PRIPREMA BIORAZGRADIVIH POLIMERA ZA IZRADU UDLAGA ADITIVNOM TEHNOLOGIJOM

Majdak, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

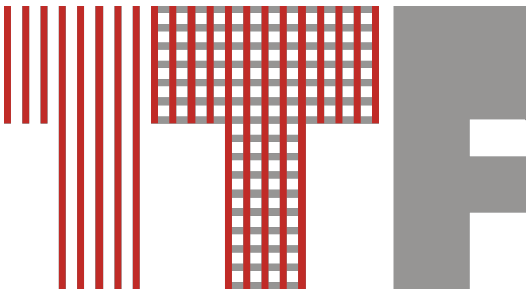
2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:201:900331

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

PRIPREMA BIORAZGRADIVIH POLIMERA ZA IZRADU UDLAGA ADITIVNOM TEHNOLOGIJOM

Mislav Majdak

Zagreb, 2018. rujan

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

Zavod za primjenjenu kemiju

ZAVRŠNI RAD

PRIPREMA BIORAZGRADIVIH POLIMERA ZA IZRADU UDLAGA ADITIVNOM TEHNOLOGIJOM

Doc.dr.sc. Iva Rezić

Mislav Majdak

Zagreb, 2018. rujan

Završni rad je izrađen na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na zavodu za primijenjenu kemiju.

Rad sadrži

Broj stranica:20

Broj tablica:5

Broj slika:16

Broj literaturnih izvora:13

Mentor: doc.dr.sc. Iva Rezić

Članovi povjerenstva: doc.dr.sc Karlo Lelas, doc.dr. Helena Schultheis Edgeler, doc. Maja Somogyi Škoc (zamjena)

Datum predaje 13.9.2018

Datum obrane 14.9.2018

ZAHVALE

Zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc Ivi Rezić na pomoći, potpori i razumijavnju.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na potpori kroz studiranje i prijateljima na pomoći i podrškama.

I. SAŽETAK

U ovom radu je bio istraživan utjecaj biorazgradivog polimera, PLA kao materijal za izradu udlaga. Zbog ograničenja 3D printera, nismo bili u mogučnosti proizvesti 3D ispisanu udlagu, stoga smo proučavali svojstva polimera konstrukcijom pločica raznih oblika. U ovom radu je opisan način dobivanja PLA, te njegova svojstva koja utječu na proizvodnju objekata. Opisan je i način proizvodnje pomoću 3D tiska, metodom taložnog očvršćivanja, te mogučnost korištenja 3D tiskanih objekata za izradu medicinskih pomagala.

SADRŽAJ

2. TERORIJSKI DIO

2.1 PLA

2.1.1 Mliječna kiselina 1

2.1.2 Polimerizacija PLA 2

2.1.3 Svojstva materijala 4

2.1.4 Mehanička svojstva PLA materijala za izradu ortopedskih implanata 5

2.1.5 Biorazgradivost i recikliranje PLA 6

2.2 3D TISAK IMPLANATA I UDLAGA

2.2.1 3D Tisak 8

2.2.2 Taložno očvršćivanje 8

2.2.3 3D tisak za medicinske svrhe 9

2.2.4 Izrada 3D udlaga za ruku 11

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Uzorci 13

3.2 Princip rada 15

ZAKLJUČAK 19

LITERATURA 20

II. TERORIJSKI DIO

2.1 PLA

2.1.1 MLIJEČNA KISELINA

Mliječna kiselina (2-hidroksipropionskakiselina), CH_3−CHOHCOOH je naj prisutnija hidroksikarboksilna kiselina. Mliječna kiselina se koristi u prehrambenoj, farmaceutskoj, tekstilnoj, kožarskoj i kemijskoj industriji. Načini dobivanja mliječne kiseline su kemijska sinteza ili fermentacija. Jedna od mogućnosti kemijske sinteze mliječne kiseline se temelji na hidrolizi laktonitrila jakim kiselinama, pri ćemu produkt ove reakcije je racemat D-i L- mliječne kiseline. Druge mogućnosti kemijske sinteze mliječne kiselin se temelje na kataliziranom raspadu šećera; oksidacijom propilen glikola; reakcijom acetaldehida, ugljikovog monoksida i vode pri povišenoj temperaturi i tlaku; hidrolizom kloropropionske kiseline i dušične kiseline; oksidacijom propilena. Fermentacijski postupak u novije vrijeme se pokazuje sve povoljnijom, pogotovo zbog sve veće ekološke osviještenosti (ne koriste se petrokemijski proizvodi), te zbog smanjene potrošnje energije u procesu proizvodnje. Za fermentacijski postupak se koriste obnovljivi izvori ili nusprodukti iz poljoprivredne industrije kao kukuruzni klip. U fermentacijskom postupku bakterije i gljive su glavni mikrobiotski izvori mliječne kiseline. Za dobivanje L- izomera koriste se *Lactobacilli amylophilas, Lactobacilli bavaricus, Lactobacilli casei, Lactobacilli maltaromicus, Lactobacilli salivarius,* dok za dobivanje D- izomera ili mješavina se koriste vrste kao *Lactobacilli delbrueckii, Lactobacilli jensenii, Lactobacilli acidophilius.* Kako bi došlo do mikrobne proizvodnje mliječne kiseline potreban je ugljik, izvori ugljika su najčešće šećeri, to su glukoza, saharoza, laktoza ili tvari koje sadrže šećere, kao melasa, sirutka, šećerna trska, te škrob iz krumpira, tapioke, pšenice i ječma. Jedan od glavnih čimbenika proizvodnje PLA je

cijena sirovine, zbog čega se sve više istražuju razni materijali koji bi se mogli kristiti za proizvodnju PLA. Poljoprivredni bionusprodukti su se pokazali kao dobri supstranti za mikrobnu proizvodnju PLA. Neki od njih su kukuruzni škrob, kukuruzni klip, sjemenke pamuka, stabljika kukuruza itd. [1]

