



The Application of 3D Technologies in Reverse Engineering

Primjena 3D tehnologija u reverzibilnom inženjerstvu

S. Dostinić^{*1}, O. Spaić¹

¹Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje, Trebinje, Bosna i Hercegovina

Abstract: Products with complex geometries have become widely prevalent due to the application of modern technologies in their manufacturing process. Often, the production process of such products begins with data obtained from 3D scanning. Following this, a CAD model is created, which is not always straightforward for products with complex geometries. This paper describes the process of obtaining a CAD model of a magnetic plate for a dental articulator. By scanning with the ZScanner® 700 laser scanner, a point cloud was generated, which was transformed into a polygon mesh model using Geomagic Studio software. By importing the polygon mesh model into the Geomagic Design X software package, the conversion from surface to solid model was performed. The final model was produced using 3D printing technology.

Keywords: 3D technologies, reverse engineering, 3D scanning, additive manufacturing.

Apstrakt: Proizvodi kompleksne geometrije su postali široko rasprostranjeni zahvaljujući primjeni savremenih tehnologija u procesu njihove izrade. Često postupak izrade takvih proizvoda počinje od podataka dobijenih 3D skeniranjem. Nakon toga slijedi izrada CAD modela, što kod proizvoda kompleksne geometrije nije uvijek jednostavno. U radu je opisan postupak dobijanja CAD modela magnetne pločice stomatološkog artikulatora. Skeniranjem laserskim skenerom ZScanner® 700 dobijen je oblak tačaka koje su transformisane u model poligonske mreže primjenom softvera Geomagic Studio. Uvođenjem modela poligonske mreže u softverski paket Geomagic Desing X, izvršeno je pretvaranje površinskog u puni zapreminski (solid) model. Finalni model izrađen je tehnologijom 3D štampe.

Ključne riječi - 3D tehnologije, reverzibilno inženjerstvo, 3D skeniranje, aditivna proizvodnja

1 UVOD

Svijet je danas obavijen tehnologijom i novim tehnološkim dostignućima, od 3D tehnologija do robota. To je grana koja ne prestaje da se razvija, raste i napreduje enormnom brzinom iz dana u dan. Primjena novih tehnologija začajno utiče na brži razvoj tehnologije i novih proizvoda, kao i inoviranje postojećih kako bi preduzeća imala šansu u borbi sa konkurencijom. 3D tehnologije u ovom smislu imaju veoma važnu ulogu, jer omogućavaju bržu i kvalitetniju izradu prototipa proizvoda, uz manju cijenu koštanja i veću efikasnost.

3D tehnologije su našle značajnu primjenu i u reverzibilnom inženjerstvu kao znatno bržem i

isplativijem postupku. Tako je u radu [1] reverzibilno inženjerstvo primijenjeno u očuvanju i popularizaciji kulturnog naslijeđa (statue iz Antičke Salone), pri čemu je 3D model dobijen relativno brzo primjenom 3D skenera i 3D štampača. U radu [2] su prezentovane mogućnosti implementacije reverzibilnog inženjerstva i trodimenzionalnog štampanja u procesu livenja u pijesku. Studija slučaja da se istraže mogućnosti i izazovi tehnologije 3D skeniranja za reverzibilno inženjerstvo i kontrolu kvaliteta proizvoda sprovedena je u radu [3]. Rezultati studije su upoređeni sa rezultatima objavljenim u literaturi. Na osnovu provedene studije autori su zaključili da ova tehnologija pruža mogućnosti za sprovođenje reverzibilnog inženjerstva

skeniranjem objekta i transformacijom u CAD model različitim tehnikama površinske rekonstrukcije. Za zamjenu oštećenih dijelova u veoma kratkom vremenskom periodu danas su dostupne razne vrste tehnike. Jedna od njih je reverzibilno inženjerstvo koje je poslužilo za dalja mjerenja i brzu izradu prototipa pravog rezervnog zupčanika, naročito sa primjenom 3D skeniranja i brze izrade prototipa. Na osnovu rezultata mjerenja i procesa digitalizacije oštećenog zupčanika u radu [4] je urađen 3D model 3D štampanjem od materijala najsličnijem materijalu originalnog zupčanika. U industriji se stalno uvode napredne tehnologije, a jedna od najnovijih tehnologija je tehnologija 3D skeniranja. U Industriji 4.0 se koristi za dizajniranje, procjenu karakteristika proizvoda, snimanje oblika komplikovane geometrije i zakrivljenih površina. U radu [5] autori razmatraju 3D skeniranje, njegove osnovne karakteristike, osobine i primjenu u reverzibilnom inženjeringu i kulturi Industrije 4.0.

U ovom radu je primjenom 3D skenera i 3D štampača konstruisana magnetna pločica stomatološkog artikulatara. Ove tehnologije omogućavaju da se prije same proizvodnje proizvoda, u svakoj fazi njegove izrade može vidjeti kako izgleda, kao i da se ideja pretvori u 3D model.

