tako da pričvršćuju mete ili LED svjetla na objekt koji se skenira ili sondira. To omogućuje sustavu kamera da prati dio i glavu za skeniranje ili sondu odvojeno jedan od drugog. Konačni rezultat je da se dio može pomicati čak i tijekom skeniranja bez gubitka točnosti ili kvalitete podataka. Osim toga, sustav kamera se također može pomaknuti, te tako omogućuje skeniranje velikih dijelova u jednom postavljanju. Primjer jednog takvog 3D skenera može se vidjeti na slici 24[21].



Slika 24: Optički praćeni 3D skener (Izvor: <https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/shining-3d-freescan-trak/>)

4.3. Primjene u računalnoj grafici

3D skeneri u računalnoj grafici se koriste za animaciju, simulaciju i vizualne efekte točnije za digitalizaciju likova i objekata naime vrlo jednostavno i brzo moguće je skenirati objekt ili lika te ga koristiti prilikom montiranja filma za dodavanje specijalnih efekata. Uz to koristi se u animaciji i za mockup odnosno motion capture. Kombinacijom 3D skenera i motion capture-a omogućeno nam je stvaranje detaljnih animacija likova koji se kreću na realističan i prirodan način. Uz animaciju 3D skener igra veliku ulogu i u virtualnoj i proširenoj stvarnosti. Kako ne bismo morali sve objekte koje vidimo u VR-u i AR-u modelirati možemo ih jednostavno skenirati i doraditi ukoliko je potrebno. Na slici 25 vidljiv je primjer korištenja 3D skenera u AR-u [18].



Slika 25: Primjer primjene 3D skenera u računalnoj grafici (Izvor: <https://blog.salsita.ai/the-luxury-boom-how-ai-is-transforming-the-industry/>)

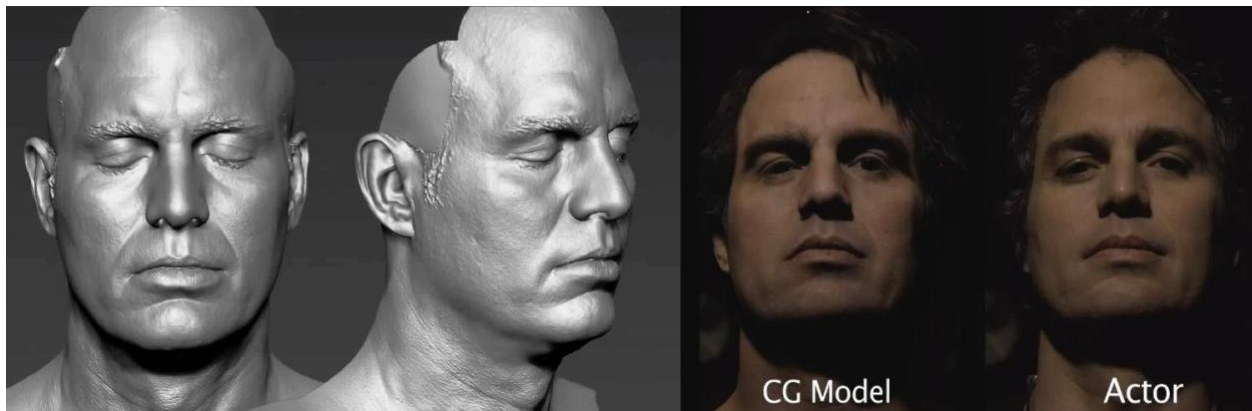
Kada govorimo o vizualizaciji najbolje bi bilo navesti arheologiju, naime Arheolozi se okreću inovativnim metodama kako bi otkrili i sačuvali drevne artefakte i arheološka nalazišta. Na slici 26 može se vidjeti skenirana glava Nefertiti. Jedan od takvih proboja je 3D skeniranje, alat koji je promijenio način na koji se pristupa arheološkim istraživanjima. Jedna od najznačajnijih prednosti 3D skeniranja u arheologiji je njegova sposobnost očuvanja krhkih artefakata i nalazišta. Tradicionalna iskopavanja i rukovanje često mogu uzrokovati nepopravljivu štetu delikatnim objektima. Za arheologe koji rade s oštećenim artefaktima ili djelomično uništenim strukturama, 3D skeniranje je neprocjenjivo. Bilježenjem postojećih fragmenata i nedostajućih dijelova, istraživači mogu digitalno rekonstruirati artefakte ili građevine, dajući nam uvid u njihov izvorni oblik. Kao i kod svake moćne tehnologije, 3D skeniranje također predstavlja etičke izazove u arheologiji. Pitanja se javljaju u vezi s odgovarajućom uporabom 3D skeniranja, posebno kada se radi o vraćanju kulturnih artefakata u njihove zemlje porijekla [11].



Slika 26: Primjena 3D skenera u digitalizaciji arheoloških nalazišta (Izvor: <https://www.myminifactory.com/object/3d-print-bust-of-nefertiti-at-the-egyptian-museum-berlin-2951>)

Što se simulacije tiče ona igra veoma bitu ulogu u medicini naime danas se doktori prije zahvata mogu uvježbavati na raznim simulacijama koju su napravljene upravo pomoću 3D skenera. Osim simulaciju u medicini se oni koriste i za izradu ortopedskih uređaja i proteza koje savršeno pristaju, prilagođavajući se točnim dimenzijama tijela pacijenta. Ova razina prilagodbe ne samo da osigurava bolju udobnost već i poboljšava učinkovitost ovih uređaja. 3D skeniranje igra ključnu ulogu u području rehabilitacije i fizikalne terapije. Stomatologija je još jedno područje gdje je 3D skeniranje donijelo bitne promjene, posebno u stvaranju dentalnih implantata. Tradicionalne metode dizajniranja dentalnih implantata često uključuju određenu dozu nagađanja i prilagodbi, što može dovesti do produženih vremena liječenja i nelagode za pacijenta. 3D skeniranje dramatično je promijenilo ovaj scenarij. Omogućujući precizna mjerenja i točno modeliranje oralne anatomije pacijenta, stomatološki stručnjaci sada mogu dizajnirati implantate koji savršeno pristaju već od početka [12].