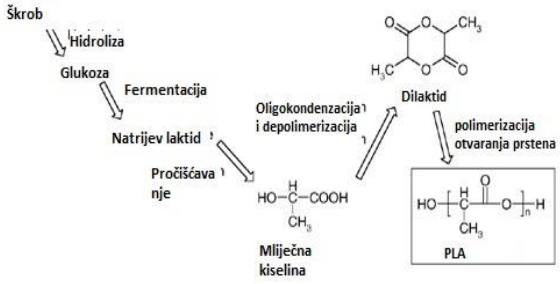
Supstrat	**Mikroorganizam**	**Prinos mliječne kiseline**
Mekinje riže i pšenice	*Lactobacillius sp.*	129 g/l
Kukuruzni klip	*Rhizopus sp. MK-96-196*	90 g/l
Prethodno tretirano drvo	*Lactobacillius delbrueckii*	48-62 g/l
Celuloza	*Lactobacillius coryniformis ssp.*	0.89 g/l
Ječam	*torques*	0.87-0,98 g/g
Cassava Bagasse	*Lactobacillius caseiNRRLB-441*	0,9- 0,98 g/g
Pšenični škrob	*L.delbrueckii NCIM 2025,*	0,77-1g/g
Pšenica	*Lactococcus lactis ssp. lactis ATCC 19435*	0,93-0,95 g/g
Škrob iz krumpira	*Lactobacillius delbrueckii*	0,87-0,97 g/g
Kukuruzni, rižini, pšenični škrobovi	*Rhizopus oryzae, R.arrhizuso*	<0,70 g/g
Kukuruzni škrob	*Lactobacillius amylovorous ATCC 33620* *L. amylovorous NRRI. B-4542*	0,935 g/g

Tablica br. 1 Poljoprivredni bionusprodukti za dobivanje mliječne kiseline [1]

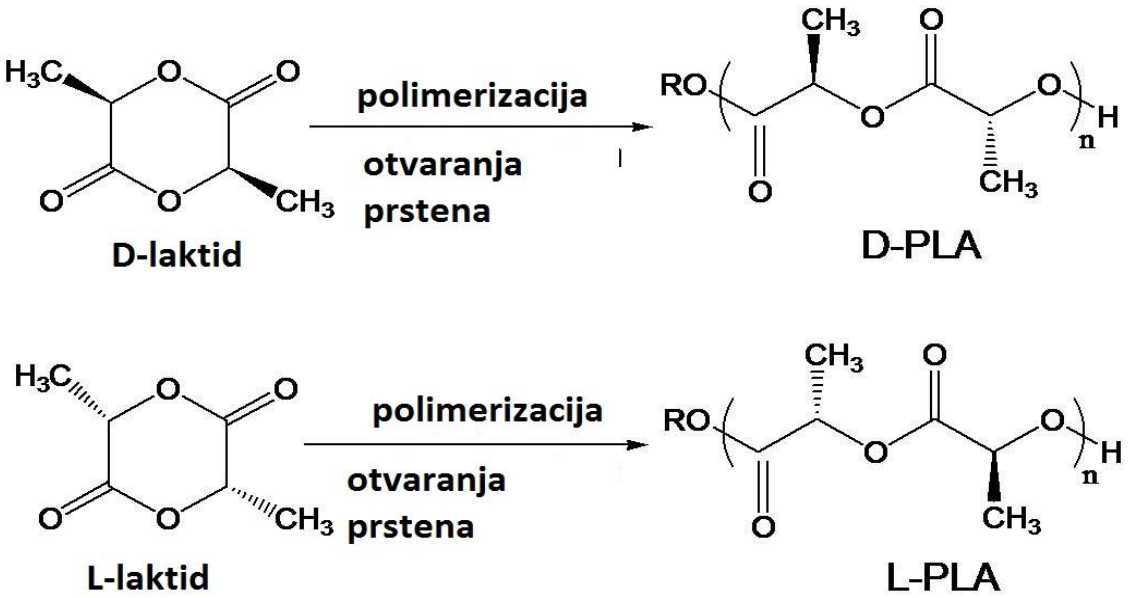
2.1.2 POLIMERIZACIJA PLA

PLA se polimerizira postupkom kondenzacijske polimerizacije zbog prisutnosti hidroksilnih i karboksilnih skupina u mliječnoj kiselini. Pri polimerizaciji za ubrzavanje reakcija esterifikacije i transesterifikacije potrebno je dodati kisele katalizatore kao što su borna ili sumporna kiselina, no ti katalizatori na temperaturama iznad 120˚C pomažu u ubrzavanju drugih reakcija. Takve nuspojave direktno utječu na relativnu molekulnu masu DL-mliječne kiseline, ona nikada nije viša od 3000, dok relativna molekulna masa L-mliječne kiseline može biti do 6500. Kako bi se povećala molekulna masa PLA i time poboljšala uporabna svojstva, provodi se postupak zagrijavanja kondenzata dobivenog na temperaturi od 120˚C, na temperaturi od 180˚C uz prisutstvo transeesterifikacijskog

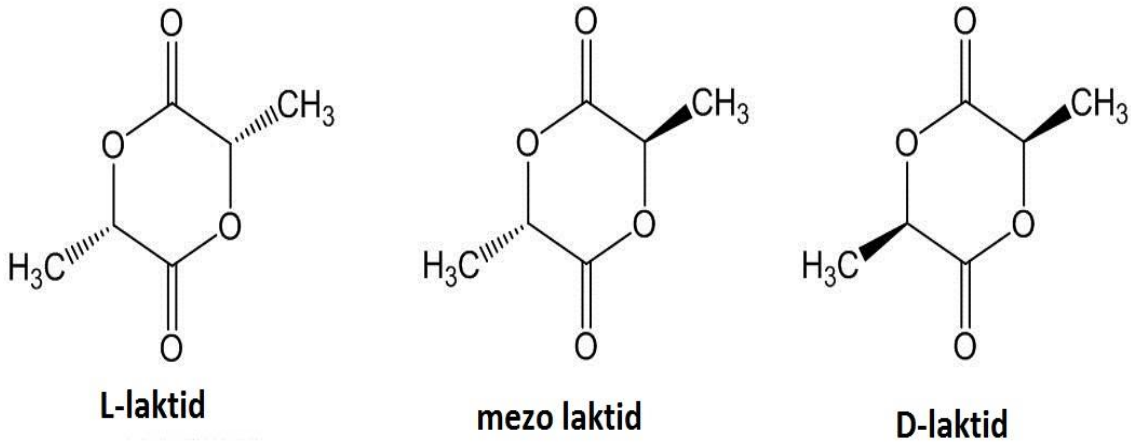
katalizatora (PbO). Uz sve postupke povečanja relativne molekulne mase PLA, kao najbolji postupak pokazao se postupak polimerizacije otvaranja prstena. Proces se provodi na način da u prvom koraku nastaje ciklički dimer mliječne kiseline, koji se dobiva isparavnajem kondenziranog produkta oligomerizacije. L- mliječna kiselina, D-mliječna kiselina ili njihova mješavina se može polimerizirati u odgovarajuće oligomere PLA male relativne molekulne mase. U drugom koraku, L-laktid, D-laktid, DL-laktid (50:50 smjesa L- i D-laktida), ili meso laktid monomer se mijenja u odgovarajući poliester velike relativne molekulne mase postupkom katalitičke polimerizacije otvaranja prstena. Kao katalizator proizvodnje PLA za laboratorijske svrge koristi se kositrov (II) klorid, dok za poboljšavanje same proizvodnje dokazano je da alkohol ima veliku ulogu. [1]



