

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Dorea Paloš

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD
PRIMJENA 3D TISKA U MEDICINI I
VETERINARSTVU

Mentor:

doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević

Student:

Dorea Paloš

Zagreb, 2021.

Sažetak

Prvi trodimenzionalni tisak razvijen je 80-ih godina prošlog stoljeća. Kako je tehnologija od tada pa do danas znatno unaprijeđena, tako su se i 3D metode tiska razvile u koraku s njom. Usavršavanjem 3D tiska, njegova se primjena osim u grafičkoj tehnologiji proširila i na druga područja, što ga čini iznimnim i vrlo zanimljivim. Za razliku od drugih tehnika u grafičkoj tehnologiji, 3D tisak se može koristiti u svrhu spašavanja i olakšavanja ljudskih i životinjskih života.

Zbog jedinstvenosti 3D tehnologije, radom se nastoji prenijeti znanje koje je stečeno istraživanjem o temi. Rad obuhvaća opis glavnih karakteristika 3D tiska, njegov razvoj s ciljem primjene u medicini i veterinarstvu, značajke materijala koji se koriste ovisno o metodi 3D ispisa te koja je budućnost 3D tehnologije. Također, eksperimentalni dio rada obuhvaća istraživanje funkcionalnih primjera primjene 3D tiska u područjima medicine i veterinarstva koje je izneseno teorijski te prikazano slikama.

Glavni cilj rada jest prikazati 3D tisak kao interdisciplinarnu tehnologiju koja svojim značajkama omogućuje kvalitetniji rad na područjima medicine i veterinarstva što će rezultirati boljom percepcijom važnosti 3D tiska za čovječanstvo, potaknuti na razmišljanje, a time i postaviti brojna etička pitanja.

Ključni pojmovi:

3D tisak, aditivna metoda, biomaterijali, medicina, veterinarstvo

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	3D TISAK KROZ POVIJEST	2
3.	OSNOVNO O 3D TISKU	4
4.	PODJELA 3D TEHNOLOGIJA	5
4.1.	FDM – modeliranje topljenog taloženja	5
4.1.1.	FDM – materijali	5
4.2.	SLA – stereolitografija.....	6
4.2.1.	SLA materijali	7
4.3.	SLS – selektivno lasersko sinteriranje	8
4.3.1.	SLS materijali	9
4.4.	DMLS – direktno lasersko sinteriranje metala	9
4.5.	LOM – laminirana objektna proizvodnja	10
4.6.	EBM – otapanje snopa elektrona.....	11
4.7.	DLP – digitalni proces svjetlosti	11
4.8.	MJF – Multi Jet Fusion	12
4.9.	PolyJet.....	12
4.10.	DIW – direktan ispis tintom	13
5.	OPĆENITO O PRIMJENI 3D TISKA.....	14
6.	MATERIJALI U 3D BIO-PROIZVODNJI	15
6.1.	Materijali na bazi keramike.....	15
6.2.	Polimerni materijali	15
6.3.	ABS, PLA i PCL	16
6.4.	Hidrogelovi	18
7.	PRIMJENA 3D TISKA U MEDICINI.....	20
7.1.	Izrada generičkih pločica za pričvršćivanje kosti	21
7.2.	3D ispis funkcionalnog jajnika	23
7.3.	Prvo srce izrađeno 3D tehnologijom	24
7.4.	Slikovni primjeri primjene 3D tiska u medicinske svrhe	25
8.	PRIMJENA 3D TISKA U VETERINARSTVU.....	29
8.1.	3D ispis kostura konja.....	29
8.2.	Slikovni primjeri primjene 3D metoda	31
9.	3D TISAK U HRVATSKOJ.....	35

10.	ZAKLJUČAK.....	36
11.	LITERATURA.....	37
7.	SLIKE	39

1. UVOD

Pojam 3D tiska prisutan je još od 70-ih godina prošlog stoljeća kada su znanstvenici, male tvrtke i inovatori stvorili ideju trodimenzionalnog koncepta. Tada su razvijeni prvi 3D uređaji koji su zbog svojih visokih cijena bili nepristupačni i rezervirani samo za industrijsku proizvodnju. No, posljednje godine obilježene su tehnološkim razvojem zbog čega 3D tisak svoju popularnost doživljava na globalnoj razini s posljedicama opadanja cijena i sve većeg broja zainteresiranih za primjenu 3D tiska na brojnim područjima. Korištenje 3D printera globalni je trend koji je zahvatio i Hrvatsku. Primarna namjena 3D printera je stvaranje prototipova, no njegova se primjena nastoji standardizirati i integrirati i u obrazovnim institucijama, u tvrtkama i poslovanju, u arhitekturi, modnoj industriji, graditeljstvu, brodogradnji, automobilske industriji, ali i u znanostima kao što su medicina i veterinarstvo.

Upravo zbog široke primjene 3D tiska nastao je ovaj rad. Tema je relevantna i suvremena zbog čega će se ovim radom detaljnije objasniti povijest i glavne karakteristike 3D tiska, 3D metode ispisa, biomaterijali u 3D proizvodnji te razvoj 3D ispisa s ciljem primjene u medicini i veterinarstvu . 3D tisak je svoju primjenu prilagodbom tehnologije našao i u spašavanju te olakšavanju ljudskih i životinjskih života što druge grafičke tehnologije nisu u mogućnosti napraviti.

Cilj rada jest kroz jedinstvene karakteristike 3D tiska, objašnjenja i iznesene primjere primjene u medicini i veterinarstvu staviti zaključak na važnost razvoja te tehnologije. Bitno je raspoznati kako 3D tisak postaje dio svakodnevice i kako je od iznimne važnosti za budućnost svih živih bića.

2. 3D TISAK KROZ POVIJEST

1980. godine po prvi puta se spominje pojam 3D tehnologije tada poznate pod nazivom rapidno prototipiranje („rapid prototyping“) jer su te tehnologije tada bile smatrane efikasnom, odnosno jeftinom i brzom metodom kreiranja prototipova u industrijskoj proizvodnji. [1] Iako se 3D tehnologija smatra novom i tehnologijom budućnosti, ona se zapravo koristi oko tridesetak godina. 1983. godine Charles Hull izumio je prvi 3D printer prema principu stereolitografije. Takav printer poznat je pod kraticom SLA. (Slika 1.)



Slika 1. Prvi SLA 3D uređaj izumitelja Charles-a Hull-a

[Izvor: <https://www.botart.in.rs/index.php/2020/11/12/the-invention-of-3d-printing/>]

Iste godine suosnovao je „3D Systems“ korporaciju, danas jednu od najjačih u sektoru 3D poslovanja. 1986. izdan je patent za Hull-ov 3D printer. [2] Godinu nakon patentiranja, „3D Systems“ korporacija jest predstavila prvi komercijalni „rapid prototyping“ (RP) sistem pod nazivom SLA-1 te je nakon brojnih testiranja prvi sistem prodan 1988. U tom razdoblju, razvijale su se uz SLA i druge tehnologije 3D printanja. Tako je 1987. Carl Deckard patentirao SLS („Selective Laser Sintering“) RP

tehnologiju, a 1989. godine izdan je zahtjev za patentiranje FDM („Fused Deposition Modelling) tehnologije od strane Scott-a Crump-a, suosnivača „Stratasys“ tvrtke, jedne od vodećih globalnih tvrtki. Patent je izdan 3 godine kasnije, točnije 1992. FDM tehnologija je danas jedna od najpopularnijih i najčešće korištenih tehnologija za početne strojeve u 3D tisku. 1989. u Europi osnovana je tvrtka EOS koja je uz već spomenute, 3D Systems i Stratasys, vodeća tvrtka na globalnoj razini još od toga doba. EOS-ov razvoj usredotočen je na LS („Laser Sintering“) tehnologiju. Danas su EOS sistemi priznati u cijelome svijetu kao vrlo kvalitetne tehnologije ispisa prototipova. EOS je prodao svoj prvi sistem 1990. godine pod nazivom „Stereos“ koji je baziran na DMLS tehnologiji („Direct Metal Laser Sintering“). Uz već spomenute sisteme 3D ispisa, razvijale su se i druge tehnologije kao što su BPM („Ballistic Particle Manufacturing“), LOM („Laminated Object Manufacturing“), SGC („Solid Ground Curing) i 3DP („Three Dimensional Printing“). [3]

