

**YU Info**  
**2008**

*Zbornik radova*

KOPAONIK

9-12.3.2008.

sponzor CD-a



**SIMPOZIJUM O RAČUNARSKIM  
NAUKAMA I INFORMACIONIM  
TEHNOLOGIJAMA**



**GYU Info**  
**2008**

**ZBORNİK RADOVA**

- Izdavač: —  
INFORMACIONO DRUŠTVO SLO
- Za izdavača:  
Prof. dr. Miodrag Janković
- Odgovorni urednik:  
Mr. Dušan Korunović
- Redakcija:  
ekološki odbor

**ISBN 978-86-85525-03-2**

spozor CD-a



**Radovi po programskim oblastima: PRIMENJENA INFORMATIKA****Broj radova: 33****ILIĆ OLIVER, JOVANOVIĆ BILJANA:**  
**ANALIZA TOKA PROIZVODNJE SA PFAST****JOVANOVIĆ SAŠA, MARKOVIĆ ZORAN, RAVLIĆ MIROSLAV, ĐORĐEVIĆ MILAN:**  
**AUTOMATIZACIJA TROOSNE KOPIR-GLODALICE****VUKOVIĆ MARINA, MILOVANOVIĆ VLADIMIR, ŽIVKOVIĆ MIROSLAV:**  
**EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA I NUMERIČKA ANALIZA DO SLOMA TAČKASTO ZAVAREN OG NOSAČA ŠKOLJKE AUTOMOBILA****POPOVIĆ PREDRAG, KOVAČEVIĆ LJUBIŠA, GRAHOVAC JELICA:**  
**INFORMACIONE TEHNOLOGIJE I ZAHTEVI NAJNOVIJIH STANDARD A SISTEMA MENADŽMENTA****ALEKSANDROVIĆ SNEŽANA, JOVIĆ MIHAJLO:**  
**KONTINUALNO PRAĆENJE PROTOKA ZAPREMINE MATERIJALA NA TRANSPORTNOJ TRACI****STEFANOVIĆ GORDANA, PETKOVIĆ LJILJANA:**  
**MATEMATIČKI MODEL OPTIMIZACIJE SADRŽAJA LETEĆEG PEPELA U CEMENTNIM SMEŠAMA****PEKOVIĆ VLADIMIR, UZELAC MARINKO:**  
**MERENJE ZADOVOLJSTVA KORISNIKA INFORMACIONOG SISTEMA****VUKADINOVIĆ IVAN:**  
**METODOLOGIJA ANALIZE INFORMATIČKOG RIZIKA****BUDIMIR JELENA, PAVLOVIĆ KRISTINA, ŠUTIĆ VLADIMIR:**  
**METODOLOGIJA I TEHNIKA IZR ADE RASPODELE BIRAČKIH ODBORA ZA PREDSEDNIČKE IZBORE REPUBLIKE SRBIJE, 2008.****ĐORĐEVIĆ MILAN, JOVANOVIĆ SAŠA:**  
**MODELIRANJE ODNOSA OTPORA KOTRLJANJA I EKONOMIČNOSTI POTROŠNJE GORIVA KROZ PROGRAMSKI PAKET ADVISOR****RANČIĆ DEJAN, ANTOLOVIĆ IGOR, MIHAJLOVIĆ VLADAN, BABIĆ ZORAN, KOVAČEVIĆ MARKO:**  
**MODELIRANJE ZAPREMINE I IZRAČUNAVANJE PARAMETARA ZA ZASEJAVANJE GRADONOSNIH OBLAKA****BONDŽULIĆ BOBAN, ANDRIĆ MILENKO:**  
**MULTISENZORSKO SJEDINJAVANJE SLIKA****PUPOVAC NEBOJŠA, BLAGOJEVIĆ RASTKO, KARAPANDŽA ISIDORA:**  
**NAPREDNE ETHERNET TEHNOLOGIJE U TRANSPORTNIM MREŽAMA****PAVLOVIĆ RADE:**  
**OBJEKTIVNE MERE ZA PROCENU SJEDINJAVANJA SLIKA****UROŠEVIĆ VLADE, NIKEZIĆ DRAGOSLAV:**  
**OPTIMIZACIJA PROCESA MERENJA RADONA METODOM KONAČNIH ELEMENTA****RAKIĆ DRAGAN, NIKOLIĆ ALEKSANDAR , ČUKANOVIĆ DRAGAN:**  
**PAK-T INTERFEJS ZA SOFTVER GID****STEFANOVIĆ MILUTIN, MILOJEVIĆ MILETA, GARILOVIĆ ZORAN:**  
**POTREBA ZA SAVREMENIM METEOROLOŠKIM OSMATRANJEM NA PODRUČJU SKIJAŠKOG CENTRA NA STAROJ PLANINI****GREDIĆ VESELIN:**  
**PRIKAZ PROBLEMATIKE VERIFIKACIJE SOFTVERA REAL-TIME VAZDUHOPLOVNIH SISTEMA****GRUJOVIĆ NENAD, GRUJOVIĆ ĐORĐE, DIMITRIJEVIĆ VLADIMIR, BOROTA JELENA, MILIVOJEVIĆ VLADIMIR, MILIVOJEVIĆ NIKOLA:**  
**PRIMENA 3D ŠTAMPE U PROCESU REVERZNOG INŽENJERINGA**