Vizualni efekti napravljeni pomoću 3D skenera svakako se najčešće koriste u industriji zabave pomičući granice kreativnih mogućnosti u filmu, televiziji, video igrama i šire. Od pomno izrađenih rekvizita do realističnih digitalnih likova. 3D skeniranje u industriji zabave preoblikuje način na koji se zabavni sadržaj zamišlja i realizira. Povijesno gledano, filmski rekviziti izrađivali su se ručno, što je bio dugotrajan proces sklon ljudskim pogreškama. 3D skeniranje eliminira velik dio ovog ručnog rada. Fizički objekt se skenira, a rezultat toga odnosno digitalni model optimizira se u 3D datoteku za ispis ili se koristi kao referenca za digitalno oblikovanje. Ovo ubrzava radni tok, omogućujući brzu iteraciju i nenadmašnu preciznost u reprodukciji, osiguravajući da rekviziti savršeno odgovaraju estetici filma. 3D skeniranje također omogućuje filmašima i dizajnerima da digitalno repliciraju stvarne lokacije ili dizajniraju potpuno virtualna okruženja. Ovo može biti neprocjenjivo za izgradnju setova koji su teški ili nemogući za fizičku izgradnju ili kada je potrebno rekonstruirati povijesne lokacije. 3D skenovi postojećih lokacija također služe kao osnova za besprijekornu integraciju CGI elemenata, uvodeći digitalni i stvarni svijet na uvjerljiv način. Kako tehnologija 3D skeniranja nastavlja evoluirati, možemo očekivati njezinu još širu i inovativniju primjenu unutar industrije zabave [13].



Slika 27: Primjena 3D skenera u zabavnoj industriji (Izvor: <https://lanmarservices.com/2015/02/24/auto-extraction/>)

4.5. Prednosti i nedostaci

3D skeniranje nudi značajne prednosti kao što su visoka točnost mjerenja, što je ključno za inženjere, dizajnere i graditelje koji trebaju precizne podatke za stvaranje i repliciranje proizvoda. Ekonomičnost je još jedna prednost jer 3D skeniranje smanjuje troškove i vrijeme koje bi se inače potrošilo na ispravke pogrešaka u fizičkim modelima. Brža proizvodnja je također moguća zahvaljujući smanjenju opterećenja na zaposlenike i mogućnosti koncentracije na ključne dizajnerske probleme. Fleksibilnost u složenim dizajnim omogućuje manipulaciju postojećim modelima i njihovim potpunim prepravcima uz pomoć naprednih softverskih alata i opreme.

S druge strane, 3D skeniranje dolazi s nekoliko nedostataka. Oprema je često vrlo skupa, što može predstavljati značajnu investiciju za stvaranje visokokvalitetnih modela. Također, za rad s 3D skenerima potrebni su specijalisti s posebnim vještinama i obukom, što može predstavljati dodatni izazov. Manjak radne snage može biti problem zbog zamjene ljudskih uloga strojevima i alatima poput 3D skenera i pisaa. Konačno, 3D skeneri zahtijevaju redovito održavanje zbog mehaničkih dijelova koji se s vremenom troše, što može utjecati na njihovu dugotrajnu učinkovitost [14].

5. Materijali

Kako je upotreba 3D tehnologija veoma široka tako postoji i mnogo različitih vrsta materijala kako bi svaka industrija našla sebi onaj koji joj najviše odgovara. Naprimjer imamo izdržljivije plastike i one manje izdržljive, one manje izdržljive najčešće se koriste prilikom izrade prototipa iz razloga što su i cjenovno pristupačnije od ostalih. Autoindustrija zahtjeva izdržljivije plastike ili čak metal dok recimo kućna uporaba ne zahtjeva toliko izdržljivije materijale [15].

5.1. Filament

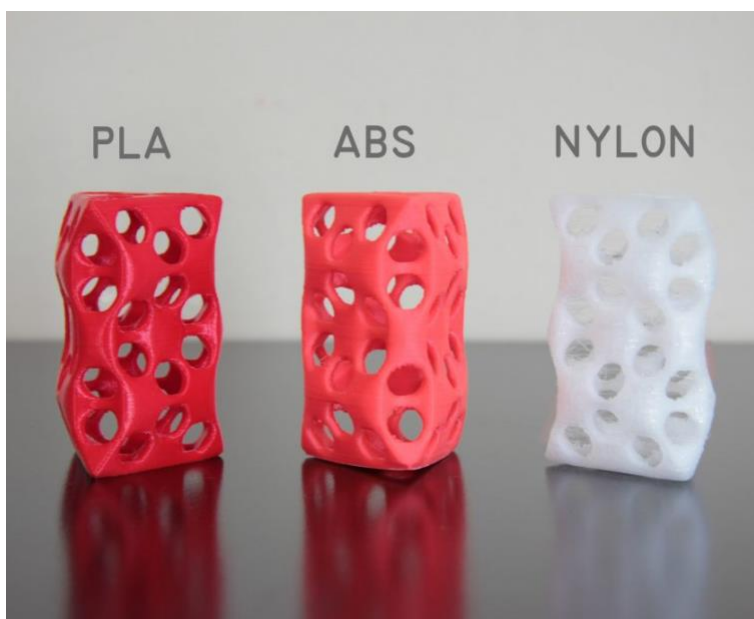
Filament je jedan od najčešće korištenih materijala za 3D printanje u svijetu danas. Filament je zapravo jedan kontinuirani tanki plastični konac dug stotine metara, koji se obično namotava na kolut radi skladištenja i upotrebe u printeru. Najčešće vrste tog filameta danas su PLA i ABS. PLA odnosno Polilaktična kiselina je materijal koji dobivamo iz kukuruznog škroba odnosno šećerne trske. Iz razloga što je prirodnog porijekla PLA filament nije iznimno otporan na udarce i visoke temperature no vrlo lako se pigmentira i cjenovno je prihvatljiv te je upravo on zato najbolji izbor većini hobista. ABS filament odnosno Akrilonitril-Butadien-Stiren nešto je otporniji od PLA filameta no on zahtjeva mnogo veću temperaturu za printanje i cjenovno je nešto skuplji, uz to kako nije prirodnog porijekla prilikom otapanja u printeru otpušta neugodne mirise. Uz PLA i ABS danas postoji mnogo drugih filameta kao na primjer elastičnih, onih sličnih staklu, najlonskih te mnogih drugih no PLA i ABS i dalje su najčešći. U slijedećoj tablici možemo vidjeti usporedbu ABS i PLA filameta [17].