Konstruisanje i izrada magnetne pločice stomatološkog artikulatara primjenom 3D tehnologija značajno je olakšano podrškom odgovarajućih softverskih paketa. Tako se čišćenje i popunjavanje nedostataka skeniranog modela, kao i spajanje površina može uspješno

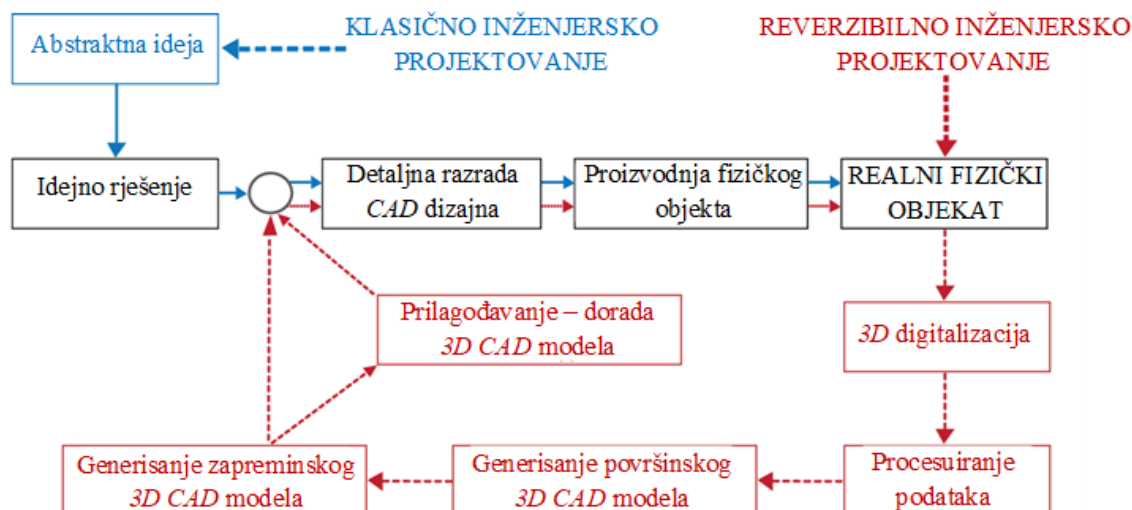
vršiti primjenom softverskog paketa *Geomagic Studio*. Takođe, pretvaranjem površinskog modela u zapreminski model, primjenom softverskog paketa *Geomagic Desing X*, mogu se otkloniti nepravilnosti i manji nedostaci skeniranog modela.

2 REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Kao što je poznato, inženjerstvo je veoma zahtjevan proces koji se sastoji od dizajna, izrade, sklapanja, mjerenja, održavanja i mnogih drugih postupaka u procesu izrade proizvoda. Postoje dvije vrste inženjerstva [6]:

- inženjerstvo unaprijed (klasično inženjerstvo),
- inženjerstvo unazad (reverzibilno inženjerstvo).

Kada se kaže inženjerstvo unaprijed misli se na klasičnu izradu proizvoda, odnosno „normalan“ postupak proizvodnje. Dakle, najprije se obavlja dizajniranje, proračunavanje, modeliranje, izrada tehničke dokumentacije, te se na kraju dobije finalni proizvod. Za razliku od inženjerstva unaprijed, kod reverzibilnog inženjerstva (RE) se polazi od već postojećeg objekta, za koji najčešće ne postoji potrebna tehnička dokumentacija. Dakle, postoji fizički objekat koji je potrebno duplirati, odnosno kopirati u svrhu izrade novog objekta koji će se koristiti u daljoj proizvodnji ili je potrebno izvršiti neke prepravke kako bi se unaprijedila njegova funkcija. Na *Slici 1* prikazano je poređenje klasičnog i reverzibilnog inženjerstva [6].



Slika 1 - Uporedni prikaz klasičnog i reverzibilnog inženjerstva

Potreba za reverzibilnim inženjerstvom se najčešće javlja upravo kada ne postoji nikakva tehnička dokumentacija o proizvodu. Kada su potrebni 3D CAD podaci za fizički objekat u svrhu redizajna, dupliranja, analize ili posmatranja, reverzibilno inženjerstvo predstavlja izuzetan alat.

3 3D TEHNOLOGIJE U REVERZIBILNOM INŽENJERSTVU

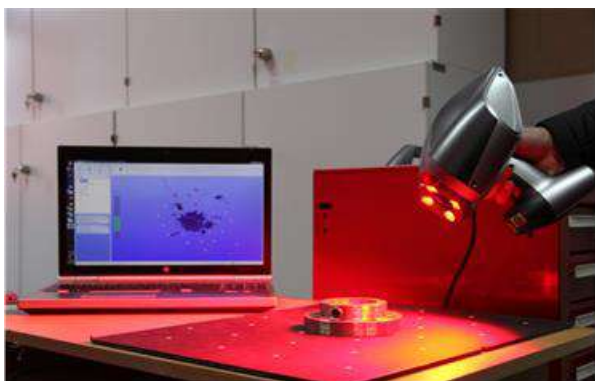
Proces reverzibilnog inženjerstva se sastoji od [6]:

- 3D skeniranja,
- obrade oblaka tačaka ili velikog broja slika dobijenih 3D skeniranjem,
- generisanje CAD modela

3.1 3D skeniranje

3D skeniranje je proces analize objekta ili okruženja u stvarnom svijetu radi prikupljanja podataka o njegovom obliku, koji se mogu koristiti za izradu digitalnih 3D modela. 3D lasersko skeniranje je beskontaktna, nerazorna tehnologija koja digitalno snima oblik fizičkih objekata, korišćenjem linije laserskog svjetla. 3D laserski skeneri stvaraju oblik tačaka podataka s površine objekta. Drugim riječima, 3D lasersko skeniranje je način da se fizički objekti prikažu u tačnoj veličini i obliku, te da se prebace u računarski svijet kao digitalni trodimenzionalni prikaz.

3D skener je uređaj koji analizira prostor i pri tom prikuplja podatke o obliku i strukturi predmeta koji skenira. Dobijeni podaci se tada mogu iskoristiti za izradu trodimenzionalnih modela. Na *Slici 2* prikazan je izgled laserskog 3D skenera i proces skeniranja.