3D tisak je u početku korišten za izradu prototipova u industrijskoj proizvodnji. No ubrzo se njegova primjena proširila na različita područja. Tomu je pridonijela činjenica da su danas 3D printeri znatno jeftiniji, a time i pristupačniji od nekadašnjih industrijskih, što dakako ljudima ide u korist. Upotreba 3D tiska danas je vrlo širokog značenja. U industriji se, osim za stvaranje prototipova kao što je već spomenuto, koristi i za izradu zamjenskih dijelova strojeva, dizajnerskih objekata u komercijalne svrhe i za izradu umjetničkih proizvoda. Tako se u obrazovnim institucijama koristi kao sredstvo približavanja modernih tehnologija izrade proizvoda mladima, a tako ih se potiče i na kreativno razmišljanje. 3D tehnologija proširila se i na znanstveno područje kao što su farmaceutska industrija, medicina i veterinarstvo. [4]

3. OSNOVNO O 3D TISKU

3D ispis ili aditivna proizvodnja jest tehnologija kojom se izrađuju trodimenzionalni čvrsti objekti prema digitalnoj slici koja nastaje u 3D softverskom programu – u industriji je to 3D CAD, a za proizvođače i osobnu upotrebu dostupni su jednostavniji softverski programi. 3D ispis je suprotan proces suptraktivnoj proizvodnji gdje objekt nastaje izdubljenjem materijala kao što su metal, staklo ili plastika. Dakle, objekt se izrađuje aditivnim procesima, a to označava slaganje slojeva materijala jedan na drugi sve dok se ne stvori gotovi objekt. Takav način ispisa omogućuje izradu složenijih oblika koristeći manju količinu materijala u odnosu na tradicionalne metode proizvodnje. Osim navedenog, jednostavan je i brz proces. [5]

4. PODJELA 3D TEHNOLOGIJA

U ovome poglavlju navedene su neke od najvažnijih metoda 3D tehnologije. Ukratko su opisane karakteristike metoda kao i materijali koji se koriste za takve tehnologije.

4.1. FDM – modeliranje topljenog taloženja

FDM („Fused Deposition Modeling“) tehnologija uključuje rad na principu ekstruzije kroz mlaznicu. Plastično vlakno (čvrsti materijal) izlazi kroz mali promjer zagrijane mlaznice, topi se i nanosi slojevito. Mlaznica je tijekom nanošenja slojeva materijala u pokretu te se giba u smjeru X-Y ravnine. Kada se nanese jedan sloj, radni stol se pomiče u smjeru Z-osi te se nakon toga nanosi novi sloj materijala kroz mlaznicu. Ovom tehnologijom izrađuju se dijelovi istog ili sličnog sastava u svrhu ispitivanja funkcionalnosti. [6]

Prednosti FDM tehnologije jesu mala količina neiskorištenog materijala, jednostavnost korištenja, niski troškovi održavanja, moguća izrada više prototipova u isto vrijeme, mala dimenzija strojeva, mala potrošnja energije te se ne koristi laser. Nedostatci su upotreba dodatnih potpornih materijala i konstrukcija, vidljivost granica između slojeva te ovisnost funkcionalnosti prototipa o materijalu.

4.1.1. FDM – materijali

FDM tehnologija koristi čvrste materijale, uglavnom polimere i razne voskove. Najviše se ističe ABS-plastika kojom je moguće izraditi prototip slične čvrstoće finalnog proizvoda. Jedan od nedostataka ove tehnologije jest mali broj dostupnih komercijalnih materijala. [6]

E20 jest materijal na bazi poliestera i pomoću njega se izrađuju cijevi i izolacije.

ABS(P400) dolazi u različitim bojama i njime se izrađuju prototipovi u svrhu ispitivanja funkcionalnosti. Moguće je izvršiti završnu obradu kao što su bušenje i pjeskarenje.

Medicinski ABS jest neotrovan i vrlo izdržljiv materijal raznih boja.

4.2. SLA – stereolitografija

SLA ili stereolitografija prva je poznata RP („Rapid Prototyping“) tehnologija. RP tehnologije su tehnike brze izrade modela, odnosno prototipa 3D ispisom. SLA je jedna od najpopularnijih industrijskih 3D metoda ispisa. Strojevi bazirani na ovoj metodi sastoje se od računala za obradu podataka i stvaranje slojeva, kontrolnog računala, prostora za kreiranje modela te laserske jedinice. Računalo koje stvara slojeve očita model koji je stvoren CAD („Computer Aided Design“) alatima te počinje kreirati slojeve. Pomoću laserske jedinice i hardvera, kontrolno računalo te slojeve nanosi na potporni sloj. Kada je sloj dovršen, potpornim materijalom se ispunjavaju praznine. Potom se čitav sloj vertikalno spušta i sljedeći se sloj nanosi na prethodni. Slojevi se odmah spajaju zbog adhezivnog karaktera materijala koji se koriste. [6]

Prednosti ove tehnologije su visoka rezolucija, nema ograničenja oblika, izrada dvobojnih modela te automatiziranost procesa. Neki nedostaci su slaba mehanička svojstva modela, korištenje samo fotopolimernih materijala koji su još i otrovni u tekućem stanju te naknadno pečenje modela.

Ova je metoda široke upotrebe u medicini, ponajviše za izradu anatomskih modela i u mikrofluidici. (*Slika 2.*)



Slika 2. Objekti ispisani SLA 3D tehnologijom za upotrebu u medicinske svrhe

[Izvor: <https://3dprintingindustry.com/news/will-boom-3d-printing-continue-next-decade-78958/>]

4.2.1. SLA materijali

Materijali koji se koriste za metodu SLA jesu polimerne tekućine koje se pod utjecajem UV zračenja, odnosno lasera, pretvaraju u krutu tvar. [6]

Somos8100 je epoksid na bazi fotopolimera. Polutvrđi je materijal koji ima veliku izdržljivost i fleksibilnost. Osim navedenog, otporan je i na vlagu. Uglavnom se koristi za analizu oblika, ispitivanje funkcionalnosti te za izradu uzoraka.

Somos9100 je također epoksid polipropilenskih karakteristika. Kao Somos8100 otporan je na vlagu. Velike je izdržljivosti i žilavosti. Koristi se za analizu oblika i uzoraka.

WaterShed je epoksid čija su svojstva bliska karakteristikama plastomera. Iznimne je izdržljivosti i koristi se za ograničena funkcionalna ispitivanja. Kako ima niski apsorpcijski koeficijent, u vlažnim uvjetima zadržava mehanička svojstva.

ACCURA SI40 jest fotopolimer čija svojstva oponašaju polamid 6.6. Otporan je na visoke temperature te je velike žilavosti. Zadržava mehanička svojstva i u vlažnim

uvjetima. Koristi se za analizu oblika te za provođenje ispitivanja u uvjetima visokih temperatura.

ACCUDUR je vrlo izdržljiv i fleksibilan fotopolimer. Otporan je vlagu. Omogućuje 30% bržu izradu prototipova. Koristi se za analizu oblika, izradu uzoraka te za ispitivanje funkcionalnosti.

4.3. SLS – selektivno lasersko sinteriranje

SLS („Selective Laser Sintering“) ili selektivno lasersko sinteriranje tehnologija je 3D ispisa na bazi sinteriranja. Svoju je popularnost stekla komercijalizacijom od strane tvrtke 3D Systems. Materijal koji je u obliku praška se osvjetli laserom te se zbog izloženosti visokoj temperaturi sinterira. Na taj se način povećava svojstvo adhezije između čestica praha te se on grupira u krutu tvar i tvori gotovi proizvod željenog oblika. Ovom tehnologijom moguće je dobiti proizvod iznimne čvrstoće. Nastalim se proizvodima mogu izmijeniti fizikalne karakteristike stvaranjem legura, promjenom gustoće ili daljnjim pečenjem. Izvodi se u slojevima. Praškasti materijal se u komoru za modeliranje dovodi uz pomoć rotirajućeg cilindra. [6]

U odnosu na SLA i FDM, ova tehnologija ne zahtijeva dodatne potporne materijale jer sav višak praškastog materijala koji izađe iz volumena određenog oblika proizvoda ima ulogu potporne konstrukcije. Kako je ovom tehnologijom, osim prototipova, moguće dobiti čvrsti i trajni finalni proizvod koji se ne mora naknadno peći i upotrebljiv je nakon minimalne obrade, ona se opisuje kao „rapid manufacturing“ ili „rapid tooling“ tehnologija, ovisno o materijalu koji se koristi. Dakle, osim prototipova, ovom tehnologijom dobivaju se kvalitetni i funkcionalni gotovi proizvodi. SLS tehnologija uključuje upotrebu širokog raspona materijala budući da se veliki broj metala sinterira kao što su čisti metali nastali u sterilnim uvjetima. Osim metala, moguće je koristiti i organske polimere te staklo. U usporedbi sa SLA, SLS tehnologijom nastaju dijelovi boljih mehaničkih svojstava, moguće je korištenje dijelova za ispitivanja funkcionalnosti, proces izrade je brži, široki je raspon upotrebnog materijala, nije potrebno korištenje dodatnog materijala u svrhu potpore, moguća je upotreba neiskorištenog praha za idući prototip te je lakša i bolja obradivost dijelova. No, ipak postoje neki nedostaci u odnosu na SLA tehnologiju, a to su lošija kvaliteta površine te

je potrebno koristiti dodatnu zaštitu pri korištenju nekih materijala zbog pojave otrovnih plinova tijekom izrade proizvoda.