Slika br. 1 Dobivanje PLA molekule polimerizacijom otvaranja prstena [9]



Slika br. 2 Dobivanje D-PLA i L-PLA polimerizacijom otvaranja prstena [9]



Slika br.3 Izomeri laktida [9]

2.1.3 SVOJSTVA MATERIJALA

PLA materijali su materijali koji imaju niski udio kristalnog područja, prozirni su i bezbojni nakon stvrdnjavanja iz otopine, te su jako slični polistirenu. PLLA vlakna imaju udio kristalnosti od oko 37%, temperaturu staklišta između 50-80˚C, i temperaturu tališta između 173-178˚C. Gustoća amorfnog PLLA je 1,248 g/mL, a kristalnog PLLA 1,290 g/ml. Gustoća krutog PLA iznosi 1,36 g/cm^3, PLLA 1,33 g/cm^3,

mezo laktida 1,36 g/cm^3. Polilaktidi su topivi u dioksanima, acetonitrilu, kloroformu, metilen kloridu, 1,1,2-trikloretanu i diklorooctenoj kiselini. Otapala kao etilen benzen, tolue, aceton i tetrahidrofuran pri niskim temperaturama djelomićno otapaju PLA, dok pri temperaturi vrenja lagano otapaju PLA. Zbog svoje termoplastičnosti i mogućnosti otapanja u otapalima, PLA materijali imaju mogućnost prerade u složenije materijale, procesima protiskivanja (folije i filmovi).[1]

2.1.4 MEHANIČKA SVOJSTVA PLA MATERIJALA ZA IZRADU IMPLANATA

Ortopedski implanti moraju imati dobra mehanička svojstva kako bi što bolje mogli podnositi razna opterećenja. Mehanička svojstva koja su važna za dobra uporabna svojstva su rastezljivost, modul elastičnosti, te vlačna i savojna čvrstoća mterijala. Rastezljivost mjeri naprezanje koje vlakno može podnijeti do prekida. Modul elastičnosti se odnosi na opterećenje potrebno da se duljina materijala produlji, te je uvjetovano stupnjem kristaličnosti. poznavanje mehaničkih svojstava je potrebno za izbjegavanje prekida materijala u određenim uvjetima. Vlačna čvrstoća PLLA materijala je između 11,4 i 82,7 MPa,dok je savojna čvrstoća između 45 i 145 MPa. za poboljšavanje vlačne i savojne čvrstoće, PLLA materijali se mogu dodatno pojačati ugradnjom vlakana, te povećanjem relativne molekulne mase. Prednost PLLA materijala za izrdau implanata je njegova spora razgradnja, što utječe na slabo opadanje čvrstoće materijala. [2]

	Nature works PLA
Fizička svojstva materijala	
Maseni protok taljevine (g/10 minuta) Gustoća (g/cm^3)	2,4-4,3 1,25
Mehanička svojstva	
Vlačna čvrstoća pri popuštanju (MPa) Produljenje pri popuštanju (%) Modul savijanja (MPa)	53 10-100 350-450

Tablica br. 2 Fizička i mehanička svosjtva PLA [5]

Svojstva	**ABS**	**PLA**
Vlačna čvrstoća	27 MPa	37 MPa
Produljenje	3,5-50%	6%
Modul savitljivosti	2,1-7,6 GPa	4 GPa
Gustoća	1,0-1,4 g/cm^3	1,3 g/cm^3
Biorazgradivost	Nije biorazgradiv	Biorazgradiv u određenim uvjetima
Temperatura staklastog prijelaza	105°C	60℃
Cijena	$USD 21,99	$USD 22.99
Njačešće izrađivani proizvodi	Kućišta	Čaše, vrećice, kuhinjski pribor
Temepratura tališta	Nema zbog amorfnosti	173℃

Tablica br. 3 Usporedba svojstava ABS i PLA za 3D tisak [10]

2.1.5 BIORAZGRADIVOST I RECIKLIRANJE PLA

Biorazgradivost PLA je enzimski katalizirana razgradnja PLA materijala viskoe relativne molekulne mase. U ovom postupku PLA se razgrađuje uz pomoć enzima dobivenih iz mikroba, produkt ove razgradnje su vodotopive otopine oligomera i monomera. Danas se sve više proučava mikrobna biorazgradivost PLA u tlu, kompostu, morskoj vodi, te pomoću mikroba iz okoliša. PLLA materijal se u odnosu na ostale poimere jako sporo razgrađuje, ćemu uvjetuje nedostatak mikroba potrebnih za razgradnju polimera, te zadržani ugljikov dioksid. Izračunato vrijeme razgradnje PLLA materijala u mliječnu kiselinu, razgradnjom pomoću mikroba u zemlji, iznosi 508 mjeseci (42,3 godine), no pozitivna strana spore razgradnje PLLA je smanjenje