Značajka	PLA	ABS
Materijal	Biorazgradiv termoplastik dobiven iz obnovljivih izvora	Naftni derivat, nije biorazgradiv
Temperatura ispisa	od 180 do 220 °C	od 220 do 250 °C
Temperatura podloge	od 20 do 60 °C	od 80 do 110 °C
Skupljanje	Minimalno	Veće no može se iskriviti prilikom hlađenja
Tvdoća	Krut no može biti lomljiv	Izdržljiv i čvrst, fleksibilniji na PLA
Otpornost na udarce	Niža otpornost na udarce	Izdržljiviji
Otpornost na toplinu	Manja otpornost na toplinu	Veća otpornost na više temperature
Otpornost na UV zrake	Može izbljediti na suncu	Otporan na UV zračenje
Upotreba	Za početnike, kućne dekoracije i prototipove	Koristi se za mehaničke odnosno funkcionalne djelove
Dovršna obrada	Može se brusiti i bojiti	Može se brusiti, bojati te kemijski zaglađivati acetonom

Tablica 1: Usporedba PLA i ABS materijala



Slika 5: Primjer filamenata za 3D printere i olovke (Izvor: <https://makenica.com/types-of-3d-printer-filaments-and-their-uses-part-1/>)



Slika 29: Usporedba raznih materijala na modelu (Izvor: <https://opentotum.github.io/fabtotum.com-backup/filaments/index.html>)

5.2. Smola

Korištenje smole u 3D ispisu postalo je vrlo popularno zbog preciznosti i visoke kvalitete ispisa koje omogućuje, posebice u tehnologijama kao što su SLA (stereolitografija) i DLP (digital light processing). Smola omogućuje izradu vrlo detaljnih i preciznih modela s glatkom površinom, smanjujući potrebu za dodatnim post-obrađivanjem. Postoje različite vrste smola prilagođene za specifične primjene, uključujući fleksibilne, visokootporne i biokompatibilne smole. Međutim, smola može biti krhka nakon stvrdnjavanja. Smola je često skuplja u usporedbi s filamentima korištenima u FDM ispisu, s cijenama koje variraju ovisno o formulaciji i kvaliteti. Isprintani objekti obično zahtijevaju dodatne korake post-procesiranja, uključujući ispiranje u alkoholu kako bi se uklonila višak smole i naknadno stvrdnjavanje pod UV svjetlom. Smola se često koristi za izradu vrlo detaljnih prototipova u industrijama poput elektronike, automobilske industrije, medicinskih uređaja i nakita. Zbog visoke razine detalja i glatke površine, smola se također koristi i za izradu dentalnih pomagala, proteza i ukrasnih predmeta [15].

5.3. Prah

Korištenje praha u 3D ispisu pruža brojne prednosti, posebice u tehnologijama kao što su SLS i MJF. Prah omogućuje izradu vrlo detaljnih i kompleksnih geometrija s visokom preciznošću i mehaničkom čvrstoćom. Postoje različite vrste praha, uključujući metalne, keramičke i plastične, što omogućuje široku primjenu u industrijama kao što su zrakoplovstvo, automobilska industrija i medicina. Prednosti korištenja praha uključuju visoku rezoluciju i mogućnost izrade dijelova bez potpornog materijala, što smanjuje troškove i vrijeme post-procesiranja. Međutim, prah može biti skup, a cijena varira ovisno o materijalu i kvaliteti. Također, rad s prahom zahtijeva posebne sigurnosne mjere, uključujući zaštitnu opremu i ventilaciju, zbog opasnosti od udisanja finih čestica. Nakon ispisa, dijelovi obično zahtijevaju dodatne korake post-procesiranja, kao što su uklanjanje viška praha i naknadno stvrdnjavanje ili pečenje kako bi se postigla optimalna mehanička svojstva [15].