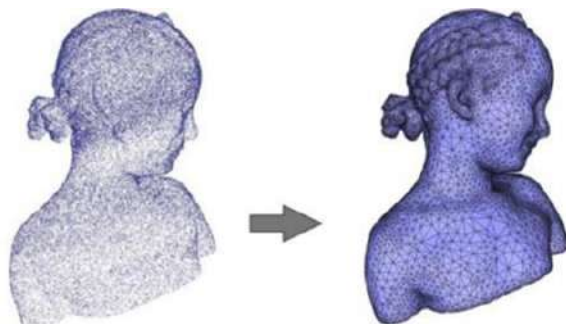
Slika 2 - Laserski 3D skener i proces skeniranja

Kod većine skenera jedno skeniranje nije dovoljno da se ocrtaju sve tačke prostora koji se skenira, te se pomoću njih ne može izraditi cijeli model. Za izradu 3D modela potrebno je obaviti na desetine skeniranja sa svake strane objekta kako bi se dobili svi podaci o njegovoj površini. Tada se skenirani dijelovi objekta, prikazani oblakom tačaka, moraju spojiti u zajednički referentni sistem gdje se različiti podaci međusobno usklađuju. Nakon spajanja dijelova dobijenih skeniranjem i linearizacije podataka dobijenih snimanjem iz različitih uglova u jedan koordinatni sistem dobija se prostorni 3D model na koji se ugrađuje tekstura koja može biti proizvoljna, zavisno od programskog paketa, ili stvarna, ako postoje podaci o boji koji su dobijeni pomoću kamere.

3.2 Procesiranje podataka dobijenih skeniranjem

Sljedeća faza u procesu reverzibilnog inženjerstva je faza procesiranja dobijenih podataka, odnosno njihova obrada. Ova faza se sastoji od tri koraka: uvoz oblaka tačaka dobijenih skeniranjem, smanjenja grešaka mjerenja i smanjenje broja tačaka, odnosno uklanjanje viška nepotrebnih tačaka. Kako bi se izvršila ova tri koraka potrebno je koristiti niz filtera pri čemu je veoma važno odabrati adekvatan filter za određeni zadatak. U ovoj fazi se izvršava spajanje skeniranih podataka u jednu cjelinu.

Oblik tačaka može biti različite gustine, zavisno od mogućnosti lasera i željene brzine skeniranja. Oblak tačaka se najčešće automatizovanim procesima pretvara u poligonski model, iz kojeg se kasnije može dobiti zapreminski model. Na *Slici 3* prikazan je oblak tačaka i poligonski model [6].



Slika 3 - Poligonski model [6]

3.3 Generisanje 3D CAD modela

U trećoj i posljednjoj fazi vrši se stvaranje virtuelnog modela na osnovu podataka dobijenih u prethodnim fazama. Najprije se kreira površinski model, a zatim i puni model odnosno čvrsto tijelo, kao što je prikazano na *Slici 4*.

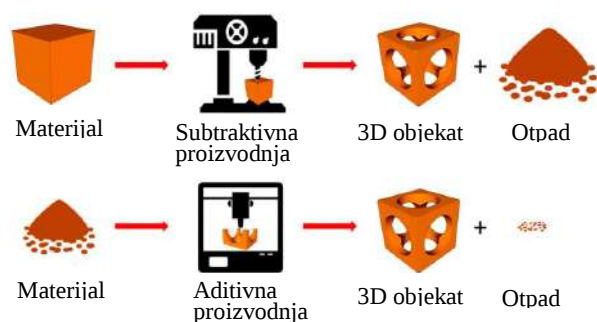


Slika 4 - Poligonska aproksimacija [6]

4 ADITIVNA PROIZVODNJA I 3D ŠTAMPANJE

Aditivne tehnologije (*Additive Technologies*) predstavljaju postupke spajanja materijala sa ciljem formiranja radnog predmeta na osnovu digitalnog 3D modela, najčešće sloj po sloj. Na početku su korišćene samo za brzu izradu prototipa (*Rapid Prototyping*), ali sa razvojem tehnologije i materijala, tehnologije za aditivnu proizvodnju su evoluirale do stepena koji omogućava izradu završnih, funkcionalnih proizvoda (*Additive Manufacturing*) ili finalnih alata (*Rapid Tooling*) [6].

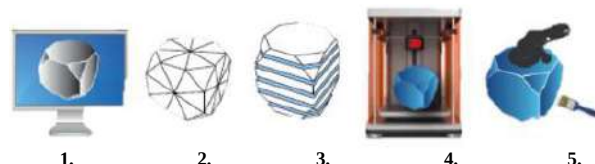
Kod aditivne proizvodnje objekti se izrađuju dodavanjem velikog broja tankih slojeva koji na kraju formiraju finalni objekat. Alat kod ovakvog načina izrade je najčešće laserska glava koja se koristi za topljenje materijala ili glava u koju se ubacuje materijal i koji se topi u samoj glavi te se na taj način odlaže materijal, koji se nakon toga hladi i učvršćuje. Na *Slici 5* prikazano je poređenje aditivne proizvodnje i konvencionalne (subtraktivne) obrade [6].



Slika 5 - Poređenje aditivne i konvencionalne proizvodnje [6]

Aditivna proizvodnja se provodi kroz pet faza [6]:

1. izrada 3D virtuelnog modela,
2. pretvaranje modela u STL oblik,
3. sjeckanje objekta u slojeve,
4. izrada objekta na štampaču,
5. završna obrada izrađenog objekta.



Slika 6 - Faze aditivne proizvodnje [7]

Faze aditivne proizvodnje prikazane su na *Slici 6*.