otpuštanja ugljikovog dioksida u okoliš, ćime se smanjuje onečišćenje uzrokovano razgradnjom. Kako bi se postupak razgradnje ubrzao PLLA i PDLA u zemlji i okolišu, PLLA materijali se modificiraju sa peroksidima, dok se razgradnja PDLA i PLLA ubrzava povećanjem pora na materijalu, te tretiranjem površine alkalijama, time dolazi do kidanja esterskih skupina u polimeru i povećanjem karboksilnih i hidroksilnih skupina, uzrok takvog postupka je veća sklonost privlaćenja mikroba na površinu. U moru najveći utjecaj na razgradnju polimera imaju mehanička kidanja uzrokovana valovima i morskim mijenama. PLA materijali osim biorazgradivosti imaju mogućnost recikliranja. Recikliranje PLA materijala temelji se na razgradnji u mliječnu kiselinu ili LA monomere, te kasnijim paljenjem ili biorazgradnjom, pri ćemu dolazi do otpuštanja ugljikovog dioksida. Navedena metoda je ekološki povoljna zbog smanjenog korištenja fosilnog goriva. Međutim, s obzirom na eutrofikaciju, ekotoksičnost i oštećenje ozonskog omotača, PLLA može imati veći utjecaj na okoliš u usporedbi s petro-bazičnim polimerima. Druga metoda recikliranja PLA u mliječnu kiselinu se provodi sa zagrijanom vodom koja ne sadrži katalizatore (u slučaju da ih sadrži, potrebno ih je ukloniti prije zagrijavanja). LA monomeri su isto efektivni za recikliranje, no zbog svoje viskoznosti i male iskoristivosti uzrokovane viskoznošću, recikliranje LA monomera je rijetko [3].

2.2 3D TISAK IMPLANATA I UDLAGA

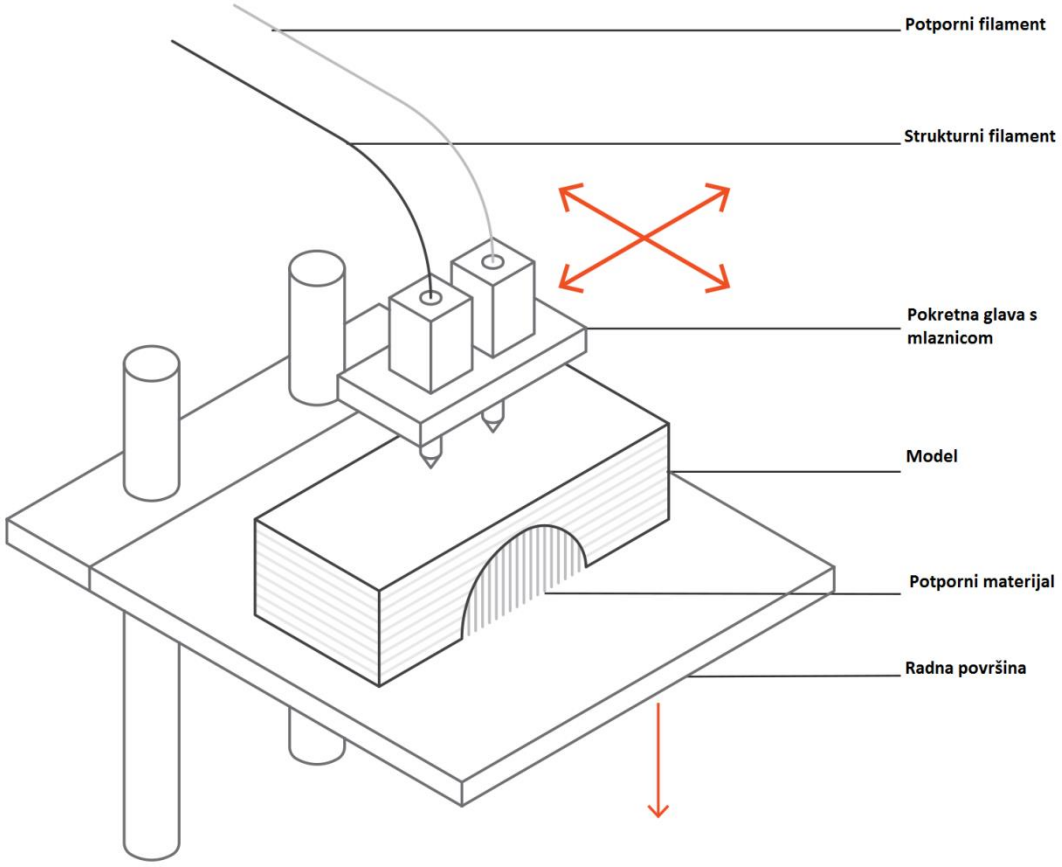
2.2.1 3D TISAK

3D tiskanje je tehnika proizvodnje u kojoj je materijal dodan sloj po sloj kako bi došlo do izgradnje trodimenzionalnog objekta. Ovaj tip proizvodnje danas se najviše koristi u akademskim i komercijalnim sektorima kao dobra metoda za izradu prototipa. U novije vrijeme 3D tiskanje je našlo ulogu u medicini za izradu udlaga impalanata i raznih medicinskih pomagala [4]. Drugi naziv za 3D tisak je aditivna tehnologija. Ova metoda se razlikuje od konvencionalnih metoda proizvodnje, jer se ne oslanja na uklanjanje materijala postupcima rezanja i bušenja [5].

2.2.2 TALOŽNO OČVRŠĆIVANJE

Taložno očvršćivanje je najčešće korištena metoda aditivne tehnologije u kojoj termoplastični materijal ćija temperatura tališta je ispod 300˚C. Proces se provodi ekstrudiranjem polimera kroz mlaznicu s određenom temperaturom u svrhu stvaranja slojeva koji grade trodimenzionalni objekt. U ovom procesu, 3D dizajnirani model napravljen u CAD softveru, se uvozi u program 3D printera kao .stl datoteka [5]. 3D tiskanje se provodi tako što se termoplastični filament uvodi u mlaznicu koja se zagrijava do određene temperature, kada se filament rastali kreće postupak ekstruzije. U postupku ekstruzije talina se slaže u određenim dimenzijama, određenih dizajnom po radnoj po radnoj površini, te se prenosi u x,y i z smjerove pomoću pokretne glave na kojoj se nalazi mlaznica. Pri procesu ekstruzije ventilatori se koriste za stvrdnjavanje taline koja se slaže u slojevima, jedan na drugog [6]. Glavne prednosti ove metode su, ona ne zahtijeva nikakvu kemihsku obradu materijala, 3D printeri i materijali koji se koriste su ekonomski povoljni, što utječe na cijenu proizvodnje. Nedostaci ove metode

su niska rezolucija na z osi u usporedbi s ostalim metodama, što rezultira dugotrajnim završnim procesima kako bi se površina tiskanog materijala prilagodila potrebama [7].