4.3.1. SLS materijali

SLS tehnologija sa svojim procesom ima najveći mogući raspon različitih materijala. [6]

DuraFormPA jest poliamid i koristi se za izradu vrlo glatkih površina i finih detalja. Najčešće se koristi u medicini za testiranje i izradu kirurških instrumenata.

DuraFormGF, također poliamid, ali popunjen je česticama stakla. Koristi se za ispitivanje funkcionalnosti i za analizu oblika. Iznimne je čvrstoće, slabe fleksibilnosti i otporan je na vlagu. Koristi se za izradu dijelova koji su izloženi ekstremnim uvjetima zbog svojih mehaničkih svojstava i otpornosti na visoke temperature.

LaserFormST-100, 200 jest materijal izrađen od nehrđajućeg čelika čije su čestice presvučene polimernim vezivom koje izgara tijekom procesa sinteriranja i infiltrira se u broncu. Time nastaje dio dvostruke veće toplinske vodljivosti od čelika koji je i zavarljiv. Ovim materijalom izrađuju se izdržljivi metalni prototipovi, alati i dijelovi.

CastFormPS je polistiran koji se ne koristi za izradu funkcionalnih prototipova, ali se koristi za izradu alata za precizno lijevanje.

4.4. DMLS – direktno lasersko sinteriranje metala

DMLS („Direct Metal Laser Sintering“) tehnologija uključuje topljenje metalnog praha pomoću kojeg se stvara puna struktura. DMLS procesom izrađuju se prototipovi, ali moguća je i izrada gotovih proizvoda zbog izrade kvalitetnih dijelova čija je gustoća jednaka proizvodu koji je nastao konvencionalnim procesima. Zbog mogućnosti izrade objekata iznimno složene geometrijske strukture, pogodan je za upotrebu u medicini. Tako se pomoću ove tehnike izrađuju implantati. [6] (*Slika 3.*)



Slika 3. Dentalni implantati nastali DMLS 3D ispisom

[Izvor: <https://sinterex.com/see-how-dentistry-is-benefiting-from-metal-3d-printing/>]

4.5. LOM – laminirana objektna proizvodnja

LOM („Laminated Object Manufacturing“) tehnologija koristi se za izradu objekata velikih dimenzija. Proces uključuje rezanje linija objekta od folije koja se nalazi na valjku i koja može biti polimerna, papirnata te kompozitna. Rezanje se vrši pomoću lasera ili „Solido“ noževa. Folija sa svoje donje strane ima vezivo koje omogućuje čvrstu povezanost slojeva. Nakon završene izrade, objekt se zaštićuje od vlage sa impregnacijskim sredstvom. LOM tehnologijom moguće je izraditi objekte od minimalne mase 0,1 kg i maksimalne 50 kg. [6]

Prednosti LOM tehnologije su brzina postupka, moguća izrada objekata velikih dimenzija, niska cijena te mali strojevi koji se mogu koristiti u manjim prostorijama kao što su uredi. Nedostaci takvog sistema su loša preciznost, ovisnost funkcionalnosti prototipa o izboru materijala, velika količina neiskorištenog materijala, odnosno otpada te brojni naknadni koraci kao što je lakiranje prototipa zbog neotpornosti na vlagu te strojna obrada površine kako bi se postigla bolja kvaliteta.

4.6. EBM – otapanje snopa elektrona

EBM („Electron Beam Melting“) tehnologija brza je proizvodnja metalnih dijelova. Takav sistem uključuje otapanje metalnog praha elektronskim snopom u uvjetima vakuuma. Zbog odvijanja procesa pod vakuumom, EBM tehnologija omogućuje izradu dijelova u reaktivnim materijalima. Prah se topi sloj po sloj. U odnosu na druge tehnike sinteriranja, dijelovi su u potpunosti gusti, bez šupljina. [6]

EBM tehnologija ne zahtijeva dodatnu termičku obradu kako bi proizvod imao zadovoljavajuća mehanička svojstva kako je to u slučajevima izrade sa SLS i DMLS tehnologijama. Osim toga, EBM u odnosu na SLS i DMLS tehnologije ima veću stopu proizvodnje.

4.7. DLP – digitalni proces svjetlosti

DLP („Digital Light Processing“) tehnologija uključuje izradu objekata osvjetljavanjem tekuće fotopolimerne smole koja očvrstne pri utjecaju svjetlosnog snopa.

Ovaj sistem sličan je SLA tehnologiji, ali glavna razlika je vrsta izvora svjetlosti koja se koristi pri osvjetljavanju smole. Pri SLA procesu kao izvor svjetlosti koristi se kombinacija lasera s galvanometrom. Galvanometri su zrcalne komponente koje usmjeravaju laserski snop. DLP tehnologija kao izvor svjetlosti koristi posebno digitalno svjetlo projektora. Zbog te razlike, DLP je brži proces od SLA sistema. Osim toga, tomu pridonosi i činjenica da projektor osvjetljava i stvara cijeli sloj odjednom, dok se sa SLA laserom osvjetljava točka po točka i sloj nastaje postepeno. [7]

DLP proces je digitalna tehnologija. 2D slika koja se projicira sastoji se od piksela, a kada ona postane trodimenzionalni objekt, govori se o vokselima. Rezolucija nastalog objekta ovisi o rezoluciji ekrana digitalnog projektora. Ako je ekran projektora manje rezolucije, nastati će i objekt manje rezolucije, dok kod SLA tehnologije to nije slučaj i uvijek će nastati objekt podjednake kvalitete neovisno o cijeni uređaja. DLP tehnologijom u odnosu na SLA tehnologiju nije moguće stvoriti finije detalje i prijelaze budući da su vokseli pravokutnog oblika. No, u takvom se slučaju objekt može naknadno obraditi brušenjem. (*Slika 4.*)



Slika 4. Usporedba ispisa SLA i DLP 3D tehnologijom

[Izvor: <https://all3dp.com/2/what-is-a-dlp-3d-printer-3d-printing-simply-explained/>]

4.8. MJF – Multi Jet Fusion

MJF tehnologija jest 3D proces industrijske proizvodnje funkcionalnih dijelova od najlonskog praha. Vrlo je brz proces izrade kvalitetnih površina visoke rezolucije. Ovim procesom moguće je izraditi proizvode vrlo dobrih mehaničkih svojstava u usporedbi s drugim tehnologijama kao što je SLS. MJF tehnologija koristi inkjet matricu za selektivno nanošenje sredstava na najlonski sloj potom se sjedinjuju i stvaraju čvrsti sloj pod utjecajem grijača. Prednost ove tehnologije jesu i troškovi proizvodnje koji su niski zbog ubrzanog procesa izrade. [8]

4.9. PolyJet

Jedna od najbržih i najpreciznijih 3D tehnologija jest PolyJet. Takva tehnologija za izradu objekata koristi tekući fotopolimer koji se istiskuje na platformu i stvrdnjava pod utjecajem UV svjetla. PolyJet tehnologija je danas prepoznata kao jedna od najkvalitetnijih. Osim što se sa takvim sistemom vrlo brzo izrađuju prototipovi s finim

detaljima, moguće je i izraditi vrlo realne prototipove. Jedna od prednosti je i upotreba brojnih materijala odjednom. Time je mogući ispis složenih struktura što pridonosi brzom radu. PolyJet tehnologija se koristi i u dentalnoj medicini za izradu modela čeljusti prema izrađenoj slici. [9] (Slika 5.)