6. Usporedba 3D olovke i 3D printera i 3D skenera te praktični rad

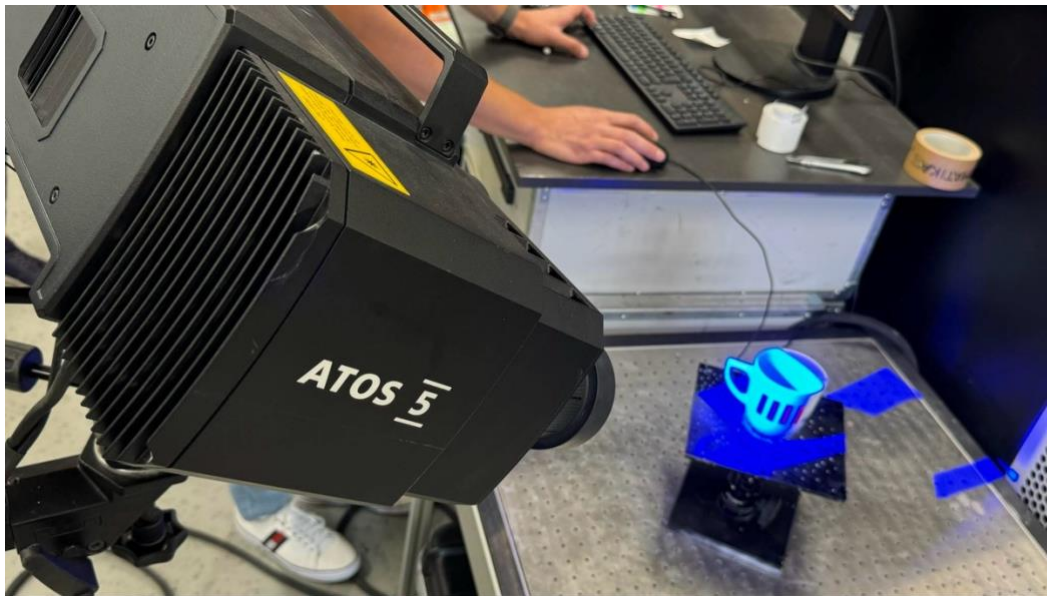
U nastavku se nalazi tablica sa usporedbom svake od tri 3D tehnologije po određenim kriterijima kako bi se ukratko vidio presjek tehnologija te koja je za što najbolja.

Kriterij	3D olovka	3D printer	3D skener
Princip rada	Ručno ekstrudiranje filameta kroz ekstruder	Automatizirano i slojevito dodavanje materijala	Skeniranje objekta s pomoću svjetla, lasera ili druge tehnologije za stvaranje digitalnog modela
Preciznost	Niska – ovisi o preciznosti čovjeka koji upravlja njome	Veoma visoka	Veoma visoka, ovisi o rezoluciji skenera i tehnici skeniranja
Brzina	Za jednostavnije modele brža od printera, no za složenije često sporija	Varira, najčešće je brža za složenije modele	Ovisi o veličini i složenosti objekta; može biti brzo za male objekte, ali sporije za velike ili složene objekte
Cijena	Otprilike 100 eura	Od nekoliko stotina do nekoliko tisuća eura	Od nekoliko stotina do nekoliko tisuća eura, ovisno o tipu i kvaliteti skenera
Potrebno predznanje	Minimalno	Potrebno je poznavanje alata za modeliranje i osnove rada sa samim printerom	Potrebno je osnovno razumijevanje 3D tehnologije i rada s softverom za obradu skeniranih podataka
Prenosivost	Lagana i kompaktna	Obično su veliki i teški	Ovisno o vrsti skenera; ručni skeneri su prenosivi, dok su stacionarni skeneri veći i manje mobilni
Primjena	Najčešće popravci i jednostavniji prototipi	Kompleksniji prototipi te izrada funkcionalnih dijelova	Digitalizacija stvarnih objekata za potrebe 3D modeliranja, izrade replika, kontrole kvalitete, medicinskih i industrijskih aplikacija
Glasnoća	Vrlo tiha	Ponekad zna biti dosta bučan	Obično vrlo tiha; neki skeneri mogu proizvoditi blagi zvuk tijekom rada
Održavanje	Jednostavno, uključuje čišćenje ekstrudera	Nešto kompliciranije, zahtjeva kalibraciju te dosta čišćenja raznih dijelova	Podrazumjeva kalibraciju skenera; općenito manje održavanja u usporedbi s 3D printerima

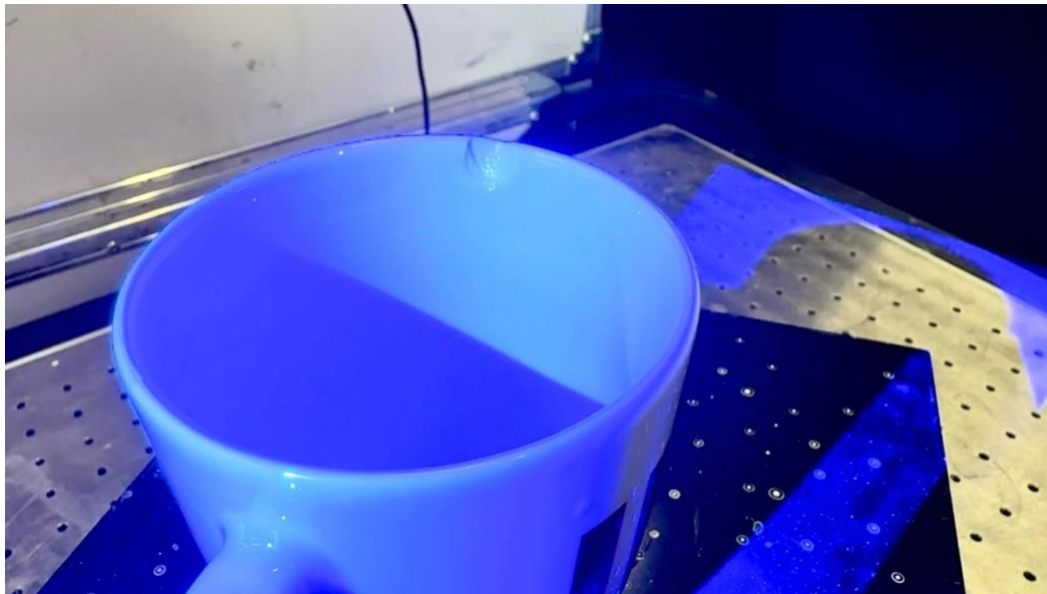
Vrijeme pripreme	Odmah spremna za korištenje	Potrebno je vrijeme za pripremu i postavljanje	Potrebno određeno vrijeme za kalibraciju skenera i postavljanje objekta, ali obično brže od pripreme 3D printera
Složenost modela	Najčešće za jednostavnije modele	Može se koristiti i za detaljnije modele	Može skenirati vrlo složene modele s visokim stupnjem detalja, ovisno o rezoluciji skenera
Veličina modela	Nema nekog ograničenja.	Ograničena je veličinom platforme i visinom printera	Ovisi o veličini skenera i skeniranog objekta; neki skeneri mogu raditi samo s manjim objektima, dok su drugi sposobni skenirati velike objekte
Materijali	ABS, PLA te drugi plastični filamenti	Pogodan za različite vrste materijala	Ne odnosi se na materijale, već na sposobnost skeniranja različitih površina; određeni skeneri bolje funkcioniraju s određenim teksturama i materijalima