Slika br. 4 Presjek radne površine 3D printera [6]

2.2.3 3D TISAK ZA MEDICINSKE SVRHE

Prije početka izrade objekta, potrebna je izrada slike po kojoj će nastati objekt. Izrađenu sliku je potrebno prevesti u format koji će program 3D printera moći koristiti. U slučaju medicinskih svrha, slike se mogu izraditi pomoću skeniranja slika magnetske rezonance ili tomografije [8]. Jedna od najnovijih i revolucionarnih metoda korištenja 3D tiska je izrada 3D tiskanih implanata i proteza. Pomoću 3D tiska najčešće se izrađuju implanti kralježnice, zubne šupljine i kukova. Pomoću ove metode moguće je proizvesti implant

u kratkom vremenskom roku (unutar 24 sata). 3D tisak je pomogao kirurzima u operacijskim zahvatima, zbog mogućnosti laganog prilagođavanja implantaobliku kosti i reza, što je uklonilo potrebu za rezanjem kosti i uklanjanja dijelova implanata. Korištenje 3D tiskanih implanata, je isto pronašlo veliku ulogu u neurokirurgiji. Pomoću 3D tiska omogućena je lagana izrada pločica koje su namjenjene kao zamjena za oštečenu kost, u takvoj ulozi 3d tiskani materijali su se pokazali odličnim zbog dobre preciznosti dimenzija i laganog prijanjanja uz kost. Među prvim primjerima izrade 3D tiskane proteze, je primjer titanijeve mandibularne proteze koju je ugradio istraživački tim BIOMED-a. 2013. godine ugrađena he prva 3D tiskana lubanja izgrađena od polieterketonketona (PKK), za taj pothvat je zaslužna tvrtka Oxford Performance Materials. uz sve revolucionarne pothvate, započela je proizvodnja 3D tisknih živih stanica. 3D tiskani implanti se danas najviše koriste u proizvodnji slušnih aparata (99%), razlog tome je individualnost slušnog kanala [9]. Teoretske prednosti 3D tiskanih implanata je u mogučnosti implanta da odgovara obliku reza kosti, pri ćemu se smanjuje pritisak na postojeću kost . Implanti koji se koriste u svrhe zamjene dijela kosti imaju pore koje omogućuju prirodni rast kosti [8].



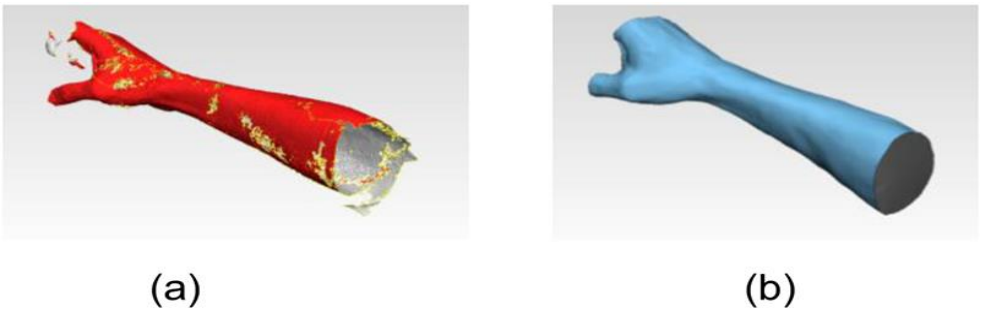
Slika br. 5 3D tiskana proteza mandibule [11]



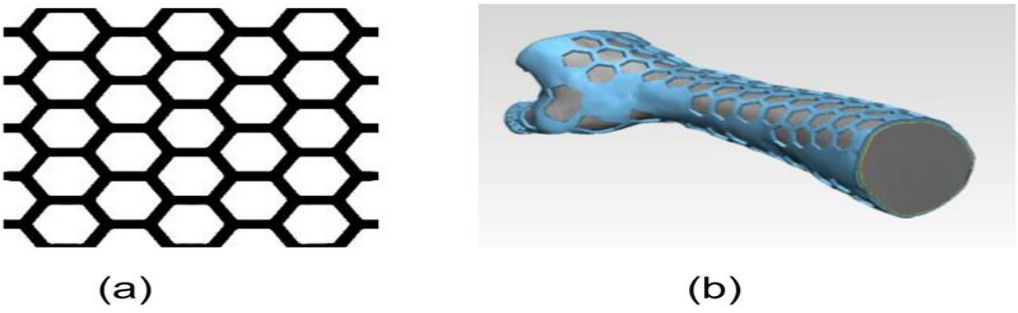
Slika br. 6 3D tiskana pločica [12]

2.2.4 IZRADA 3D UDLAGA ZA RUKU

Prije početka izrade udlage potrebno je izraditi sliku po kojoj će nastati udlaga. Slika ruke se dobiva skeniranjem ruke pacijenta. Kako bi se osigurala što jednoličnija slika ruke, poterbno je skenirati ruku u položaju za bacanje pikado strelice. To se postiže tako što pacijent drži u ruci dršku. Iz dobivene slike se radi puni model dijela ruke, koji će biti pokriven udlagom. Nakon izrademodela ruke, dolazi do dizajniranja oblika i površine udlage. Oblik površine udlage igra veliku ulogu, u smanjenju mase, održavanju strukture, te za održavanje cirkulacije zraka (ovakav tip udlage diše). Udlaga se dizajnira tako što se na površini ruke mjere neravnine pomoću UV mape. Na temelju mjerenja dizajnirana udlaga se pregledava, tako što se postavlja na kruti mode ruke. Orijentacija ispisa određena je dizajnom i parametrima printera [4].