Slika 5. Modeli zubala izrađeni PolyJet tehnologijom

[Izvor: https://www.stratasys.com/-/media/features/materials/image-gallery/image_gallery_dental_materials_ortho_appliance_implant_model_carousel.jpg]

4.10. DIW – direktan ispis tintom

DIW 3D tehnologija je aditivna metoda koja se bazira na ekstruziji. Najčešće se koristi za izradu dijelova mikro-dimenzija. Slojevi se stvaraju duž digitalno definiranih putova prskanjem tekuće tinte iz mlaznica koje su računalno kontrolirane. [10]

5. OPĆENITO O PRIMJENI 3D TISKA

3D tisak se u industrijskim uvjetima koristi već tridesetak godina, dok se onaj koji je usmjeren prema potrošačima i manjim poslovnim područjima tek razvija i pokreće. Industrijski 3D strojevi su iznimno skupi, ali su i brži od komercijalnih jer neki mogu istodobno koristiti više mlaznica i tako vrlo brzo izrađivati objekt. Dakle, to je brzi postupak zbog čega je primjena industrijskih 3D strojeva uglavnom usredotočena na automobilsku industriju. Manji, sporiji i niže rezolucije su 3D printeri koji su usredotočeni na potrošačku proizvodnju. Takvi se printeri također koriste za izradu prototipova, ali i u osobne svrhe kao što je hobi. [11]

3D tehnologija razvila se 80-ih godina prošlog stoljeća za potrebe industrijske proizvodnje, no s godinama se njena primjena raširila na razna područja. Razvojem tehnologije i potreba društva, razvijala se i tehnologija 3D tiska. Zbog toga je primjena 3D ispisa danas vrlo raznolika. Osim primarnog, za izradu prototipova, 3D tiskom moguće je izrađivati kopije već postojećih proizvoda tako da se taj gotovi proizvod skenira 3D skenerom i onda ispiše printerom. Tako 3D printeri postaju bitan ključ u reprodukciji materije i stvaranju replika. 3D tiskom moguće je izraditi dijelove složenih strojeva, dijelove iznimno sitnih dimenzija, velike dijelove zrakoplova, automobila i brodova i dr. Osim toga, 3D printanjem moguće je izraditi nakit, okvire za naočale, cipele i sl. 3D tisak se razvija i na području prehrambene industrije tako da se stvaraju jestivi objekti, odnosno hrana. Vidljivo je da 3D tisak ima veliki doprinos u razvoju društva, ali i u poboljšanju života, i ljudskih i životinjskih. 3D tisak uzeo je zamah te je bitan faktor i u medicini te veterinarstvu. [11]

6. MATERIJALI U 3D BIO-PROIZVODNJI

Materijali koji se koriste za 3D ispis u medicinske svrhe uglavnom su po sastavu polimeri, biotinte ili hidrogelovi. Kako bi bili upotrebljivi, moraju zadovoljit određene karakteristike. Potrebno je da imaju određeni stupanj viskoznosti radi strukturne stabilnosti i općenito mogućnosti ispisa, da omogućuju brzi ispis, da imaju mogućnost biološkog ili kemijskog umrežavanja, da su mehanički podesivi i da imaju svojstvo stvrđavanja UV zračenjem. Osim toga, bitna svojstva su biokompatibilnost i stvaranje netoksičnih produkata. Naravno, bitnu ulogu ima i pitanje ekonomičnosti. Materijali trebaju imati jednostavan proces proizvodnje, moraju biti pristupačni i komercijalno dostupni. [12]

6.1. Materijali na bazi keramike

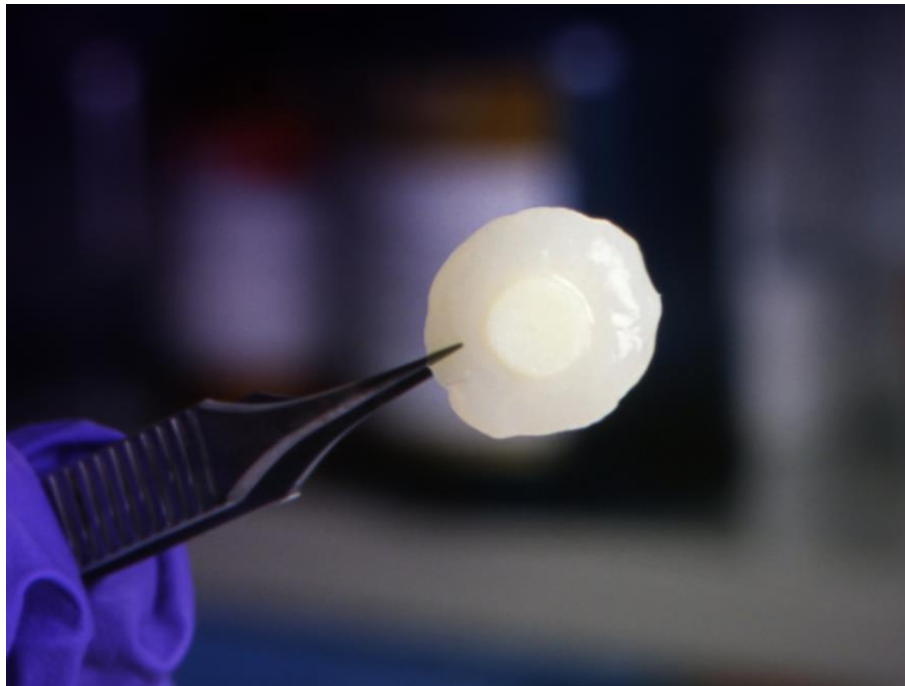
Zbog sličnosti s mineralnom strukturom kosti i zbog krutosti, materijali na bazi keramike potencijalno su važni za stomatološku kirurgiju i ortopediju. Međutim, današnja FDM 3D tehnologija je ograničena te se njome može samo izravno ispisati keramika zbog visoke temperature taljenja koja premašuje raspon FDM prinera. Moguća opcija jest upotreba keramike u prahu kao aditiv. [12]

6.2. Polimerni materijali

Najčešće korišteni materijali u 3D bio-proizvodnji upravo su polimerni materijali zbog čega ih se koristi u brojnim 3D metodama. Za FDM metodu koristi se u obliku niti, kao tekućina koristi se u stereolitografiji, u SLS metodi koristi se kao prah, a kao gel za metodu direktnog ispisa tintom, skraćeno DIW. Zadovoljavaju svojstva koja biomaterijali trebaju zadovoljavati, kao što su biokompatibilnost i podesiva mehanička svojstva. [12]

6.3. ABS, PLA i PCL

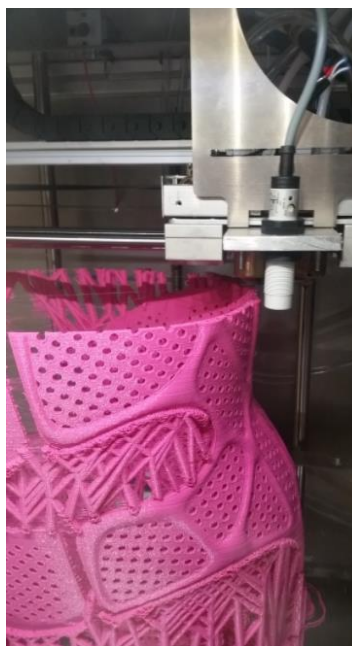
ABS („Acrylonitrile Butadiene Styrene“) jest plastika i jedan od prvih korištenih materijala za 3D tisak. Vrlo je dobre čvrstoće i fleksibilnosti, ali nije biorazgradiv i mijenja svoja fizička svojstva u dodiru sa zrakom zbog čega se najčešće koristi za izradu hrskavica. (Slika 6.)



Slika 6. Ljudska hrskavica ispisana 3D printerom

[Izvor: <https://www.zmescience.com/medicine/human-cartilage-successfully-3d-printed/>]

PLA („Polylactic acid“) jest materijal korišten u FDM metodi. Vrlo je jeftin, biorazgradiv i biokompatibilan. Za razliku od ABS-a, jednostavne je obradivosti i proizvodi se iz obnovljivih sirovina kao što je kukuruzni škrob. Nedostatak ovog materijala jest nusprodukt tijekom razgradnje – mliječna kiselina. To može uzrokovati upalu tkiva u slučaju korištenja ortoze od tog materijala. (Slika 7.; Slika 8.)