Tablica 2: Usporedba 3D printera, 3D olovke i 3D skenera

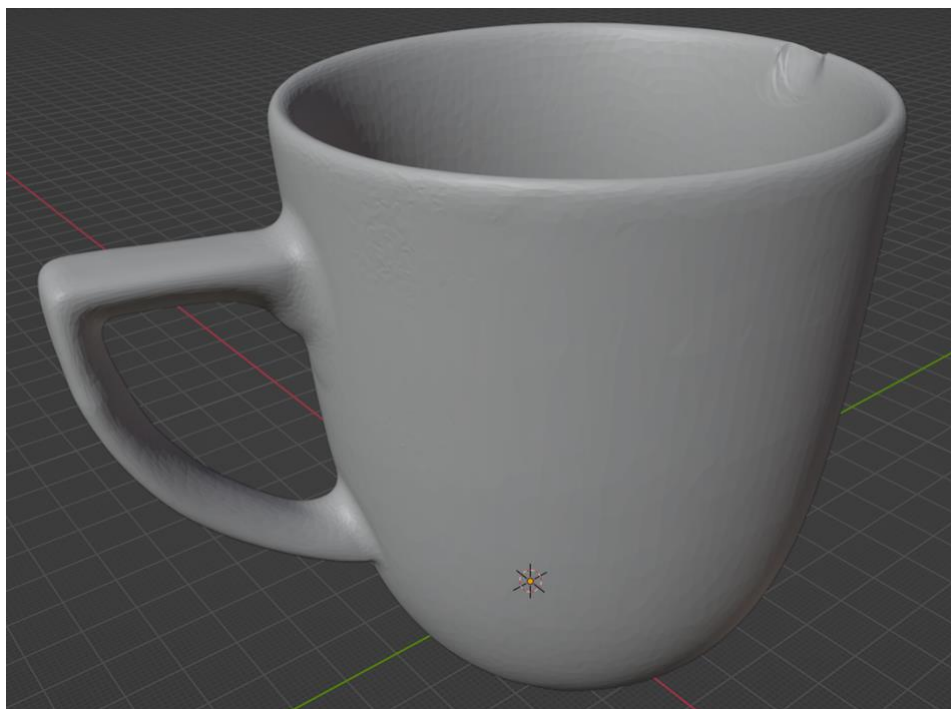
Kako bi se sve tri 3D tehnologije iskoristile na najbolji mogući način za praktični rad skenirana je šalica koja je kasnije isprintana na 3D printeru te je pomoću 3D olovke ona dorađena. Šalica je skenirana pomoću ATOS 5 3D skenera. Manje je poznata činjenica da je ATOS 3D skener jedan od najprodavanijih a u razvoju je sudjelovao Dr. sc. Mladen Gomerčić. ATOS skener spada u vrstu strukturiranih svjetlosnih 3D skenera, on kako je ranije navedeno projicira na predmet paralelne linije koje zatim pomoću dvije kamere snima. Takvi skeneri koriste se dvije kamere kako bi se kao i kod ljudskog vida dobila prostorna predodžba okoline. Uz pomoć kamera i softvera na modelu se određuje veliki broj točaka, u prilogu se nalaze dvije verzije stl datoteka, jedna koja ima 1,8 milijuna referentnih točaka i jedna sa 20 000 koja je i printana. U stl datotekama i na slikama u nastavku na slici 31 moguće je vidjeti da je šalica sa unutarnje strane malo okrhnutu. Namjerno je odabrana upravo takva šalica kako bi se vidjela razina detalja prilikom skeniranja, a i printanja predmeta [22].



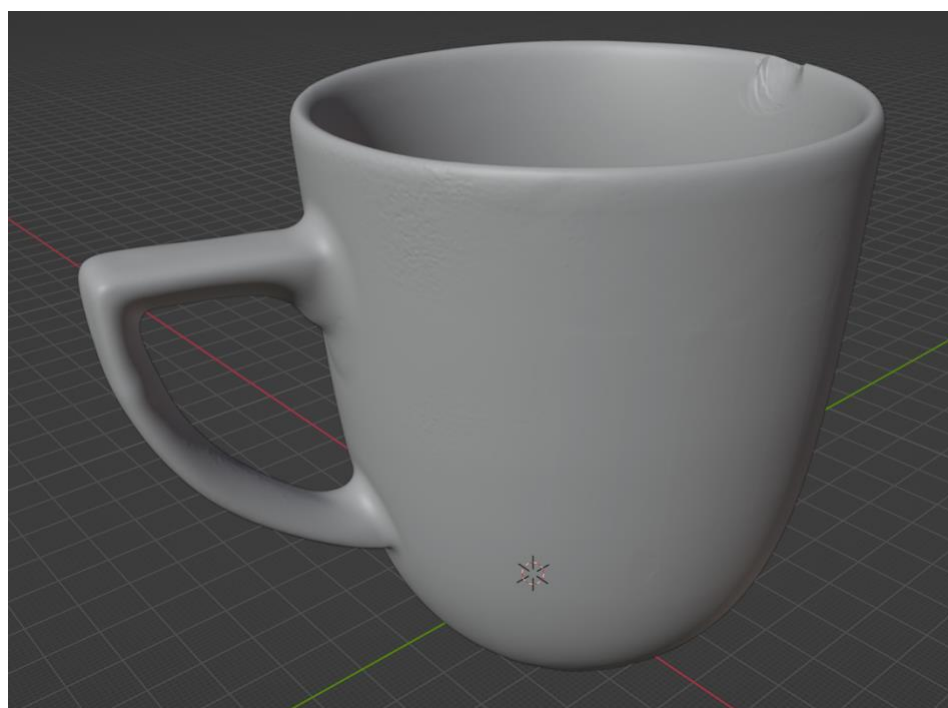
Slika 30: Proces 3D skeniranja šalice 3D skenerom ATOS 5