VREKIĆ SNEŽANA:

PRIMENA NUMERIČKIH METODA ZA ODREĐIVANJE NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA OSLOMACA MOTORA

MILOVANOVIĆ VLADIMIR, ŽIVKOVIĆ MIROSLAV, ČUKANOVIĆ DRAGAN:

PRIMENA SIMBOLIČKOG PROGRAMIRANJA U RAZVOJU ELASTO-PLASTIČNOG MATERIJALNOG MODELA

PANTOVIĆ VLADAN, SAVKOVIĆ MARKO, PETKOVIĆ BOJANA, JANJIĆ RUŽICA:

PRIPREMA ZAPOSLENIH ZA IMPLEMENTACIJU ERP REŠENJA, KORIŠĆENJEM SISTEMA ZA OBAVEŠTAVANJE I EDUKACIJU

MARINOVIĆ MILOŠ M., MINIĆ SINIŠA G., ALEKSIĆ SLAVOLJUB R.:

PROGRAMSKI PAKET KPKV V4.0

NYERS LEHEL:

RAČUNARSKI SISTEM ZA EFIKASNU NASTAVU REALIZOVAN POMOĆU VIRTUALNIH MAŠINA

SAVKOVIĆ BOJAN, MILOSAVLJEVIĆ ŽELJKO:

REALIZACIJA KVALITETA SERVISA U WCDMA SISTEMU U ZAVISNOSTI OD RESENJA U SISTEMU PRENOSA

JOVANOVIĆ LJUBIŠA:

SISTEM ZA AKVIZICIJU I MERENJE SIGNALA SA ROTIRAJUĆEG OBJEKTA SA OPTIČKIM PRENOSOM I SERIJSKIM RS232 INTERFEJSOM

JOVANOVIĆ DRAGAN, STANOVSKI STEVAN , TOMIĆ GORAN:

SISTEM ZA KONTROLU PRISTUPA VOZILA POMOĆU PASIVNIH RFID TAGOVA

KOLAREVIĆ DEJAN, BRANKO KOLAŠINOVIĆ, BUBULJ MARKO, MOŠIĆ SLAVOLJUB, JOVANOVIĆ MILAN:

SOFTVER SIKUB SISTEMA ZA NADZOR ELEKTRIČNIH BROJILA

MILOŠEVIĆ VOJKAN, MIJAJLOVIĆ MIROSLAV, MILČIĆ DRAGAN:

SOFTVER ZA PRORAČUN I MODELIRANJE RADIJALNIH KLIZNIH LEŽAJA

POPOVIĆ NENAD, JOVIČIĆ RATKO , VUKOJIČIĆ PREDRAG:

SOFTVERSKI PAKET „SPRING„ KAO ALAT ZA DVO I TRODIMENZIONALNO HIDRODINAMIČKO MODELLOVANJE

SANDIĆ STANKOVIĆ DRAGANA:

TRANSFER FUNKCIJA ZA VIZUELIZACIJU 3D SLIKA TEHNIKOM VOLUME RENDERING

JOVANOVIĆ BOJAN, BLAGOJEVIĆ MARJAN:

UPRAVLJANJE ELEKTROMAGNETOM ZA KALIBRACIJU MAGNETNIH SENZORA POMOĆU SOFTVERSKOG PAKETA LABVIEW

MILOVANOVIĆ MILAN, SPASOJEVIĆ SAŠA, BEGOVIĆ DRAGAN

UTICAJ PROGRAMIRANJA SISTEMA ZA UBRIZGAVANJE GASA NA RAD MOTORA

 [vrh strane](#)

[povratak na meni](#)

[sponzor CD zbornika:](#)



Copyright © ID 2008.

**Izdavač:**

DRUŠTVO ZA INFORMACIONE SISTEME I RAČUNARSKÉ MREŽE  
11000 Beograd, Kneza Miloša 9

**Za izdavača:**

*prof. dr Miodrag Ivković*

**Odgovorni urednik:**

*mr Dušan Korunović*

**Redakcija:**

*Programski odbor*

**Tehnička obrada:**

*Mile Ž. Ranđelović, dipl. ing.*

**Štampa: "SVEN", Niš**

**Tiraž: 500 primeraka**

## PROGRAMSKI ODBOR

---

- ☼ Prof. dr Božidar Radenković, FON Beograd
- ☼ Prof. dr Borko Furht, Florida Atlantic University
- ☼ Prof. dr Branimir Đorđević, ELF Niš
- ☼ Doc. dr Branko Milosavljević, FTN Novi Sad
- ☼ Prof. dr Bratislav Milovanović, ELF Niš
- ☼ Prof. dr Dragan Domazet, FIT Beograd
- ☼ Mr Dušan Korunović, Informaciono društvo
- ☼ Prof. dr Dušan Surla, PMF Novi Sad
- ☼ Prof. dr Đorđe Paunović, ETF Beograd
- ☼ Prof. dr Miodrag Ivković, Telekom Srbije
- ☼ Prof. dr Miroslav Trajanović, MF Niš
- ☼ Prof. dr Nataša Gospić, SF Beograd
- ☼ Mr Radovan Cvetković, Telekom Srbija
- ☼ Doc. dr Siniša Nešković, FON Beograd
- ☼ Prof. dr Slobodan Janković, TF Zrenjanin
- ☼ Prof. dr Slobodanka Đorđević-Kajan, ELF Niš
- ☼ Prof. dr Veljko Milutinović, ETF Beograd
- ☼ Prof. dr Zora Konjović, FTN Novi Sad
- ☼ Prof. dr Zoran Jovanović, ETF Beograd
- ☼ Doc. dr Zoran Stanković, ELF Niš
- ☼ Prof. dr Živko Tošić, ELF Niš

## ORGANIZACIONI ODBOR

---

- ☼ Prof. dr Miodrag Ivković, predsednik
- ☼ Mr Dušan Korunović
- ☼ Prof. dr Bratislav Milovanović
- ☼ Prof. dr Veljko Milutinović
- ☼ Jelena Pantelić

# PRIMENA 3D ŠTAMPE U PROCESU REVERZNOG INŽENJERINGA 3D PRINTING IN PROCESS OF REVERSE ENGINEERING

Prof. Dr Nenad Grujović<sup>1</sup>, Mr Nikola Milivojević<sup>1</sup>, Vladimir Milivojević<sup>1</sup>, Vladimir Dimitrijević<sup>1</sup>, Jelena Borota<sup>1</sup>, Đorđe Grujović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mašinski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija, mfkkg@kg.ac.yu

<sup>2</sup> IBM United Kingdom Limited, London, Velika Britanija

**Sadržaj** – Ovaj rad je nastao kao rezultat upotrebe 3D štampača i 3D skenera u Centru za informacione tehnologije na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu za brzu izradu prototipova. U radu su prikazane osnove tehnologije 3D štampe i osnove procesa reverznog inženjeringa. Posebna pažnja je posvećena sprezi 3D štampe i reverznog inženjeringa, uz prikaz iskustava stečenih u praksi.