4.1 3D štampanje

3D štampanje je moderna tehnologija proizvodnje trodimenzionalnih objekata. U trodimenzionalnoj štampi objekat se kreira sukcesivnim nanošenjem slojeva materijala. 3D štampa predstavlja generalno brže, jeftinije i lakše rješenje od drugih tehnologija proizvodnje 3D objekata. Ova tehnologija proizvodi modele koji vjerno oponašaju izgled, utisak i funkcionalnost prototipa.

4.2 ZPrinter 450

ZPrinter 450 sadrži najnovije funkcije koje automatizuju i pojednostavljaju proces 3D štampanja u boji. Jednostavan je za upotrebu i primjenjuje se u dizajnu, izradi prototipova i arhitektonskih koncepta, medicini, obrazovanju, umjetnosti itd. Izgled štampača prikazan je na *Slici 7*.



Slika 7 - ZŠtampač 450 [8]

Po načinu izrade sličan je 2D inkdžet štampaču i ne proizvodi buku tokom rada. Posjeduje automatsko punjenje praha koji se štampa u slojeve. Može da izrađuje modele dimenzija 203x54x203 mm. Radi sa debljinom sloja 0,089 - 0,102 mm. Veličina ovog štampača je 122x79x140 cm, a rezolucija 300 x 450 dpi. Programsko okruženje *Zprinter 450* je takvo da *Contex-ov* program preuzima modele u *STL*, *VRML* i *PLY* formatu.

4.3 3D štampač *Creality Ender 3*

Zajednička osobina svih 3D štampača je u tome da oni ne obrađuju materijal kao obradni centri, već rade na principu dodavanja materijala u slojevima. Model se formira od slojeva rastopljenog materijala koji se odmah hladi i očvršćava. U ranijim tehnologijama bilo je potrebno određeno vrijeme za realizaciju određenog proizvoda u mašinskim radionicama, a to je za posljedicu imalo usporenu realizaciju prototipa.

Creality Ender 3, je 3D štampač koji se pokazao vrlo pouzdanim i kvalitetnim uređajem u svom cjenovnom rangu. To mu je donijelo veliku popularnost. Jednostavan je za sastavljanje, prenošenje i upravljanje. Njegova radna zapremina 220x220x250 mm i brzo zagrijavanje radne površine omogućuju izvrsne rezultate 3D štampanja. Izgled štampača prikazan je na *Slici 8* [9].



Slika 8 - Creality Ender 3 [9].

5 PRIMJENA 3D TEHNOLOGIJA PRI REVERZIBILNOM INŽENJERSTVU

5.1 Stomatološki artikulator

Artikulatori su mehaničke naprave koje imitiraju vilični kompleks (gornju i donju vilicu) i temporomandibularne zglobove i koji su konstrukcijski podešeni ili se mehanički mogu podesiti da simuliraju određene segmente viličnih kretnji. Osnovna namjena artikulatora je da fiksira gipsane modele vilica u određenom odnosu i obezbijedi kontrolisane kretnje modela, tako da se dijagnostičke i rekonstruktivne procedure mogu izvesti van usta pacijenta (*Slika 9*).



Slika 9 - Artikulator sa gipsanim modelima bezubnih vilica i voštanim modelima obje totalne

Najpraktičnije je da se u prostor artikulatora gipsani modeli ugipsavaju metodom dvostrukog postolja ili split cast tehnikom uz upotrebu magnetnih pločica. Tako se fiksirani modeli lako prebacuju iz artikulatora na stočić paralelometra i obrato, što je prikazano na *Slici 10*.

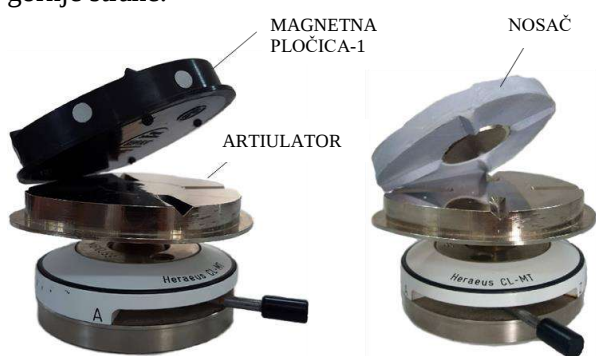


Slika 10 - Dijelovi za ugipsavanje modela u artikulator split cast tehnikom

5.2 Analiza problema

Na *Slici 11* prikazani su artikulator i magnetna pločica - 1 koja na svojoj površini ima četiri ispupčenja na koja se postavlja magnetna pločica - 3 prikazana na *Slici 13*. Problem je u tome što

magnetna pločica - 1 nema ispupčenja na donjoj površini i ne može se postaviti na artikulatur. Na Slici 12 je prikazana magnetna pločica - 2 koja ima potrebna ispupčenja na svojoj donjoj površini i ima mogućnost postavljanja na artikulatur. Međutim, mana ove pločice je nedostatak ispupčenja na gornjoj površini pa se ne može postaviti magnetna pločica - 3, prikazana na Slici 13. Kako bi se riješio problem neophodno je izraditi pločicu koja će imati ispupčenja sa obje strane, kako bi se mogla postaviti na artikulatur sa donje strane, a na nju magnetna pločica - 3 sa gornje strane.



Slika 11 - Izgled magnetne pločice - 1

Slika 12 - Izgled magnetne pločice - 2 i artikulatora



Slika 13 - Izgled magnetne pločice - 3

Da bi se riješio ovaj problem potrebno je izvršiti skeniranje magnetnih pločica - 1 i 2, te pokušati spajanje pomoću softverskih paketa kako bi se dobila jedna magnetna pločica koja će imati odgovarajuća ispupčenja sa obje svoje strane.