Slika 31: Prikaz oštećenja na šalici prilikom skeniranja

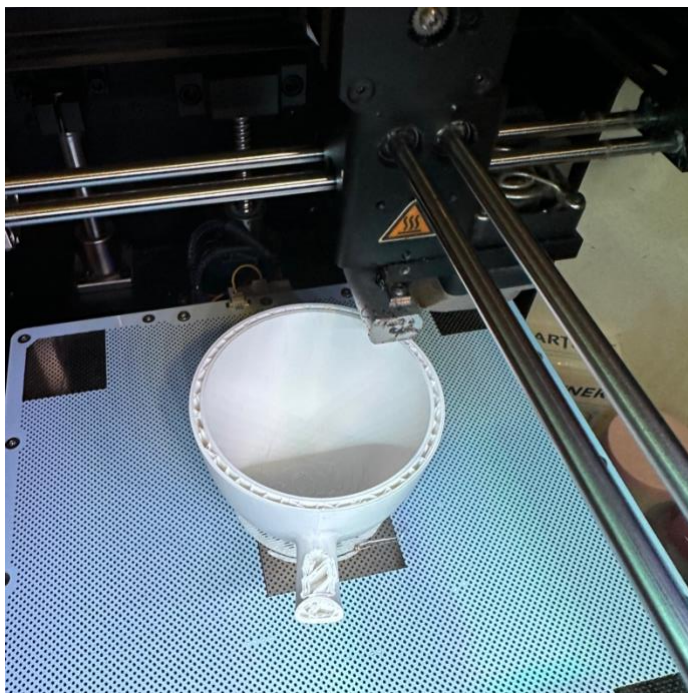


Slika 6: 3D sken šalice sa 20 000 referentnih točaka



Slika 33: 3D sken šalice sa 1,8 miliona referentnih točaka

Za printanje manje detaljne šalice sa postavkama koje su bile slijedeće: debljina pojedinog sloja 0,09 milimetara, visoka kvaliteta te postotak ispunje na 30% uz korištenje ABS filameta bilo je potrebno gotovo 11 sati printanja. Proces printanja može se vidjeti na slici 34. dok se rezultat printanja može vidjeti na slici 35. Isprintana šalice ima sitnijih nepravilnosti no bitno je napomenuti da je printana na kućnom printeru a ne na industrijskim printerima te su onda takvi printeri automatski skloniji greškama.



Slika 34: Proces printanja šalice



Slika 35: Isprintana šalice

Nakon uspješnog printanja okrhnuti dio šalice pokušao sam popraviti korištenjem 3D olovke. Za popravak korišten je isti filament kao i za printanje kako bi se popravak što manje vidio, razliku prije popravka i nakon moguće je vidjeti na slici 36. Nakon popravka šalicu je bilo potrebno izbrusiti kako bi izgledalo što bolje.



Slika 36: Šalica prije i poslje popravka pomoću 3D olovke

7. Budućnost 3D tehnologije

3D olovke su relativno nova tehnologija koja omogućava korisnicima da crtanjem u zraku stvore trodimenzionalne objekte. Iako su trenutno popularne u kreativnim industrijama, njihov potencijal ide daleko izvan toga. U budućnosti bi 3D olovke mogle postati standardni alat u obrazovanju, omogućujući studentima da vizualiziraju i kreiraju složene geometrijske oblike, arhitektonske modele ili čak biološke strukture. Kako tehnologija napreduje, očekuje se da će 3D olovke postati preciznije, lakše za korištenje i pristupačnije, što će otvoriti nove mogućnosti u dizajnu, medicini i personaliziranoj proizvodnji.

3D printeri su već prepoznati kao tehnologija koja mijenja pravila igre u proizvodnji. Budućnost 3D printanja obećava daljnji razvoj u smjeru masovne personalizacije proizvoda, što znači da će korisnici moći sami dizajnirati i ispisivati predmete koji su prilagođeni njihovim specifičnim potrebama. U industriji, 3D printeri bi mogli omogućiti decentraliziranu proizvodnju, gdje se dijelovi proizvode na licu mjesta, smanjujući potrebu za transportom i skladištenjem. U medicini, 3D printanje kako je ranije navedeno već omogućava izradu prilagođenih proteza i implantata, a budućnost bi mogla donijeti mogućnost printanja funkcionalnih organa za transplantaciju. Razvoj novih materijala za printanje, uključujući bio-materijale, metalne legure i pametne materijale, također će proširiti primjenu 3D printera.

3D skeneri su ključni alat u digitalizaciji fizičkih objekata. Njihova budućnost leži u daljnjem povećanju preciznosti i brzine skeniranja, što će omogućiti detaljnije i brže stvaranje digitalnih modela. Integracija 3D skenera s drugim tehnologijama, poput virtualne i proširene stvarnosti (VR/AR), otvara nove mogućnosti u područjima poput arhitekture, restauracije kulturne baštine, pa čak i online trgovine, gdje bi korisnici mogli „isprobati“ proizvode u virtualnom okruženju prije kupovine. U medicini, precizni 3D skeneri omogućit će personaliziranu dijagnostiku i planiranje kirurških zahvata.