Slika 7. 3D ispis ortoze za liječenje skolioze

[Izvor: <http://www.skolioza.hr/ku263a-zdravlja-i-skolioza.html>]



Slika 8. Korištenje ortoze koja je nastala 3D ispisom

[Izvor: <http://www.skolioza.hr/ku263a-zdravlja-i-skolioza.html>]

PCL („Poly caprolactone“) je poliester i kao PLA, jeftin je i biorazgradiv. U posljednjih 10 godina njegova popularnost je opala zbog drugih superiornijih materijala. Takvi materijali imaju manje nedostataka povezanih s dugoročnom razgradnjom. No, sve većim značajem FDM metode, upotreba PCL-a ponovno raste zbog svojih reoloških i viskoznih svojstava pri višim temperaturama. Glavni je kandidat za izradu dugotrajnih razgradivih implantata odgovarajućih kinetičkih, kemijskih, bioloških i fizičkih karakteristika kako bi odgovarali određenom anatomskom mjestu. Za razliku od PLA, ne stvara štetne nusprodukte, već se u tijelu potpuno razgrađuje u 3 godine što omogućuje regeneraciju tkiva. Dobar je kandidat i za izradu skela SLS i DIW metodama. Skele su modeli od određenih materijala koje u inženjeringu tkiva pospješuju razvoj tkiva. [12]

6.4. Hidrogelovi

Strukturu hidrogelova čine umrežene polimerne mreže koje su sposobne apsorbirati veliku količinu vode. Biokompatibilni su, podesivih mehaničkih svojstava i razgradnje. Vrlo lako konstruiraju bio-molekularne strukture kao što su nukleinske kiseline i faktori rasta u obliku skela. Zbog svojih svojstava u širokoj je upotrebi na raznim područjima medicine kao što je tkivni inženjering i regenerativna medicina. 3D tehnologije koje mogu koristiti hidrogelove kao materijal za ispis baziraju se na metodi ekstruzije.

Hidrogelovi se nazivaju bio-tintom ako u svome sastavu sadrže stanice ili biokemijske molekule kao što su ECM komponente. ECM („Extracellular matrix“) jest tvar koju izlučuju tjelesne stanice. Obično su hidrogelovi izrađeni od prirodnih ili sintetičkih proteini. To su npr. kolagen, fibrin, paukova svila, proteini iz ECM-a, celulozna vlakanca, neki peptidi i dr.

Najvažnija svojstva bio-tinte su reološka svojstva, stanjivanje na smicanje i tiksotropna svojstva. O njima ovisi jednostavnost korištenja te vjerodostojnost u bio-otiskivanju jer određuju brzinu procesa i konzistencija bio-tinte. Zapravo, kvaliteta, iskoristivost te pouzdanost bio-tinte gotovo u potpunosti ovisi o koeficijentu stanjivanja na smicanje. Taj koeficijent se opisuje kao smanjenje viskoznosti materijala s povećanjem brzine smicanja i zahvaljujući tome smanjuje se pomično naprezanje stanica tijekom procesa ispisa.

Kolagen je prirodni polimer i glavni dio ECM-a. Desetljećima se koristi za razvoj staničnih kultura, a danas i kao biomaterijal. Sastavni je dio tkivnog inženjeringa. Svoju popularnost stekao je komercijalnom dostupnošću. Međutim, zbog loših mehaničkih svojstava ima ograničenja kao biomaterijal u 3D bio-proizvodnji. No, njegovom hidrolizom stvara se želatina koja se može kombinirati s alginatom i tako stvoriti bio-tinta za 3D ispis skela. [13]

7. PRIMJENA 3D TISKA U MEDICINI

3D tisak od velikog je značenja za budućnost medicine. Već i danas uvelike pridonosi razvoju te znanosti. Tako se 3D tisak može pronaći u području tkivnog inženjeringa, rehabilitacije i regenerativne medicine gdje se uz pomoć te tehnologije izrađuju skele (stvorenih materijali čija je funkcija stvaranje staničnih interakcija s ciljem stvaranja novih funkcionalnih tkiva u medicinske svrhe), ortoze i proteze vrlo složenog dizajna te kompleksne strukture. Zahvaljujući Hull-ovom izumu stereolitografije, uz pomoć 3D tehnologije danas se izrađuju kraniofacijalni implantati, medicinski instrumenti i oprema, dentalni kalupi, dijelovi za protetiku, kirurški modeli za edukaciju, replike dijelova tijela, implantabilni biosenzori (npr. uređaj za kontrolu liječenja raka koji se ugradi u tumor te kontrolira proces dajući informacije doktoru o statusu i efikasnosti liječenja), modeli od tkiva za otkrivanje i razvijanje lijekova pa čak i gotovi funkcionalni organi. Sve je to omogućeno zahvaljujući ljudskoj težnji za unapređenjem. Razvili su se novi i bolji principi 3D ispisa, a s time i biomaterijali. [12] (*Slika 9.; Slika 10.*)



Slika 9. Model srca za edukacijske svrhe nastao 3D metodom tiska

[Izvor: <https://3dprint.com/18577/materialise-heartprint-class-1/>]



Slika 10. Replika ljudskog uha

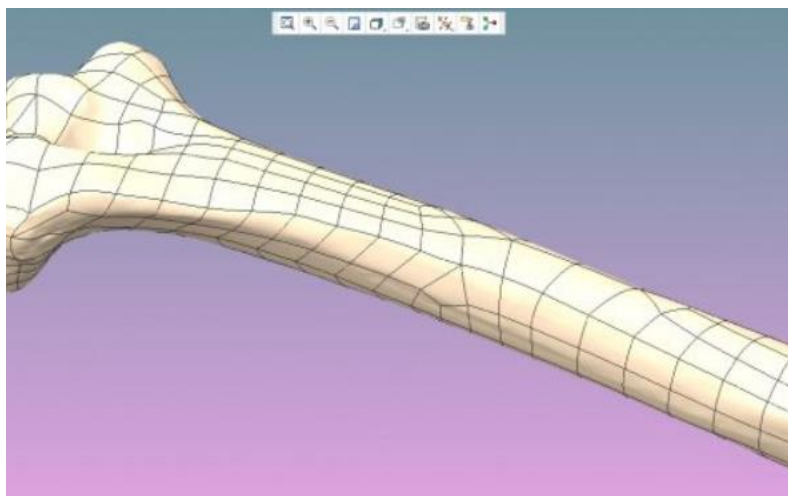
[Izvor: <https://medicalfuturist.com/3d-printing-in-medicine-and-healthcare/>]

Iako primjena 3D tehnologije otvara brojna vrata na području medicine i dalje postoji određena problematika. Ona se odnosi na etička pitanja, potpunu standardizaciju i integraciju 3D platformi za bio-proizvodnju, prilagodbu softverskih programa, mogućnost reprodukcije i kvalitetu 3D ispisa. Najveći problem su biomaterijali, odnosno njihov nedostatak heterogenosti što ih čini nepouzdanima za upotrebu na medicinskom tržištu. Sva ta pitanja prepreka su da 3D tisak bude prepoznat kao konvencionalna tehnika u bio-proizvodnji.

7.1. Izrada generičkih pločica za pričvršćivanje kosti

Bitan napredak 3D tehnologija pokazala je u ortopediji i kirurgiji. Njezina primjena veliki značaj ima u pristupu liječenja lomova kostiju. Postoje različite vrste prijeloma s obzirom da prijelom ovisi o vrsti kosti, mjestu napuknuća, mehaničkim svojstvima loma te o samom pacijentu. Tako svakoj frakturi kosti treba pristupiti individualno, a to 3D tehnologija i omogućuje. 3D tehnologija omogućuje izradu generičkih pločica i vijaka za pričvršćivanje slomljene kosti koji su personalizirani i idealno prilagođeni vrsti prijeloma. [14]

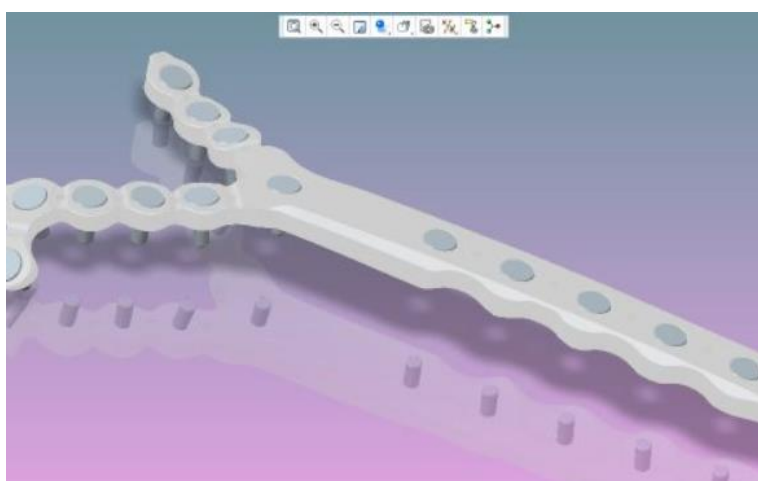
Izrada započinje stvaranjem digitalne slike u softverskom programu CAD prema informacijama obavljenog CT skena. (Slika 11.)