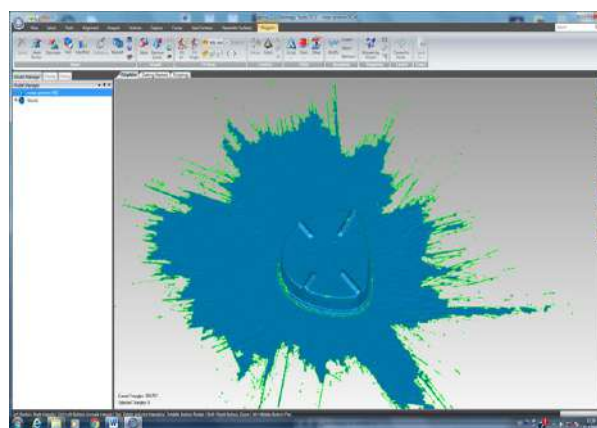
5.3 3D skeniranje

Zbog složene geometrije same magnetne pločice - 1, klasičnim metodama mjerenja bilo je teško precizno odrediti dimenzije pojedinih segmenata, te je izvršeno 3D skeniranje. Na Slici 14 je prikazan postupak skeniranja skenerom ZScanner® 700. Nakon izvršenog skeniranja, precizna i neophodna dorada skeniranog modela odrađena je putem Geomagic Studio 2012 softvera.

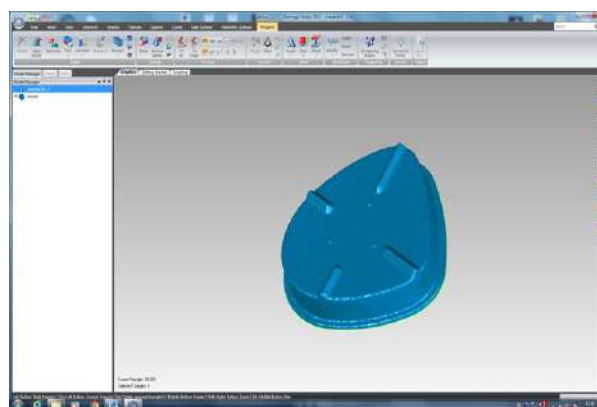


Slika 14 - Postupak skeniranja magnetne pločice - 1

Skenirani model na kraju ima određene nedostatke koje je neophodno popuniti i popraviti, kako bi se dobio potpuni i pravi izgled skeniranog modela. Na Slikama 15 i 16 prikazan je izgled skenirane pločice prije i poslije čišćenja otpada i popunjavanja nedostataka.



Slika 15 - Skenirani model



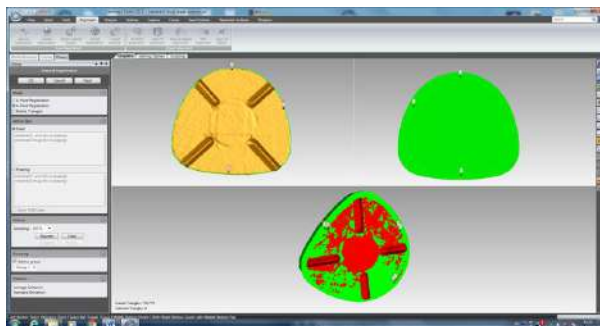
Slika 16 - Skenirani model nakon čišćenja prostornog otpada i popunjavanja nedostataka

Nakon skeniranja i preciznije dorade magnetne pločice - 1 analogno je rađena i magnetna pločica - 2.

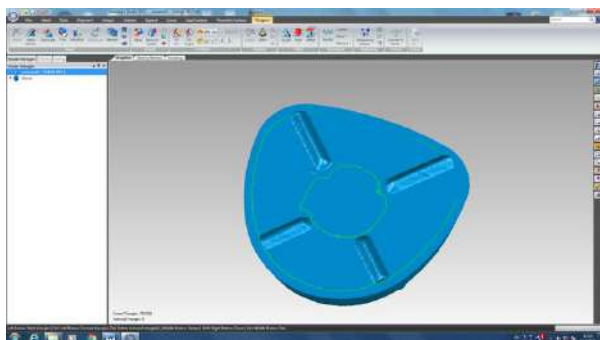
5.3.1 Spajanje površina

Spajanje površina je korak nakon završenog 3D skeniranja i precizne dorade pločice. Potrebno je spojiti gornju površinu magnetne pločice - 2 na donju površinu magnetne pločice - 1, tako da se dobije magnetna pločica sa odgovarajućim ispupčenjima i na donjoj i gornjoj površini.

Proces spajanja površina, kao i konačan izgled spojenog modela prikazani su na Slikama 17 i 18.



Slika 17 - Postupak spajanja površina



Slika 18 - Konačan izgled spojenog modela

5.4 Izrada prototipa na ZPrinter-u 450

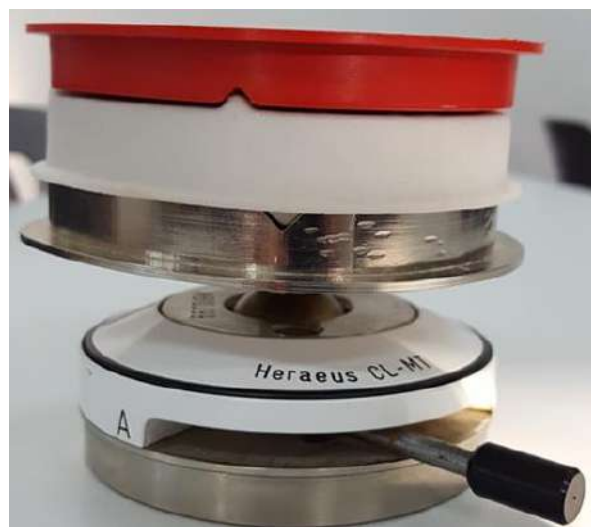
Završetkom svih prethodnih koraka kao rezultat dobijen je 3D model pločice koja sa obje strane ima potrebna ispupčenja. Sljedeća faza rješavanja postavljenog problema jeste izrada prototipa. Na Slici 19 prikazan je konačan izgled pločice nakon štampanja.