8. Zaključak

3D tehnologije, uključujući 3D olovke, 3D printere i 3D skenere, predstavljaju revoluciju u načinu na koji stvaramo, dizajniramo i komuniciramo s trodimenzionalnim objektima u digitalnom i fizičkom svijetu. Ove tehnologije omogućuju korisnicima ne samo da zamisle složene 3D strukture, već i da ih realiziraju ili digitaliziraju s visokim stupnjem preciznosti i kreativnosti. Kroz ovaj rad istražene su različite primjene ovih tehnologija, naglašavajući njihovu važnost u industrijama kao što su medicina, umjetnost, arheologija i inženjering, gdje one omogućuju inovacije i poboljšanje tradicionalnih procesa.

U budućnosti se očekuje daljnje poboljšanje ovih tehnologija u smislu preciznosti, brzine, dostupnosti i prilagodljivosti. 3D printeri će postati brži i precizniji, 3D skeneri će omogućiti još detaljniju digitalizaciju, a 3D olovke će nastaviti evoluirati, pružajući korisnicima još intuitivniji alat za kreativno izražavanje. Također, možemo očekivati širu dostupnost ovih tehnologija, što će omogućiti većem broju ljudi da sudjeluju u 3D dizajnu i proizvodnji, potičući daljnje inovacije i stvaranje.

Zaključno, 3D tehnologije već danas imaju ogroman utjecaj na računalnu grafiku i druge povezane discipline, a njihov daljnji razvoj nastavit će oblikovati budućnost dizajna, proizvodnje i kreativnog izražavanja. Kako se ove tehnologije nastavljaju usavršavati, možemo očekivati da će postati još integriraniji dio svakodnevnog života, pružajući neograničene mogućnosti za inovacije i transformaciju u mnogim industrijama.

9. Popis slika i tablica

Slika 1: Glavni dijelovi 3D olovke (Izvor: https://protomont.com/3d-printing-pen/)	7
Slika 2: Zortrax M200 3D printer (Izvor: https://printer3d.hr/shop/zortrax-m200-plus/)	10
Slika 3: Glavni dijelovi FDM 3D printera (Izvor: https://courses.ideate.cmu.edu/62-478/s2017/3dprint/m200/start/).....	11
Slika 4: Glavni dijelovi SLA printera (Izvor: https://www.making.unsw.edu.au/learn/3d-printing-with-sla-resin-printers/).....	11
Slika 5: SLA 3D printer (Izvor: https://www.foundry.babson.edu/sla-printers).....	12
Slika 6: Primjeri SLS printera (Izvor: https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/)	12
Slika 7: Glavni dijelovi SLS printera (Izvor: https://www.printpool.co.uk/articles/design-for-sls-3d-printing-the-ultimate-guide).....	13
Slika 8: Glavni dijelovi DLP printera (Izvor: https://www.zongheng3d.com/dlp-3d-printing-comprehensive-guide/).....	14
Slika 9: DLP 3D printer (Izvor: https://store.anycubic.com/products/photon-d2-dlp-3d-printer).....	13
Slika 10: Glavni dijelovi Binder Jetting 3D printera (Izvor: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/)	14
Slika 11: Slika Binder Jetting 3D printera (Izvor: https://amfg.ai/2018/04/27/top-5-binder-jetting-machines/)	15
Slika 12: Multi Jet Fusion 3D printer (Izvor: https://forgelabs.ca/multi-jet-fusion-mjf/).....	15
Slika 13: Glavni dijelovi Multi Jet Fusion 3D printera (Izvor: https://rapidfab.ricoh-europe.com/technologies/mjf-printing/).....	16
Slika 14: Primjer prototipiranja u automobilskoj industriji (Izvor: https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-automotive-industry-3-132584/).....	17
Slika 15: Primjena 3D printera u medicini (Izvor: https://healthcare-in-europe.com/en/news/3d-printed-implants-on-demand.html)	18
Slika 16: Laserski 3D skener (Izvor: https://www.imagr.com/shining3d-scanners/4837-shining3d-freescan-combo-handheld-3d-scanner)	21
Slika 17: Glavni dijelovi Laserskog 3D skenera (Izvor: http://anja-schneider.com/how-does-a-3d-scanner-work-k.html)	21
Slika 18: Prikaz principa rada strukturalnih svjetlosnih 3D skenera (Izvor: https://bitfab.io/blog/3d-structured-light-scanning/)	22
Slika 19: Laserski pulsni 3D skener (Izvor: https://3digital.tech/en-eu/products/scanxpert-fx-scanner3d-luce-strutturata).....	23
Slika 20: Sustav laserskog faznog pomaka (Izvor: https://www.sepltd.com/shop/product/farofocus-core-laser-scanner/)	23
Slika 21: Koordinatni mjerni stroj (Izvor: https://www.keyence.com/products/3d-measure/cmm/xm/).....	24
Slika 22: Sustav sa rukom i sondom (Izvor: https://www.indiamart.com/proddetail/faro-llp-3d-scanning-service-20657902348.html).....	25
Slika 23: Optički praćeni 3D skener (Izvor: https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/shining-3d-freescan-trak/)	26
Slika 24: Primjer primjene 3D skenera u računalnoj grafici (Izvor: https://blog.salsita.ai/the-luxury-boom-how-ai-is-transforming-the-industry/)	26

Slika 25: Primjena 3D skenera u digitalizaciji arheoloških nalazišta (Izvor: https://www.myminifactory.com/object/3d-print-bust-of-nefertiti-at-the-egyptian-museum-berlin-2951).....	27
Slika 26: Primjena 3D skenera u zabavnoj industriji (Izvor: https://lanmarservices.com/2015/02/24/auto-extraction/).....	28
Slika 27: Usporedba raznih materijala na modelu (Izvor: https://opentotum.github.io/fabtatum.com-backup/filaments/index.html)	30
Slika 28: Primjer filamenata za 3D printere i olovke (Izvor: https://makenica.com/types-of-3d-printer-filaments-and-their-uses-part-1/).....	30
Slika 29: Proces 3D skeniranja šalice 3D skenerom ATOS 5.....	34
Slika 30: Prikaz oštećenja na šalici prilikom skeniranja	34
Slika 31: 3D sken šalice sa 1,8 miliona referentnih točaka.....	35
Slika 32: 3D sken šalice sa 20 000 referentnih točaka	35
Slika 33: Proces printanja šalice.....	36
Slika 34: Isprintana šalina	36
Slika 35: Šalina prije i poslje popravka pomoću 3D olovke	37
Tablica 1: Usporedba PLA i ABS materijala	29
Tablica 2: Usporedba 3D printera, 3D olovke i 3D skenera	33