Slika br. 7 3D modeli ruke u položaju bacanja pikado strelice [4]



Slika br. 8 Model udlage [4]



Slika br. 3D tiskana udlaga ruke [4]

III. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 UZORCI

Eksperimentalni dio ovog završnog rada se odnosio na izradu 3D tiskanih pločica, koje su imale ulogu proučavanja utjecaja parametra kao vrijeme izrade, oblik površinske i unutarnje strukture, potrošnja PLA polimera na svojstva 3D tiskanog PLA modela koji odražava 3D tiskanu udlogu. Izrađivane su bile pločice određenih dimenzija postupkom taložnog očvršćivanja. Za izradu 3D modela upotrijebljen je bio program za dizajniranje 3D modela zvan blender. Pomoću kreiranog modela izradili smo pločicu željenih dimenzija (pločice su bile dimenzija x: 150 mm i y: 50 mm) u programu Cura , te im podešavali oblik vanjske i unutarnje površine, visinu i površinu slojeva.

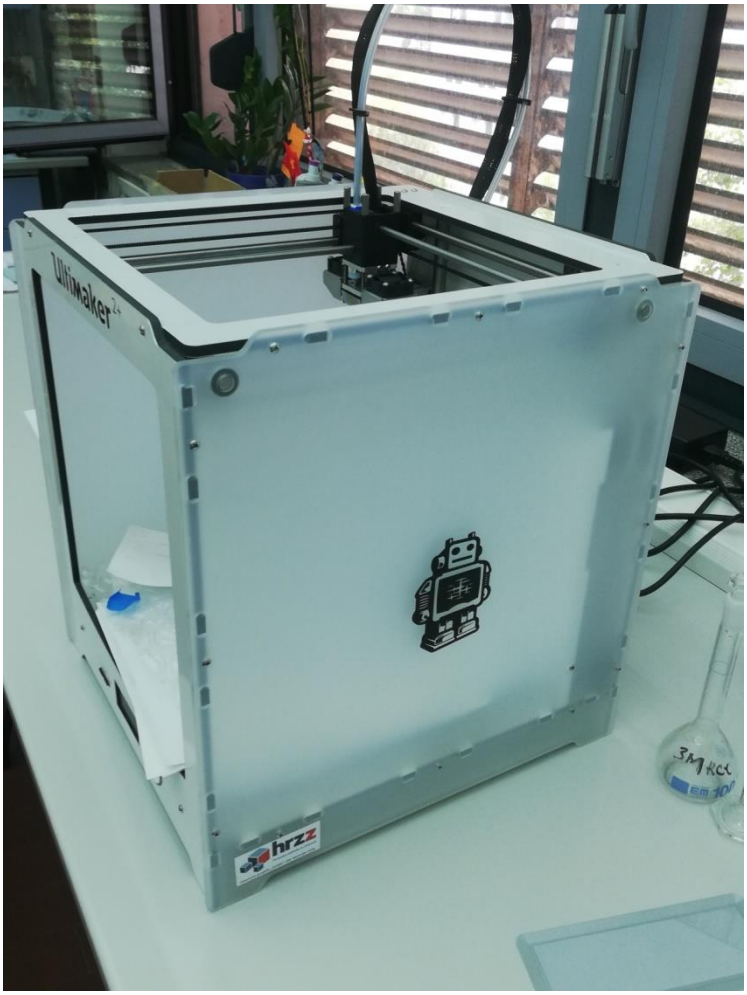
Tablica br. 4 Ulazni parametri Ultimaker 2+

Ulazni parametri	
Visina slojeva	Minimalna 0,2 mm (5 slojeva) Maksimalana 0,5 mm (2 sloja)
Mlaznica	0,4 mm
Površina sloja	Gornji/ donji 0,2 mm (5 slojeva) Gornji/ donji 0,25 mm (2 sloja)
Oblik površine	- Zig Zag - Koncentrični oblik - Mrežasti - Linije - Trokuti

Za izradu pločica koristili smo 3D printer Ultimaker 2+

Tablica br. 5 Parametri za izradu 3D pločica [13]

Tenologija ispisa	Taložno očvršćivanje
Dimenzije	223 mm / 223 mm / 205 mm
Rezolucija slojeva	Fast: 200 micron (0.2 mm) Normal: 100 micron (0.1 mm) High: 60 micron (0.06 mm) Ulti: 40 micron (0.04 mm)
Preciznost	12.5 micron / 12.5 micron / 5 micron
Promjer filamenta	2.85 mm
Promjer mlaznice	0,4 mm
Brzina ispisa	30 mm/s - 300 mm/s
Brzina pokreta mlaznice	30 mm/s - 350 mm/s