Slika 19 - Konačan izgled pločice nakon štampanja

Na Slici 20 prikazan je konačan izgled ištampane pločice, u sklopu sa artikulatom i magnetnom pločicom - 3.

Iz Slike 20 se jasno vidi da pločica zadovoljava potrebne karakteristike za nalijeganje na artikulaturu, kao i za nalijeganje magnetne pločice - 3 na ištampanu pločicu. Površine pločice namijenjene za nalijeganje u potpunosti odgovaraju površinama artikulature i magnetne pločice - 3, što predstavlja rješenje postavljenog problema.



Slika 20 - Konačan izgled ištampane pločice artikulature i magnetne pločice - 3

Iako pločica odgovara postavljenim zahtjevima, mogu se uočiti i određeni nedostaci. Na Slici 21 mogu se uočiti određena oštećenja na ispupčenjima koja su već bila prisutna na magnetnoj pločici - 2 koja je skenirana. Da bi se ispravila ova oštećenja neophodna je naknadna obrada modela. U tom cilju vršeno je pretvaranje površinskog modela u zapreminski. Ovaj korak je rađen u softverskom paketu *Geomagic Desing X*.



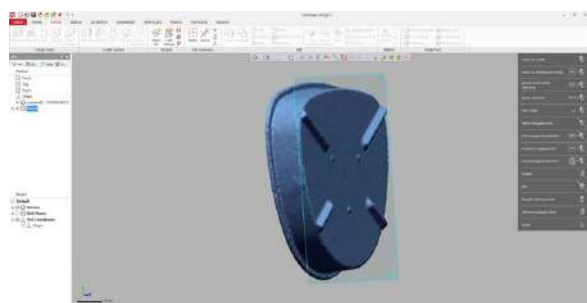
Slika 21 - Određeni nedostaci na ištampanom modelu

5.5 Pretvaranje površinskog u zapreminski model

Za pretvaranje površinskog u puni, odnosno zapreminski 3D model, korišten je softver *Geomagic Desing X* kompanije 3D Systems u koji se uvozi skenirani 3D model, te pomoću odgovarajućih naredbi formira 3D model. Princip rada je sličan, gotovo identičan, ostalim 3D programima poput Solid Works-a, Catia itd.

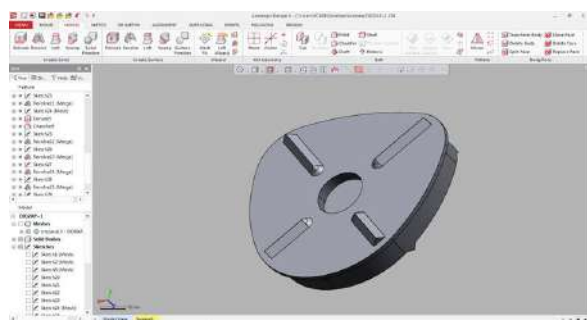
Geomagic Desing X je programski paket za obrnuto ili reverzibilno inženjerstvo koji kombinuje CAD konstrukciju sa 3D skeniranim podacima da bi se stvorili oblici sa parametrima koji su kompatibilni sa našim standardnim CAD alatom.

Svi 3D skeneri kao rezultat skeniranja daju oblik tačaka ili poliginozovanu mrežu, i oni često nisu pretjerano upotrebljivi za korisnike koji su navikli na prave CAD oblike. Upravo tu *Desing X* pomaže u povezivanju ova dva različita pristupa istoj temi i omogućava CAD korisnicima da na osnovu skeniranih podataka stvore upotrebljive modele. *Desing X* štedi vrijeme rada u odnosu na korišćenje klasičnih CAD alata, jer se ne gubi vrijeme na ručno mjerenje i kreiranje CAD modela od početka. Na *Slici 22* prikazan je odabrani model.

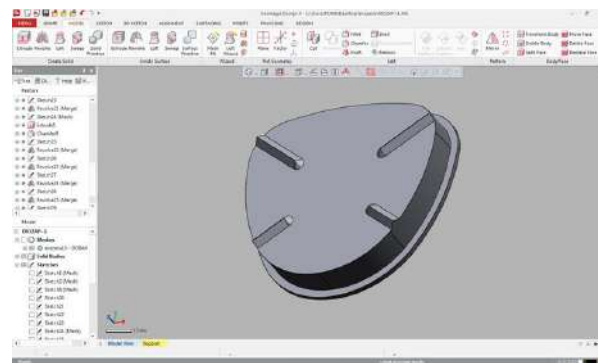


Slika 22 - Odabrani model

Konačan izgled magnetne pločice prikazan je na *Slikama 23 i 24*.



Slika 23 - Konačan izgled magnetne pločice



Slika 24 - Konačan izgled magnetne pločice

5.6. Izrada finalnog proizvoda na 3D štampaču Creality Ender 3

Finalni proizvod je izrađen na 3D štampaču *Creality Ender 3*, upotrebom *PLA* (polilaktična kiselina – engl. *PolyLactic Acid*) filameta / materijala *PolyLite™*, proizvođača *Polymaker*.