**Abstract** – This paper is a result of constant use of 3D printer in Centre for information technologies at Faculty of Mechanical Engineering of Kragujevac for rapid prototyping. This paper presents basics of 3D printing technology and basics of reverse engineering process. Special attention is devoted to the relation between 3D printing and reverse engineering processes with representation of experiences gained in practice.

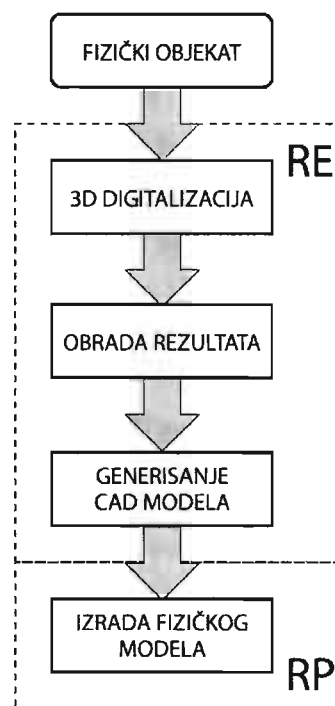
## 1. UVOD

Brza izrada prototipova (engl. Rapid Prototyping - RP) je relativno nova pojava u industriji koja treba da reši probleme i ograničenja tradicionalnih metoda izrade prototipova. Postoje razne metode brze izrade prototipova i sve one imaju jednu zajedničku osobinu: kratko vreme proizvodnje prototipa. Umesto da se određeni delovi izrađuju nedeljama, sada je potrebno par dana, u nekim slučajevima i nekoliko sati, da se dobije gotov deo. Pored nedostataka koje ima, tehnologija brze izrade prototipova iz osnova menja shvatanje procesa razvoja proizvoda, omogućujući svim učesnicima razvojnog ciklusa konkretnu razmenu ideja i blagovremenu optimizaciju dizajna i tehnologije, pre nego što se uđe u skupe procese izrade alata i nultih serija[1].

Poseban značaj RP može imati ukoliko se koristi u sprezi sa reverznim inženjeringom. Reverzni inženjering (engl. Reverse Engineering – RE) predstavlja proces umnožavanja postojećeg dela, sklopa ili celog proizvoda, kada nisu dostupni crteži, tehnička dokumentacija ili računarski model. Obuhvata metode za akviziciju 3D geometrijskih podataka sa stvarnih predmeta, ali i određene softverske tehnologije za naknadnu obradu dobijenih podataka. Generisani 3D model objekta može poslužiti za uključanje u CAD/CAM/CAE sisteme ili u RP/RM procese. Slika 1. ilustruje tok operacija u RE, kao i moguću upotrebu RP sistema u izradi fizičkog modela.

## 2. TEHNOLOGIJA 3D ŠTAMPE

Kompanija ZCorporation je osnovana 1994. godine u Masačusetsu, SAD. Na osnovu patentirane tehnologije[2], koja je razvijena na Institutu za tehnologiju, Masačusets (MIT), ova kompanija je razvila i komercijalizovala 1997. godine svoj prvi 3D štampač, Z402 sistem[3]. Ova tehnologija spada u postupke sa praškastim materijalom, a koristi princip vezivanja čestica praha adhezivima.