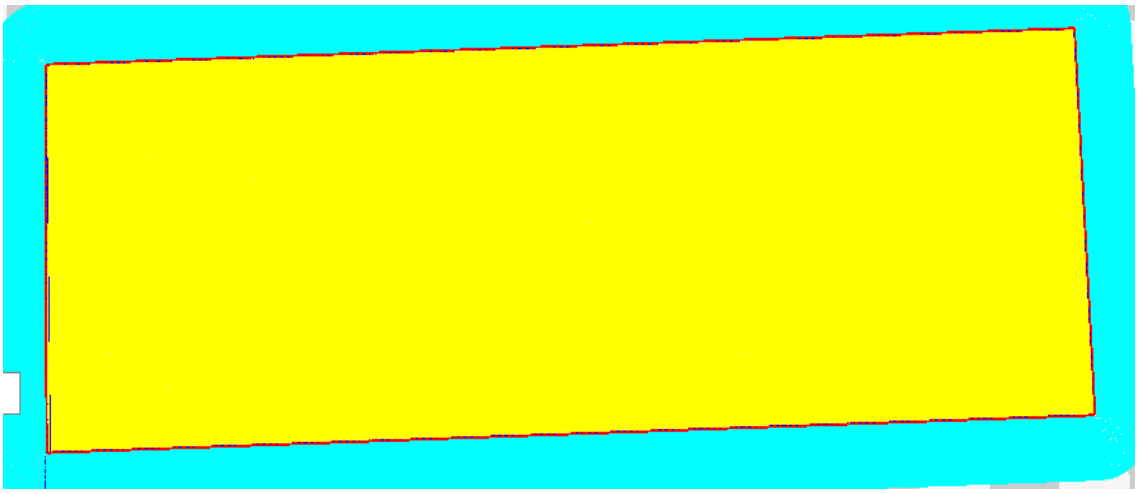


Slika br. 10 Ultimaker 2+ 3D printer

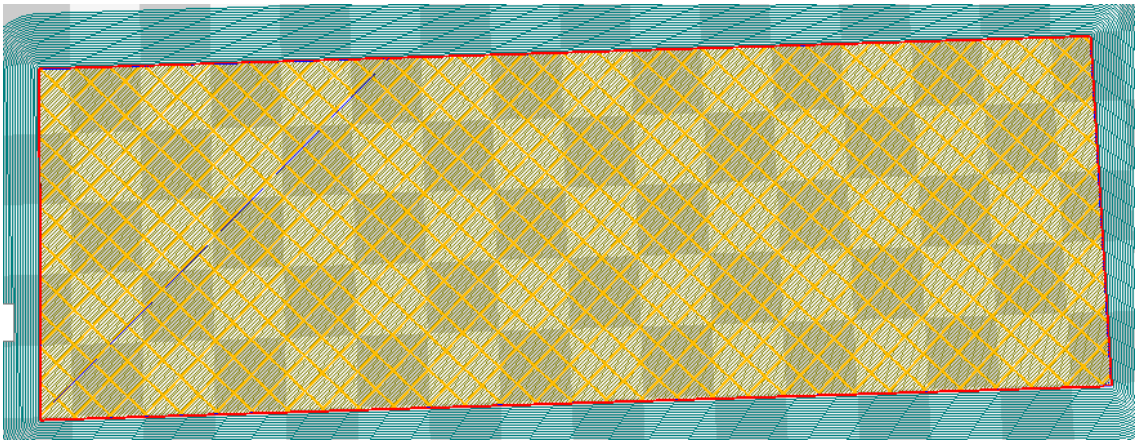
3.2 PRICIP RADA

3D tisak smo provodili tako što smo radnu površinu prekrili ljepilom kako bi se izbjeglo klizanje otopljenog filamenta. Prvi slojevi koji su nastali su bili potporni slojevi, njihova uloga je zadržavanje dimenzija modela, te njihova veličina ovisi debljini samog modela. Poslije završetka izrade potpornih slojeva mlaznica je krenula slagati slojeve modela na način pokretanja mlaznice u x i y osima i slaganjem termoplastičnog PLA polimera, pri završetku jednog sloja mlaznica se pomaknula u z- smjeru te krenula slagati novi sloj filamenta na prijašnji. Kako bi se ovaj postupak mogao provoditi svaki sloj mora biti ohlađen, tj. mora biti dovoljno stvrdnut kako bi se sljedeći sloj mogao slagati na njega bez narušavanja oblika površine sloja. Vrijeme izrade 3D tiskanih pločica je ovisno o debljini i preciznosti izrade pločice.

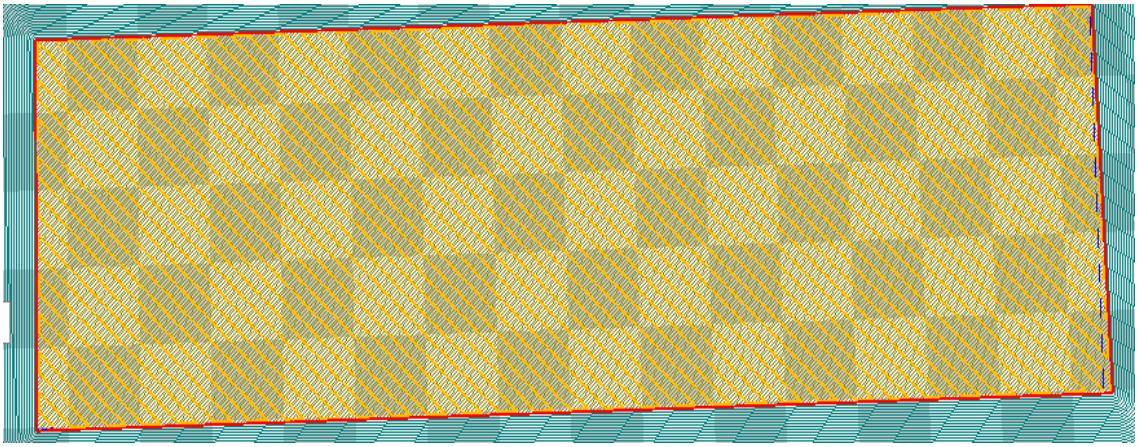
Slika br. 11 Gornji i donj sloj



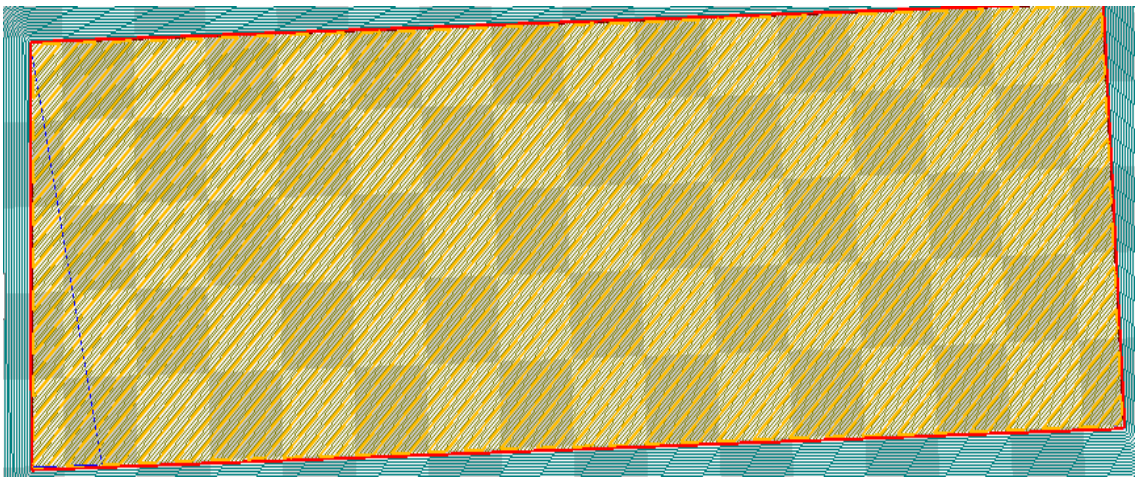
Vrijeme izrade pločica ovih pločica iznoslio je 55 minuta i za izradu iskoristili smo 1,2 m filamenta.



