

# Usporedba tehničkih karakteristika 3D pisača

---

**Jozić, Renato**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:900521>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

# ZAVRŠNI RAD

Renato Jozić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Tehničko – tehnološki

ZAVRŠNI RAD  
USPOREDBA TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA 3D  
PISAČA

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Dubravko Banić

Student:

Renato Jozić

Zagreb, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Getaldićeva 2**

**Zagreb, 11. 9. 2023.**

Temeljem podnjetog zahtjeva za prijavu teme završnog rada izdaje se

## **RJEŠENJE**

kojim se studentu/ici Renatu Joziću, JMBAG 0128066631, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada završnog rada, pod naslovom: Usporedba tehničkih karakteristika 3D pisača, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Dubravka Banića.

Sukladno čl. 9. st. 1. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, Povjerenstvo za nastavu, završne i diplomske ispite predložilo je ispitno Povjerenstvo kako slijedi:

1. doc. dr. sc. Itrić Ivanda Katarina, predsjednik/ica
2. izv. prof. dr. sc. Banić Dubravko, mentor/ica
3. izv. prof. dr. sc. Kulčar Rahela, član/ica



## Sažetak

Ovaj završni rad temelji se na usporedbi tehničkih karakteristika 3D pisača, te istražuje njihovu primjenu, održavanje i organizaciju korištenja. U uvodu rada istražen je razlog izbora teme, postavljeni su ciljevi istraživanja i predstavljeni očekivani rezultati.

Kroz analizu različitih tehnologija ispisa poput *Fused Deposition Modelling* (FDM), *Stereolithography* (SLA), *Powder Bed Fusion* (PBF) te drugih, identificirane su njihove prednosti i ograničenja. Istraživanjem održavanja, prepoznate su strategije popravka kvarova kao što su reaktivno, proaktivno, preventivno i prediktivno održavanje, svaka s vlastitim pristupom i prednostima.

Posebna pažnja posvećena je organizaciji korištenja 3D printera putem evidencijske liste plana i termina. Ova lista omogućava bolje upravljanje resursima, praćenje korištenja i optimizaciju rasporeda, čime se osigurava učinkovita upotreba uređaja.

Zaključak rada ističe važnost 3D ispisa u suvremenom svijetu, uz naglasak na potrebu razumijevanja tehničkih karakteristika i pravilnog održavanja 3D pisača. Rad se zaključuje naglašavanjem budućeg potencijala ovih tehnologija u različitim industrijama te potrebu za nastavkom istraživanja u ovom dinamičnom području.

Ukupno, ovaj rad pruža dublji uvid u tehničke aspekte, primjenu i organizaciju 3D ispisa, što će biti korisno za stručnjake, istraživače i organizacije koje koriste ovu inovativnu tehnologiju.

Ključne riječi: 3D ispis, održavanje, konstrukcija 3D pisača, upute za korištenje pisača, evidencijska lista

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ODRŽAVANJE OPREME.....	2
2.1. Strategije održavanja .....	2
2.1.2. Planirano održavanje.....	4
2.2. Dijagnosticiranje uzroka kvara.....	10
2.3. Evidencijska lista .....	11
3. TEORIJA O 3D ISPISU .....	13
3.1. 3D ispis tijekom godina .....	15
3.2. Uobičajene metode 3D ispisa .....	17
3.2.1. Ekstruzija materijala .....	17
3.2.2. Fuzija u praškastom sloju .....	18
3.2.3. Fotopolimerizacija u kadi .....	20
3.2.4. Mlaziranje veziva.....	21
3.2.5 Mlaziranje materijala .....	23
3.2.6 Usmjereno taloženje energije.....	25
4. OPIS KONSTRUKCIJE 3D PISAČA.....	29
4.1 Stratasys F120.....	30
4.1.1 Priprema okoline uređaja .....	30
4.1.2 Uključivanje uređaja .....	33
4.1.3 Komponente uređaja .....	34
4.1.4 Upute za korištenje uređaja.....	38
4.2.1 Uključivanje uređaja .....	41
4.2.2 Komponente uređaja .....	42
4.2.3 Upute za korištenje uređaja.....	44
4.3 BCN3D Sigma D25 .....	46
4.3.1 Priprema okoline uređaja .....	47
4.3.2 Uključivanje uređaja .....	47
4.3.3 Komponente uređaja .....	50
4.3.4 Upute za korištenje uređaja.....	51

4.4 Formlabs Form 3+ .....	53
4.4.1 Priprema okoline uređaja .....	54
4.4.2 Uključivanje uređaja .....	54
4.4.3 Komponente uređaja .....	55
4.4.4 Upute za korištenje uređaja.....	56
4.5 Creality Ender-3 V2.....	58
4.5.1 Uključivanje uređaja .....	58
4.5.2 Komponente uređaja .....	60
4.5.3 Upute za korištenje uređaja.....	60
5. PRIJEDLOG ODRŽAVANJA UREĐAJA .....	62
5.1. Stratasys f120 .....	62
5.2. Zortrax m300 dual .....	63
5.3. BCN3D Sigma D25 .....	64
5.4. Formlabs Form 3+ .....	64
5.5. Creality Ender-3 V2.....	65
6. ZAKLJUČAK.....	67
7. POPIS LITERATURE .....	68
8. POPIS SLIKA.....	69

## 1. UVOD

Rapidni napredak tehnologije posljednjih godina donio je revoluciju u svijetu proizvodnje i oblikovanja. Jedna od najinovativnijih tehnologija koja se pojavila i sve više širi svoj utjecaj jest 3D ispis, ili aditivna proizvodnja. 3D pisači su postali sveprisutni i koriste se u različitim industrijama poput automobilske, medicinske, aeroindustrije te dizajna i arhitekture. Ova tehnologija omogućuje izradu trodimenzionalnih predmeta iz digitalnih modela, stvarajući sloj po sloj materijala kako bi se dobila konačna forma.

Razlog izbora ove teme za završni rad leži u njenom iznimnom značaju u suvremenom svijetu te u potencijalu koji 3D pisači pružaju. Cilj ovog istraživanja je usporediti tehničke karakteristike različitih 3D pisaa koji su trenutno dostupni u zgradi Grafičkog fakulteta u Zagrebu. Analizirat ćemo ključne parametre kao što su brzina ispisa, rezolucija, vrste materijala koje podržavaju, veličina ispisa i dostupne tehnike izrade. Kroz detaljnu analizu ovih tehničkih karakteristika, cilj je stvoriti temelj za usporedbu i razumijevanje njihovih prednosti i ograničenja.

Očekuje se da će rezultati istraživanja pružiti uvid u trenutno dostupne 3D pisaa i njihove tehničke mogućnosti. Identificirati će se najbolji modeli za različite vrste primjena, kao i njihove prednosti i nedostaci. Osim toga, očekuje se da će rezultati istraživanja pružiti smjernice za odabir odgovarajućeg 3D pisaa ovisno o specifičnim zahtjevima korisnika.

Primjena ovog istraživanja ima širok raspon mogućnosti. Izravna primjena je u praksi, gdje će korisnici moći bolje razumjeti i odabrati 3D pisaa koji najbolje odgovaraju njihovim potrebama. Također, rezultati će biti korisni i za dizajnere, umjetnike i arhitekta koji koriste 3D ispis u svom radu. Osim toga, ovaj rad bi trebao olakšati korištenje tehnologije 3D ispisa na fakultetu, poticati inovacije i poboljšati tehničke karakteristike te održavanje.

Ukratko, ovaj završni rad ima za cilj usporediti tehničke karakteristike različitih 3D pisaa kako bi se pružio uvid u njihove prednosti, ograničenja i primjene. Očekuje se da će rezultati ovog istraživanja biti od koristi za organiziranje korištenja 3D ispisa kao sredstva za proizvodnju i oblikovanje, te za planiranje i usklađivanje rasporeda upotrebe uređaja.



## 2. ODRŽAVANJE OPREME

Proizvodni strojevi, oprema i uređaji uvijek će biti podložni trošenju i zahtjevu za održavanjem. Uz napredak industrije ide i poboljšanje održavanja. Još dok je čovječanstvo počelo proizvoditi uređaje koji su ispunjavali njegove zahtjeve, postojao je zahtjev za održavanjem. Zapisi o održavanju mogu se pronaći već u starom Egiptu [1].

Pristup održavanju mijenjao se tijekom godina. Transformiran je iz reaktivnih (korektivnih) radnji u tekuće prediktivne aktivnosti s ciljem optimizacije vremena, troškova i kvalitete. Umjesto da popravljaju kvarove, tvrtke ih pokušavaju predvidjeti i minimalizirati rizike i troškove povezane s tim. Dok bi se to danas moglo zamisliti kao konkurentna prednost ili područje, čije unapređenje može povećati profit i donijeti mnoge koristi, neki održavanje još uvijek smatraju “nužnim zlom” [2]. Važno je napomenuti da izbor odgovarajuće strategije ovisi o specifičnim uvjetima i potrebama organizacije, kao i dostupnosti resursa i financijskih ograničenja. Integriranje više strategija može pružiti holistički pristup upravljanju kvarovima i poboljšanju pouzdanosti sustava.

### 2.1. Strategije održavanja

Održavanje je proces otklanjanja problema ili neispravnosti u sustavima i uređajima kako bi se obnovila njihova funkcionalnost. Upravljanje kvarovima ima ključnu ulogu u održavanju i produženju radnog vijeka opreme te osiguravanju kontinuirane operativnosti. Slika 1. prikazuje različite strategije koje se mogu primijeniti prilikom popravka kvarova, ovisno o prirodi kvara, vrsti opreme i dostupnosti resursa.



Slika 1. Shematski prikaz strategije održavanja

### 2.1.1. Neplanirano održavanje

Također se naziva hitno održavanje ili reaktivno održavanje. Slika 2. prikazuje situacije kada dolazi do kvara ili neispravnosti u opremi ili sustavu, a popravak se provodi neposredno nakon što se problem pojavio. Ova vrsta održavanja obično nije unaprijed planirana i zahtijeva brzu intervenciju kako bi se minimaliziralo vrijeme zastoja i smanjile negativne posljedice na proizvodnju ili radne procese.

Od početka prve industrijske revolucije došlo je do golemog povećanja produktivnosti rada uvođenjem novih načina u poljoprivredi – uvođenjem strojeva i alternativne obrade polja. Sve je to dovelo do industrijalizacije zemalja – transformacije iz agrarne zemlje u industrijsku [3]. Najkarakterističniji oblik održavanja u tom razdoblju bio je održavanje u kvaru (poznato i kao „reaktivno održavanje“). Cilj je vratiti pokvareni stroj u normalne radne uvjete.

Strategija "pustiti uređaj da radi dok ne krene po zlu" bila je prva koju je čovječanstvo prirodno primijenilo. Na prvi pogled to je najlakši i najprirodniji način održavanja. Strojevi su bili prilično jednostavni i stoga u početku nije bilo potrebe za stručnjakom koji bi ih znao popraviti. Ipak, s povećanjem složenosti strojeva, osobito nakon početka prve industrijske revolucije, među industrijama se počeo pojavljivati novi trend [4].

Neplanirano održavanje može se primijeniti u sljedećim situacijama:

1. Nagli kvarovi: Kada se neočekivani kvarovi dogode iznenada, potrebno je promptno reagirati kako bi se popravio kvar i ponovno uspostavila funkcionalnost sustava. Ovo se može dogoditi zbog tehničkih problema, oštećenja opreme, preopterećenja ili drugih vanjskih čimbenika.
2. Hitni slučajevi: U hitnim situacijama kada postoji opasnost za sigurnost ljudi, okoliš ili imovinu, neplanirano održavanje je neophodno. Primjeri uključuju curenje kemikalija, požare ili nestanak struje.
3. Prijavljene neispravnosti: Kada korisnici primijete neispravnost u radu opreme ili sustava, oni mogu izvijestiti o tome kako bi se popravak mogao izvršiti. To može uključivati probleme poput gubitka snage, rušenja programa, nepravilnog rada ili drugih neispravnosti.

Ključni aspekt neplaniranog održavanja je brza reakcija i interveniranje kako bi se identificirao uzrok problema i izvršio popravak. Održavatelji ili tehničari obično moraju biti

dobro obučeni i opremljeni alatima i dijagnostičkom opremom kako bi mogli efikasno riješiti kvar. U ovom slučaju, naglasak je na minimiziranju vremena zastoja i smanjenju negativnih utjecaja na produktivnost i poslovanje.

Iako neplanirano održavanje može biti skupo i ugroziti radne procese, postoje metode koje se mogu primijeniti kako bi se smanjila potreba za njime. To uključuje redovito preventivno održavanje, dijagnostičke procedure za ranu detekciju potencijalnih problema i nadogradnju opreme kako bi se povećala njena pouzdanost i otpornost na kvarove.



*Slika 2. Shematski prikaz reaktivnog održavanja*

### 2.1.2. Planirano održavanje

Planirano održavanje, kao suprotnost neplaniranom održavanju, odnosi se na sustavno i unaprijed planirano održavanje opreme ili sustava.

Prednosti planiranog održavanja su mnogobrojne. To uključuje smanjenje nepredviđenih kvarova i zastoja, poboljšanu pouzdanost opreme, produženje radnog vijeka opreme, bolje planiranje troškova održavanja i optimizaciju resursa. Također, planirano održavanje omogućuje organizacijama da predvide i pravovremeno reagiraju na potencijalne probleme, smanjujući rizik od kvarova i negativnih posljedica na proizvodnju i poslovanje.

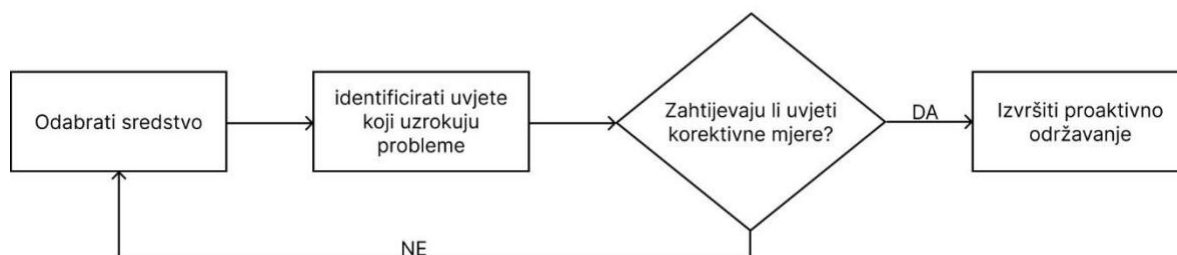
Važno je napomenuti da planirano održavanje treba biti fleksibilno i prilagodljivo, jer se uvjeti i zahtjevi mogu mijenjati tijekom vremena. Redovito praćenje performansi opreme i kontinuirano poboljšavanje planova održavanja ključni su faktori za uspješnu implementaciju ove strategije.

*Proaktivno održavanje* usredotočuje se na identifikaciju potencijalnih problema i poduzimanje preventivnih mjera prije nego što se dogode kvarovi ili neispravnosti kao što je prikazano na slici 3. Cilj mu je sprječavanje problema i održavanje opreme u optimalnom stanju. Temelji se na analizi stanja opreme, planiranju na temelju vijeka trajanja i kontinuiranom poboljšanju procesa održavanja. Kao što je spomenuo Hisham [5], proaktivno održavanje je jedna vrsta održavanja koja otkriva neuspjeh od izvora neuspjeha. To može dovesti do produljenja vijeka trajanja opreme i poboljšanja kapaciteta proizvodnje. Proaktivno održavanje nije slično preventivnom ili prediktivnom održavanju. Hisham [5], je izjavio da je proaktivno održavanje osmišljeno kako bi produžilo vijek trajanja opreme do stupanja istrošenosti usvajanjem visoke razine majstorstva u pogledu preciznosti rada.

Ključne značajke proaktivnog održavanja uključuju:

1. Analiza stanja opreme: Proaktivno održavanje započinje detaljnom analizom stanja opreme. To uključuje praćenje performansi, inspekcije, mjerenje parametara i korištenje različitih tehnika dijagnostike. Cilj je otkriti rane znakove propadanja, abnormalnosti ili nedostataka u radu opreme.
2. Planirane aktivnosti: Na temelju analize stanja opreme, donose se planirane aktivnosti kako bi se smanjila vjerojatnost kvarova. To uključuje redovito održavanje, poput podmazivanja, čišćenja, kalibracije ili zamjene dijelova koji su skloni habanju. Planirane aktivnosti provode se prema unaprijed utvrđenom rasporedu ili vremenskim intervalima.
3. Rano otkrivanje problema: Proaktivno održavanje uključuje sustav za rano otkrivanje problema. To može uključivati upotrebu senzora, sustava nadzora i analitičkih alata za praćenje ključnih parametara opreme. Na temelju prikupljenih podataka, mogu se identificirati trendovi ili promjene koje ukazuju na moguće probleme i omogućiti pravovremenu intervenciju prije nego što dođe do ozbiljnog kvara.
4. Kontinuirano poboljšanje: Proaktivno održavanje zahtijeva kontinuirano poboljšanje procesa održavanja. To uključuje analizu rezultata održavanja, praćenje učinkovitosti i implementaciju poboljšanja kako bi se optimizirala strategija održavanja. Cilj je smanjiti troškove održavanja, povećati učinkovitost i produžiti životni vijek opreme.

Korištenje suvremenih tehnologija, kao što su senzori i analitički alati, pruža organizacijama mogućnost da unaprijed identificiraju probleme i poduzmu preventivne mjere, što dovodi do poboljšanja ukupne pouzdanosti i performansi opreme. Također, proaktivno održavanje pridonosi povećanju sigurnosti radnog okruženja i poboljšanju pouzdanosti opreme, smanjuje zastoje u radu, produžuje životni vijek opreme te pomaže u smanjenju troškova održavanja.



Slika 3. Shematski prikaz proaktivnog održavanja

*Preventivno održavanje* temelji se na redovitim planiranim aktivnostima kako bi se smanjila vjerojatnost kvarova te time održala oprema u ispravnom stanju i produžio njen životni vijek. To uključuje rutinsko održavanje, poput podmazivanja, čišćenja, kalibracije ili zamjene dijelova prema unaprijed određenom rasporedu. Kao što je prikazano na slici 3., preventivno održavanje temelji se na vremenskim intervalima, radnim satima ili broju operacija. Cilj preventivnog održavanja je održavanje opreme u optimalnom stanju kako bi se izbjegli neočekivani kvarovi, zastoji u radu i neispravnosti koje mogu utjecati na produktivnost organizacije.

Ova strategija može spriječiti prijevremeni kvar i smanjiti učestalost kvarova. Također može smanjiti ozbiljnost kvara i ublažavanje njegovih posljedica osim pružanja upozorenja o nadolazećem ili početnom kvara što omogućuje planirani popravak. Uprava će također biti sretna jer sveukupno trošak upravljanja imovinom se smanjuje [6].

Ključne značajke preventivnog održavanja uključuju:

1. Redovito održavanje: uključuje redovito izvođenje rutinskih aktivnosti, kao što su podmazivanje, čišćenje, provjera vijekova trajanja dijelova i kalibracija. Ove aktivnosti provode se prema unaprijed utvrđenom rasporedu ili na temelju broja radnih sati ili operacija. Cilj je održavati opremu u optimalnom radnom stanju i spriječiti potencijalne probleme prije nego što postanu ozbiljni.

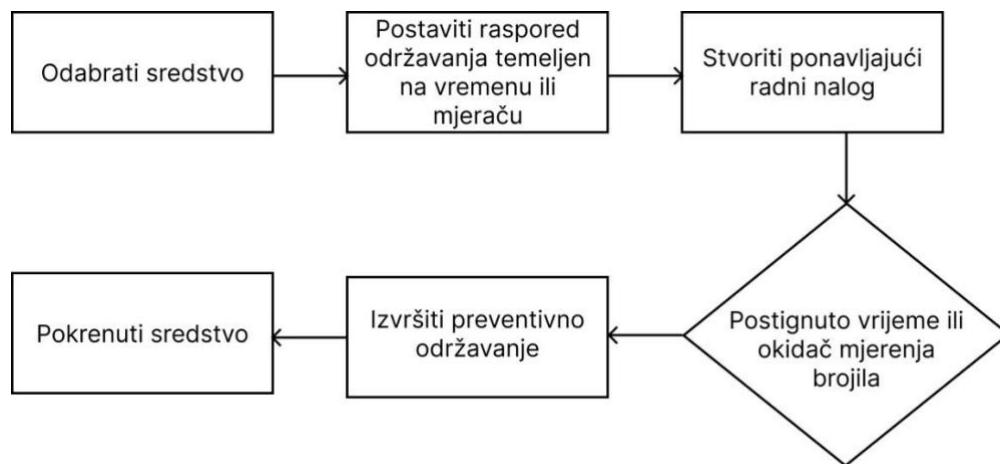
2. Zamjena dijelova: uključuje i planiranu zamjenu dijelova koji su skloni habanju ili imaju ograničeni vijek trajanja. Na temelju prethodnih iskustava, tehničkih specifikacija i preporuka proizvođača određuje se kada je potrebno zamijeniti određene dijelove kako bi se izbjegli kvarovi ili neispravnosti.

3. Inspekcija i dijagnostika: obuhvaća i redovite inspekcije i dijagnostiku opreme kako bi se otkrile potencijalne neispravnosti ili slabosti. To uključuje vizualnu inspekciju, mjerenje parametara, analizu stanja i provjeru performansi. Na temelju tih informacija mogu se poduzeti pravovremene korektivne mjere ili planirane aktivnosti.

4. Pohanjivanje povijesti održavanja: Važan aspekt preventivnog održavanja je praćenje povijesti održavanja, uključujući informacije o izvršenim aktivnostima, zamijenjenim dijelovima, rezultatima inspekcija i bilo kojim drugim relevantnim podacima. Pohanjivanje povijesti održavanja omogućuje analizu učinkovitosti strategije održavanja i poboljšanje planiranja budućih aktivnosti.