Metodologija izrade 3D modela se odvijala u sljedećim koracima:

- 3D model uređen pomoću softverskog paketa *Geomagic Desing X* se uvozi kao *STL* (stereolitografija - engl. *Stereolithography*) format datoteke u specijalizovani program *Ultimaker Cura*, čime se podešavaju operativni parametri sistema;
- Nakon odgovarajućih podešavanja i simulacije štampača uz pomoć programa *Ultimaker Cura*, generisan je *G* kod u ekstenziji **gcod* koji štampač prepoznaje. Ovo je faza u kojoj dolazi do realizacije 3D modela.

Na *Slici 25* prikazan je blok dijagram kojim se virtuelni 3D CAD model pretvara u finalni fizički model (3D objekat).



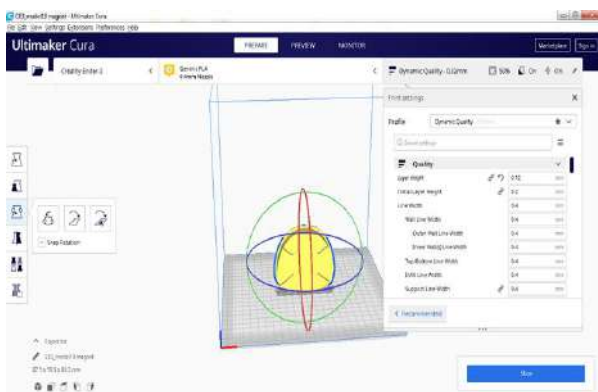
Slika 25 - Blok dijagram u realizaciji modela pomoću 3D štampača

Radna površina grafičkog okruženja *Ultimaker Cura* sa trodimenzionalnim pogledom modela, kao i podešavanje parametara štampanja prikazana je na *Slici 26*.

Ultimaker Cura je softver koji dizajnirani CAD model **STL* ekstenzije pretvara u **gcod*. S tim u vezi, štampač mora da podržava datoteku koja je

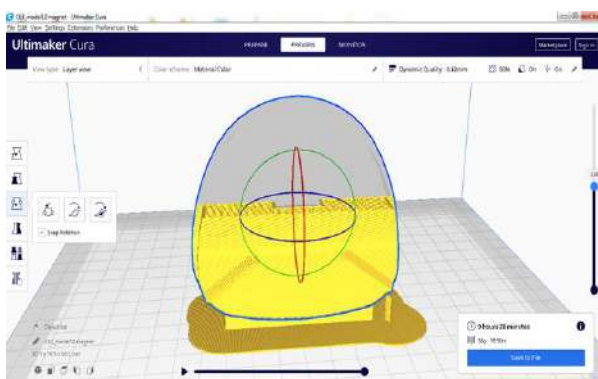
projektovana da se model prevede u odgovarajući format.

Sa desne strane ekrana se nalaze postavke štampanja: debljina sloja, procenat popunjenosti materijala, brzina štampanja itd. Postavke štampanja je potrebno precizno podesiti kako bi kvalitet štampanja bio što bolji. Za štampanje je korišten materijal PLA.



Slika 26. Radna površina grafičkog okruženja Ultimaker Cura sa trodimenzionalnim pogledom modela

Nakon uvoza STL modela i postavljanja postavki softver Cura automatski vrši „Sliceing“, odnosno sjeckanje modela na slojeve u debljini koja je prethodno postavljena. Nakon što se završi „Sliceing“ u donjem desnom uglu se prikazuje vrijeme trajanja štampanja te potrebna dužina polimerne žice, što je prikazano na Slici 27.

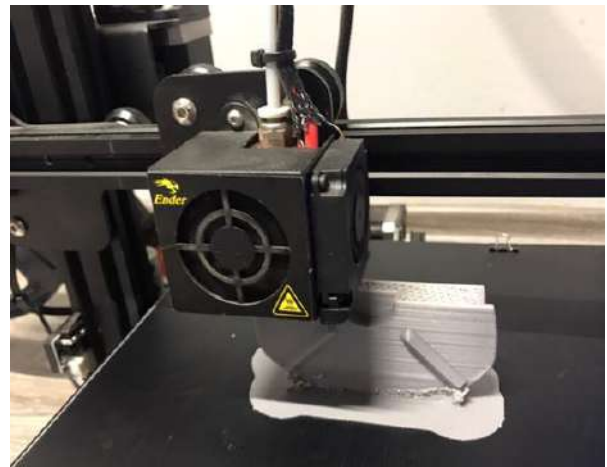


Slika 27 - Prikaz presjeka modela kao i potrebno vrijeme štampanja

Nakon uspješnog podešavanja štampača i materijala, pokreće se program i nakon zagrijavanja platforme i ekstrudera, započinje ispis 3D modela predmeta. Na početku procesa štampač prvo započinje ispis podloge na kojoj će biti smješten model predmeta.

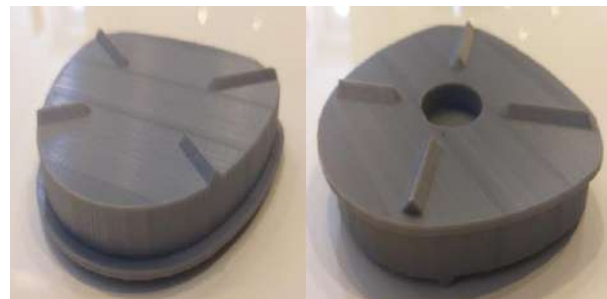
Nakon štampanja podloge počinje štampanje i predmeta, tako što se nadograđuje na podlogu.

Nakon uspješne štampe prvog sloja, na njega se nadograđuje idući, sve dok se predmet ne odštampa do kraja, Slika 28.