Slika br. 12 Mrežasta struktura



Slika br. 13 Zig zag struktura

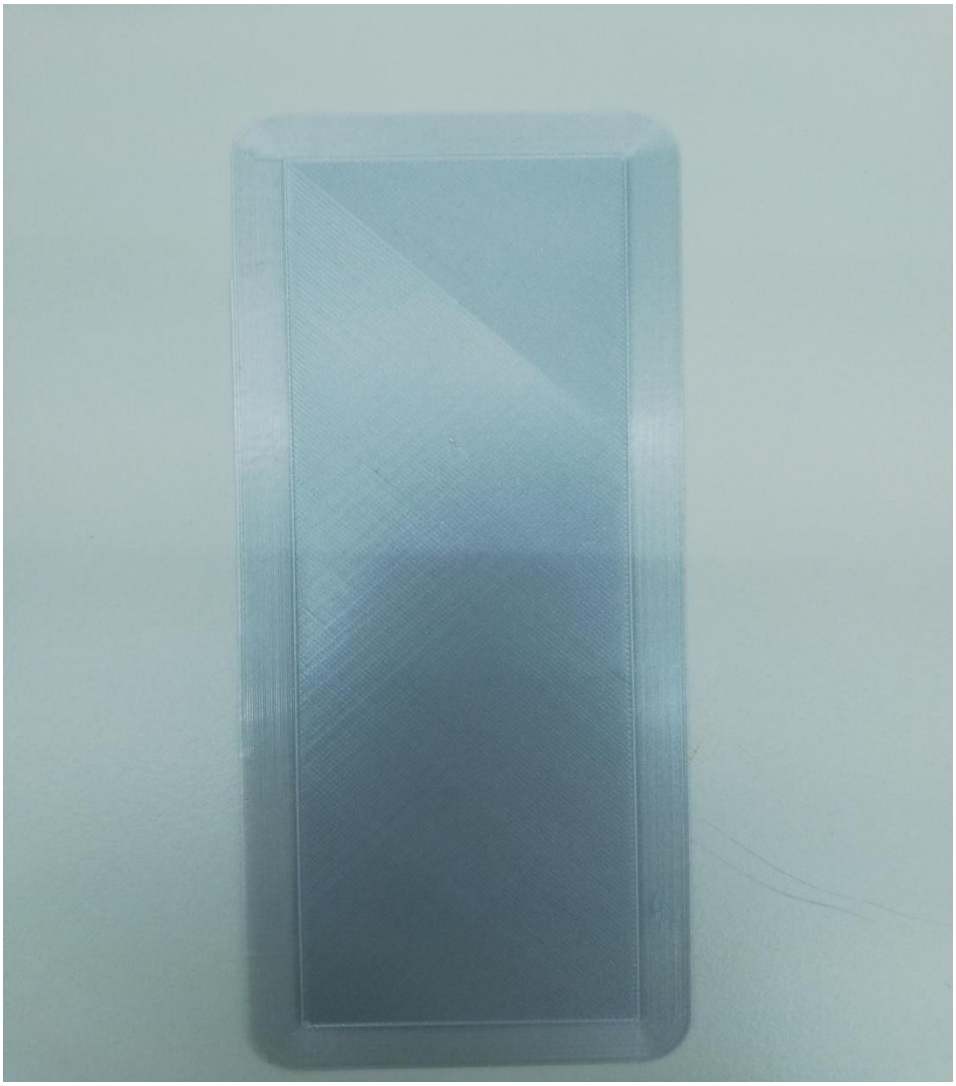


Slika br. 14 Zig zag struktura



Slika br. 15 Pločica s Zig zag strukturom

Slika br. 16 Pločica s nrežastom strukturom



ZAKLJUČAK

U ovom znanstvenom radu proučavali smo metodu 3D tiska PLA polimer za izradu pločica koje su nam služile kao predložak za upoznavanje s aditivnom tehnologijom i mogučnosti izrade složenijih objekata kao udlage. U radu je bio prikaza način dobivanja, polimerizacije, biorazgradnje i recikliranja PLA, te svojstava koja su prisutna u PLA materijalu. Drugi dio rada se odnosio na 3D tisak, tj. na način proizvodnje pomoću principa taložnog očvršćivanja, ulogu 3D tiskanih modela za izradu implanata i udlaga. U eksperimentalnom dijeluo opisan je način izrade pločica na Ultimaker 2+ printeru. 3D tisak se u novije vrijeme sve više razvija, njegov utjecaj je pomogao promjeniti način izvođenja raznih zdravstvenih pothvata, te kao metoda proizvodnje, počinje zauzimati sve veće mjesto u procesima proizvodnje.

LITERATURA

[1] K. MAdhavan Nampoothiri, N. RAjendran Nimisha, J. Pappy Royan: An overview of the recent development in polylactide (PLA) research, **101** (2010.), 8494-8501
[2] A.KYriacos Athanasio, C.Mauli Agrawal, A.BArber, S.S. Burkhart: Orthopedic Applications for PLA-PGA Biodegradable Polymers, **14** (1998), 726-737
[3] H.Tsuji, Poly(Lactid Acid), John Wiley & Sons, Ltd. New York, 2014.
[4] A.P. Fitzpatrick, M.I. MOhanned, P.K Collins, I.GIbson: Design of a patient specific, 3D printed Arm Cast, https://www.knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/607/1895 (pristup 11.9.2018)
[5]H.Haruna, Suitability of recycled HDPE for 3D printing filament, (2014.)
[6] https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing%20princip(pristup 11.9.2018)
[7] K.V. Wong, A.Hernandez, A Review of Additive Manufacturing,**10** (2012.)
[8] A.E.M. Eltorai, E. Nguyen, A.H. Daniels, Three- Dimensional Printing in orthopedic surgery, **38** (2015.)
[9] https://nptel.ac.in/courses/116102006/module6/chapter%206.1.html
[10] https://www.3dhubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference#introduction(pristup 11.9.2018)

[11] https://www.news-medical.net/news/20120207/Worlde28099s-first-3D-printed-jaw-transplant.aspx(pristup 11.9.2018)

[12] https://www.medgadget.com/2013/03/oxford-performance-materials-prints-75-new-skull-for- (pristup 11.9.2018)
patient.html
[13] https://ultimaker.com/download/7385/UserManual-UM2-v2.1.pdf(pristup 11.9.2018)