Prednosti preventivnog održavanja uključuju smanjenje neočekivanih kvarova i zastoja u radu, povećanje dostupnosti opreme, produženje životnog vijeka opreme, smanjenje troškova popravaka i održavanja te poboljšanje sigurnosti radnih uvjeta.

Važno je napomenuti da preventivno održavanje zahtijeva pažljivo planiranje i koordinaciju aktivnosti kako bi se izbjegla nepotrebna zaustavljanja proizvodnje ili gubitak produktivnosti. Analiza rizika, praćenje trendova i implementacija odgovarajućih alata za upravljanje održavanjem mogu pomoći u optimizaciji preventivnih aktivnosti i postizanju maksimalnih rezultata.



*Slika 4. Shematski prikaz preventivnog održavanja*

*Prediktivno održavanje* koristi napredne tehnike praćenja i analize podataka kako bi predvidjelo kvarove i neispravnosti. Temelji se na praćenju stanja opreme, korištenju senzora, analizi podataka i algoritmima za predviđanje kvara. Cilj mu je identificirati potencijalne probleme prije nego što se dogode, kako bi se poduzele odgovarajuće mjere, poput popravka ili zamjene dijelova, prije nego što dođe do kvara te kako bi se minimizirao utjecaj na produktivnost.

Uravnotežen pristup je potreban za svaku strategiju održavanja jer te strategije imaju različitu funkciju. Iako sve strategije održavanja mogu pomoći u produljenju opreme života osim korektivnog održavanja, ali najrelevantnija vrsta strategije održavanja je preventivno održavanje. Preventivno održavanje osigurava pravilan raspored održavanja objekata i to pomaže u upravljanju održavanjem i planiranju troškova [6].

Ključ za to je kombinacija analitike velike količine podataka (eng. big data analytics) i umjetne inteligencije kako bi se stvorili uvidi i otkrili obrasci i anomalije. Uključuje kontinuirano praćenje imovine u stvarnom vremenu u kombinaciji s vanjskim podacima (npr. podaci o okolišu, korištenju itd.) s upozorenjima temeljenim na prediktivnim tehnikama kao što je regresijska analiza, za najmanje jednu važnu imovinu [2].

Ključne značajke prediktivnog održavanja uključuju:

1. Praćenje stanja opreme: uključuje kontinuirano praćenje stanja opreme pomoću senzora, mjernih uređaja i drugih tehnologija. Ti senzori prikupljaju podatke o različitim parametrima opreme, kao što su temperatura, tlak, vibracije, brzina, potrošnja energije itd.

Ovi podaci pružaju uvid u trenutno stanje opreme i omogućuju detekciju ranih znakova propadanja ili odstupanja od normalnog rada.

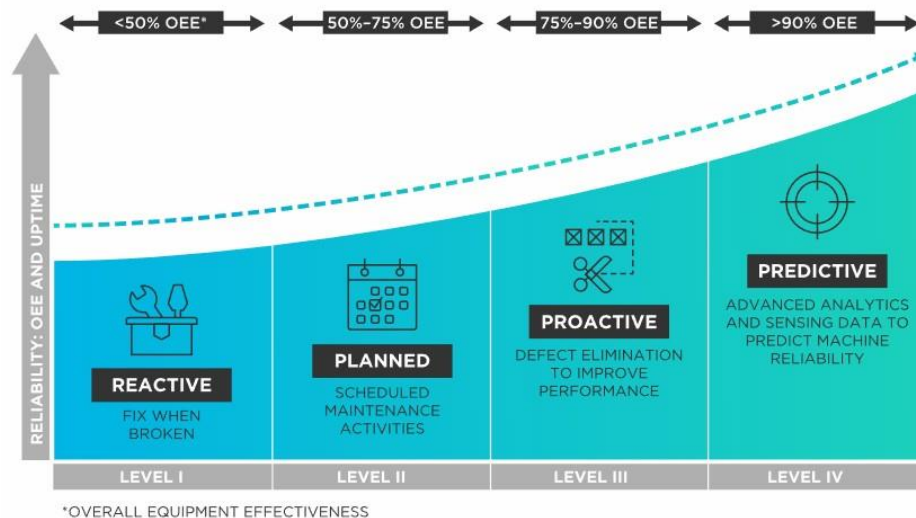
2. Analiza podataka: Prikupljeni podaci o stanju opreme analiziraju se kako bi se identificirali trendovi, obrasci ili abnormalnosti koji mogu ukazivati na potencijalne probleme. Napredne tehnike analize podataka, poput strojnog učenja i umjetne inteligencije, koriste se za otkrivanje skrivenih uzoraka ili veza između podataka. To omogućuje stvaranje modela koji mogu predvidjeti buduće kvarove i neispravnosti.

3. Algoritmi za predviđanje: Na temelju analize podataka, razvijaju se algoritmi za predviđanje kvarova i neispravnosti. Ovi algoritmi koriste informacije iz povijesti održavanja, podatke o stanju opreme, parametre okoline i druge relevantne faktore kako bi generirali prediktivne modele. Ti modeli mogu dati procjene vjerojatnosti kvara, preporuke za intervenciju ili planiranje održavanja.

4. Pravovremene intervencije: Jedna od ključnih prednosti prediktivnog održavanja je mogućnost pravovremenih intervencija. Kada prediktivni modeli identificiraju potencijalne probleme, održavatelji ili inženjeri mogu poduzeti odgovarajuće mjere kako bi spriječili kvarove. To može uključivati popravak, zamjenu dijelova, kalibraciju ili druge aktivnosti koje će osigurati optimalno funkcioniranje opreme.

Prednosti prediktivnog održavanja uključuju smanjenje neplaniranih zastoja i kvarova, optimizaciju resursa održavanja, produženje životnog vijeka opreme, smanjenje troškova održavanja i povećanje ukupne produktivnosti. Također omogućuje organizacijama da pređu s reaktivnog ili preventivnog pristupa održavanju na proaktivni pristup koji se temelji na predviđanjima i unaprijed planiranim intervencijama (slika 5).





Slika 5. Odnos pouzdanosti i ukupne učinkovitosti opreme

## 2.2. Dijagnosticiranje uzroka kvara

Dijagnosticiranje uzroka kvara je proces identificiranja i analiziranja razloga zbog kojih je došlo do kvara ili neispravnosti opreme. To je ključni korak u strategijama održavanja jer omogućuje razumijevanje temeljnog problema i usmjerava daljnje korake za popravak i održavanje opreme. Ono se fokusira na identifikaciju i analizu temeljnog uzroka problema koji je doveo do kvara. Dijagnosticiranje uzroka kvara ima za cilj pronalaženje specifičnog problema i odgovarajućeg rješenja kako bi se oprema popravila i ponovno stavila u funkciju. Dijagnosticiranje uzroka kvara može se podijeliti u nekoliko koraka:

1. Prikupljanje informacija: Prvi korak u dijagnosticiranju uzroka kvara je prikupljanje informacija o kvaru. To može uključivati razgovor s osobljem koje je radilo s opremom, pregled povijesti održavanja, analizu dostupnih podataka o stanju opreme te inspekciju ili testiranje opreme kako bi se identificirali simptomi ili neispravnosti.
2. Analiza simptoma: Nakon prikupljanja informacija, provodi se analiza simptoma kako bi se identificirali ključni problemi ili neispravnosti. To može uključivati identifikaciju specifičnih zvukova, vibracija, ponašanja ili promjena u radu opreme. Cilj je pronaći indikatore koji ukazuju na specifične uzroke kvara.
3. Provjera uzroka: Sljedeći korak je provjera mogućih uzroka kvara na temelju analize simptoma. To može uključivati provjeru tehničkih specifikacija opreme, provjeru dijelova ili

komponenti koji su skloni kvaru, provjeru postavki i parametara rada te provjeru okolišnih čimbenika koji mogu utjecati na rad opreme.

4. Testiranje i verifikacija: Nakon identifikacije mogućih uzroka kvara, provode se testiranja i verifikacija kako bi se potvrdio pravi uzrok problema. To može uključivati izvođenje testova, mjerenja, analizu podataka ili simulacije kako bi se potvrdio uzrok kvara.

5. Popravak i održavanje: Nakon identifikacije uzroka kvara, poduzimaju se odgovarajuće mjere za popravak i održavanje opreme. To može uključivati zamjenu dijelova, popravke, podešavanje postavki ili druge intervencije kako bi se riješio temeljni uzrok kvara.

Dijagnosticiranje uzroka kvara važan je aspekt u ovoj temi jer omogućuje razumijevanje problema koji se mogu javiti tijekom rada 3D pisaača. Kroz dijagnosticiranje uzroka kvara, mogu se identificirati specifične slabosti ili problemi u tehničkim karakteristikama različitih 3D pisaača te pružiti smjernice za poboljšanje njihove pouzdanosti i performansi. Također, dijagnosticiranje uzroka kvara omogućuje usporedbu pouzdanosti i otpornosti različitih modela 3D pisaača te identificiranje ključnih faktora koji utječu na njihovo održavanje i trajnost.

### 2.3. Evidencijska lista

Evidencijska lista termina korištenja uređaja igra ključnu ulogu u učinkovitom upravljanju resursima na fakultetu, posebice kada je riječ o 3D pisaačima. Ova lista omogućuje sustavno praćenje plana i rasporeda korištenja uređaja te osigurava transparentnost, pravednost i optimalno iskorištenje ovog važnog resursa.

Kroz evidencijsku listu termina, odgovorna osoba ili tim zadužen za upravljanje 3D pisaačima može precizno pratiti dostupnost uređaja i rezervacije termina. Kroz definiranje radnog vremena i rasporeda dostupnosti, korisnicima se omogućuje jasan pregled trenutno dostupnih termina za korištenje 3D pisaača. Ova informacija je posebno važna u situacijama kada postoji više korisnika ili timova koji imaju potrebu za korištenjem 3D pisaača, a ograničeni su vremenom ili dostupnošću uređaja.

Dodatno, evidencijska lista može sadržavati informacije o vrsti korištenja uređaja. Tako, moguće je razlikovati različite namjene korištenja, kao što su edukacijske svrhe, istraživački

projekti ili studentski projekti. Ova razlikovanja pomažu u pravednoj raspodjeli vremena korištenja uređaja među korisnicima, uzimajući u obzir specifične potrebe i svrhe korištenja.

Evidencijska lista također može sadržavati dodatne napomene ili upute koje se odnose na korištenje uređaja. Ove napomene mogu uključivati specifične materijale potrebne za ispis, tehničke specifikacije ili sigurnosne smjernice koje korisnici trebaju poštivati pri korištenju uređaja. Time se osigurava sigurno i pravilno korištenje 3D pisača te se minimizira rizik od neispravnosti ili oštećenja uređaja.

Evidencijska lista termina korištenja uređaja pruža korisnicima jasan i organiziran način rezerviranja termina, omogućuje bolje planiranje projekata i aktivnosti koje uključuju 3D ispis te pomaže u ravnomjernoj raspodjeli resursa među korisnicima. Osim toga, ova lista omogućuje i sakupljanje podataka o korištenju uređaja, što može biti korisno za analizu potreba, optimizaciju rasporeda ili odlučivanje o nabavi dodatnih uređaja u budućnosti.

Evidencijska lista plana i termina korištenja 3D pisača na fakultetu sadrži sljedeće stavke:

1. Redni broj: Numerički broj koji označava redoslijed stavki u evidencijskoj listi.
2. Naziv modela 3D pisača: Naziv ili oznaka modela 3D pisača koji se koristi.
3. Lokacija: Mjesto ili prostorija na fakultetu gdje se nalazi 3D pisač.
4. Korisnik: Ime ili oznaka osobe koja trenutno koristi stroj.
5. Dostupnost: Informacija o vremenskom rasponu ili rasporedu kada je 3D pisač dostupan za korištenje. To može uključivati dane u tjednu i radno vrijeme. (Ovjerava odgovorna osoba)
6. Rezervacije: Informacija o rezervacijama termina korištenja 3D pisača. Ovdje možete navesti podatke o datumima, vremenima i trajanju rezerviranih termina.

7. Vrsta korištenja: Specifikacija namjene korištenja 3D pisača, kao što su edukacijske svrhe, istraživanje, studentski projekti, itd.
8. Napomene: Dodatne napomene, upute ili specifične zahtjeve koji se odnose na korištenje 3D pisača. Na primjer, potrebni materijali za ispis, tehničke specifikacije ili sigurnosne smjernice.
9. Odgovorna osoba: Ime ili oznaka odgovorne osobe koja je zadužena za upravljanje i održavanje 3D pisača, te ovjeru dostupnosti pisača.

Ove stavke omogućit će praćenje i organizaciju plana i termina korištenja 3D pisača na fakultetu te osigurati transparentnost. Korisnici će moći pravovremeno rezervirati termine i iskoristiti 3D pisač prema svojim potrebama. Važno je napomenuti kako se lista može koristiti i za ostale strojeve na fakultetu ili gdje de ukaže potreba.

### **3. TEORIJA O 3D ISPISU**

3D ispis, također poznato kao aditivna proizvodnja, predstavlja inovativnu tehnologiju koja omogućuje stvaranje trodimenzionalnih objekata sloj po sloj. Ova tehnologija je revolucionirala način na koji se dizajniraju, prototipiraju i proizvode različiti predmeti u mnogim industrijskim sektorima, uključujući inženjering, medicinu, arhitekturu, umjetnost i mnoge druge.

Temelj 3D ispisa je proces dodavanja materijala kako bi se izgradili slojevi i oblikovali željeni objekti. Za razliku od tradicionalnih metoda proizvodnje, koje uključuju oduzimanje materijala (poput rezanja, obrade ili glodanja), 3D ispis omogućuje stvaranje složenih geometrijskih oblika bez potrebe za složenim alatima i strojevima. Ovaj postupak otvara vrata kreativnosti i slobodi dizajna, omogućujući izradu objekata koji su prije bili teško ili nemoguće ostvarivi. Rani 3D pisači bili su daleko iznad cjenovne granice svakodnevnih

potrošača i uglavnom su ih koristile velike proizvodne korporacije kao dio procesa izrade prototipova.

Sam proces ispisa uključuje izbor odgovarajućeg materijala, koji može biti plastična masa, metalni prah, keramika, biomaterijal i drugi. Materijal se zagrijava, topi ili stvrdnjava ovisno o tehnologiji ispisa, a zatim se precizno nanosi sloj po sloj na odgovarajuću podlogu ili prethodno izrađeni sloj. Ovisno o tehnologiji, moguće je koristiti različite metode za stvaranje slojeva, kao što su taloženje, lasersko sinteriranje, foto -polimerizacija ili ekstruzija.

Jedna od ključnih prednosti 3D ispisa je mogućnost brzog prototipiranja. Umjesto dugotrajnih i skupih procesa izrade prototipa tradicionalnim metodama, 3D ispis omogućuje brzu izradu funkcionalnih prototipova u relativno kratkom vremenskom razdoblju. Ova karakteristika olakšava iterativni dizajn, testiranje i poboljšanje proizvoda prije nego što se krene u masovnu proizvodnju.

Osim prototipiranja, 3D ispis se sve više koristi i za proizvodnju konačnih dijelova i komponenti. Napredne tehnologije 3D ispisa omogućuju izradu dijelova visoke preciznosti i složenosti, čime se smanjuje potreba za skupim alatima i kalupima te se skraćuje vrijeme proizvodnje. Ova tehnologija pruža i mogućnost personalizacije proizvoda prema individualnim zahtjevima i potrebama korisnika. Međutim, kao i svaka tehnologija, 3D ispis također nosi izazove. Materijalne karakteristike i svojstva materijala za 3D ispis mogu utjecati na konačni proizvod, poput izdržljivosti, površinske obrade ili otpornosti na toplinu. Također, postupak ispisa može biti sporiji u usporedbi s tradicionalnim metodama, pogotovo kod izrade većih objekata. Troškovi opreme, materijala i održavanja također mogu biti faktori koji trebaju biti uzeti u obzir.

*Prednosti aditivne proizvodnje:*

- Prilagodba – Aditivna proizvodnja omogućuje prilagođavanje proizvoda, jer svaki objekt može biti dizajniran i tiskan kako bi zadovoljio specifične potrebe i zahtjeve.
- Smanjenje otpada – Aditivna proizvodnja stvara manje otpada od tradicionalnih metoda proizvodnje, jer se za stvaranje objekta koristi samo potrebna količina materijala.

- Brzina – Aditivna proizvodnja može biti brža od tradicionalnih metoda proizvodnje, jer je postupak automatiziran i zahtijeva manje ljudske intervencije.
- Fleksibilnost dizajna – Aditivna proizvodnja omogućuje složenije dizajne koji možda nisu mogući tradicionalnim proizvodnim metodama, jer postupak može stvoriti zamršene i detaljne oblike.
- Pristupačnost – Aditivna proizvodnja može učiniti proizvodnju dostupnom manjim poduzećima i pojedincima, jer zahtijeva manje ulaganja u infrastrukturu i može se obaviti s relativno jeftinom opremom.

*Nedostaci aditivne proizvodnje:*

- Ograničeni materijali – Aditivna proizvodnja može biti ograničena materijalima koji su dostupni za ispis, jer nisu svi materijali prikladni za postupak.
- Kontrola kvalitete – Aditivna proizvodnja zahtijeva strogu kontrolu kvalitete kako bi se osiguralo da tiskani objekt ispunjava željene specifikacije, što može biti izazovno.
  - Trošak – Aditivna proizvodnja može biti skuplja od tradicionalnih metoda proizvodnje, jer potrebna oprema i materijali mogu biti skupi.
- Ograničenja veličine – Aditivna proizvodnja ograničena je veličinom tiskarskog sloja, što može ograničiti veličinu predmeta koji se može tiskati.
- Utjecaj na okoliš – Aditivna proizvodnja može imati negativan utjecaj na okoliš jer materijali korišteni za ispis mogu biti nepogodni za recikliranje ili biorazgradnju, a postupak može zahtijevati značajnu potrošnju energije.

### 3.1. 3D ispis tijekom godina

3D ispis, ili aditivna proizvodnja, predstavlja revolucionarnu tehnologiju koja se razvila tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Ideja stvaranja trodimenzionalnih objekata sloj po sloj nije nova, ali su tehnološki napredak i inovacije u materijalima doveli do razvoja modernog 3D ispisa kakvog danas poznajemo.

Korijeni 3D ispisa mogu se pratiti sve do 1980-ih godina. Prvi pioniri u ovom području bili su Charles W. Hull i Scott Crump. Charles W. Hull, osnivač tvrtke 3D Systems, smatra se ocem 3D ispisa. Godine 1984. izumio je postupak nazvan stereolitografija (SLA), koji je omogućavao stvaranje trodimenzionalnih objekata pomoću slojeva tekućeg polimera koji se

stvrdnjavao izlaganjem laserskom svjetlu. Hullova pisač definiran je u njegovom patentu iz 1986. kao "Aparat za proizvodnju trodimenzionalnih objekata stereolitografijom". Sličnu patentnu prijavu nekoliko tjedana prije Hullove podnio je tim francuskih izumitelja predvođen Alainom Le Mehauteom. Iznenadujuće, njihova patentna prijava je na kraju napuštena jer se nije mogla identificirati dugoročna održiva upotreba tehnologije [7].

Ostale metode aditivne proizvodnje koje su se istraživale i razvijale 1980-ih uključivale su Selektivno kasnije sinteriranje (SLS) koje je izumio Carl Deckard, *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS) njemačke tvrtke EOS GmbH i Modeliranje taloga (FDM) S. Scotta Crumpa. Stratasys, tvrtka koju je Crump kasnije osnovao sa suprugom Lisom, ostala je vodeći proizvođač FDM pisaa [7].

Od 1990-ih godina, 3D ispis je postao sve više dostupan i razvijen. Različite tehnologije, kao što su selektivno lasersko sinteriranje (SLS) i elektroosjetljivo taloženje (*Electron Beam Melting*), omogućile su stvaranje objekata od metala, keramike i drugih materijala. Ove tehnologije su se koristile za proizvodnju dijelova u industriji, medicini i drugim sektorima. FDM je metoda koja koristi termoplastični materijal koji se topli, ekstrudira i taloži sloj po sloj kako bi se stvorio 3D objekt. Ovaj postupak je još uvijek jedna od najpopularnijih tehnologija 3D ispisa.

Tijekom godina, 3D ispis je doživio značajan napredak u brzini, preciznosti i rasponu materijala koji se mogu koristiti. Danas postoji širok spektar tehnologija 3D ispisa, uključujući stereolitografiju, FDM, SLS, taloženje digitalnim svjetlom (DLP), višekapljinsko taloženje (PolyJet) i druge. Svaka od ovih tehnologija ima svoje prednosti i primjene u različitim područjima.

3D ispis je pronašao primjenu u mnogim industrijama, uključujući automobilsku, zrakoplovnu, medicinsku, arhitektonsku i kreativnu industriju. Koristi se za izradu prototipa, prilagodljivih dijelova, funkcionalnih modela, medicinskih implantata, umjetničkih djela i još mnogo toga. Ova tehnologija je omogućila ubrzanje procesa dizajna i razvoja, smanjenje troškova i otpada te otvorila vrata novim mogućnostima u stvaranju inovativnih proizvoda.

U zaključku, 3D ispis je tehnologija koja je doživjela značajan razvoj kroz povijest. Od pionira poput Charlesa W. Hulla i Scotta Crumpa, do danas postoji široka paleta tehnologija

i materijala koji se koriste za stvaranje trodimenzionalnih objekata. 3D ispis je postao ključni alat u mnogim industrijama i ima potencijal za daljnji napredak i inovacije u budućnosti.

### 3.2. Uobičajene metode 3D ispisa

Proces 3D ispisa uključuje nekoliko ključnih koraka. Prvo, potrebno je imati digitalni model objekta koji se želi ispisati. Taj model se može izraditi putem CAD (računalno pomognuto projektiranje) softvera ili se može dobiti skeniranjem fizičkog objekta. Nakon toga, softver za pripremu za ispis (*slicer*) razbija digitalni model na slojeve i generira putanju kretanja pisača za svaki sloj.