Slika 11. Prikaz slike kosti u softverskom programu CAD

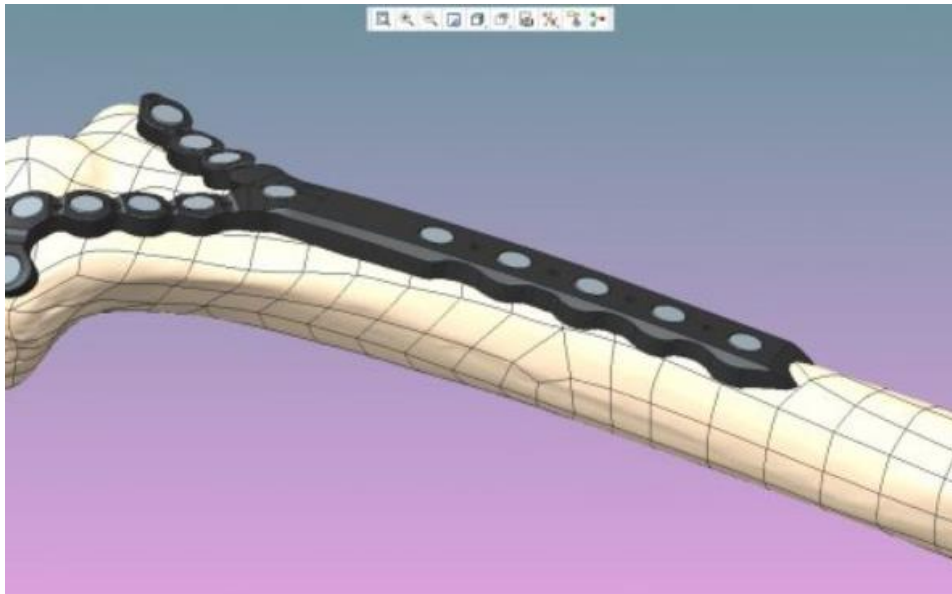
[Izvor: <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/>]

Uz pomoć alata koje CAD program nudi, dizajnira se pločica prilagođena anatomiji kosti. (Slika 12.; Slika 13.)



Slika 12. Dizajniranje generičke pločice

[Izvor: <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/>]



Slika 13. Digitalni prikaz kosti s generičkom pločicom

[Izvor: <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/>]

Kada je model pločice s kosti gotov, proces 3D tiska započinje kada računalo pošalje signal 3D uređaju. Metoda kojom se ovakve pločice izrađuju jest DMLS tehnologija, a materijali koji se mogu koristiti su medicinski čelik ili titan.

7.2. 3D ispis funkcionalnog jajnika

Brojne žene pate zbog razvojnih poremećaja i posljedica terapija za liječenje raka. Jedno od čestih posljedica je disfunkcija spolnog reproduktivnog sustava. To ne utječe samo na život žena, već i na djecu. Današnja medicina razvila je neke tehnike liječenja, ali one ne vraćaju potpunu funkciju spolnih žlijezda.

Razvojem tehnologije i upotrebom biomaterijala na bazi hidrogela do danas, znanstvenici su napravili napredak u kulturi folikula jajnika i transplantaciji, pa čak i u stvaranju novoga života u mišu. Tehnika 3D tiska tako je otišla korak dalje i omogućila razvoj umjetnog jajnika trajne plodnosti s opcijom hormona.

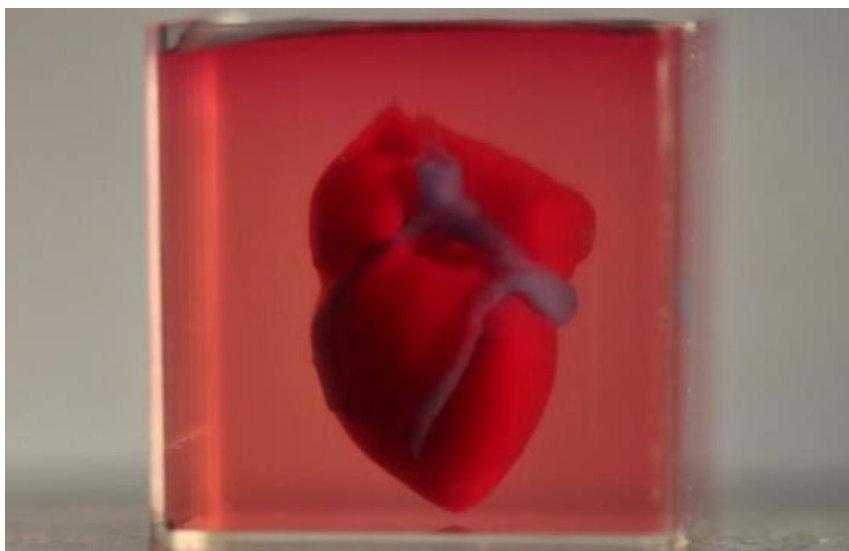
Termogelacijom želatine stvorene su višeslojne skele s funkcionalnim folikulama koje kontinuirano proizvode estradiol unutar kulture, a nakon stimulacije, stvara se zrela

jajna stanica unutar skele. Ovaj proces ne zahtijeva razgradnju biomaterijala kako bi se jajna stanica oslobodila, što je od iznimne važnosti. Tim procesom po prvi se puta spominje skela kao umjetno okruženje za održavanje funkcije folikula te in vitro ovulacija iz biomaterijala. [15]

7.3. Prvo srce izrađeno 3D tehnologijom

Do 2019. godine znanstvenici regenerativne medicine uspjeli su izraditi tkiva bez krvnih žila, ali znanstvenici sa Sveučilišta u Tel Avivu otišli su korak dalje i 3D tehnologijom izradili su prvo prokrvljeno srce koristeći se stanicama i biološkim materijalom pacijenta. Nastalo srce je malih dimenzija zbog ograničenja 3D uređaja.

Za istraživanje bilo je potrebno napraviti biopsiju masnog tkiva pacijenta. Potom su se stanični i a-stanični materijal programirali da postanu pluripotentne matične stanice, a kolagen i glikoproteini prerađeni su u hidrogel (bio-tintu). Miješanjem stanica s hidrogelom stvorile su se srčane stanice, a na kraju i cijelo srce kompatibilno s pacijentovim. [16] (Slika 14.)



Slika 14. Prvo prokrvljeno srce veličine zečjeg srca napravljeno 3D tehnikom ispisa

[Izvor: <https://geektech.me/hr/scientists-printed-the-first-3d-heart-using-patient-cells/>]

7.4. Slikovni primjeri primjene 3D tiska u medicinske svrhe

U nastavku ovoga poglavlja slikovno su prikazani primjeri primjene 3D tehnologije na području medicine. 3D metodom tiska izrađeni su implantati (*Slika 15.; Slika 16.; Slika 17.; Slika 18.; Slika 19.*), replike (*Slika 20.*) pa čak i prvo ljudsko kožno tkivo. (*Slika 21.*)



Slika 15. Metalni dio lubanje izrađen 3D metodom

[Izvor: <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/>]



Slika 16. Titanski dio Renishaw-ovog prsnog koša

[Izvor: <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/>]



Slika 17. Prvi 3D tiskani implantat rebra od fleksibilnog poliamida

[Izvor: <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/>]



Slika 18. Implantat kuka ispisan 3D metodom

[Izvor: <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/>]



Slika 19. Implantat dječje donje čeljusti od titana

[Izvor: <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/>]



Slika 20. Replike nosa i uha od 3D biomaterijala

[Izvor: <https://bioprinting.ru/en/press-center/publications/3ders-monday-warm-up-the-top-20-3d-bioprinters/>]



Slika 21. Tkivo kože stvoreno 3D metodom ispisa

[Izvor: <https://bioprinting.ru/en/press-center/publications/3ders-monday-warm-up-the-top-20-3d-bioprinters/>]

8. PRIMJENA 3D TISKA U VETERINARSTVU

3D tehnologija postala je dio i veterinarske medicine. Tom metodom moguće je izraditi bilo koji veterinarski implantat s minimalnom količinom otpada, a tako i s minimalnim negativnim posljedicama za okoliš. Kako se radi o 3D metodi izrade, kao i u svakom postupku, radi se o aditivnoj metodi stvaranja sloja po sloj s odgovarajućim biomaterijalom. Ovisno o objektu koji se izrađuje, bira se i vrsta materijala. Zahvaljujući tehnologiji, veterinari danas mogu vrlo brzo identificirati ozljede životinja te ih brzo i izliječiti. 3D tehnologija od velike je važnosti za izradu životinjske protetike i ortotike.