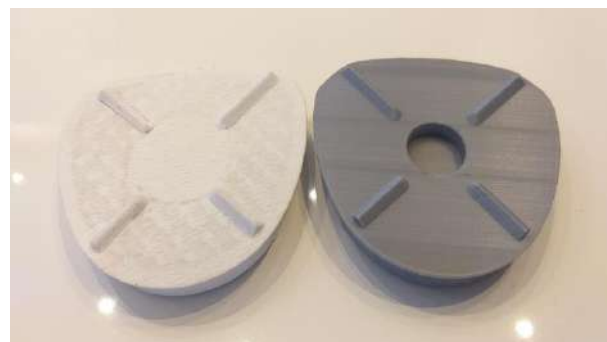
Slika 28 - Proces štampanja modela

Na Slici 29 prikazan je istampani finalni model nakon odstranjivanja materijala držača i čišćenja.



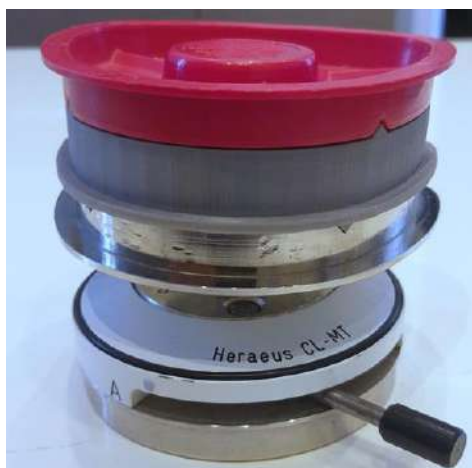
Slika 29 - Istampani finalni model nakon odstranjivanja materijala držača i čišćenja.

Na Slici 30 prikazani su prototip sa svojim oštećenjima i finalni proizvod na kome su oštećenja otklonjena.



Slika 30 - Prototip i finalni proizvod

Na Slici 31 prikazano je testiranje modela, iz koje se jasno vidi nalijeganje nosača na artikulaciju, kao i nalijeganje magnetne pločice - 3, na izrađenu magnetnu pločicu, čime je cjelokupan proces dobijanja finalnog proizvoda zaokružen.



Slika 31 - Konačan izgled odštampane magnetne pločice, artikulatora i magnetne pločice – 3

6 ZAKLJUČAK

Na osnovu detaljne analize 3D tehnologija i njihove primjene u konstruisanju i proizvodnji proizvoda, u reverzibilnom inženjerstvu mogu se izvući sljedeći zaključci:

3D tehnologije, počev od skeniranja, preko modeliranja do štampanja, učinila je izradu prototipa, a često i finalnog proizvoda znatno lakšom. Izgled, dimenzije i određene karakteristike proizvoda mogu se dobiti za nekoliko minuta što je izuzetno veliki napredak u odnosu na čekanja mjesecima. Proizvodnja ne trpi čekanje, jer stvara prevelike gubitke, posebno danas kada i ljudi i tehnologija žive velikim brzinama.

3D skeniranje i 3D štampanje su tehnologije novije generacije koje se još uvijek istražuju i razvijaju. Njihov napredak je vidljiv iz godine u godinu i ide uzlaznom linijom. 3D tehnologijama olakšavaju se poslovi koji su ponekad jako usporavali projekte važne za brži razvoj nauke i tehnike.

U radu je prikazana konstrukcija i izrada proizvoda složene geometrije primjenom savremenih 3D tehnologija. Čišćenje i popunjavanje nedostataka skeniranog modela, kao i spajanje površina uspješno je izvršeno primjenom softverskog paketa *Geomagic Studio*. Takođe je potvrđeno da se pretvaranjem površinskog u zapreminski model, primjenom softverskog paketa *Geomagic Desing X*,

otklanjaju nepravilnosti i manji nedostaci skeniranog modela.

7 LITERATURA

- [1] Bašić A., Mladineo, M. Peko, I. & Aljinović, A. (2018). 3D Scanning, CAD Optimization and 3D Print Application in Cultural Heritage: An Example on Statue from the Ancient Salona. *International conference "Mechanical Technologies and Structural Materials"* (1-6). Split: Croatian society for mechanical technologies, Croatia.
- [2] Lovrić, S., Tufekčić, Dž., Topčić, A. & Beganović M. (2012). Primjena brze izrade prototipa i reverzibilnog inženjeringa pri livenju u pijesku. 38. *JUPITER konferencija* (2.25-2.31), Beograd: Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet.
- [3] Helle, H. R. & Lemu G. H. (2012). A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. *Materials Today, Proceedings* 4, (5255-5262), Stavanger: University of Stavanger.
- [4] Dúbravpík, M. & Kender, Š. (2012). Application of reverse engineering techniques in mechanics system services. *ELSEVIER Procedia Engineering* 48, 96 – 104
- [5] Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S. Suman, R., Kumar, L. & Khan, H. I. (2022). Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 3, 161-171
- [6] Banić, L. (2019). Provedba reverznog inženjerstva u generiranju i proizvodnji glodače glave – diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet (Zavod za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Katedra za projektovanje procesa). <https://zir.nsk.hr/islandora/object/riteh%3A1360> (Pristupljeno: 22.07.2019.)
- [7] Reddy, S. C., Reddy, S. P. K, & Kumar, A. C. (2019). Fabrication and optimization of delta coordinate - fused deposition modelling machine. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6, 1, 197-206. <https://www.jetir.org/papers/JETIR1901A26.pdf> (Pristupljeno: 22.07.2019.)
- [8] https://kea-makerlab.github.io/hello/assets/zcorp_series_zprinter_450_hardware_manual_en.pdf (Pristupljeno: 22.07.2019.)
- [9] <https://www.3dprintaj.com/proizvod/creality-ender-3/> (Pristupljeno: 25.07.2019.)