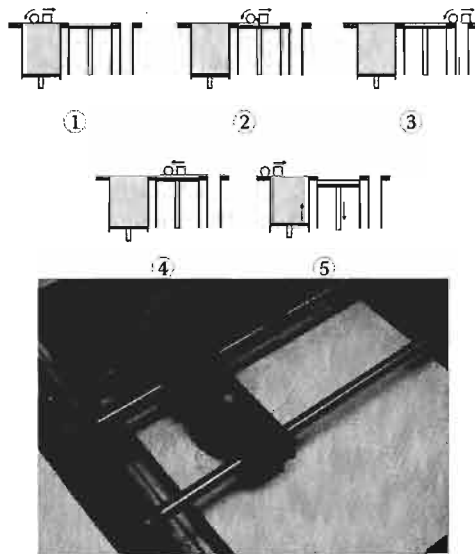


Slika 1. Spregnuta upotreba RP i RE procesa

Vezivno sredstvo nanosi se na prah kroz glavu za štampanje. Sitne kapljice veziva se izbacuju kroz otvore glave termalnim inkdžet postupkom. To postavlja određena ograničenja u izboru vezivnih sredstava, ali sam princip izrade je dovoljno svestran da se nove primene stalno pojavljuju. Sa druge strane, analogno 2D inkdžet štampačima, ovakav sistem može izrađivati i predmete u boji, što predstavlja jedinstvenu mogućnost u svetu RP tehnika[4].

Na slici 2. prikazan je postupak štampanja jednog sloja[5]. Na šematskom prikazu treba uočiti sledeće delove: sa leve strane je spremište praha i klip za dodavanje materijala, valjak je prikazan kao krug pored koga je kvadratom prikazan pokretni most, u sredini je radna komora sa platformom, a sa desne strane je otvor za prihvatanje viška

materijala. Most može da se kreće u oba smera, a glava se kreće duž mosta, tako da je omogućeno nanošenje veziva u horizontalnoj ravni.



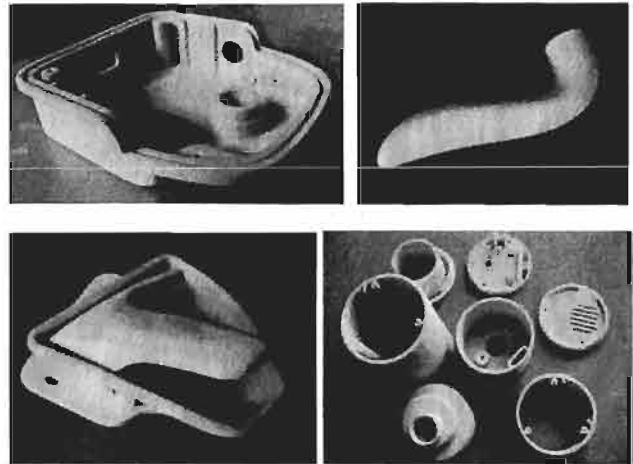
Slika 2. Postupak 3D štampe

U prvoj operaciji pokretni most koji nosi valjak i glavu za štampanje kreće se sa leva na desno. Valjak se okreće u smeru prikazanom na slici i odnosi određenu količinu praha. Zatim taj prah u drugom koraku razvlači u tanak sloj preko prethodno izrađenog sloja na platformi radne komore. Na kraju hoda udesno, valjak odnosi višak praha do otvora koji ga prihvata i sprovodi u spremište. U sledećem koraku, most se kreće sa desna na levo, a pritom glava štampa aktuelni poprečni presek. Pri dolasku mosta u krajnji levi položaj, klip za dodavanje materijala se podiže za jedan korak, dok se platforma spušta za debljinu sloja, i sve je spremno za ponovni ciklus.

Prah na koji nije naneto vezivno sredstvo služi ujedno kao oslonac. Kada je postupak gotov, izrađeni deo se nalazi u nevezanom prahu. Platforma radne zapremine se podiže, i deo se vadi iz suvišnog praha. Višak materijala se usisava i prosejava i ponovo upotrebljava za sledeći model. Za određene primene, takav deo može se upotrebiti uz kraće sušenje. Za upotrebe dela u svrhe provere dizajna i funkcionalnosti, potrebno je postprocesiranje. Ono se svodi na infiltriranje modela cijanoakrilatnim lepkom, ili za izdržljivije modele, epoksi lepkom. Tako ojačani delovi mogu se peskariti, bojiti ili metalizirati radi boljeg vizuelnog efekta. Kombinacijom osnovnog materijala i infiltranta u vidu uretana mogu se dobiti i savitljivi delovi[6].

Primene delova izrađenih 3D štampom su brojne, i stalno se umnožavaju[7]. S obzirom na raznovrsne mogućnosti postprocesiranja, lako je modelu dati željeni izgled i karakteristike. Neke od primena su: izrada konceptijskih i funkcionalnih modela i prototipova, šablona za livenje, direktno livenje obojenih metala i izrada kalupa za RTV formiranje.