#### 3.2.1. Ekstruzija materijala

Ekstruzija materijala (eng. *Material Extrusion* - ME) je aditivna proizvodnja (AM) metodologija u kojoj se namotaj materijala (obično termoplastični polimer) gura kroz grijanu mlaznicu u kontinuiranom toku i selektivno taloži sloj po sloj u izgradnji 3D objekta. Izrada fuziranih filamenata (FFF) i modeliranje taloga (FDM) dva su primjera tehnologije ekstruzije materijala [9].

Ekstruzija materijala obično nije tako brza ili točna u usporedbi s drugim vrstama proizvodnje aditiva. Međutim, tehnologija ekstruzije materijala i kompatibilne sirovine, poput plastike najlon i ABS, u stvari su široko rasprostranjene i jeftine –, ta ekstruzija materijala najpopularniji je proces za hobistički 3D ispis kod kuće. U proizvodnim i industrijskim okruženjima ekstruzija materijala obično se koristi za proizvodnju nefunkcionalnih prototipa ili za brzo prototipiranje za više iteracija istog objekta.

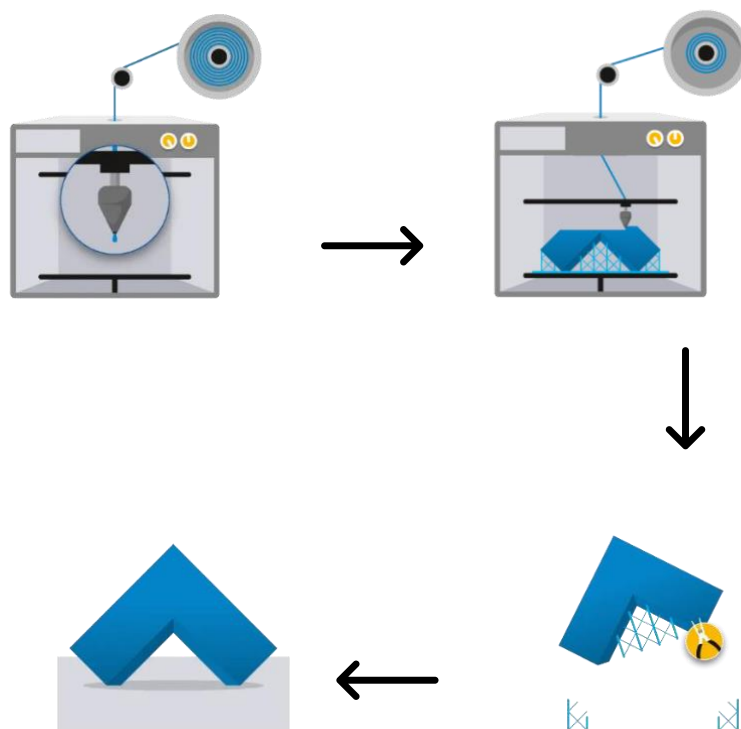
FDM aditivna je proizvodna tehnologija koja stvara 3D komponente korištenjem kontinuirane niti termoplastičnog ili kompozitnog materijala u obliku filameta. Ekstruder dovodi plastičnu nit kroz mlaznicu za ekstrudiranje, koja se topi i zatim selektivno taloži sloj po sloj na platformu za izradu unaprijed određenom automatiziranom putanjom (slika 6) [8].

Prednosti FDM-a leže u njegovoj pristupačnosti i mogućnosti korištenja različitih termoplastičnih materijala, uključujući ABS (akrilonitril-butadien-stiren), PLA (polilaktid),



PETG (polietilentereftalat glikol) i mnoge druge. Ovi materijali imaju različite karakteristike, poput čvrstoće, fleksibilnosti, otpornosti na toplinu i kemijsku otpornost, što omogućava različite primjene 3D ispisa.

FDM tehnologija također omogućuje dodatne opcije poput uporabe potpornih materijala koji se mogu istopiti ili ukloniti nakon ispisivanja kako bi se olakšalo stvaranje složenih geometrija. Također je moguće koristiti višebojne i višematerijalne ispise s odgovarajućom opremom.



Slika 6. Prikaz FDM metode ispisa

### 3.2.2. Fuzija u praškastom sloju

Fuzija praškastog sloja (eng. *Powder Bed Fusion* - PBF) je AM tehnika koja koristi lasersku, toplinsku energiju ili elektronski snop za otapanje i spajanje materijala u 3D dio [8]. PBF tehnologije su široko rasprostranjene i koriste se u industriji za proizvodnju metalnih dijelova.

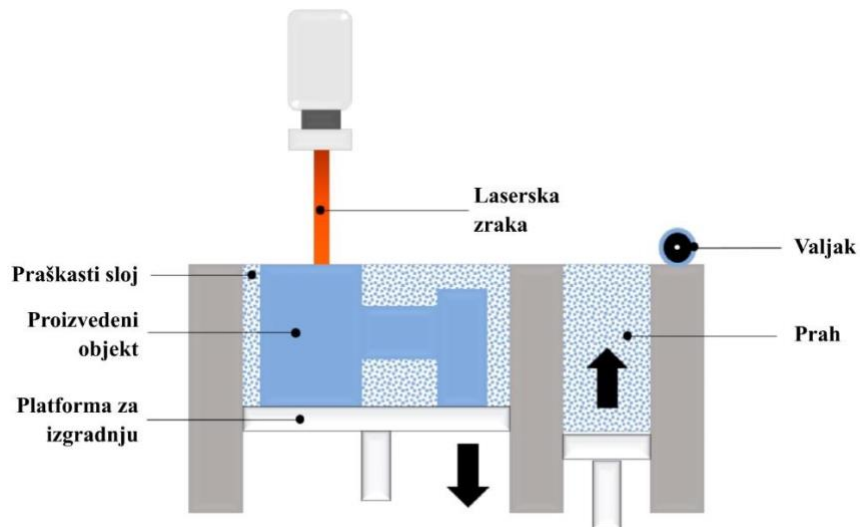
Postupak PBF ispisa obično započinje s finim prahom od metala, kao što su aluminij, titan, nikal, čelik ili legure. Prvi korak je priprema platforme za izgradnju, koja može biti pomična ili fiksna. Zatim se sloj praha ravnomjerno nanosi na platformu.

Nakon što je sloj praha pripremljen, laser ili elektronički snop precizno skenira površinu sloja praha. Ova energija se primjenjuje na određene točke praha, što dovodi do lokalnog topljenja i spajanja čestica praha. Kada se sloj završi, platforma se spušta i proces se ponavlja za sljedeći sloj praha, dok se objekt ne izgradi u potpunosti.

PBF tehnologije imaju nekoliko prednosti. Prvo, omogućuju izradu metalnih dijelova visoke čvrstoće i preciznosti. Također, mogu se koristiti različiti materijali i legure, što pruža veliku fleksibilnost u odabiru materijala za različite primjene. PBF također omogućuje stvaranje složenih geometrija koje su teško postići drugim metodama. Metalni i plastični dijelovi mogu se načiniti ovom tehnikom i mogu se svrstati u sljedeće četiri skupine pomoću izvora energije koji koristi za otapanje materijala, a to su: *spoj laserom*, *spoj elektronskom zrakom*, *spoj s agentom i energijom*, i *termički spoj*

Nadalje, tehnika laserskim spajanjem može se podijeliti na Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) gdje se mogu tiskati samo plastični dijelovi i izravno metalno lasersko sinteriranje koje se ponekad naziva Selektivno lasersko taljenje (SLM) gdje, kao što ime sugerira ispisuje metal. EBM ili *Electron Beam Melting* spada pod skupinu spoja elektronskim snopom, gdje se metalni prah stapa pomoću elektronskog snopa pod visokim vakuumom. HP-ova višestruka fuzija (MJF) spada u treću kategoriju u kojoj se „praškasti krevet“ na početku zagrijava jednoliko, te se sredstvo za fuziju koristi za vezanje praška za stvaranje 3D geometrijskih dijelova. Danska tvrtka Blueprinter koristi selektivno toplinsko osvjetljavanje (SHS) gdje tehnologija koristi toplinsku glavu za sinteriranje termoplastičnog praha za stvaranje 3D dijelova koji spadaju u četvrtu kategoriju, termalni spoj.

PBF tehnologije se koriste u raznim industrijama, kao što su zrakoplovstvo, automobilska industrija, medicina i mnoge druge. Primjene uključuju izradu prototipa, funkcionalnih dijelova, alata, komponenti motora i mnogo više. Važno je napomenuti da postupak PBF ispisa zahtijeva kontrolu parametara kao što su temperatura, brzina skeniranja i veličina sloja kako bi se postigla željena kvaliteta i čvrstoća objekta. Također je važno provesti postupke nakon ispisa, kao što su uklanjanje nepovezanih prahova i termička obrada, kako bi se dobili finalni funkcionalni dijelovi.



Slika 7. Fuzija u praškastom sloju

### 3.2.3. Fotopolimerizacija u kadi

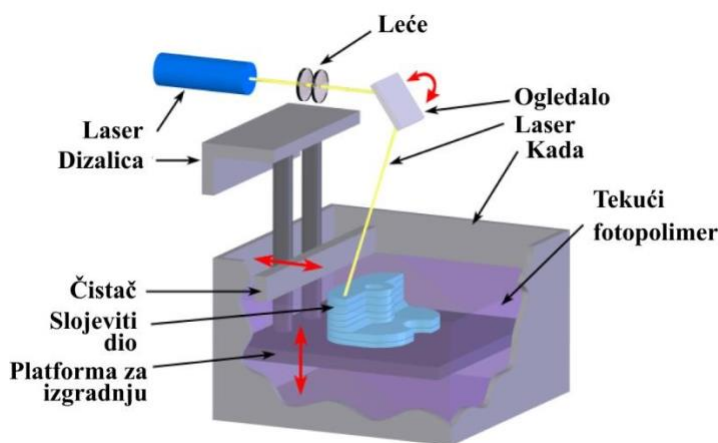
Fotopolimerizacija u kadi (eng. *Vat Photopolymerization* - VP) koristi fotopolimerizaciju, koja uključuje korištenje smola ili fotopolimera koji se stvrdnjavaju zračenjem za stvaranje 3D objekata selektivnim izlaganjem ultraljubičastom svjetlu. Kada su ti materijali izloženi, podliježu kemijskoj reakciji i skrućuju se. Nažalost, te tehnologije mogu ispisivati samo na plastiku [8].

Postupak VP ispisa obično započinje s tekućim polimernim smolama koje su osjetljive na svjetlost. Smjesa polimernog materijala se nalazi u spremniku ili „kadi“ uređaja za 3D ispis. Na platformi se stvara prvi sloj tekuće smole. Kada se pokrene proces ispisa, laserski snop ili svjetlosni izvor precizno skenira površinu smole. Na mjestima gdje svjetlosna zraka dotakne smolu, dolazi do polimerizacije i stvrdnjavanja materijala. Nakon završetka skeniranja sloja, platforma se pomakne prema dolje za debljinu jednog sloja, a postupak se ponavlja za svaki sloj sve dok se ne izgradi cijeli objekt.

VP tehnologija obuhvaća nekoliko potkategorija, uključujući Stereolitografiju (SLA) i *Digital Light Processing* (DLP). Oba postupka koriste svjetlost za stvrdnjavanje tekućeg polimernog materijala, ali se razlikuju u načinu generiranja svjetlosnih zraka i fokusiranju na površinu smole. Jedna od prednosti VP tehnologije je visoka preciznost i detaljnost koju omogućuje. Moguće je postići visoku rezoluciju ispisa s finim detaljima i glatkom površinskom završnom obradom. Osim toga, VP omogućuje korištenje različitih vrsta

materijala, uključujući smole s različitim mehaničkim svojstvima, prozirne smole, fleksibilne smole i druge specijalizirane materijale.

Stereolitografija ( SLA ) koristi platformu za izgradnju uronjenu u prozirni spremnik tekuće fotopolimerne smole. Nakon potapanja građevinske platforme, laser s jednom točkom unutar stroja preslikava područje poprečnog presjeka dizajna kroz dno spremnika, stvrđavajući materijal. Platforma se diže i omogućuje da novi sloj smole teče ispod objekta nakon što je sloj laser mapiran i očvrstnut. Ova se tehnika vrši sloj po sloj sve dok se ne formira čvrsti dio. Nakon toga, dijelovi se rutinski naknadno stvrđavaju pomoću UV zračenja kako bi se poboljšala njihova mehanička svojstva.



Slika 8. Prikaz „SLA“ metode ispisa

Primjene *Vat Photopolymerization* tehnologije su širokog raspona. Koristi se u industriji dizajna i prototipiranja, medicini, zubnoj tehnici, izradi nakita, arhitekturi i drugim područjima. Može se koristiti za izradu konceptualnih modela, prototipova, funkcionalnih dijelova, medicinskih implantata, ukrasnih predmeta i mnogo više. Važno je napomenuti ovaj postupak ispisa zahtijeva naknadne korake kako bi se postigla potpuna polimerizacija i uklanjanje nepovezanog materijala. To može uključivati pranje objekta u otapalima kako bi se uklonili nepolimerizirani polimeri i izlaganje objekta svjetlosti ili toplini za postizanje potpune čvrstoće.

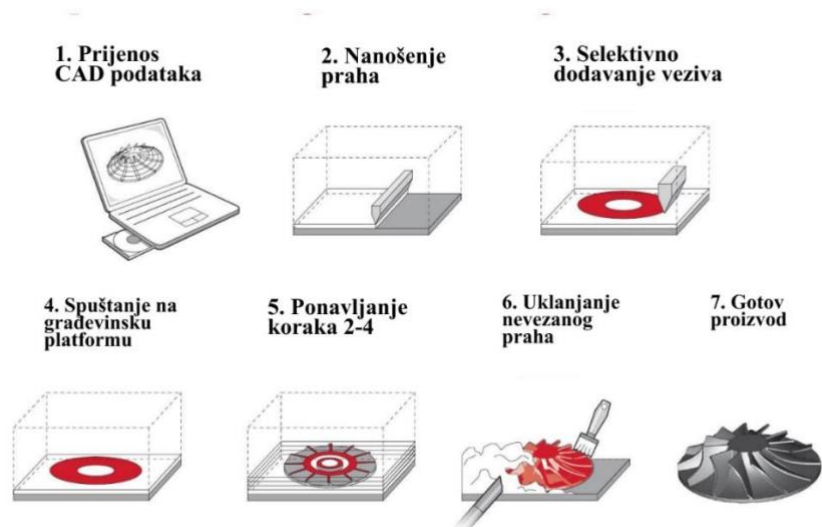
#### 3.2.4. Mlaziranje veziva

Mlaziranje veziva (eng. *Binder Jetting* - BJ) je tehnika koja ispisuje 3D dijelove selektivnim taloženjem vezivne tekućine, koja spaja praškasti materijal u 3D dio (slika 9). Budući da

mlaziranje veziva ne koristi zagrijavanje za spajanje materijala, ovaj se postupak razlikuje od bilo koje druge tehnologije 3D ispisa [8].

Nakon nanošenja kapljica vezivnog sredstva, one se vežu na čestice praha, stvarajući adheziju i čvrstoću među česticama. Na taj način se slojevi praha spajaju kako bi se formirao željeni objekt. Ovaj proces se ponavlja za svaki sloj, postupno gradeći trodimenzionalnu strukturu.

Ova metoda taloženja kapljica vezivnog sredstva omogućuje visoku preciznost i kontrolu pri ispisivanju slojeva. Kapljice se mogu precizno ciljati i postaviti na željene točke praha, što rezultira visokom kvalitetom ispisa s dobrom detaljnošću. Može se klasificirati u sljedeće skupine prema vezivnom sredstvu koja se koriste kako bi se spojila kombinacija materijala i izgradila predmet. Veziva su ključna za uspješan *Binder jetting* proces. Vrsta korištenog veziva ovisi o vrsti praha, sustava koji se koristi ili zahtjevima kupca za primjenu. Jedan od pionira ove tehnologije veziva, Exon koristi sljedeća veziva: *fulan binder*, *silikatno vezivo*, *fenolno vezivo*, *vezivo na bazi vode*



Slika 9. Prikaz metode mlaziranja veziva

Još jedna važna karakteristika Binder Jetting tehnologije je sposobnost istovremenog ispisa više objekata ili više dijelova istog objekta. Budući da se vezivno sredstvo nanosi na odabrane točke praha, moguće je ispisivati više objekata u isto vrijeme, čime se povećava produktivnost i učinkovitost procesa.

*Prednosti* metode mlaziranja vezivom

- Dijelovi se mogu izraditi u nizu različitih boja
- Koristi niz materijala: metal, polimere i keramiku

- Proces je općenito brži od ostalih
- Metoda s dva materijala omogućuje mnoge različite kombinacije veziva i praha i različita mehanička svojstva.

*Nedostaci metode mlaziranja vodom*

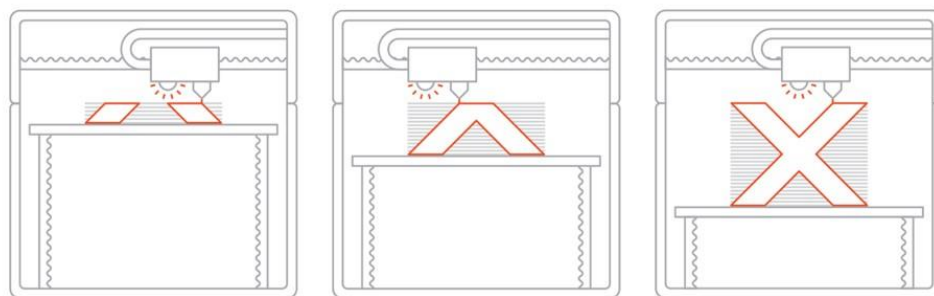
- Nije uvijek prikladno za konstrukcijske dijelove zbog upotrebe vezivnog materijala
- Dodatna naknadna obrada može značajno dodati vrijeme cjelokupnom procesu

### 3.2.5 Mlaziranje materijala

3D pisac za mlaz materijala (eng. *Material Jetting* - MJ) selektivno taloži kapljice materijala sloj za slojem na građevinsku ploču kako bi stvorio 3D dio. Tehnika taloženja vrlo je slična tradicionalnim *inkjet* pisacima po tome što se kapljice tinte selektivno talože kako bi se stvorio 2D ispis. Kada 3D pisac završi sloj, stvrdnjava ga pomoću ultraljubičastog svjetla prije prelaska na sljedeći sloj.

Postupak „*Material Jetting*“ ispisa započinje s tekućim materijalom koji se obično sastoji od polimera ili smjese polimera. Materijal se zagrijava kako bi postao tekući i omogućio njegovo raspršivanje kroz mlaznice. Mlaznice precizno raspršuju male kapljice materijala na određene točke na građevinskoj platformi.

Nakon što se sloj kapljica materijala rasprši na platformu, odabrane točke se brzo stvrdnjavaju putem izlaganja svjetlu ili toplini. To može biti postignuto pomoću UV svjetla ili termičkih uređaja. Ovaj proces se ponavlja za svaki sloj, pri čemu se svaki sloj stvrdnjava prije nanošenja sljedećeg sloja, sve dok se ne izgradi cijeli objekt.



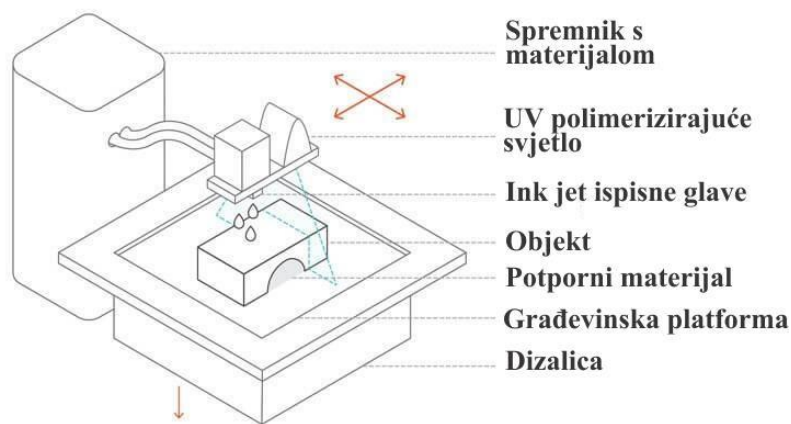
*Slika 10. Prikaz metode mlaziranja materijala*

Vrste mlaziranja materijala (MJ):

Od početka tehnologije mlaznog brizganja materijala 1990-ih, pojavilo se nekoliko tehnika koje su napredovale u razvijeno stanje. Iako se razlikuju od proizvođača do proizvođača o tome kako se materijal stvrdnjava i kako se taloži, tehnika mlazanja temeljnog materijala je ista. [8]

- *PolyJet tehnologija (eng. PolyJet technology)*
- *Mlazirnje nano česticama (eng. NanoParticle Jetting - NPJ)*
- *Drop On Demand (DOD)*

*PolyJet tehnologija* - Tehnologija Stratasys PolyJet nanosi ultratanke slojeve fotopolimernog materijala na ploču za izradu, slično standardnom inkjet pisaču. Svaki sloj se odmah stvrdnjava UV svjetlom. Potporni materijal u obliku gela dostupan je za složene geometrijske dijelove, lako se uklanja rukom ili korištenjem vodenog mlaznog mlaza. Mnogi dijelovi literature nazivaju tehnologiju mlaznog brizganja materijala kao 'PolyJet', uglavnom zato što je PolyJet prvi ikada predstavljeni pisač s tehnologijom mlaznog brizganja materijala (Prvi ga je predstavio Object, a kasnije kupio Stratasys).



*Slika 11. Princip rada PolyJet tehnologije*

*Mlazirnje nano česticama (NPJ)* - XJet-ova tehnologija mlaza NanoParticle koristi jedinstvenu metodologiju disperzije za taloženje materijala na građevinsku platformu. Posebne čvrste nanočestice građevinskog materijala sadržane su ili suspendirane u tekućini, a zatim se izbacuju na ladicu za izradu. Građevinski i potporni materijali suspendirani u tekućem obliku su sadržani u zapečaćenim ulošcima. Nakon što je proces izrade završen, potporni materijal se uklanja prije prolaska kroz jednostavan proces sinteriranja [8].