10. Bibliografija

- [1] Proto3000. What is FDM 3D Printing Technology | Fused Deposition Modeling Additive Manufacturing. (09.03.2016). Pristupljeno: 12.07.2024. [Online Video]. Poveznica: <https://www.youtube.com/watch?v=GxLjDNrQBgs>
- [2] Formlabs. Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing: How Resin 3D Printers Work. (28.03.2017). Pristupljeno: 12.07.2024. [Online Video]. Poveznica: <https://www.youtube.com/watch?v=8a2xNaAkvLo>
- [3] Xometry. How Does Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing Work? (19.03.2023). Pristupljeno: 12.07.2024. [Online Video]. Poveznica: <https://www.youtube.com/watch?v=sRC8W77MlrY>
- [4] Mad Jackalope. How Resin 3D-Printing Works. (18.04.2022). Pristupljeno: 12.07.2024. [Online Video]. Poveznica: <https://www.youtube.com/watch?v=gMRUIZegFLA>
- [5] Voxeljet. How does the Binder Jetting 3D printing process work?. (12.03.2018) Pristupljeno: 12.07.2024. [Online Video]. Poveznica: <https://www.youtube.com/watch?v=hjIoGPZPNjU>
- [6] What is 3D Printing?, 3dprinting.com. Prezeto: 12.07.2024 sa: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- [7] Guide to 3D Printing, Formlabs. Preuzeto 14.07.2024 sa: <https://formlabs.com/eu/3d-printers/>
- [8] 3D olovka: Vodič za početnike, Tonerpartner (2.9.2022). Preuzeto 12.07.2024 sa <https://www.tonerpartner.hr/clanci/3d-olovka-vodic-za-pocetnike-27083hr39018/>
- [9] Multi Jet Fusion (MJF) 3D Printing Technology Overview, Xometry (8.9.2023) preuzeto 13.07.2024 sa https://xometry.pro/en-uk/articles/3d-printing-mjf-overview/?gad_source=1&gbraid=0AAAAA-DWaco5OvQtsVmz5HpIME2EIBXZv&gclid=CjwKCAjwreW2BhBhEiwAavLwfPhp-oseQ72bsNyvog12wXxn43V2PgFBetcJZrGZMIe2gDcoTV7uzhoCab8QAvD_BwE
- [10] 3D Printing: 10 Examples of How It Has Changed Medicine, Medscape. Preuzeto: 15.07.2024 sa: <https://shorturl.at/WqK7j>
- [11] Unravelling the Past: Using 3D Scanning in Archaeology, 3dscannersuk. Preuzeto 15.07 sa: <https://3dscanners.co.uk/news-events/unravelling-the-past-using-3d-scanning-in-archaeology/>
- [12] 3D Scanning in the Medical Field, Surphaser. Preuzeto 15.07.2024 sa: <https://surphaser.com/blog/3d-scanning-in-the-medical-field/>
- [13] 3D Scanning in the Entertainment Industry: Behind the Scenes, Surphaser. Preuzeto 15.07.2024 sa: <https://surphaser.com/blog/3d-scanning-in-the-entertainment-industry-behind-the-scenes/>

- [14] 3D Scanning: Breaking Down the Pros and Cons, dms.com.ph. Preuzeto 16.07.2023 sa: <https://www.dms.com.ph/blog/3d-scanning-breaking-down-the-pros-and-cons/>
- [15] Guide to 3D Printing Materials: Types, Applications, and Properties, Formlabs. Preuzeto 15.07.2024 sa: <https://formlabs.com/eu/blog/3d-printing-materials/>
- [16] 3D scanning and virtual reality, Mehatronics Inovation Lab, Preuzeto 16.07.2024 sa: <https://mil-as.no/en/index.php/3d-scanning-og-vr/>
- [17] Košir Marija, Filamenti za 3D ispis. 3DPrintaj, 23.04.2021.
- [18] Natalia Kivolya, What are 3D scanners used for? Artec3D, 19.06.2019
- [19] 3D Pen Vs. 3d Printer: A Complete Guide, Elegoo (26.08.2021). preuzeto 12.07.2024 sa: <https://www.elegoo.com/blogs/learn/3d-pen-vs-3d-printer-a-complete-guide?srsId=AfmBOorogHUioKMAqUXruCatp4g1k78gaNUQumEouVhH77eBaypLqXxP>
- [20] How 3d Printing Is Shaping The Cars Of Today, Massivit. Preuzeto: 13.07.2024 sa: <https://shorturl.at/ztEnF>
- [21] Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies, ems-usa.com. Preuzeto: 14.07.2024 sa: <https://www.ems-usa.com/3d-knowledge-center/3d-scanning-knowledge-center/types-of-3d-scanners-and-3d-scanning-technologies/>
- [22] Sanja Zorić Bandula, Najprodavaniji 3D skener na svijetu konstruirao je Hrvat. CMYK, 21.10.2001
- [23] The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today, Sculpteo. Preuzeto 10.08.2024 sa: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>

11. Prilozi

https://drive.google.com/file/d/1tHepQEMdkII4xP9rEKm7ObczKlzyYXHU/view?usp=share_link

https://drive.google.com/file/d/1fA3duEjGj0ad8LDzmdlz9tn6qKMR45Kh/view?usp=share_link