Kako bi se mogao stvoriti određeni 3D model kosti u slučaju zamijene polomljene ili bolesne, prvo je potrebno napraviti CT sken koji se odgovarajućim softverskim programima pretvara u digitalnu sliku, a ona postaje informacija koje računalo šalje do 3D uređaja i tada se stvara odgovarajući 3D model kosti.

Primjenom 3D tehnologije i njenim razvojem smanjeno je vrijeme potrebno za operacije, smanjen je rizik provođenjem operacija te je omogućen ispis modela u boji što pomaže u davanju informacija veterinarima o krvnim žilama. Ova metoda olakšava život i životinjama pružajući im udobnost i pomoć u zacjeljivanju ozljeda koje su nastale traumama. 3D metode mogu promijeniti budućnost veterinarstva. Od medicinskih škola gdje može pospješiti praksu u veterinarstvu do same primjene gdje se može izraditi personalizirani implantat ovisno o anatomiji životinje. 3D tehnologija predstavlja odličan instrument za praksu studenata veterinarske medicine jer se 3D modeli životinja vrlo brzo i jednostavno mogu izraditi te studenti mogu na njima učiti. Jasno je kako primjena 3D tehnologija u brojnim slučajevima donosi pozitivne stavke na području veterinarske medicine. [17]

8.1. 3D ispis kostura konja

U obrazovnim institucijama, anatomija životinja postala je teoretske naravi. Zbog financijskih nemogućnosti, nedostataka materijala i određenih vrsta životinja, studenti

nisu u mogućnosti učiti kroz praksu. No, 3D tehnologijom praktičan dio obrazovanja postaje jednostavniji i pristupačniji.

Udovi konja vrlo su osjetljivi zbog naprezanja na području kopita i zbog toga je često potrebna veterinarska intervencija. Stoga, za veterinare je vrlo bitno poznavati strukturu kosti i kopita radi sprječavanja komplikacija koje se mogu dogoditi tijekom operacije. Konvencionalne metode podučavanju o kostima podrazumijevaju 2D materijal koji nije vjerodostojan. No, u posljednjih nekoliko godina 3D tehnologija je to promijenila i olakšala studentima razumijevanje anatomske strukture konja 3D modelom.

Ispis 3D modela anatomije konja započinje snimanjem svakog njegovog uda zasebno multidetektorskim skenerom za računalnu tomografiju. Tomografija je metoda snimanja dijelova tijela sloj po sloj rendgenskim zrakama. Skenovi su spremljeni kao digitalna slika te se tako šalju u „3D Slicer“ software gdje se svaki segment slike odvaja i renderira u 3D uzorke oblika. Nakon toga, FDM metodom ispisuje se konačni 3D model koristeći se PLA materijalom. (Slika 22.) Kada je 3D model gotov, potrebno ga je dodatno obraditi, odnosno maknuti potpornu konstrukciju . [18]



Slika 22. Izrada 3D modela konjskog uda sloj po sloj

[Izvor: Vet Hekim Der Derg 92 (2): 152-158, 2021, 3D printed models of the digital skeleton of the horse, Caner BAKICI, Orçun GÜVENER, Çağdaş OTO Department of Anatomy, Faculty of Veterinary Medicine, Ankara University, Ankara, Turkey, Medical Design, Research and Application Center (MEDITAM), Ankara, Turkey (str. 154)]

8.2. Slikovni primjeri primjene 3D metoda

U ovome poglavlju prikazani su primjeri primjene 3D tehnologije uz pomoć slikovnih medija. 3D metode ispisa se u veterinarstvu ponajviše koriste za izradu protetike i ortoze (*Slika 23.*; *Slika 24.*), u svrhu boljeg razumijevanja problematike trauma (*Slika 25.*) i za izradu implantata. (*Slika 26.*; *Slika 27.*; *Slika 28.*).



Slika 23. Ortopedsko pomagalo nastalo 3D ispisom

[Izvor: <https://vetfuturist.com/3d-printing-medical-breakthroughs-and-what-they-mean-us-vets>]



Slika 24. Protetika za psa napravljena od polimernih materijala 3D metodom

[Izvor: <https://www.wired.com/story/pet-prosthetics-3d-printing/>]



Slika 25. 3D modeli lubanje korišteni u svrhu pripreme za operaciju

[Izvor: <https://ovc.uoguelph.ca/3D-Printing>]



Slika 26. Metodom 3D tiska ispisani su rogovi nosoroga koristeći DNA nosoroga

[Izvor: <https://www.marketwatch.com/story/saving-rhinos-from-extinction-with-robots-and-3d-printed-horns-2016-12-20>]



Slika 27. Implantacija 3D dijela lubanje od titana nakon liječenog tumora

[Izvor: <https://wonderfulengineering.com/this-cancer-stricken-dog-got-a-new-skull-through-3d-printing/>]



Slika 28. Kornjačin oklop izrađen 3D uređajem i potom ručno obojan

[Izvor: https://www.boredpanda.com/tortoise-3d-printed-shell-freddy/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic]

9. 3D TISAK U HRVATSKOJ

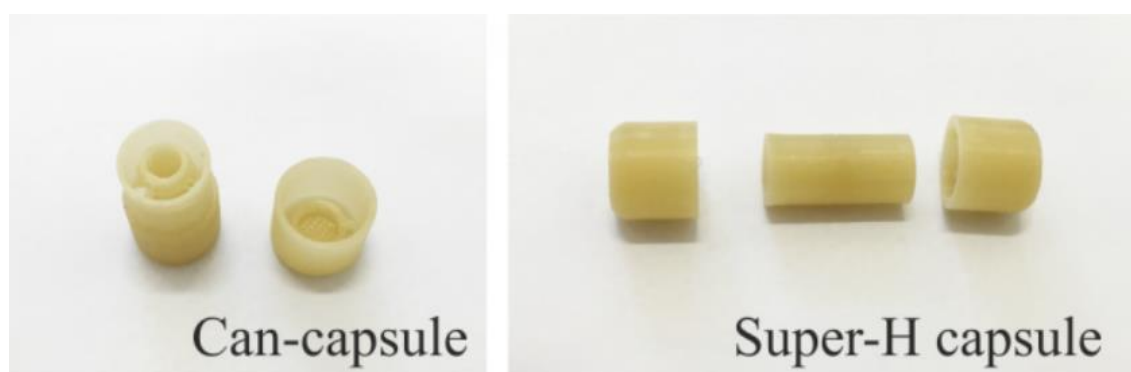
3D tehnologija tiska nije nova, ali se tek posljednjih nekoliko godina počela češće koristiti, pa tako i u Hrvatskoj. 3D metode sastavni su dio obrazovnih ustanova, tvrtki, grafičke i proizvodne industrije te medicinskog područja.

2013. godine u svrhu edukacije kirurga, riječki znanstvenik je 3D printerom izradio model lubanje.

2014. godine na hrvatskom je tržištu predstavljen „Forcebook UltraPrint 3D“. To je prvi hrvatski brend 3D printera za kućnu upotrebu koji za ispis koristi ABS plastiku.

Na prostorima Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu stvorene su dvije kapsule Super-H te CAN-kapsula (*Slika 29.*) u svrhu unapređenja ljudskog zdravlja. One bi omogućile personaliziranu proizvodnju lijekova. Obje su nastale korištenjem 3D tehnologije te odnijele brojne nagrade.