Princip rada „*NanoParticle Jetting*“:

1. Čvrste čestice u tekućoj suspenziji učitavaju se u pisač pomoću zatvorenih uložaka.

2. Dvije systemske ispisne glave s tisućama mlaznica istovremeno izbacuju ultrafine kapi materijala za gradnju i potpornog materijala na građevinsku ploču
3. Visoka temperatura koja se održava unutar područja izgradnje uzrokuje isparavanje tekućeg omotača koji okružuje nanočesticu.
4. To ostavlja guste ultra-fine slojeve nanočestica građevinskog materijala.
5. Proizvedeni dijelovi se zatim sinteriraju, a noseći materijal uklanja

*Drop On Demand (DOD) - Drop on demand*, kao što naziv implicira, taloži samo sitne točkice materijala kada je to potrebno, umjesto kontinuiranih linija. Obično se koristi za viskozne tekuće materijale. Ovi pisari DOD tehnologije koriste dvije glave za svaku konstrukciju i jedan potporni materijal. Zbog svoje sposobnosti ispisa viskozne tekućine, koriste se isključivo za izradu voštanih uzoraka za ulaganje, posebno za proizvodnju nakita. Princip rada „*Drop On Demand*“:

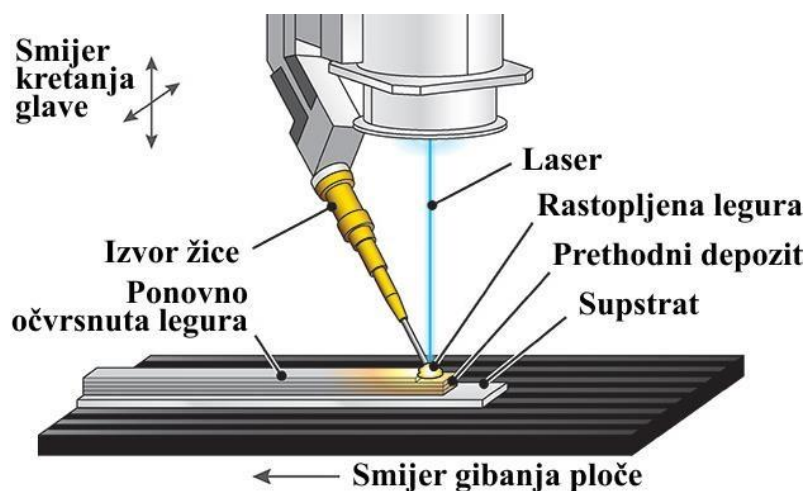
- Pisač se sastoji od ugradne ploče, dvije ispisne glave, sklopa glave rezača i dva uloška za ugradbeni i pomoćni materijal
- Voštani materijal se unosi u pisar kao prah. Oni se tope u tekućem obliku unutar grijanog spremnika.
- Svaki se sloj ispisuje na sličan način na koji općenito rade AM tehnologije
- Svaki sloj je precizno brušen kako bi se zadržala debljina i ravnost sloja
- Potporni materijal se automatski postavlja, eliminirajući dizajnerovu potrebu za stvaranjem potpornih struktura unutar dizajna
- Gotovi dio bi bio okružen potpornim materijalom koji ide u tekuću kupku
- Nosač se potpuno otapa, ostavljajući za sobom čist, visoko precizan voštani model

### 3.2.6 Usmjereno taloženje energije

Usmjereno taloženje energije (eng. *Directed Energy Deposition – DED*) oblikuje 3D objekte otapanjem materijala koji se taloži koristeći fokusiranu toplinsku energiju kao što je laser, elektronski snop ili plazma luk. Taloženi materijal se brzo stvrdnjava kako bi se formirao sloj, a zatim se proces ponavlja za sljedeći sloj. Izvor energije i mlaznica za dovod materijala manipuliraju se pomoću pokretnog postolja ili robotske ruke [8]. DED se sve više koristi u hibridnoj proizvodnji, gdje se čak i sloj supstrata pomiče kako bi se stvorili složeni oblici.



Ova tehnologija je također poznata kao *Laser Metal Deposition* (LMD) ili *Laser Cladding*. Jedna od ključnih prednosti DED tehnologije je mogućnost izgradnje objekata od metala i legura visoke čvrstoće. Iako je moguće izraditi dijelove od nule, zbog načina na koji DED tehnologija radi; trenutno se uglavnom koristi za popravak dodavanjem materijala postojećem dijelu, kao što je popravak lopatica turbine. Ova tehnologija omogućuje vrlo precizno taloženje materijala, što rezultira visokom kvalitetom ispisa i kontrolom nad mikrostrukturom materijala.



Slika 12. Princip rada DED tehnologije

Vrste usmjerenog taloženja energije:

Iako se DED tehnologija može koristiti za izradu metalnih, keramičkih i polimernih dijelova, ona se pretežno koristi za izradu metalnih dijelova. DED se može klasificirati u sljedeće skupine prema izvoru energije koji koristi za taljenje materijala. Ova tehnologija također omogućuje kombiniranje različitih materijala i legura tijekom ispisa, što otvara mogućnosti za stvaranje funkcionalnih objekata s različitim svojstvima u različitim dijelovima.

- Laserski DED sustavi kao što je *Optomecov Laser Engineering Net Shape* (LENS) DED sustav koristi laser kao glavni izvor energije.
- Sustavi DED koji se temelje na elektronskom snopu kao što je *Sciakyjeva Electron Beam Additive Manufacturing* (EBAM) koriste snop elektrona za topljenje sirovine u prahu.
- Sustavi DED koji se temelje na plazmi ili električnom luku, kao što je DED proces aditivne proizvodnje žičanog luka (WAAM). Koristi električni luk za taljenje žice.

Tehnologija usmjerenog taloženja energije također se može podijeliti u sljedeće podvrste na temelju materijala koji se koristi za izradu dijelova.

- DED sustavi koji se temelje na prahu kao što je *Laser Engineered Net Shaping* (LENS) ili *Laser Metal Deposition* (LMD) koji dodaje prah kroz mlaznicu i topi pomoću laserske zrake ili elektronske zrake.
- Žičani DED sustavi uvode žice kroz mlaznicu i koriste laser, plazma luk ili elektronski snop za stvaranje rastaljenog bazena.

Važno je napomenuti da DED tehnologija može zahtijevati napredne sustave kontrole procesa kako bi se postigla visoka preciznost i kvaliteta ispisa. Također, nakon ispisa, objekti često prolaze kroz dodatne korake obrade, poput CNC obrade ili termičke obrade, kako bi se postigla željena dimenzionalna točnost, površinska obrada i svojstva materijala.

### 3.2.7 Laminacija listova

Laminacija listova (eng. *Sheet Lamiantion* - SL) jedna je od 7 vrsta aditivnih proizvodnih procesa definiranih ISO/ASTM 52900-2015. To je proces izgradnje 3D objekta slaganjem i laminiranjem tankih listova materijala. Metoda laminiranja može biti lijepljenje, ultrazvučno zavarivanje ili lemljenje, dok se konačni oblik postiže laserskim rezanjem ili CNC strojnom obradom [8]. Od svih 7 vrsta AM tehnologija, laminiranje lima proizvodi dijelove s najmanje aditivnom rezolucijom. Međutim, njegova niska cijena i brže vrijeme proizvodnje omogućuju dizajnerima proizvoda da izrade prototipove niske vjernosti iz standardnog, lako dostupnog jeftinog materijala.

Vrste laminacije listova:

Laminacija listova može se dalje podijeliti u skupine na temelju korištenog građevinskog materijala poput: papira, plastike, metala ili kompozita od tkanih vlakana ili korištenih metoda oblikovanja poput: CNC glodanja, laserskog rezanja ili pjeskarenja vodom. Također se mogu dalje kategorizirati na temelju tehnike laminiranja koja se koristi za spajanje listova kao što je: lijepljenje, toplinsko lijepljenje i ultrazvučno zavarivanje. Postoje i varijacije kada se formiraju. U nekim se slučajevima oblikuju i zatim spajaju poput postupka računalno

potpomognute proizvodnje laminiranih inženjerskih materijala (CAM-LEM) ili se spajaju i oblikuju poput postupka ultrazvučne aditivne proizvodnje (UAM).

*Oblikovanje pa spajanje* (eng. *Form then Bond*) proces – Listni materijal se najprije reže u oblik, a zatim se spaja s bazom ili prethodnim slojem kako bi se stvorila 3D geometrija.

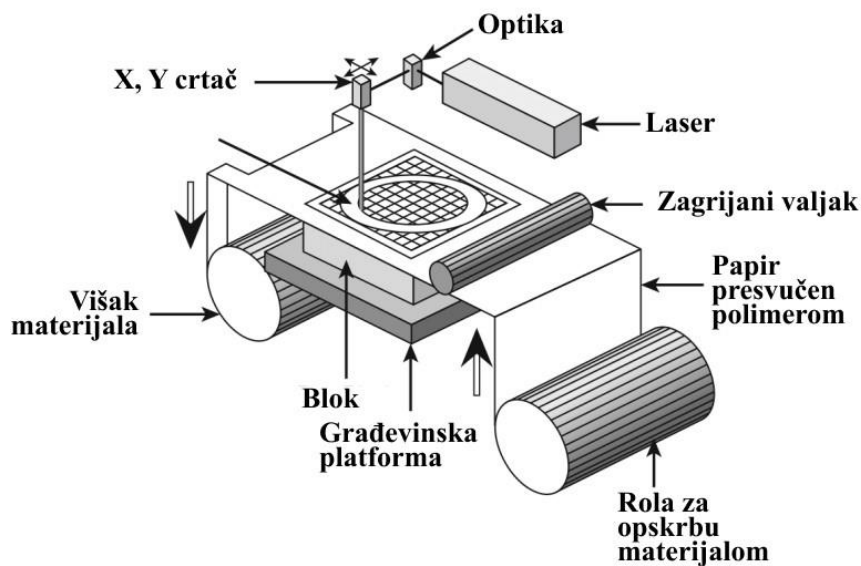
*Spajanje pa oblikovanje* (eng. *Bond then Form*) – U ovom procesu, kao što naziv sugerira, slojevi materijala u obliku lima se spajaju prije nego što se izrežu u željeni oblik.

Uzimajući u obzir sve gore navedene varijacije, laminacija se može kategorizirati u sljedećih 7 vrsta:

- Proizvodnja laminiranih predmeta (eng. Laminated Object Manufacturing (LOM))
- Proizvodnja kompozitnih predmeta selektivnom laminacijom (eng. Selective Lamination Composite Object Manufacturing (SLCOM))
- Laminacija plastične ploče (eng. Plastic Sheet Lamination (PSL))
- Računalno potpomognuta proizvodnja laminiranih inženjerskih materijala (eng. Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials (CAM-LEM))
- Laminacija selektivnog taloženja (eng. Selective Deposition Lamination (SDL))
- Proizvodnja aditiva na bazi kompozita Composite Based Additive Manufacturing (CBAM)
- Ultrazvučna aditivna proizvodnja (eng. Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM))

Postupak SL započinje tako da se tanak list materijala unosi s valjka ili se postavlja na građevinsku platformu. Ovisno o vrsti laminacije, sljedeći sloj može ili ne mora biti vezan za prethodni list. SDL i UAM spajaju slojeve zajedno i zatim režu 3D oblik na kraju, dok CAMLEM reže slojeve u oblik i zatim spaja slojeve zajedno. Ovaj proces se nastavlja dok se ne dovrše svi slojevi kako bi se postigla puna visina. Zatim se blok za ispis uklanja i uklanjaju se svi neželjeni vanjski rubovi kako bi se otkrio ispisani 3D objekt. Kod laminiranja listova debljina sloja jednaka je debljini tankih listova materijala i diktira konačnu kvalitetu.

Debljina sloja također ovisi o stroju i procesu koji se koristi.



Slika 13. Princip rada SL tehnologije

Jedna od ključnih prednosti *sheet* laminacije je niska cijena materijala, budući da se koriste jeftini i široko dostupni listovi papira ili plastike. Također, ova tehnologija omogućuje brzi ispis i relativno veliku izgradnju objekata. Međutim, objekti izrađeni *sheet* laminacijom često imaju grublju površinu i manju razlučivost ispisa u usporedbi s drugim tehnologijama 3D ispisa. Ovisno o materijalima koji se koriste, moguće je da objekti imaju ograničenu čvrstoću i izdržljivost.

*Sheet* laminacija se često koristi za izradu prototipa, modela, arhitektonskih maketa i sličnih primjena gdje preciznost i fina detaljnost nisu primarni zahtjevi. Također se može koristiti za brzo prototipiranje ili izradu privremenih dijelova koji će se kasnije zamijeniti drugim materijalima ili procesima. Važno je napomenuti da *sheet* laminacija nije široko rasprostranjena kao neke druge tehnologije 3D ispisa, poput FDM-a ili SLA-e, ali je i dalje korisna u određenim aplikacijama koje zahtijevaju brzo i ekonomično izrađivanje objekata.

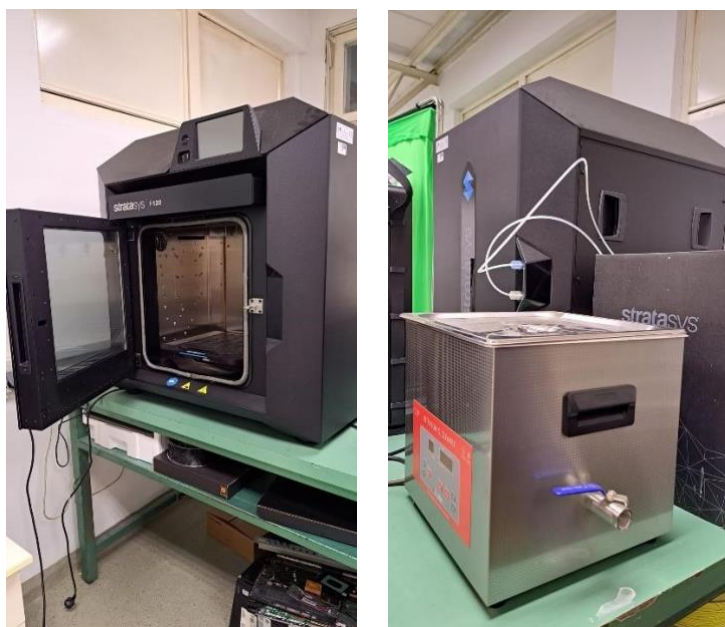
#### 4. OPIS KONSTRUKCIJE 3D PISAČA

Opis konstrukcije 3D pisača je važan segment za razumijevanje njegovog funkcioniranja i mogućnosti. 3D pisači se sastoje od osnovnih komponenti kao što su okvir, radna površina,

izvor energije (kao što su laserski snopovi ili termalne glave), sustavi pokretanja, kontrolni elektronički sklopovi i softverska sučelja. Ovisno o vrsti tehnologije ispisa, kao što su FDM, SLA ili SLS, konstrukcija se može razlikovati. Primjerice, FDM pisači koriste okvir s pokretnim ekstruderom koji istiskuje i taloži filament, dok SLA pisači koriste precizan laserski snop koji zrači na površinu smolastog materijala. Konstrukcija 3D pisača također može uključivati dodatne komponente poput hladnjaka, senzora, ventilatora i automatskih platformi za izravnavanje. Sve ove komponente zajedno stvaraju sustav koji omogućuje precizan i kontroliran 3D ispis objekata.

#### 4.1 Stratasys F120

3D pisači Stratasys F120 (slika 13) uključuju najnoviju inovativnu tehnologiju kako bi vam pružili precizne prototipove iz CAD dizajna. Stratasysova tehnologija *Fused Deposition Modeling* (FDM) pruža dijelove prototipa, uključujući unutarnje značajke, koje se mogu koristiti za ispitivanje oblika, pristajanja i funkcioniranja na terenu. 3D pisac Stratasys F120 ima veličinu omotnice od 10 x 10 x 10 inča (254 x 254 x 254 mm) i koristi dvije kutije zavojnice velikog kapaciteta (jednu za model i jednu za podršku) [10].



Slika 14. Pisač i otopina za otapanje potpornog materijala u prostor fakulteta

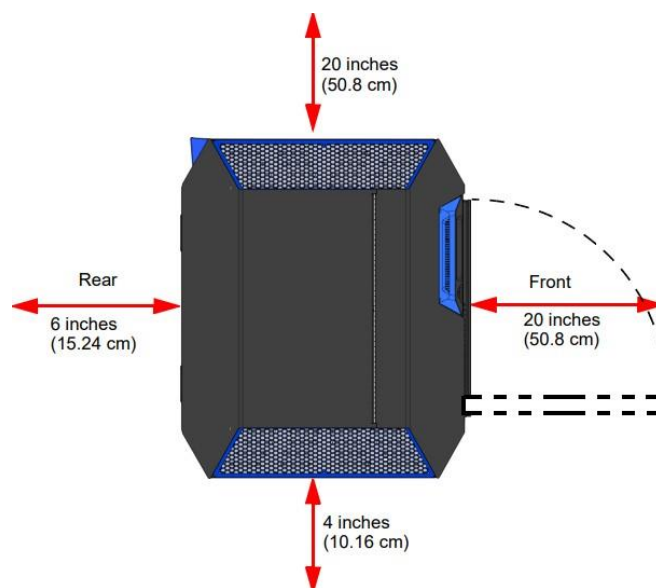
##### 4.1.1 Priprema okoline uređaja

Odlučite gdje instalirati pisac na temelju sljedećeg: potreban prostor, zahtjevi zaštite okoliša, električni zahtjevi, zahtjevi za LAN. Provjerite može li prostor na mjestu postavljanja

podnijeti težinu pisača i dimenzije, plus potrebni razmaci. Mjesto postavljanja mora biti ravna površina koja je stabilna i može izdržati 227 kg. Ako se za podupiranje pisača koristi stol, preporučena visina je  $76 \text{ cm} \pm 7,6 \text{ cm}$  i trebao bi moći držati 227 kg. Ako stol ima kotačiće, moraju se moći zaključati.

#### *Minimalne operativne mjere:*

Dovoljan stražnji i bočni razmak omogućuje pravilnu cirkulaciju zraka, dok dovoljan prednji razmak omogućuje dovoljno prostora za otvaranje vrata i ladica



*Slika 15. Grafički prikaz minimalnih operativnih mjera*

#### *Zahtjevi zaštite okoliša*

- Pisač F120 može se koristiti u bilo kojem kontroliranom okruženju.
- Uvjeti kvalitete zraka s prekomjernom količinom krutih čestica (vodljivih ili nevodljivih) mogu dovesti do oštećenja sustava.
- Uvjeti kvalitete zraka u kojima se ulja u zraku mogu nakupljati na ili unutar pisač može oštetiti plastične komponente.
- Radna temperatura sustava mora biti u rasponu od  $15^{\circ}\text{C}$  do  $30^{\circ}\text{C}$ , s raspon relativne vlažnosti od 30% do 70% bez kondenzacije.
- Temperatura skladištenja sustava mora biti u rasponu od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $35^{\circ}\text{C}$ , s raspon relativne vlažnosti od 20% do 90% bez kondenzacije.

- Nadmorska visina ne smije prelaziti 2000 m.
- Skladištenje materijala mora biti u rasponu od 13°C do 30°C, uz relativnu vlažnost manje od 70%.
- Emisija buke (akustična): <32dBA u stanju mirovanja, <46dBA pri izgradnji

### *Izlazna toplina*

Toplina se uglavnom odvodi kroz gornji dio pisača. Toplinska snaga ovisi o materijalu zbog različitih temperatura koje se održavaju u građevnoj komori.

Tablica 1. *Potrošnja energije*

Tip materijala	Izlaz topline (tijekom izgradnje)	Izlazna toplina (dok miruje)
ABS/ASA	~2300 BTU/hr	~1800 BTU/hr

Potrošnja energije ovisi o materijalu zbog različitih temperatura građevinskoj komori (tablica 1.) Tablica 2. *Električni zahtjevi*

Vrsta materijala	Potrošnja energije (tijekom izgradnje)	Potrošnja energije (dok miruje)	Potrošnja energije (na spavanju)
ABS/ASA	650W	510W	10W

### Zahtjevi za izmjenično napajanje

- 50/60 Hz.
- Napon: 100-132, 200-240 VAC.

Oprez: U regijama s ulaznom snagom iznad 240 VAC, mora biti silazni transformator instaliran na sustav.

- Struja: 15/7A.
- Uzemljena električna utičnica mora biti spojena na Euro ili US utikač kabela za napajanje (dobiveno u paketu dobrodošlice) i mora se nalaziti unutar 2 m (80 inča) od pisača.

Oprez: Za spajanje pisača na izvor izmjenične struje isporučuje se kabel za napajanje.

Ne preporučuje se rad pisača izvan ovog raspona; opasnost od degradacije performansi te skraćeni životni vijek komponenti. Objekti koji nisu sigurni njihovu kvalitetu napajanja, trebaju kontaktirati svog pružatelja usluga

Oprez: Nemojte koristiti produžni kabel; to može rezultirati s povremenim problemima s napajanjem. Spojite kabel za napajanje izravno u utičnicu.

*Zahjevi za LAN* - Ako koristite LAN vezu za komunikaciju i funkcije prijenosa datoteka, LAN veza je 100 base T, Ethernet protokol, RJ45 konektor. Jedan 4,57 m CAT6, 10/100 baza T kabel se isporučuje s pisačem i nalazi se u kompletu. Pisač će raditi u oba DHCP ili Static IP konfiguracije. Međutim, LAN veza nije potrebna jer pisač također može prenositi datoteke putem Wi-Fi veze ili USB *flash* pogonom priključenim u bilo koji od USB priključaka pisača.

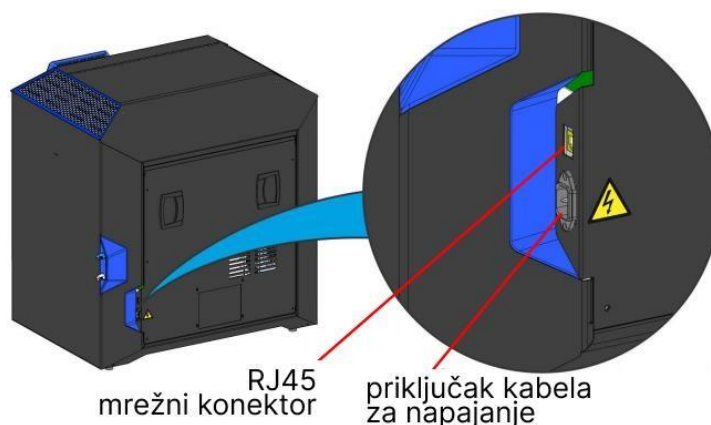
#### 4.1.2 Uključivanje uređaja

Otvorite gornji poklopac i provjerite je li narančasta kopčica uklonjena s X remena, i narančasta vezica uklonjena je s X motora. Ako nije, ukloniti narančastu kopčicu i/ili narančastu vezicu koja učvršćuje ove komponente. Provjerite jesu li ispunjeni minimalni zahtjevi za prostorom

Obrađene datoteke zadataka mogu se prenijeti iz *GrabCAD* Printa na pisač F120 putem Ethernet mrežu objekta. RJ45 mrežni konektor nalazi se na desnom, stražnjem kutu pisača (gledan sa stražnje strane).

*Spajanje kabela za napajanje* - 1. Spojite muški kraj isporučenog kabela za napajanje (američkog ili europskog) izravno u a uzemljenu električnu utičnicu.

2. Spojite ženski kraj kabela za napajanje izravno u utičnicu koja se nalazi na stražnjoj strani pisača (slika 14.).





### Slika 16. Prikaz priključaka za napajanje

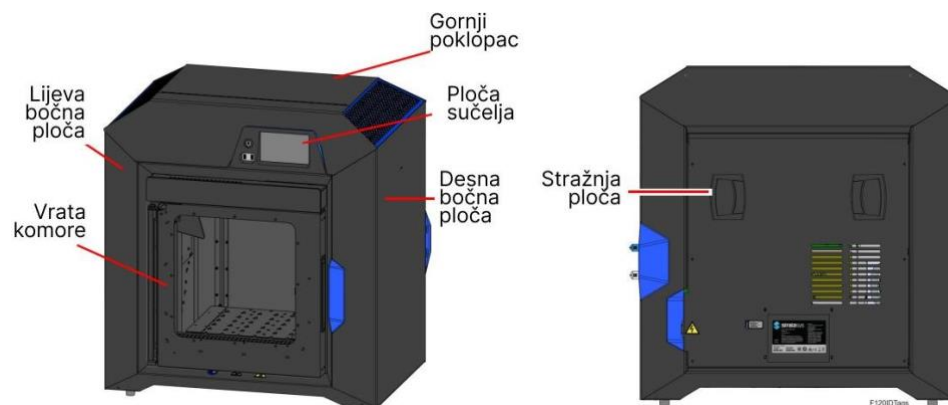
Konfiguriranje mreže - Unutar *Network page* može se postaviti vrstu adrese pisaača na statičku, dinamičku (DHCP) ili Wi-Fi; Dinamičan je odabrano prema zadanim postavkama.

- Statička adresa – mora se unijeti IP adresa, podmrežnu masku (eng. *Subnet mask*) i adresu pristupnika za pisač . Jednom unesena adresa se neće promijeniti.
- Dinamička adresa (DHCP) - mrežni poslužitelj ili računalo će generirati IP adresu za pisač. Poslužitelj ili osobno računalo mogu s vremena na vrijeme generirati drugu IP adresu.
- Wi-Fi adresa - pisač će tražiti i omogućiti povezivanje s dostupnom Wi-Fi mrežom mreže (ako je instaliran Wi-Fi ključ).

Instaliranje *GrabCAD Printa* – Potrebno je instalirati softver *GrabCAD Print* na radnu stanicu objekta. Idite na <http://help.grabcad.com/article/197-sign-up-download-and-install> i slijediti upute na zaslonu. Nadalje, dodati pisač F120 u aplikaciju *GrabCAD Print*. Po instrukcijama s web stranice: <http://help.grabcad.com/article/198-connect-your-printers> i slijediti upute na zaslonu. Tamo se također mogu naći podaci o tome kako namjestiti *datum i vrijeme* pisaača, *ažuriranje verzije softvera kontrolera* te *za podešavanje visine brisača vrha*.

#### 4.1.3 Komponente uređaja

Ovaj pisač je dizajniran kako bi omogućio lakši pristup najčešće korištenim područjima uređaja (slika 16.).



Slika 17. Dijelovi uređaja

Gornji poklopac - omogućuje pristup pokretnom postolju i sklopovima glave

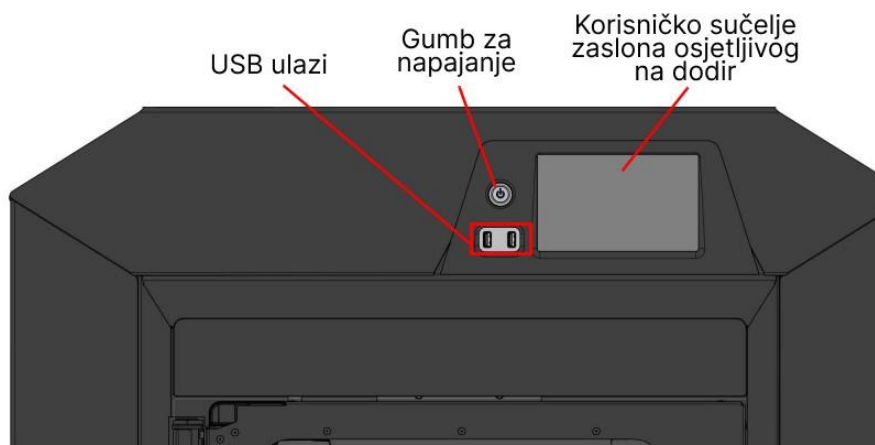
Vrata komore - omogućuju pristup ploči za tiskanje, sklopovima brisača vrha, području pročišćavanja, dovršenim dijelovima te kameri pisača

Desna i lijeva bočna ploča - omogućuju pristup ventilatorima komore pećnice.

Stražnja ploča - omogućuje pristup odjeljku za elektroniku

### *Ploča sučelja*

Ploča sučelja sadrži korisničko sučelje dodirnog zaslona pisača, gumb za napajanje i USB ulaze (slika 17.).



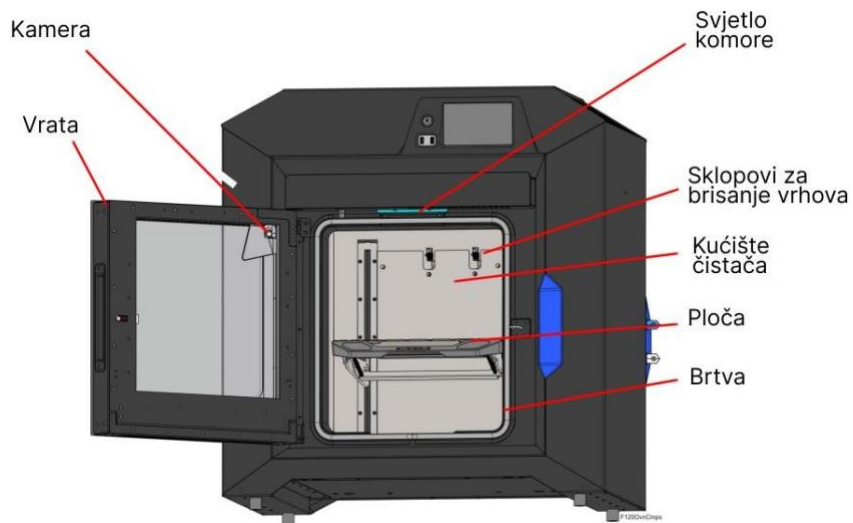
*Slika 18. Prikaz ploče sučelja*

Korisničko sučelje zaslona osjetljivog na dodir - omogućuje korisničku kontrolu pisača. Iz korisničkog sučelja se može pristupiti različitim zaslonima birati poslove za gradnju, kontrolirati poslove u procesu izgradnje, mijenjati materijale, izvoditi kalibracije i konfigurirati postavke pisača i mogućnosti održavanja. Zaslona osjetljiv na dodir vizualno prikazuje operativno stanje pisača kao i sve dostupne informacije upozorenja.

Gumb za napajanje - omogućuje uključivanje i isključivanje pisača

USB ulazi pisača - omogućuju jednostavno učitavanje datoteka zadataka za izradu. Nakon priključivanja USB *flash* pogona u bilo koji od USB priključaka, može se pristupiti sadržaju *flash* pogona putem *Queue page*

### *Komponente komore*



*Slika 19. Prikaz komponenti komore*

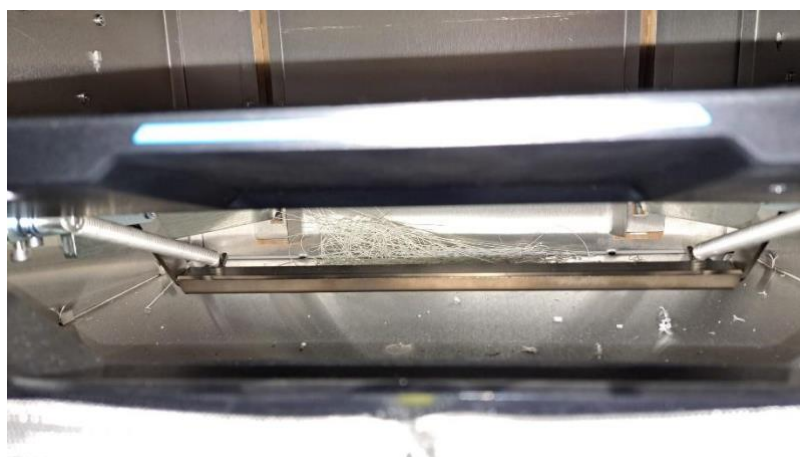
Vrata komore - koriste elektromagnetsku bravu zajedno s optičkim sensorima. Vrata pećnice ostaju zaključana dok pisač gradi i automatski se otključavaju kada je sigurno za pristup komponentama pećnice. Vrata se ne mogu otvoriti dok pisač radi. Gornji poklopac automatski će se otključati zajedno s vratima pećnice, dopuštajući da se ručno otvori gornji poklopac. Brtva vrata pećnice, koja se proteže po obodu okvira vrata pećnice, pomaže osigurati hermetičko brtvljenje kada su vrata pećnice zatvorena. Prozor na vratima pećnice sastoji se od 2 sloja kaljenog stakla.

Kamera pisača - smještena je unutar okvira vrata pećnice i omogućuje daljinsko praćenje dok se dio gradi. Korištenjem instalirane aplikacije GrabCAD Print na računalu, može se vidjeti dio dok se gradi, što omogućuje daljinski nadzor kvalitete izrade dijela. Slike se automatski snimaju u zadanom intervalu putem GrabCAD Printa.

Svjetlo pećnice - jedna svjetlosna cijev postavljena je na prednji gornji rub pećnice i služi za osvjetljavanje komora pećnice. Svjetlosna cijev sastoji se od devet visoko - temperaturnih LED dioda; svaka LED je snage 1 vat. Svjetlo pećnice napaja se s 12 VDC. Gumb „Svjetlo“ na stranici Alati pokazuje trenutno stanje svjetla u pećnici i dopušta ručno uključivanje i isključivanje svjetla.

Ploča - Čelična ploča osigurava ravnu površinu na kojoj se grade dijelovi. Supstrat je sigurno pričvršćen za podlogu koristeći ručku za izbacivanje. Nakon postavljanja supstrata na ploču, podizanjem ručke će se supstrat zaključati na mjesto; pritiskom ručke prema dolje, supstrat će se osloboditi.

Sklopovi za brisanje vrhova - dva sklopa brisača vrhova nalaze se na stražnjoj strani pećnice, jedan za modeliranje i jedan za potporu. Svaki sklop sastoji se od treptaja i četke. Sklopovi za brisanje vrhova čuvaju vrhove pisača od nakupljanja supstrata. *Flicker* presijeca pročišćeni materijal s kraja vrha i izbacuje ga u žlijeb za pročišćavanje. Četkica čisti vrh i štitnik vrha. Očišćeni ostaci materijala vode se prema dolje od sklopova brisača vrha do dna komore pećnice kroz žlijeb za čišćenje. (Slika 19)

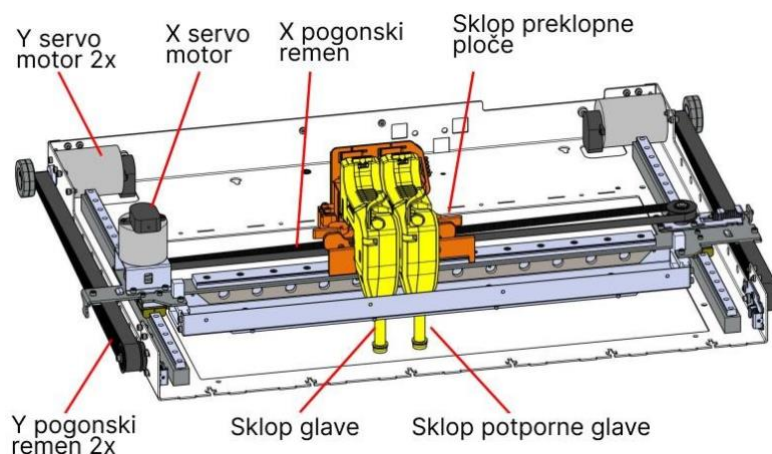


*Slika 20. Ostatci materijala za tiskanje*

Kućište za čišćenje - nalazi se u stražnjem dijelu komore. Očišćeni ostaci materijala vode se prema dolje od sklopove vrhova za brisanje na dno komore kroz kućište za čišćenje. Materijalni ostaci izlaze iz kućišta za pročišćavanje kroz otvor na dnu i zatim se nakuplja na dnu komore. Nakupljene ostatke materijala treba uvijek čistiti na tjednoj bazi, ovisno o količini uporabe.

Za pristup postolju ili glavama, prvo morate otvoriti gornji poklopac. Gornji poklopac koristi mehanički mehanizam za zaključavanje. Gornji poklopac ostaje zaključan dok pisač gradi i automatski se otključava kada se otvore vrata komore. Pisač ne može nastaviti s izgradnjom ako su gornji poklopac i/ili vrata komore otvoreni. Postolje pomiče glavu u smjeru X i Y kada se gradi objekt. Cijelo postolje je izvan pećnice; samo dno glave strši u pećnicu. Postolje i njegovi pogonski motori toplinski su zaštićeni od komore pomoću fleksibilnih toplinskih

štitova. Za pomicanje glave, postolje koristi jedan X i dva Y servo motora pričvršćena na razvodni remen (slika 20.).



Slika 21. Prikaz postolja i glave

#### 4.1.4 Upute za korištenje uređaja

- Priprema prostora:

Osigurati dovoljno prostora za pisač, jer će trebati radni prostor za postavljanje materijala i nadzor tijekom ispisa. Provjerite je li pisač postavljen na ravnu i stabilnu površinu kako bi se izbjegle vibracije i neželjeno pomicanje tijekom ispisa.

- Uključivanje uređaja:

Provjerite je li pisač povezan s električnim napajanjem te na pisaču pronaći gumb za uključivanje i pritisnuti ga. Pričekajte nekoliko trenutaka dok se uređaj pokreće i inicijalizira.

- Kalibracija pisača:

Prije početka ispisa, važno je provesti kalibraciju pisača kako bi osigurali ispravno poravnanje i ravnotežu. Slijedite upute i koristiti softver za upravljanje pisačem kako bi pravilno kalibrirali pisač.

- Priprema ploče za ispis:

Ploča za ispis je površina na koju se materijal za ispis postavlja. Ona može biti magnetna ili sadržavati poseban premaz za bolje prianjanje. Provjerite je li ploča za ispis čista i bez prethodnih ostataka materijala te ako je potrebno, nanositi poseban premaz za prianjanje na površinu ploče za ispis prema uputama proizvođača.

- Priprema materijala:

Stratasys F120 koristi posebne plastične namotaje materijala. Osigurajte prikladni materijal za korištenje. Umetnite namotaj materijala u odgovarajuću ulaznu jedinicu na pisaču te slijedite upute za pravilno umetanje.

- Priprema datoteke za ispis:

Pripremiti željeni 3D model koristeći softver za modeliranje poput SolidWorks, AutoCADa, Blender-a ili sličnog. Na računalu povezanom s pisačem, otvorite softver za upravljanje pisačem, kao što je GrabCAD Print. Učitati 3D model u softver i provjerite je li pravilno prikazan. Potrebno je izvesti model u odgovarajućem formatu podržanom od strane pisača. Konfigurirajte postavke ispisa prema potrebama i željama, uključujući veličinu, rezoluciju, gustoću ispisa i ostale parametre.

- Postavljanje i orijentacija 3D modela:

Pomoću softvera za upravljanje pisačem, postavite i orijentirajte svoj 3D model na ploči za ispis. Orijentacija može utjecati na kvalitetu ispisa i potporne strukture. Odaberite optimalnu orijentaciju kako bi postigli željeni rezultat. Provjerite je li model postavljen na željenoj poziciji i ima li dovoljno podrške za stabilnost tijekom ispisa složenih geometrija.

- Postavke ispisa:

Provjerite postavke ispisa u softveru za upravljanje pisačem, uključujući temperaturu pisača, brzinu ispisa, slojevitost debljinu, podržavajući materijal itd. Prilagodite postavke prema zahtjevima projekta ili modela koji ispisujete. Pažljivo provjerite sve postavke prije pokretanja ispisa kako bi bili sigurni da su ispravne.

- Pokretanje ispisa:

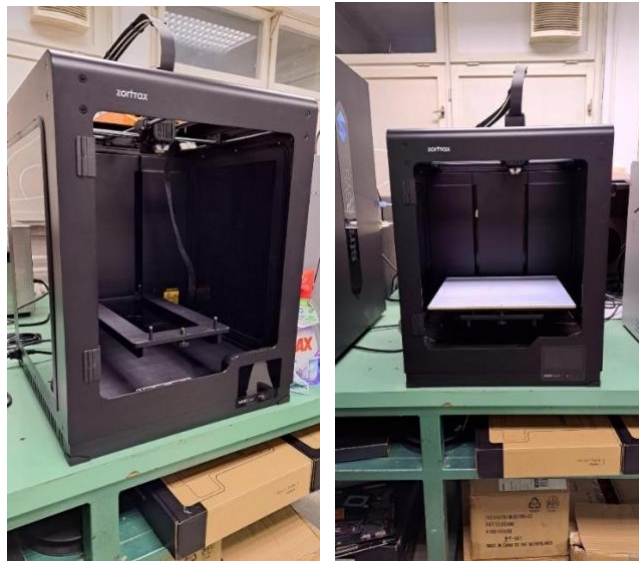
Pritisnite gumb za pokretanje ispisa na pisaču ili softveru za upravljanje kako bi započeo proces ispisa. Tijekom ispisa treba biti pažljiv i nadzirati postupak kako bi osigurali da se sve odvija ispravno. Izbjegavajte ometanje pisača tijekom ispisa kako ne bi narušili kvalitetu i preciznost.

- Završetak ispisa:

Nakon što je ispis završen, pričekajte da se platforma ohladi prije uklanjanja 3D modela. Pažljivo uklonite ispisani model s pisača i provjerite jesu li svi podržavajući materijali (ukoliko su korišteni) uklonjeni s modela. Očistiti radnu površinu od ostataka materijala i pripremite ju za sljedeći ispis.

#### 4.2 Zortrax m300 dual

Zortrax M300 Dual (slika 21) zajedno sa Z-SUITE (*slicer*) i namjenskim materijalima čine cjelinu ekosustava 3D ispisa. Zahvaljujući ovom uređaju, moguće je pretvoriti digitalne, trodimenzionalne projekte u stvarnost koristeći tehnologiju *Layer Plastic Deposition Plus* (LPD Plus). Ova tehnologija uključuje taloženje slojeva otopljenih materijala za izgradnju unaprijed dizajniranog oblika. Uređaj može raditi u načinu dvostrukog ekstrudiranja u kojem se 3D objekt ispisuje standardnim termoplastom i materijalom za podlogu topljivim u vodi, te u načinu jednostruke ekstruzije u kojem su model i potporne strukture otisnute istim materijalom. Dodatno, pisač ima nekoliko hardverskih značajki koje značajno pomažu u smanjenju broja neuspjelih ispisa: sustav za otkrivanje zastoja materijala koji odmah zaustavlja proces ispisa u slučaju problema s ekstruzijom kao i *blackout response* sistem koji spašava napredak ispisa tako da uređaj može nastaviti ispis s istog mjesta nakon gubljenja napona. Zortrax M300 Dual 3D pisač može se koristiti u mnogim industrijama tijekom projektiranja i izrada prototipova, na primjer, automobilskih dijelova, mehaničkih elemenata, konceptualnih modela, svakodnevnih predmeta kao i ukrasnih elemenata.



*Slika 22. Pisač u prostoru fakulteta*

#### 4.2.1 Uključivanje uređaja

Nakon što je pisač izvađen iz kutije i sastavljen koristeći priručnik, potrebno je uključiti kabel u struju. Potrebno je pričvrstiti dva namotaja materijala na stražnjoj strani pisača, zatim pričvrstiti dva namotaja materijala na ekstruder i na krajnji prekidač. Pomoću materijala pričvrstite dvije vodilice za kabel ekstrudera koristeći stezaljke. Sljedeće, namjestite namotaje na držače. Namotaji bi se trebali okretati suprotno od kazaljke na satu. Ubacite materijale u ekstruder kroz krajnji prekidač i vodilice materijala. Nadalje, potrebno je kalibrirati pisač kroz zaslon na pisaču te učitati materijal pomoću opcija iz izbornika „Materijali“, zatim izvršiti poravnanje mlaznice kalibriranje.