3D tisak prepoznat je u svijetu kao potencijal za otvaranje brojnih vrata, ali u Hrvatskoj je zbog slabih resursa poprilično nova tehnologija i obično se koristi u osobne svrhe, u obrazovnim institucijama te za potrebe tvrtki. [19]



Slika 29. CAN-kapsula i Super-H kapsula proizvedene 3D metodom u laboratoriju Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

[Izvor: <https://www.tportal.hr/teho/clanak/buducnost-je-kazu-u-personaliziranim-lijekovima-ovi-hrvatski-znanstvenici-znaju-i-kako-to-ostvariti-foto-20190915/slika-9ab73d50cce0758c2f2d9d3f5e0328a5>]

10. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije 3D tiska prati tehnološki razvoj i razvoj ljudskih afiniteta. Danas se svakodnevno pronalaze nova mjesta za poboljšanje i napredak. Nekada su stvari oko nas bile standardizirane, a personalizirani proizvodi nastojali su samo ručnom izradom. Suvremeno digitalno doba otvorilo je brojna vrata te tako promijenilo način na koji svijet funkcionira. 3D tehnologija omogućila je pojedincima da imaginarnu sliku pretvore u digitalnu sliku i u konačnici u stvarni objekt. Zahvaljujući velikim umovima, tehnologija je otišla korak dalje i ono što je nekada bilo nezamislivo postalo je stvarnost. Pomoću 3D metoda ispisa danas se ugrađuju ljudski i životinjski implantati, izrađuju se protetike i ortoze koje živim bićima omogućuju lagodan život, izrađuju se kirurški instrumenti, 3D modeli koji služe za lakše razumijevanje složenih struktura organa, skale za otkrivanje novih lijekova i dr. 3D tehnologija tek je u svojim počecima, a već toliko doprinosi ljudskom napretku. Hoće li se jednoga dana 3D tehnologijom moći printati funkcionalni organi samo je jedno od pitanja koje se postavlja. No, to ne ovisi samo o razvoju same tehnologije, već se primjenom 3D metoda u području medicine i veterinarstva otvara i moralna dilema. Svakako se može zaključiti kako je 3D tehnologija interdisciplinarna i od iznimne važnosti za budućnost sveopćeg razvoja.

11. LITERATURA

1. <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#02-history> (27.08.21.)
2. <https://3dprintingindustry.com/news/will-boom-3d-printing-continue-next-decade-78958/> (27.08.21.)
3. <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#02-history>
4. G.M. Paul, A. Rezaenia, P. Wen, S. Condoor, N. Parkar, W. King, T. Korakianitis, Medical Applications for 3D Printing: Recent Developments., Mo. Med. 115 (2018) str. 75–80. (27.08.21.)
5. <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/#03-technology> (27.08.21.)
6. <https://www.tiskarstvo.net/tiskarstvo2011/Tiskarstvo2011%20zbornik%20b5.pdf#page=43> str. 43-48 (29.08.21.)
7. <https://www.wevolver.com/article/digital.light.processing.3d.printing.explained> (29.08.21.)
8. <https://www.protolabs.com/services/3d-printing/multi-jet-fusion/> (29.08.21.)
9. <https://all3dp.com/2/polyjet-3d-printing-technologies-simply-explained/> (29.08.21.)
10. <https://labs.wsu.edu/mpml/projects/> (29.08.21.)
11. <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/> (29.08.21.)
12. Raffaele Pugliese, Benedetta Beltrami, Stefano Regondi, Christian Lunetta, Polymeric Biomaterials for 3D Printing in Medicine: An Overview, Annals of 3D Printed Medicine (2021) (29.08.21.)
13. Chinga-Carrasco, G. Biocomposite Inks for 3D Printing. , Bioengineering 2021, 8, 102. (29.08.21.)
14. <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/> (30.08.21.)
15. Rutz A, Laronda MM, Xiao S, Whelan KA, Woodruff TK and SHan RN (2016.). Engineering a functional ovary with 3D biomaterial printing. Front. Bioeng. Biotechnol. Conference Abstract: 10th World Bomaterials Congress. Doi: 10.3389/conf.FBIOE.2016.01.02633 (30.08.21.)

16. <https://www.advancedsciencenews.com/3d-printed-heart-with-patients-own-cells/> (30.08.21.)
17. Indian J. Anim. Hlth. (2019), 58(2) : 171-173, 3D PRINTING APPLICATIONS FOR VETERINARY FIELD, A. HALEEM, M.JAVAID AND R. SUMAN
Department of Mechanical Engineering Jamia Millia Islamia, New Delhi-110 025, India (31.08.21.)
18. Vet Hekim Der Derg 92 (2): 152-158, 2021, 3D printed models of the digital skeleton of the horse, Caner BAKICI, Orçun GÜVENER, Çağdaş OTO
Department of Anatomy, Faculty of Veterinary Medicine, Ankara University, Ankara, Turkey (31.08.21)
Medical Design, Research and Application Center (MEDITAM), Ankara, Turkey
19. <https://www.womeninadria.com/3d-printanje-od-ideje-proizvoda-u-nekoliko-minuta/> (31.08.21.)

7. SLIKE

1. <https://www.botart.in.rs/index.php/2020/11/12/the-invention-of-3d-printing/>
Slika 1.
2. <https://3dprintingindustry.com/news/will-boom-3d-printing-continue-next-decade-78958/> Slika 2.
3. <https://sinterex.com/see-how-dentistry-is-benefiting-from-metal-3d-printing/>
Slika 3.
4. <https://all3dp.com/2/what-is-a-dlp-3d-printer-3d-printing-simply-explained/>
Slika 4.
5. https://www.stratasys.com/-/media/features/materials/image-gallery/image_gallery_dental_materials_ortho_appliance_implant_model_carousel.jpg Slika 5.
6. <https://www.zmescience.com/medicine/human-cartilage-successfully-3d-printed/> Slika 6.
7. <http://www.skolioza.hr/ku263a-zdravlja-i-skolioza.html> Slika 7.
8. <http://www.skolioza.hr/ku263a-zdravlja-i-skolioza.html> Slika 8.
9. <https://3dprint.com/18577/materialise-heartprint-class-1/> Slika 9.
10. <https://medicalfuturist.com/3d-printing-in-medicine-and-healthcare/> Slika 10.
11. <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/> Slika 11.
12. <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/> Slika 12.
13. <https://izit.hr/primjeri-iz-prakse/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/> Slika 13.
14. <https://geektech.me/hr/scientists-printed-the-first-3d-heart-using-patient-cells/>
Slika 14.
15. <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/> Slika 15.
16. <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/> Slika 16.
17. <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/> Slika 17.
18. <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/> Slika 18.
19. <https://www.3dnatives.com/en/best-3d-printed-implants-230720195/> Slika 19.
20. <https://bioprinting.ru/en/press-center/publications/3ders-monday-warm-up-the-top-20-3d-bioprinters/> Slika 20.

21. <https://bioprinting.ru/en/press-center/publications/3ders-monday-warm-up-the-top-20-3d-bioprinters/> Slika 21.
22. Vet Hekim Der Derg 92 (2): 152-158, 2021, 3D printed models of the digital skeleton of the horse, Caner BAKICI, Orçun GÜVENER, Çağdaş OTO Department of Anatomy, Faculty of Veterinary Medicine, Ankara University, Ankara, Turkey, Medical Design, Research and Application Center (MEDITAM), Ankara, Turkey (str. 154) Slika 22.
23. <https://vetfuturist.com/3d-printing-medical-breakthroughs-and-what-they-mean-us-vets> Slika 23.
24. <https://www.wired.com/story/pet-prosthetics-3d-printing/> Slika 24.
25. <https://ovc.uoguelph.ca/3D-Printing> Slika 25.
26. <https://www.marketwatch.com/story/saving-rhinos-from-extinction-with-robots-and-3d-printed-horns-2016-12-20> Slika 26.
27. <https://wonderfulengineering.com/this-cancer-stricken-dog-got-a-new-skull-through-3d-printing/> Slika 27.
28. https://www.boredpanda.com/tortoise-3d-printed-shell-freddy/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic Slika 28.
29. <https://www.tportal.hr/tehnolo/clanak/buducnost-je-kazu-u-personaliziranim-lijekovima-ovi-hrvatski-znanstvenici-znaju-i-kako-to-ostvariti-foto-20190915/slika-9ab73d50cce0758c2f2d9d3f5e0328a5> Slika 29.