*Spajanje pisača na mrežu* - M300 Dual može se spojiti na lokalnu mrežu na dva načina: putem Wi-Fi-ja ili Ethernet kabela. Obje metode omogućuju upravljanje pisačem izravno iz Z-SUITE-a te tako omogućuju daljinski transfer .zcodex datoteka iz računala u pisač. Za povezivanje pisača s Wi-Fi mrežom otvorite izbornik Postavke i odabratu Wi-Fi. Iz popisa dostupnih mreža, odabratu svoju mrežu i ako je potrebno unijeti lozinku. Odabratu *Connect* za uspostavljanje veze. Za povezivanje pisača s Ethernet kabelom, stvoriti lokalnu mrežu i spojiti *ruter/modem/switch* na pisač. Veza će se uspostaviti automatski.

*Z-SUITE* - nakon što je pisač spojen na mrežu, otvorite ploču *Moji uređaji* u Z-SUITE-u. Moguće je tražiti uređaje dostupne u lokalnoj mreži i dodati ih na ploču programa. Odaberite

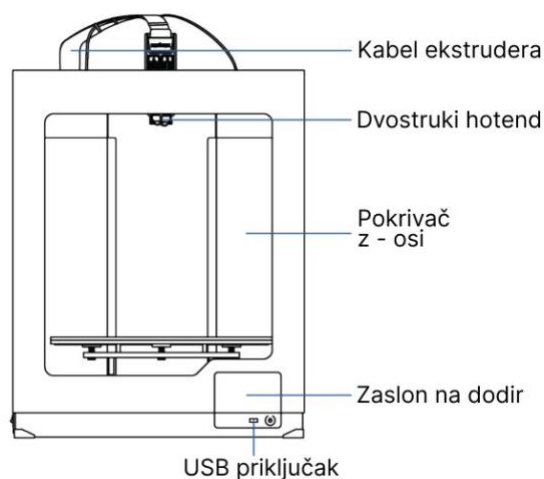


ikonu s IP adresom pisača i kliknite na nju da bi dodali pisač na ploču. Pisač je moguće dodati i ručno upisivanjem njegove IP adrese. Svakim dodanim pisačem može se jednostavno upravljati u Z-SUITE-u. Može se pokrenuti, zaustaviti i pauzirati proces ispisa, pogledati trenutno stanje pisača (Spreman za ispis / Ispis / Pauzirano / Izvan mreže), promijeniti naziv pisača, pregledati osnovne podatke o pisaču ili prikazati pregled s kamere pisača. Najnovije ažuriranje Z-SUITE-a može se pronaći u odjeljku Download na: <https://support.zortrax.com/>.

*Punjenje materijalom* - odabrati „Alati i materijali“, zatim odaberite materijal i kliknite „Učitaj“. U ovom trenutku pisač će početi zagrijavati ekstruder., te će biti vruć. Preporučuje se nositi zaštitne rukavice i ne dirati ga. Kada je zagrijavanje završeno, postavite namotaj na držač na stražnjoj strani pisača, te uvucite materijal u ekstruder kroz krajnji graničnik materijala i vodilicu materijala.

*Kalibracija platforme* - postupak koji smanjuje rizik od problema koji se mogu pojaviti tijekom procesa tiskanja. Uključuje postupak provjere udaljenosti između mlaznica i pet točaka na platformi i zatezanje/otpuštanje kalibracijskih vijaka. Moguće je kalibrirati platformu na dva načina: automatski ili ručno.

#### 4.2.2 Komponente uređaja

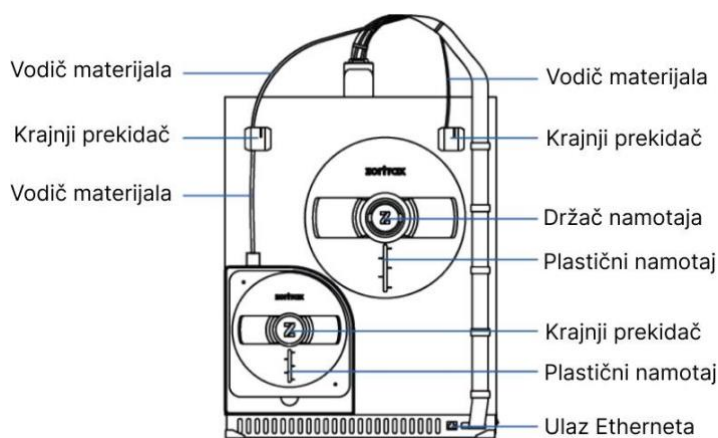


Slika 23. Prikaz prednje strane pisača

Kabel ekstrudera - trakasti kabel koji povezuje ekstruder s matičnom pločom. Opskrbljuje ekstruder s strujom i omogućuje matičnoj ploči da regulira proces ispisa.

*Hotend* - osnovni sustav grijanja koji se sastoji od aluminijskog bloka, grijača i termoelektrične baterije. M300 Dual opremljen je s dva odvojena *hotenda*, svaki prilagođen za ispis drugim materijalom. *Hotend* je odgovoran za zagrijavanje i topljenje materijala kao i za osiguranje pravilne temperature materijala tijekom cijelog procesa ispisa. U dodatku, manja je vjerojatnost da će se *hotends* zaprljati zahvaljujući teflonskim navlakama.

Zaslon na dodir - zaslon postavljen na prednjoj strani pisača, što omogućuje brzu i intuitivnu navigaciju kroz izbornik uređaja. Zaslon također prikazuje informacije o trenutnom procesu ispisa i druge informacije o pisaču.

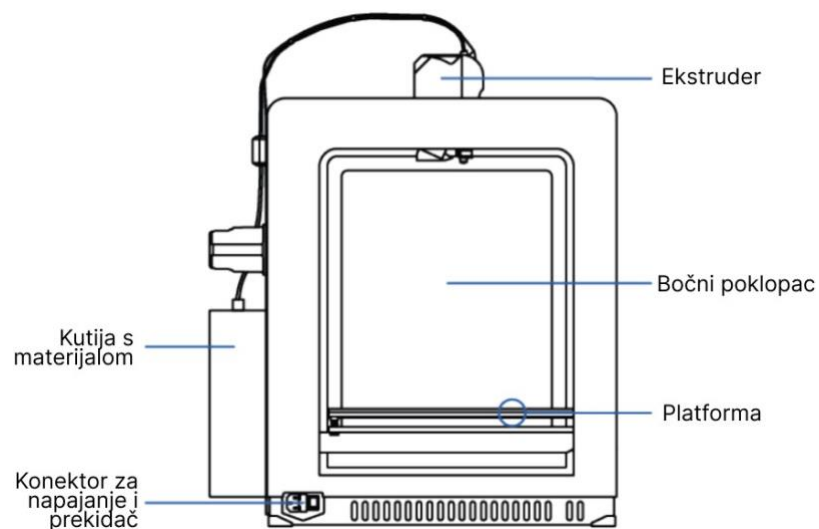


Slika 24. Prikaz stražnje strane pisača

Krajnji prekidač - uređaj koji detektira prisutnost materijala i reagira kada ga ponestane. M300 Dual je opremljen s dva prekidača koji se nalaze na stražnjoj strani pisača. Ako je tijekom procesa ispisa namotaj materijala završen, odgovarajući krajnji prekidač automatski će učiniti da pisač pauzira ispis i dopustiti korisniku da učita novi materijal.

Vodič materijala - cijev koja dovodi materijal od namotaja do ekstrudera pod odgovarajućim kutom. M300 dual opremljen je s dvije vodilice materijala, koje se moraju pričvrstiti na ekstruder i odgovarajući prekidač materijala koji se nalazi na stražnjoj strani pisača.

Držać namotaja - element koji se koristi za pričvršćivanje koluta materijala na stražnjoj strani pisača. Postoje dvije vrste držača namotaja u m300 dual: jedan koji osigurava namotaj za model i onaj koji osigurava namotaj potpunog materijala.



Slika 25. Bočni prikaz pisača

Kutija za materijal - spremnik s upijačima vlage postavljen na stražnjoj strani pisača. štiti potporne materijale od vanjskih čimbenika, uključujući vlagu, i pomaže u održavanju visoke kvalitete otisaka.

Platforma - sastavni dio 3D pisača na kojem se izrađuje model. Sastoji se od dva dijela: grijač i perforirana ploča. Oba su dijela povezana upotrebom vijaka i „Pogo“ klinova. Grijači krevet osigurava odgovarajuće grijanje platforme, dok perforirana ploča povećava prianjanje modela na površinu platforme. Dodatno, može se koristiti staklena ploča koja je uključena u set. Prilagođen je za besprijekoran 3D ispis koji omogućuje bolju kvalitetu donje površine u modelima. Cijela platforma se lako može ukloniti ili vratiti na mjesto.

Ekstruder - mehanizam koji osigurava dopremu materijala, zagrijavanje i istiskivanje kao i hlađenje ispisa. Njegove glavne komponente uključuju dva *hotenda*, svaki opremljen mlaznicom, jedan za modelni materijal i jedan za pomoćni materijal. Svaki materijal se topi u *hotend*-u, a zatim je izgurao kroz njega dok ne izađe iz mlaznice. Otopljeni termoplast je nanesen sloj po sloj kako bi se formirao unaprijed dizajnirani oblik. Dodatno, tu su i tri ventilatora na ekstruderu: jedan koji hladi cijeli mehanizam i dva koji hlade otisak.

#### 4.2.3 Upute za korištenje uređaja

- Priprema uređaja:

Provjerite je li pisač ispravno povezan s izvorom napajanja kako bi osigurali stabilno napajanje za rad. Pronađite prekidač napajanja na pisaču i pritisnite ga kako biste ga uključili.

Pričekajte da se pisač pokrene. Na zaslonu pisača se može pratiti postupak inicijalizacije i zagrijavanja. Pričekajte da pisač postigne potrebnu radnu temperaturu prije nastavka na sljedeći korak.

- Priprema radne površine:

Osigurajte ravnu, stabilnu i čistu površinu na kojoj će biti postavljen pisač. Provjerite ima li dovoljno prostora oko pisača kako bi mogli slobodno otvoriti poklopac i manipulirati materijalom, te ako je potrebno, provjerite je li površina na kojoj stoji pisač dovoljno čvrsta kako bi se izbjegle vibracije tijekom ispisa.

- Priprema filamenata:

Odaberite filament koji će se koristiti za ispis. Pobrinite se da je filament kompatibilan s Zortrax M300 Dual pisačem. Provjerite je li filament ispravno umetnut u spremnike filamenata na pisaču. Pratiti upute proizvođača kako biste osigurali ispravno umetanje filamenata. Uključiti prekidač filamenata kako bi aktivirali ulazak filamenata u mlaznicu pisača.

- Priprema radne ploče:

Na pisaču postoji radna ploča za ispis. Postavite je na radnu površinu pisača. Pazite da je radna ploča čista i bez nečistoća kako bi se osiguralo dobro prijanjanje ispisa. Ako je potrebno, može se nanijeti odgovarajući premaz za prijanjanje kako bi se poboljšala adhezija ispisa na radnu ploču.

- Konfiguracija pisača:

Na pisaču postoji zaslonko sučelje s kojeg se može pristupiti postavkama. Koristite kontrole na zaslonu kako bi se kretali kroz izbornike i prilagodili postavke. Provjerite postavke materijala za ispis, brzine ispisa, debljine sloja i druge parametre prema svojim potrebama. Prilagodite ih prema specifičnostima projekta. Obratite pažnju na odabir pravilne mlaznice za ispis. Ovisno o potrebama, možda će trebati različite mlaznice s različitim karakteristikama. Provjerite postavke potpore i njihovu gustoću. Moguće je odabrati željenu dodatnu potporu i kako će se ona ispisati.

- Priprema datoteke za ispis:

Koristite odgovarajući softver za pripremu datoteke za ispis (Zsuite). Učitati željeni 3D model za ispis u softveru. Provjeriti orijentaciju modela, dimenzije i postavke ispisa. Prilagoditi ih prema željama i zahtjevima projekta. Generirati G-kod ili odgovarajuću datoteku za ispis. Ova datoteka će sadržavati sve informacije potrebne za pisač kako bi ispisao model.

- Pokretanje ispisa:

Na zaslonu pisača odaberite datoteku za ispis koju ste generirali u prethodnom koraku. Provjerite jesu li svi pripremni koraci obavljeni ispravno. Provjerite je li filament pravilno umetnut, radna ploča postavljena i postavke konfigurirane. Pokrenite ispis pritiskom na odgovarajuću naredbu na zaslonu pisača. Pisač će početi s ispisom vašeg modela. Poželjno je ostati u blizini pisača kako bi mogli pratiti napredak i intervenirati ako je potrebno.

- Nakon završetka ispisa:

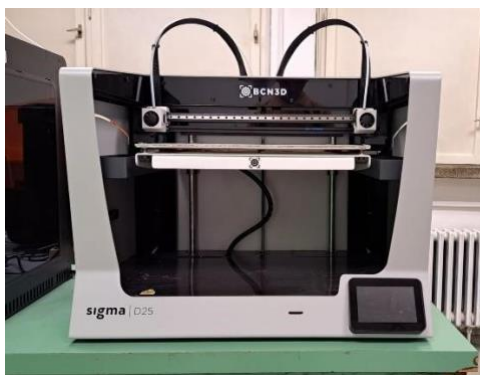
Kada je ispis dovršen, pričekajte da se ispis potpuno ohladi prije nego što ga dodirujete ili manipulirate. Pažljivo uklonite ispis s radne ploče, pritom da se ne ošteti model prilikom uklanjanja. Ako je potrebno, ručno uklonite potporu. Moguće je koristiti pincete, odvijače ili druge alate kako biste pažljivo uklonili potporu s modela. Očistite radnu ploču i pisač od eventualnih ostataka filameta ili drugih nečistoća. Održavajte pisač čistim i urednim za optimalne rezultate ispisa.

- Održavanje pisača:

Redovito provjeravajte razine filameta u spremnicima. Ako je potrebno, nadopunite ih novim filamentom kako bi osigurali neprekidan rad pisača. Očistite mlaznice i druge dijelove pisača prema uputama proizvođača. Redovito uklanjajte nakupine filameta ili prašine koje se mogu skupiti tijekom ispisa. Pratite raspored zamjene potrošnih dijelova i obavljati potrebno održavanje kako bi osigurali dugotrajan i pouzdan rad pisača.

### 4.3 BCN3D Sigma D25

BCN3D Sigma D25 je visokokvalitetni 3D pisač s naprednim mogućnostima. Ovaj pisač kombinira pouzdanost i dvostruku ekstruziju kako bi omogućio istovremeni ispis s dva filamenata. Veliki volumen ispisa pruža dovoljno prostora za ispisivanje velikih i složenih modela. Sustav samokalibracije olakšava postavljanje i osigurava precizno kalibriranje radne ploče. Pisač ima napredne sigurnosne značajke poput senzora za zaustavljanje ispisa u slučaju prekida. Intuitivno sučelje i softver omogućuju jednostavno upravljanje postavkama ispisa. BCN3D Sigma D25 je kompatibilan s različitim materijalima za 3D ispis. Povezivanje putem USB-a, Ethernet-a ili Wi-Fi-ja omogućuje jednostavno upravljanje i nadzor ispisa. S tehničkom podrškom i ažuriranjima softvera, BCN3D Sigma D25 je svestran alat za inženjering, dizajn, prototipiranje i obrazovanje.



*Slika 26. Pisač u prostoru fakulteta*

#### 4.3.1 Priprema okoline uređaja

Kako biste osigurali lak pristup pisaču tijekom normalnog rada i održavanja, instalirajte uređaj na mjesto s dovoljno prostora između zidova i druge opreme. Udaljenost mjerena od stražnje strane pisača do zida mora biti najmanje 200 mm kako bi se omogućio lak pristup bočnoj strani pisača. Ovaj prostor je važan kako bi se osigurao lak pristup ekstruderima, FRSu i vanjskim Namotajima materijala. Ne pokrivajte pisač tijekom rada kako biste osigurali dobru ventilaciju. Ostavite najmanje 100 mm slobodnog prostora sa svake strane pisača za odgovarajuću ventilaciju i najmanje 200 mm s prednje strane pisača kako bi se spriječila moguća šteta. Postavite pisač na stol ili radni stol koji može izdržati najmanje 50 kg (preporučeno 100 kg) i koji ima najmanje 20% više površine od otiska pisača u svakom smjeru (preporučeno 1000 mm x 800 mm). Koristite stroj na temperaturama od 15 °C ~ 30 °C i relativnoj vlažnosti ispod 50%.

#### 4.3.2 Uključivanje uređaja

Nakon što izvadite pisač iz kutije i sastavite koristeći priručnik, potrebno je uključiti kabel u struju. Serija BCN3D Sigma može se koristiti online ili offline. Međutim, potrebno je spajanje pisača na mrežu kako bi ga registrirali i koristili funkcionalnost BCN3D Clouda.

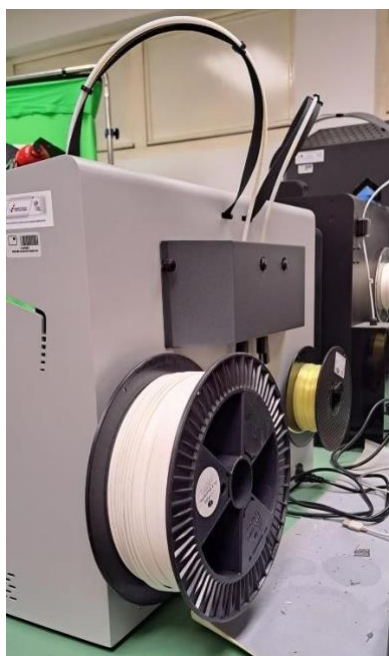


Slika 27. Utori pisača

Nakon što je pisač ispravno postavite na radni stol, potrebno je nastaviti s pripremnim protokolima. Ovi protokoli uključuju registraciju pisača, umetanje materijala i izvođenje kalibracije.

*Registracija pisača* - Pisači serije BCN3D Sigma dolaze s mogućnošću povezivanja na mrežu radi praćenja, kontrole i vizualiziranja podataka generiranih korištenjem. Postoje tri dostupne opcije, bilo da je pisač povezan putem *etherneta*, putem WiFi-a ili kada mreža nije dostupna. Proces registracije omogućuje korisniku da se može povezati i koristiti funkcionalnosti BCN3D Clouda. Ovaj postupak automatski aktivira pisač, što je obavezan korak u svrhu jamstva i podrške. Kako bi izveo operaciju, pisač mora imati ispravnu internetsku vezu, a u slučaju da se ne želite registrirati ili ako je internetska veza nedostupna, postupak aktivacije može se obaviti zasebno. Nakon registracije, pomoćnik za postavljanje pojavit će se na zaslonu osjetljivom na dodir. Ovaj proces pokazuje potrebne korake prije ispisa. Neki od tih koraka su umetanje filamentnog materijala i kalibracija pisača

*Umetanje materijala* - Sljedeći korak je umetanje niti u lijevi i desni ekstruder. Prije potvrđivanja, provjerite jesu li namotaji u ispravnom položaju i spremni za napajanje sustava. Nadalje, potrebno je uzeti namotaje te ubaciti filament u obje glave pisača slijedeći postavke na zaslonu na dodir. Pisači iz serije Sigma imaju mogućnost ugradnje nosača filamenata unutar pisača ili straga.



*Slika 28. Namotaj materijala pisača u prostoru fakulteta*

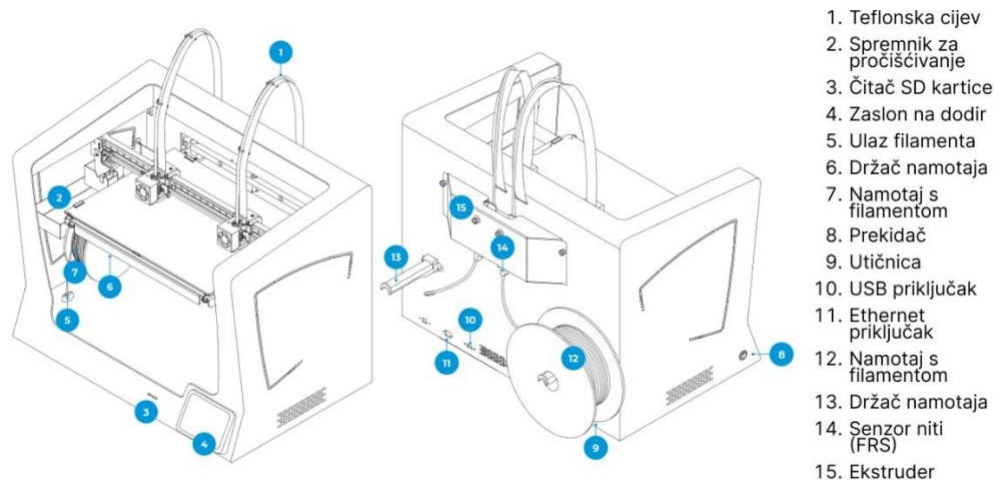
*Kalibracija* - Bcn3D pisači koji su ažurirani s autokalibracijom moraju slijediti jednostavnu, potpunu i kratku proceduru prikazanu na zaslonu na dodir. U ovom procesu slijedi mapiranje mreže, niveliranje građevne ploče, autokalibracija osi ili manualna kalibracija osi (X, Y, Z)

Nakon što pomoćnik za postavljanje završi, vrijeme je za početak upravljanja pisačem. S obzirom da je pisač spojen na mrežu, registriran, napunjen materijalom u oba ekstrudera i ispravno kalibriran u X, Y i Z smjerovima, ovo se dalje se opisuje priprema modela za ispis, ispis datoteke i prikupljanje ispisa

*Instaliranje BCN3D Stratos-a* - BCN3D Stratos je besplatan i jednostavan softver za 3D ispis koji priprema digitalni model za 3D ispis. Takav složeni proces pažljivo je optimiziran i testiran za BCN3D proizvode. BCN3D Stratos uključuje provjerene profile ispisa za povećanje stope uspješnosti ispisa. Samo je potrebno odabrati *hotends* i materijale na pisaču kako bi dobili pravi skup parametara. I, naravno, oni stručni korisnici još uvijek mogu podešavati više od 500 parametara. BCN3D Stratos koristi IDEX sustav: jednostavno spajanje modela od više materijala, generiranje potporne strukture, skraćeno vrijeme ispisa kombiniranjem *hotendova* s različitim veličinama mlaznica ili čak dvostruki proizvodni kapacitet zahvaljujući dupliciranju i zrcalnom načinu rada.



### 4.3.3 Komponente uređaja



Slika 29. Prikaz srednje i stražnje strane pisača

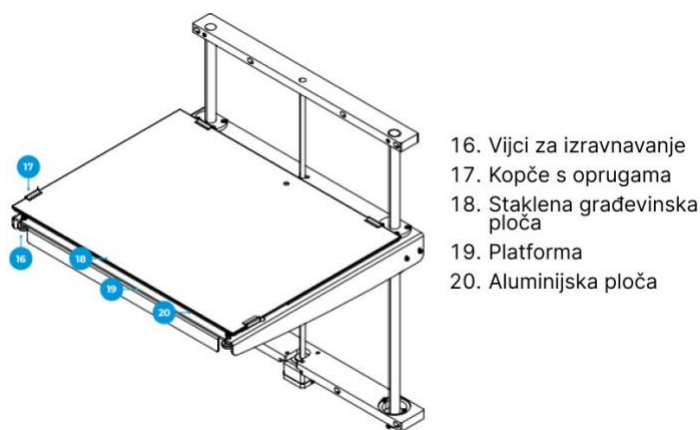
Teflonska cijev - Plastična cijev koja vodi materijal od namotaja materijala do ekstrudera i od ekstruder na *hotend*.

Čitač SD kartice - SD karticu je moguće koristiti za prijenos ispisnih datoteka na i s BCN3D pisača.

Zaslon osjetljiv na dodir - zaslon osjetljiv na dodir nalazi se u donjem desnom kutu pisača. Zaslon osjetljiv na dodir omogućuje pokretanje ispisa, promjenu postavki i pregled informacija o statusu.

Senzor niti (FRS) - otkriva kada je filament gotov i pauzira proces ispisa dok se ponovno ne učita.

Ekstruder - izvlači materijal iz namotaja, topi ga i gura kroz mlaznicu na građevnu ploču.



*Slika 30. Prikaz unutarnjeg mehanizma*

Građevinska ploča - površina izrađena od stakla na kojoj ekstruder ispisuje.

#### 4.3.4 Upute za korištenje uređaja

- Priprema radne površine:

Postavite pisač na čvrstu, ravnu i stabilnu površinu te provjeriti je li prostor oko pisača čist i dovoljno prostran za nesmetano kretanje i rad. Osigurajte da je pisač povezan s napajanjem i ispravno postavljen.

- Postavljanje materijala za ispis:

Provjerite jesu li spremnici s filamentom postavljeni na pisač i nakon toga umetnuti željeni filament u odgovarajući spremnik. Pazite da se pravilno umetne filament kako bi osigurali nesmetani ispis. Provjerite ima li dovoljno filameta u spremnicima i nadopunite ga ako je potrebno.

- Priprema radne ploče:

Provjerite je li staklena površina čista i neoštećena te ukloniti eventualne ostatke prethodnih ispisa ili ljepila. Ako je potrebno, može se koristiti ljepilo za poboljšanje prianjanja modela na staklo, no treba uzeti u obzir preporuke proizvođača o korištenju adhezivnih sredstava.

- Priprema datoteke za ispis:

Koristite odgovarajući softver za pripremu datoteke za ispis. BCN3D Sigma D25 može koristiti BCN3D Cura ili drugi kompatibilni softver. Učitajte željeni 3D objekt u softver.

Provjerite orijentaciju modela, dimenzije, postavke ispisa i potrebne podrške te ih prilagoditi prema svojim željama i zahtjevima projekta. Generirajte G-kod ili odgovarajuću datoteku za ispis. Ova datoteka će sadržavati sve informacije potrebne za pisac kako bi ispisao model.

- Postavljanje pisaca:

Uključite pisac pritiskom na odgovarajući gumb za uključivanje. Na zaslonu pisaca odaberite željene postavke ispisa, kao što su temperatura ekstrudera, temperatura radne ploče, brzina ispisa i sl. Provjerite je li ispravno postavljena mlaznica za ispis i da su filamenti pravilno umetnuti u ekstrudere.

- Pokretanje ispisa:

Na zaslonu pisaca odaberite prethodno spremljenu datoteku za ispis i provjerit sve postavke ispisa prije početka ispisa. Pokrenite ispis pritiskom na odgovarajući gumb za pokretanje ispisa te pratite napredak ispisa i provjeravajte jesu li sve operacije izvedene ispravno.

- Završetak ispisa:

Kada je ispis završen, potrebno je pričekati da se model ohladi prije nego ga uklonite s radne ploče pa pažljivo uklonite model s radne ploče. Ako je potrebno, koristite odgovarajući alat ili lopaticu kako bi model odvojili od ploče. Očistite radnu ploču od eventualnih ostataka ili adheziva kako biste je pripremili za sljedeći ispis.

- Održavanje pisaca:

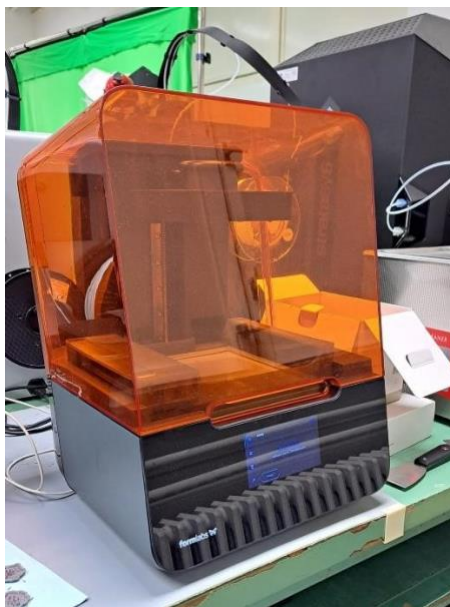
Nakon svakog ispisa, provjerite stanje mlaznica i očistiti ih ako je potrebno. Redovito čistite pisac od nakupina filamenta, prašine ili drugih nečistoća. Slijedite upute proizvođača o održavanju pisaca i zamjeni potrošnih dijelova.



### *Slika 31. Nakupina prašine na građevinskoj ploči*

#### 4.4 Formlabs Form 3+

Formlabs Form 3+ je visokokvalitetni 3D pisac koji koristi stereolitografiju (SLA) tehnologiju kako bi omogućio precizan i detaljan ispis. Ovaj pisac je pogodan za širok spektar primjena u industriji, dizajnu, prototipiranju, medicini i drugim područjima. Form 3+ koristi SLA tehnologiju koja koristi precizan laserski snop za polimerizaciju tekuće smole sloj po sloj, što omogućuje visoku razlučivost i kvalitetu ispisa. Pisac je opremljen sa LFS (Low Force Stereolithography) sustavom koji koristi nisku silu pri učvršćivanju slojeva smole, što rezultira preciznijim detaljima i glatkim površinama. Volumen ispisa je relativno velik, omogućujući ispisivanje s maksimalnom veličinom modela od 145 x 145 x 185 mm. Form 3+ koristi snažan laserski snop za brzo i precizno polimeriziranje smole, što rezultira efikasnim ispisom i skraćuje vrijeme potrebno za dovršavanje modela. Pisac ima integrirani sustav automatskog održavanja koji prilagođava postavke ispisa i održava optimalne uvjete tijekom rada. Također ima senzore za nadzor razine smole i stanja ispisa. Formlabs nudi intuitivan softver PreForm koji omogućuje jednostavno pripremanje modela za ispis, prilagodbu postavki ispisa i praćenje napretka ispisa. Pisac je kompatibilan s različitim materijalima za 3D ispis dostupnim od Formlabsa, što vam omogućuje odabir materijala s različitim svojstvima ovisno o potrebama.



### *Slika 32. Pisač u prostoru fakulteta*

#### 4.4.1 Priprema okoline uređaja

Potrebno je odabrati stabilan, ravan radni prostor za instaliranje i rad s Form 3+ te osigurati sljedeće minimalne dimenzije za najprikladniji pristup: Širina: 40 cm, dubina: 53 cm, visina: 78 cm. Ostaviti i dodatni prostor za dodatke, kao što su Form 3 Finish Kit, Form Wash i Form Cure.

#### 4.4.2 Uključivanje uređaja

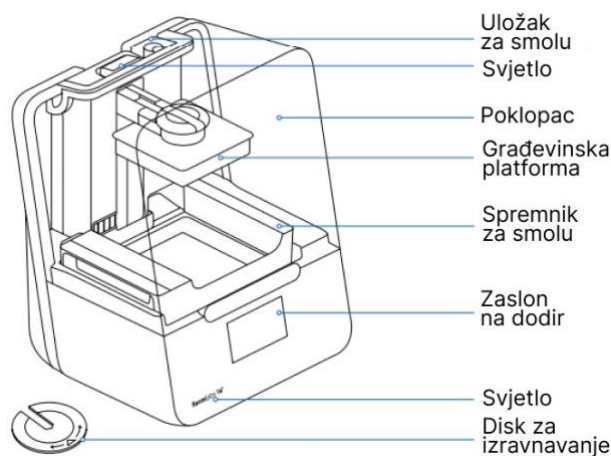
Nakon što je pisač otpakiran i postavljen služeći se uputstvima, potrebno je spojiti kabel za napajanje na pisač i napajanje. Datoteke se mogu učitati putem USB-a, Wi-Fi-ja ili Etherneta. Za USB, spojiti pisač na obližnje računalo. Za Ethernet, spojite pisač na Ethernet priključka *Izravnati pisač* - važno je da pisač stoji ravno tako da se smola ne prelije iz spremnika tijekom tiskanja. Sve četiri noge moraju počivati na čvrstoj površini kako bi se osigurala optimalna točnost ispisa. Form 3+ mora biti potpuno ravan prije početka ispisa. Ako postoji potreba, upotrijebite disk za podizanje ili spuštanje svake noge pisača.

*Povezivanje* – potrebno je povezati se s Form 3+ za prijenos i upravljanje ispisa putem Wi-Fi-ja, USB-a i Etherneta. Form 3+ može se spojiti izravno na računalo putem USB-a. Za daljinsko učitavanje i praćenje, Form 3 podržava i žičane (Ethernet) i bežične (Wi-Fi) veze. Povežite PreForm softver za pripremu ispisa na istu lokalnu mrežu (LAN) kao i pisač kako bi poslali zadatak. Za Windows operativni sustav, nakon instalacije PreForm, provjerite je li Bonjour ispravan instaliran. Bonjour je dio softvera treće strane koji je potreban za povezivanje putem Wi-Fi ili Etherneta. Posjetite [support.apple.com](http://support.apple.com) za pomoć s Bonjour-om. USB veza se još uvijek može koristiti dok je Form 3 spojen na LAN. Kada je Form 3 spojen na LAN, njegov status i napredak ispisa mogu se pratiti pomoću nadzorne ploča: [formlabs.com/dashboard](http://formlabs.com/dashboard).

*Priprema za ispis* - Prije svakog ispisa pisač provjerava sljedeće: Dodaci - Senzori provjeravaju je li spremnik za smolu pravilno instaliran, građevinska platforma, i uložak sa smolom. Temperatura - komora za ispis i smola zagrijavaju se na oko 35 °C. Ventilator za grijanje upuhuje zrak preko grijača u spremnik smole za zagrijavanje smole. Smola - smola teče iz uloška u spremnik kada se ručica za doziranje uloška stisne ventil je otvoren. Form

3+ regulira volumen smole u spremniku preko senzora tzv. LevelSense ploča, koja se nalazi iza spremnika smole. Pisač počinje puniti spremnik smole nakon što ispis započne i održava razinu smole u spremniku tijekom ispisa. Ispis počinje automatski kada *LevelSense* otkrije odgovarajuću količinu smole.

#### 4.4.3 Komponente uređaja



Slika 33. Prikaz vanjskih komponenti pisača

*Uložak za smolu* - ovaj spremnik drži smolu prije ispuštanja u spremnik smole. Povremeno protresiti uložak kako bi smola bila dobro izmiješana

*Poklopac* - Gornje kućište, izrađeno od čvrstog, jantarno obojenog materijala, blokira izlaganje lasera i štiti smolu od stvrdnjavanja zbog ambijentalnog svjetla

*Građevinska platforma* - Aluminijska baza pruža površinu za pričvršćivanje ispisa. Tijekom vremena, platforma za izradu će razviti ogrebotine od uklanjanja dijelova, što može pomoći s pridržavanjem ispisa.

*Spremnik za smolu* - Spremnik za smolu je primarni spremnik za držanje smole nakon što se isprazni iz uložka. Smola se stvrdnjava na građevnu platformu kada laser prolazi kroz film dna spremnika. Koristiti samo odobreni materijal i postupke za čišćenje spremnika smole i filma

*Zaslon na dodir* - LCD dodirno korisničko sučelje prikazuje informacije o ispisu, postavke i poruke o pogreškama.

*Disk za izravnavanje* - Svaki kut pisača podupire gumena stopa s navojem na dnu pisača. Kada zaslon osjetljiv na dodir zatraži, potrebno je koristiti disk za izravnavanje kako bi podigli ili spustili svaku nogu te bili sigurni da je pisač prihvatljivo ravan.

#### 4.4.4 Upute za korištenje uređaja

- Priprema prostora:

Postavite Form 3+ na stabilnu i ravnu površinu s dovoljno prostora oko njega. Preporučuje se osigurati dobru ventilaciju u prostoru gdje se pisač koristi, idealno s filtrom za čestice zraka kako bi se izbjeglo udisanje štetnih isparenja.

- Priprema materijala:

Nabavite prikladni 3D tiskarski materijal za Form 3+. Spremnici materijala (rezervoari) trebaju biti provjereni da su dovoljno napunjeni i pričvršćeni na pisač.

- Priprema datoteke za tisak:

Koristite softver za pripremu 3D modela, poput Formlabs PreForm softvera, kako bi pripremio datoteku za tisak. Datoteka se treba učitati u PreForm softver. Potrebno je podesiti postavke tiska, uključujući razlučivost, gustoću ispisa i podrške. Model je potrebno provjeriti u 3D pregledniku kako bi se osigurala priprema za tisak.

- Postavljanje materijala i rezervoara:

Uklonite spremnik materijala iz kutije i pažljivo ga postavite na pisač. Rezervoar materijala treba provjeriti da je čist i suh. Postavite rezervoar na pisač tako da se uskladi s oznakama na unutrašnjoj strani (slika 33.).

- Postavljanje platforme za tisak:

Uklonite platformu za tisak iz pisača i očistiti je ako je potrebno. Platformu treba postaviti na pisač tako da se uskladi s oznakama na unutrašnjoj strani. Visina platforme se podešava pomoću podesivih vijaka kako bi se postiglo optimalno prilagođavanje platforme.

- Pokretanje tiska:

Pisač se treba povezati s računalom ili koristiti USB, Wi-Fi ili Ethernet za prijenos datoteke na pisač. Pokrenite softver za tisak (PreForm) i odabrat Form 3+ kao ciljni pisač.

Pripremljena datoteka za tisak se treba učitati. Postavke tiska se trebaju pregledati i provjeriti prije pokretanja tiska. Pokretanje tiska se vrši klikom na "Print" (Tisak).

- Nadzor tiska:

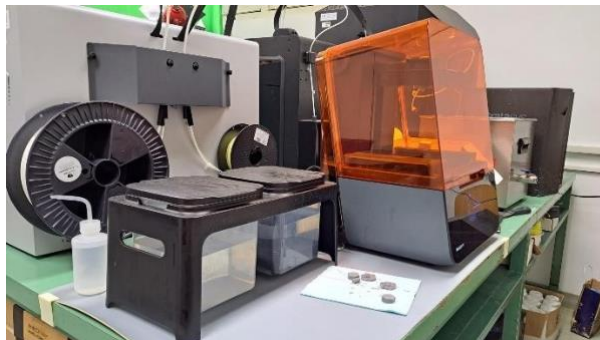
Tijekom tiska, korisnik može pratiti napredak na zaslonu pisača ili putem povezanog računala. Važno je ne dirati pisač ili uklanjati tiskani model dok tisak nije završen.

- Završetak tiska:

Nakon završetka tiska, pričekajte da se pisač ohladi prije nego što izvadi tiskani model. Rezervoar materijala i platforma za tisak se pažljivo uklanjaju iz pisača. Tiskani model se pažljivo uklanja s platforme. Ako je potrebno, podrška ili drugi dodatni elementi se mogu ukloniti.

- Naknadna obrada:

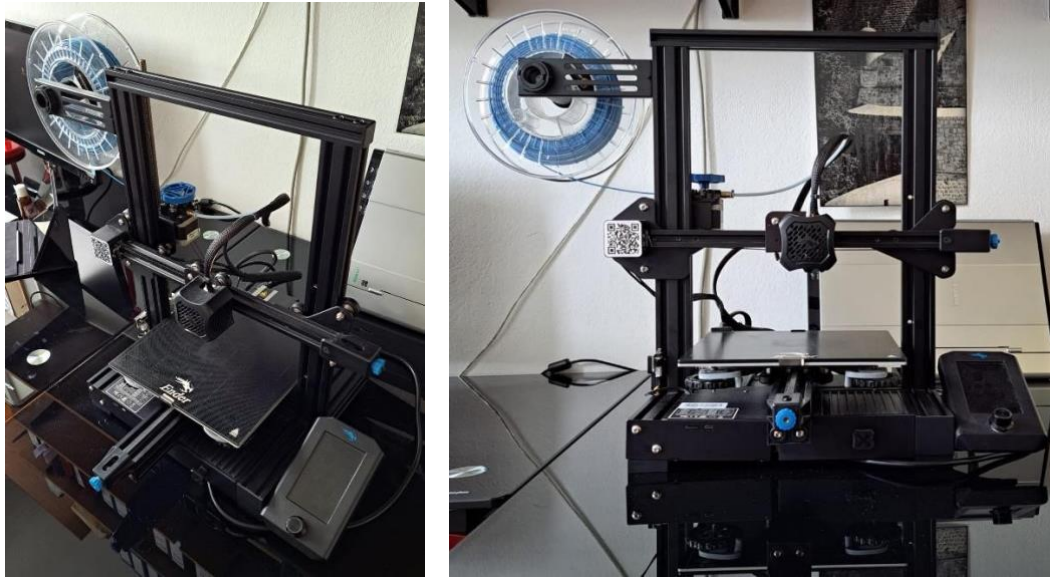
Po potrebi, nakon tiska, tiskani model se može dodatno obraditi, brusiti, bojiti ili na drugi način doraditi.



*Slika 34. Pisač i spremnici u prostoru fakulteta*



## 4.5 Creality Ender-3 V2



*Slika 35. Pisač u prostoru fakulteta*

Creality Ender-3 V2 (slika 34) je 3D pisač poznat po svojoj pristupačnoj cijeni i visokoj kvaliteti ispisa. Ima čvrst okvir izrađen od aluminijskih profila koji pruža stabilnost tijekom tiska. Ovaj pisač ima otvoren dizajn koji olakšava praćenje procesa tiska i pristup print platformi. Radni volumen od 220 x 220 x 250 mm omogućuje tiskanje srednje velikih i većih modela. Ender-3 V2 dolazi s pločom za grijanje koja omogućuje bolje prianjanje tiskanih modela i jednostavno uklanjanje nakon tiska. Koristi Bowden ekstruder smješten na okviru pisača, što osigurava stabilan protok materijala. Ovaj pisač je kompatibilan s različitim vrstama 3D tiskarskih materijala poput PLA, ABS i PETG. Ima jednostavno sučelje s LCD zaslonom i rotirajućim kotačićem za jednostavnu navigaciju. Creality Ender-3 V2 je prilagodljiv i nudi mogućnost nadogradnje i poboljšanja performansi.

### 4.5.1 Uključivanje uređaja

Nakon što je uređaj sastavljen koristeći priručnik i uključen u izvor napajanja, moguće je početi s pripremanjem za ispis.

*Izravnati pisač* - Prvi i najvažniji korak kako bi se osigurao uspješan 3D ispis je osigurati da je ploča za izgradnju (eng. *build plate*) paralelna s ravninom kojom se kreće mlaznica ekstrudera, održavajući konstantnu udaljenost od ploče za izgradnju. Ovo se također naziva

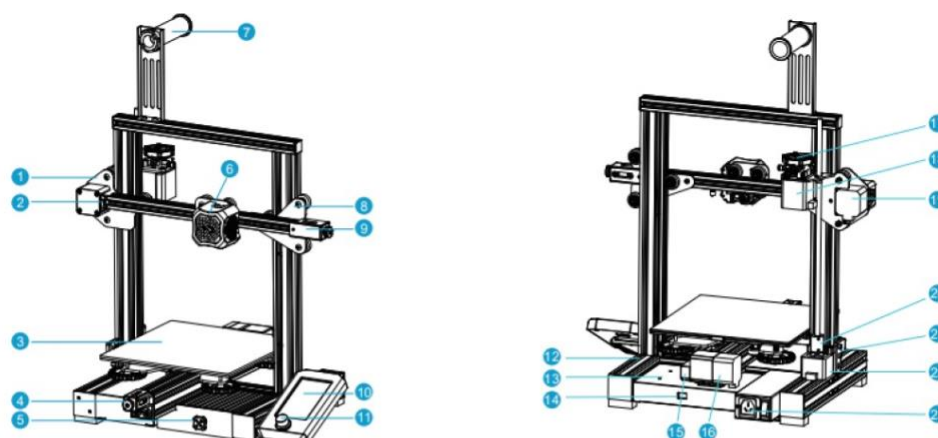
*leveling* u 3D ispisu. Postoje četiri točke niveliranja, jedna blizu svakog ugla ploče, a svaka koristi vijak i nivelirajuću gumicu za pritisak opruge koja podupire ploču za izgradnju. Okretanje gumice na vijku komprimira ili dekomprimira oprugu koja podupire ploču za izgradnju. Smjerovi su označeni na gumicama sa strelicama prema gore i dolje.

*Zagrijavanje* - Dopuštanje ekstruderu da radi. U *firmware*-u postoji sigurnosni mehanizam koji sprječava rad ekstrudera osim ako mlaznica nije dovoljno vruća da otopi filament. Minimalna temperatura mlaznice prije nego što se ekstruder pokrene je 180°. Ne možete dodavati, uklanjati ili mijenjati filament osim ako mlaznica nije dovoljno vruća da otopi filament, čak i ako rastavljate ekstruder i ručno povlačite ili gurate filament..

*Učitavanje ili zamjena filamena* - Mlaznica mora biti vruća da bi dodali, uklonili ili promijenili filament, stoga zagrijte mlaznicu prije početka. Objesite kolut s filamentom na nosač tako da se provlači preko vrha koluta prema ekstruderu. Da bi omogućili lak ulazak filamena, izrežite kut na kraju filamena kako bi mu pomogli da uđe u ekstruder. Pritisnuti polugu na ekstruderu kako bi odvojili zupčanik. Držeći polugu pritisnutu, gurnite filament kroz Bowden cijev i u toplinsku glavu i mlaznicu. Dok je mlaznica dovoljno vruća, filament bi trebao početi izlaziti iz mlaznice i filament je uspješno učitano.

*Početak ispisa sa SD kartice* – odaberite G-code datoteku koju želite ispisati i kopirajte je u korijenski direktorij SD kartice. Stavite SD karticu u pišalj i iz izbornika *Print/file selection* te odaberite datoteku i potvrdite. Datoteka će se početi ispisivati.

#### 4.5.2 Komponente uređaja



1. Sklop osi X i E
2. Granični prekidač X-osi
3. Platforma za ispis sa
4. staklenim krevetom i kopčama
5. Zatezač remena Y-osi
6. Kutija za alat
7. Sklop mlaznice
8. Držač namotaja
9. Sklop valjkastog nosača osi Z
10. Zatezač remena X-osi
11. Zaslona
12. Okretajući i stiskajući prekidač

13. Baza stroja
14. Napajanje
15. Selektor napona
16. Granični prekidač osi Y
17. Motor osi Y
18. Glava ekstrudera
19. Motor osi E
20. Motor osi X
21. Spojnica
22. Granični prekidač Z-osi
23. Motor osi z
24. Prekidač i utičnica

Slika 36. Prikaz komponenti pisača

#### 4.5.3 Upute za korištenje uređaja

- Montaža:

Pažljivo pročitajte priložene upute za montažu i osigurati sve potrebne dijelove. Sastavite okvir pisača koristeći aluminijske profile i vijke prema uputama. Ploču za grijanje treba postaviti na okvir i pričvrstiti je pomoću vijaka. Potrebno je povezati kabelske spojeve i elektroničke komponente prema uputama. Leveliranje ploče za izgradnju (eng. *build plate*): Uključite pisač i zagrijte mlaznicu na radnu temperaturu. Koristite papir ili senzor na dodir kako bi provjerili ravnotežu i pravilan kontakt ploče za izgradnju s mlaznicom. Vijke

niveliranja ploče za izgradnju treba podesiti kako bi se osigurao jednak kontakt na svim točkama.

- Priprema modela za tisak:

Potrebno je koristiti računalni softver za 3D modeliranje i pripremu modela za tisak. Model izvezite u formatu podržanom od strane pisača. Učitajte model u softver za pripremu ispisa (poput Cura ili Simplify3d) i prilagodite postavke tiska, kao što su brzina, rezolucija i podrška. Izvezite pripremljenu G-kod datoteku koja sadrži upute za pisač.

- Učitavanje filameta:

Mlaznica treba biti zagrijana na odgovarajuću temperaturu za odabrani filament. Pritisnite polugu ekstrudera kako bi otvorili prostor za filament. Filament treba umetnuti u ulazni otvor dok se ne osjeti da je sigurno uhvaćen od strane zupčanika ekstrudera. Nakon toga treba pustiti polugu ekstrudera da zatvori prostor i pritisnuti način ekstrudera kako bi se gurnuo filament kroz cijev i do mlaznice.

- Postavljanje parametara ispisa:

Učitajte G-kod datoteku na pisač putem SD kartice ili USB veze. Potrebno je provjeriti i prilagoditi postavke ispisa na pisaču, kao što su temperatura mlaznice, temperatura ploče za izgradnju, brzina ispisa i rezolucija. Odaberite željene opcije, poput podrške ili zadržavanja prilikom ispisa. Nakon toga, korisnik treba pokrenuti ispis i pažljivo pratiti postupak.

- Nakon završetka ispisa:

Važno je pričekati da se model ohladi prije nego što se ukloni s ploče za izgradnju. Model se treba pažljivo ukloniti koristeći alat poput špatule ili strugača za 3D ispis. Također je potrebno očistiti pisač od ostataka filameta i održavati ga prema uputama proizvođača.

## 5. PRIJEDLOG ODRŽAVANJA UREĐAJA

### 5.1. Stratasys fl20

1. Redovito čišćenje: Pisač treba redovito čistiti od ostataka filameta, prašine i drugih nečistoća. Koristite mekanu četku ili komprimirani zrak kako bi očistili mlaznicu, vodilice i površinu ploče za izgradnju. Paziti da se ne koriste oštri ili abrazivni predmeti koji bi mogli oštetiti komponente pisača.
2. Provjera i podešavanje niveliranja ploče za izgradnju: Redovito provjeravajte niveliranje ploče za izgradnju kako bi osigurali ravnotežu i pravilan kontakt s mlaznicom. Ako se primijeti neravnomjerno tiskanje ili problemi s prijanjanjem na ploču, provjeriti niveliranje i prilagoditi ga prema potrebi.
3. Zamjena mlaznice: Mlaznice se mogu trošiti tijekom vremena i trebaju se povremeno zamijeniti. Pri zamjeni mlaznice, provjerite je li pisač isključen i ohlađen kako bi izbjegli opekline. Također je važno redovito čistiti mlaznicu od nakupljenih ostataka filameta ili prljavštine kako bi se osigurala glatka ekstruzija filameta.
3. Čišćenje i zamjena pladnja za materijal (eng. *build tray*): Pladanj za materijal treba čistiti od ostataka filameta i drugih nečistoća. Ako je pladanj oštećen ili neispravan, treba ga zamijeniti kako bi se osigurala ispravna funkcionalnost i kvaliteta ispisa.
4. Provjera i podmazivanje vodilica: Provjerite vodilice i linearne ležajeve na pisaču i osigurati da su čisti i podmazani. Upotrijebite odgovarajuće mazivo preporučeno od strane proizvođača kako bi osigurali glatko kretanje vodilica.
5. Ažuriranje *firmware*-a: Redovito provjeravajte ima li dostupnih ažuriranja *firmware*-a za pisač. Ažuriranje *firmware*-a može donijeti poboljšanja u performansama i funkcionalnostima pisača.
6. Praćenje temperature i sigurnost: Budite pažljivi prilikom rukovanja pisačem koji koristi visoke temperature. Pazite da je prostor oko pisača dovoljno prozračen i da se ne

nalazi u blizini zapaljivih materijala. Redovito provjeravajte temperaturu mlaznice i ploče za izgradnju tijekom rada pisača kako bi osigurali sigurno korištenje.

## 5.2. Zortrax m300 dual

1. Čišćenje pisača: Redovito čistite površinu pisača od prašine i nečistoća. Koristite meku četku ili komprimirani zrak za uklanjanje ostataka filameta ili prašine iz komponenti pisača.
2. Provjera i održavanje mlaznica: Provjerite mlaznice prije svakog ispisa kako biste se uvjerali da su čiste i funkcionalne. Ako se primijeti začepljenje ili probleme s mlaznicama, slijedite upute proizvođača za čišćenje ili zamjenu mlaznica.
3. Podešavanje niveliranja ploče za izgradnju: Redovito provjeravajte niveliranje ploče za izgradnju kako biste osigurali pravilan kontakt s mlaznicom. Ako se primijeti neravnomjerno tiskanje ili probleme s prijanjanjem na ploču, prilagodite niveliranje pomoću priloženih vijaka ili mehanizama za niveliranje.
4. Zamjena filtra zraka: Provjerite filter zraka pisača i zamijenite ga prema uputama proizvođača. Redovita zamjena filtra zraka pomaže održavati čist zrak u pisaču i smanjuje rizik od začepjenja ili oštećenja komponenti.
5. Provjera i podmazivanje vodilica: Provjerite vodilice i linearne ležajeve na pisaču i osigurajte da su čisti i podmazani. Koristite odgovarajuće mazivo preporučeno od strane proizvođača kako bi osigurali glatko kretanje vodilica.
6. Ažuriranje firmware-a: Redovito provjeravati ima li dostupnih ažuriranja firmware-a za pisač. Ažuriranje firmware-a može donijeti poboljšanja u performansama i funkcionalnostima pisača.
7. Sigurnost pri radu: Prilikom rukovanja pisačem, uvijek pazite na sigurnost. Slijedite upute proizvođača o sigurnom rukovanju i pravilnom korištenju pisača.

### 5.3. BCN3D Sigma D25

1. Čišćenje pisača: Redovito čistite vanjsku površinu pisača od prašine i nečistoća. Pažljivo uklonite ostatke filameta ili prašinu s komponenti pisača koristeći meku četku ili komprimirani zrak.
3. Održavanje mlaznica: Provjerite mlaznice prije svakog ispisa kako biste osigurali njihovu čistoću i ispravno funkcioniranje. Ako primijetite začepljenje ili probleme s mlaznicama, slijedite upute proizvođača za čišćenje ili zamjenu mlaznica.
5. Niveliranje ploče za izgradnju: Redovito provjeravajte niveliranje ploče za izgradnju kako biste osigurali ravnotežu i pravilan kontakt s mlaznicom. Prilagodite niveliranje ploče prema potrebi kako biste osigurali ravnomjerno tiskanje i dobar prihvat materijala.
4. Zamjena filtra zraka: Provjerite filter zraka pisača i redovito ga mijenjajte prema uputama proizvođača. Zamjena filtra zraka pomaže održavati kvalitetu zraka u pisaču i smanjuje rizik od začepljenja i oštećenja komponenti.
5. Podmazivanje vodilica: Provjerite vodilice i linearne ležajeve na pisaču kako biste osigurali glatko kretanje. Koristite odgovarajuće mazivo preporučeno od strane proizvođača kako biste podmazali vodilice.
6. Ažuriranje firmware-a: Provjerite ima li dostupnih ažuriranja firmware-a za vaš pisač i ažurirajte ga prema uputama proizvođača. Ažuriranje firmware-a može poboljšati funkcionalnost, stabilnost i performanse pisača.
7. Sigurnost pri radu: Uvijek slijedite sigurnosne smjernice i upute proizvođača za sigurno rukovanje pisačem. Pazite na visoke temperature i opasnosti od ozljeda pri rukovanju s grijanim komponentama.

### 5.4. Formlabs Form 3+

1. Čišćenje pisača: Redovito čistite vanjsku površinu pisača od prašine i nečistoća. Očistite prostor oko pisača kako biste uklonili potencijalne prepreke ili nečistoće koje bi mogle utjecati na rad pisača.

2. Provjera i čišćenje mlaznica: Provjerite mlaznice prije svakog ispisa kako biste osigurali njihovu čistoću i ispravno funkcioniranje. Ako primijetite začepljenje ili probleme s mlaznicama, slijedite upute proizvođača za čišćenje ili zamjenu mlaznica.
3. Podešavanje ploče za izgradnju: Provjerite niveliranje ploče za izgradnju kako biste osigurali ravnotežu i pravilan kontakt s mlaznicom. Prilagodite niveliranje ploče prema potrebi kako biste osigurali ravnomjerno tiskanje i dobar prihvat materijala.
4. Zamjena materijala i spremnika: Pazite na rukovanje i zamjenu spremnika s materijalom kako biste osigurali čistu i ispravnu isporuku materijala u pisaču. Provjerite je li spremnik pravilno postavljen i dobro zatvoren prije pokretanja ispisa.
5. Održavanje kalibracije: Redovito provjeravajte i kalibrirajte pisač prema uputama proizvođača. Održavanje ispravne kalibracije osigurava preciznost i kvalitetu ispisa.
6. Ažuriranje *firmware*-a i softvera: Provjerite ima li dostupnih ažuriranja *firmware*-a i softvera za vaš pisač i ažurirajte ih prema uputama proizvođača. Ažuriranje *firmware*-a i softvera može donijeti poboljšanja u performansama, funkcionalnostima i sigurnosti pisača.
7. Sigurnost pri radu: Uvijek slijedite sigurnosne smjernice i upute proizvođača za sigurno rukovanje pisačem. Pazite na visoke temperature i opasnosti od ozljeda pri rukovanju s grijanim komponentama.

### 5.5. Creality Ender-3 V2

1. Čišćenje pisača: Redovito čistite vanjsku površinu pisača od prašine i nečistoća. Očistite radnu površinu pisača kako biste uklonili ostatke materijala i nečistoće koje bi mogle ometati ispis.
2. Provjera i čišćenje mlaznica: Provjerite mlaznicu prije svakog ispisa kako biste osigurali njenu čistoću i ispravno funkcioniranje. Ako primijetite začepljenje ili probleme s mlaznicom, slijedite upute proizvođača za čišćenje ili zamjenu mlaznice.
3. Niveliranje ploče za izgradnju: Redovito provjeravajte niveliranje ploče za izgradnju kako biste osigurali ravnotežu i pravilan kontakt s mlaznicom. Prilagodite niveliranje ploče prema potrebi kako biste osigurali ravnomjerno tiskanje i dobar prihvat materijala.



4. Zamjena filameta: Pazite na pravilno rukovanje filamentom prilikom dodavanja, uklanjanja ili zamjene. Provjerite je li filament pravilno umetnut u ekstruder i da se slobodno kreće bez zapetljavanja ili prepreka.
5. Podmazivanje vodilica: Provjerite vodilice i linearne ležajeve na pisaču kako biste osigurali glatko kretanje. Koristite odgovarajuće mazivo preporučeno od strane proizvođača kako biste podmazali vodilice.
6. Ažuriranje *firmware*-a: Provjerite ima li dostupnih ažuriranja *firmware*-a za vaš pisač i ažurirajte ga prema uputama proizvođača. Ažuriranje *firmware*-a može donijeti poboljšanja u performansama, funkcionalnostima i sigurnosti pisača.
7. Sigurnost pri radu: Uvijek slijedite sigurnosne smjernice i upute proizvođača za sigurno rukovanje pisačem. Pazite na visoke temperature i opasnosti od ozljeda pri rukovanju s grijanim komponentama.

## 6. ZAKLJUČAK

Zaključujući ovaj završni rad o usporedbi tehničkih karakteristika 3D pisača, mogu se izvući važni zaključci koji ukazuju na značaj i potencijal ove tehnologije. 3D printanje je revolucionarna tehnologija koja je značajno promijenila način na koji se dizajniraju, izrađuju i koriste predmeti. Kroz usporedbu različitih tehnologija ispisa kao što su FDM, SLA, PBF i drugi, uočeno je da svaka tehnologija ima svoje prednosti i ograničenja.

Svaka tehnologija 3D ispisa ima svoje karakteristike koje je čine idealnom za određene primjene. Na primjer, FDM se ističe po jednostavnoj konstrukciji i širokoj dostupnosti materijala, dok SLA pruža iznimnu preciznost i mogućnost ispisa složenih geometrija. PBF je nezamjenjiv za proizvodnju metalnih dijelova visoke čvrstoće, dok DED omogućuje direktno dodavanje metala za obnovu i izradu dijelova.

Planirano održavanje ovih uređaja je ključno za osiguranje njihove dugotrajne i pouzdane funkcionalnosti. Proaktivno, preventivno i prediktivno održavanje pružaju različite pristupe u upravljanju radom 3D pisača, osiguravajući minimalno vrijeme zastoja i maksimalnu produktivnost.

Evidencijska lista plana i termina korištenja 3D printera na fakultetu je nužan korak u organizaciji i optimalnom iskorištavanju ovih uređaja. To omogućuje bolju raspodjelu resursa, praćenje korištenja i pravovremeno održavanje.

U zaključku, 3D printanje predstavlja ključni element u suvremenom proizvodnom i dizajnerskom svijetu. Uz brz tehnički napredak, očekuje se da će se tehnologije 3D ispisa dalje razvijati i širiti svoju primjenu u različitim industrijama. Razumijevanje tehničkih karakteristika, održavanja i pravilnog korištenja 3D pisača ključno je za uspješno iskorištavanje njihovih prednosti i potencijala u budućnosti.

## 7. POPIS LITERATURE

- [1] Brugsch, H.K., Seymour, H.D., & Smith, P. (2015). A History of Egypt under the Pharaohs, Derived Entirely from the Monuments: To Which Is Added a Memoir on the Exodus of the Israelites and the Egyptian Monuments.
- [2] Poor, Peter & Ženíšek, David & Basl, Josef. (2019). Historical Overview of Maintenance Management Strategies: Development from Breakdown Maintenance to Predictive Maintenance in Accordance with Four Industrial Revolutions.
- [3] Volek, T., & Novotna, M. (2017). Labour market in the context of Industry 4.0. Proceedings of the 11th International Days of Statistics and Economics, Prague, Czech Republic, 14-16.
- [4] Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (1997). Major process equipment maintenance and repair (Vol. 4). Elsevier
- [5] Hisham, J. (2003). Plant Maintenance Strategy: For enhancing profitability.
- [6] Nahdatul Arm Abd Rani, Mohamad Rizal Baharum, Anis Rosniza Nizam Akbar, Abdul Hadi Nawawi, (2015). Perception of Maintenance Management Strategy on Healthcare Facilities, Procedia - Social and Behavioral Sciences, (Vol. 170)
- [7] <https://openpress.universityofgalway.ie/> (pristupljeno: 27.6.2023.)
- [8] <https://engineeringproductdesign.com/> (pristupljeno: 27.6.2023.)
- [9] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/> (pristupljeno: 27.6.2023.)
- [10] <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 27.6.2023)

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1. - Shematski prikaz strategije održavanja,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281500052X?via%3Dihub>

(pristupljeno: 25.6.2023.)

Slika 2. - Shematski prikaz reaktivnog održavanja, <https://www.upkeep.com/> (pristupljeno:

26.6.2023.)

Slika 3. - Shematski prikaz proaktivnog održavanja, <https://www.upkeep.com/>

(pristupljeno: 26.6.2023.)

Slika 4. - Shematski prikaz preventivnog održavanja, <https://www.upkeep.com/>

(pristupljeno: 26.6.2023.)

Slika 5. - Odnos pouzdanosti i ukupne učinkovitosti opreme, <https://www.tibco.com/>

(pristupljeno: 26.6.2023.)

Slika 6. - Prikaz FDM metode ispisa, <https://www.materialise.com/en> (pristupljeno:

27.6.2023.)

Slika 7. - Fuzija u praškastom sloju, <https://www.mdpi.com/> (pristupljeno: 27.6.2023.)

Slika 8. - Prikaz „SLA“ metode ispisa, <https://www.voxeljet.com/industrial-3d-printer/>

(pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 9. - Prikaz metode mlaziranja veziva. <https://engineeringproductdesign.com/>

(pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 10. - Prikaz metode mlaziranja materijala, <https://www.hubs.com/> (pristupljeno:

28.6.2023.)

Slika 11. - Princip rada PolyJet tehnologije,

<https://www.3dnatives.com/en/polyjet100420174/> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 12.- Princip rada DED tehnologije,

<https://www.sciaky.com/additivemanufacturing/what-is-ded-3d-printing> (pristupljeno:

28.6.2023)

Slika 13.- Princip rada SL tehnologije, <https://engineeringproductdesign.com/> (pristupljeno:

28.6.2023.)

Slika 14. Pisač i otopina za otapanje potpornog materijala u prostor fakulteta

Slika 15. Grafički prikaz minimalnih operativnih mjera,

<https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 16. Prikaz priključaka za napajanje, <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 17. Dijelovi uređaja, <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 18. Prikaz ploče sučelja, <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 19. Prikaz komponenti komore, <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 20. Ostatci materijala za tiskanje

Slika 21. Prikaz postolja i glave, <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/F120> (pristupljeno: 28.6.2023.)

Slika 22. Pisač u prostoru fakulteta

Slika 23. Prikaz prednje strane pisača, <https://zortrax.com/> (pristupljeno 29.6.2023.)

Slika 24. Prikaz stražnje strane pisača, <https://zortrax.com/> (pristupljeno 29.6.2023.)

Slika 25. Bočni prikaz pisača, <https://zortrax.com/> (pristupljeno 29.6.2023.)

Slika 26. Pisač u prostoru fakulteta

Slika 27. Utori pisača, <https://www.bcn3d.com/> (pristupljeno: 30.6.2023.)

Slika 28. Namotaj materijala pisača u prostoru fakulteta

Slika 29. Prikaz srednje i stražnje strane pisača, <https://www.bcn3d.com/> (pristupljeno: 30.6.2023.)

Slika 30. Prikaz unutarnjeg mehanizma, <https://www.bcn3d.com/> (pristupljeno: 30.6.2023.)

Slika 31. Nakupina prašine na građevinskoj ploči

Slika 32. Pisač u prostoru fakulteta

Slika 33. Prikaz vanjskih komponenti pisača, <https://formlabs.com/eu/> (pristupljeno 30.6.2023.)

Slika 34. Pisač i spremnici u prostoru fakulteta

Slika 35. Pisač u prostoru fakulteta

Slika 36. Prikaz komponenti pisača, <https://www.creality.com/> (pristupljeno 30.6.2023.)