Na sledećoj slici su prikazani neki od prototipova izrađenih u Centru za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.



Slika 3. Primeri izrađenih prototipova

Kompanija ZCorporation stalno radi na novim materijalima i usavršavanju postupka 3D štampe. Nedavno se pojavio materijal koji nakon izrade ne zahteva dodatno očvršćavanje infiltracijom, jer su mu mehaničke karakteristike zadovoljavajuće. Takođe, u najavi je i materijal za izradu kalupa i jezgara za direktno livenje železnih livova. Što se razvoja novih sistema tiče, dobar primer je najnoviji 3D štampač Spectrum 510, koji je ujedno i najbrži RP sistem današnjice. On ima povećanu rezoluciju u horizontalnoj ravni, a time je obezbeđen bolji kvalitet površine i finiji detalji na izrađenim delovima.



Slika 4. ZCorporation ZPrinter 310 System u prostorijama Centra za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

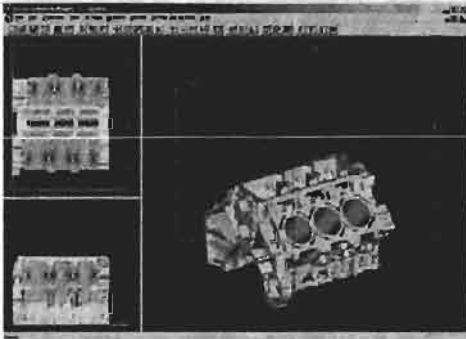
### 3. POSTUPAK IZRADE PROTOTIPOVA NA 3D ŠTAMPAČU

Izradom prototipova na 3D štampaču se upravlja uz pomoć aplikacije ZPrint Software.

ZPrint softver podržava više formata fajlova 3D modela za štampanje, od kojih je najpoznatiji STL format. Mogući su problemi pri uvozu STL fajlova, pošto ovaj format ima nedostataka usled kojih može doći do grešaka u izradi. Otklanjanje grešaka u STL fajlu je moguće u ZPrint softveru samo kroz jednostavne operacije, dok se ozbiljniji problemi moraju rešavati uz pomoć specijalnih aplikacija. Važni



parametri procesa koji se mogu podesiti su: „Layer Thickness“ – debljina sloja, „Saturation“ – parametri vezani za količinu veziva, anizotropno skaliranje i kompenzacija razlivanja veziva.



Slika 5. Izgled ZPrint Software

Osnovno postprocesiranje sastoji se u uklanjanju viška praha sa odštampanog dela i pažljivog vađenja iz radne komore. Nakon toga, vrši se odstranjivanje ostatka praha sa dela u komori za izduvavanje, sušenje (slobodno ili u pećnici na temperaturi od 90°C) i ojačavanje odštampanog dela upotrebom odgovarajućeg sredstva za infiltraciju.

#### 4. REVERZNI INŽENJERING

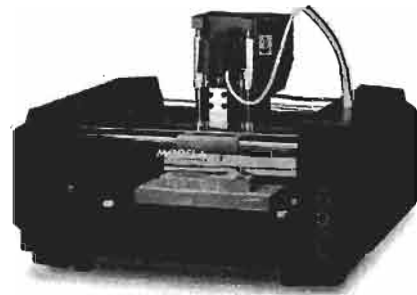
Reverzni inženjering objedinjuje procese kojima se od fizičkog modela prikupljaju 3D digitalni podaci o geometriji objekta. U samom procesu RE razlikuju se dve faze: prva koju čini digitalizovanje podataka ili merenje posmatranog objekta, i druga, u okviru koje se vrši 3D modeliranje objekta na osnovu podataka prikupljenih u prvoj fazi. Kao rezultat ovog procesa se dobija STL fajl koji može poslužiti za uključanje u CAD/CAM/CAE sisteme ili u RP/RM procese. Korišćenje RE tehnika u cilju 3D digitalizacije i rekonstrukcije objekata ima brojne primene u oblastima koje uključuju proizvodnju, virtuelnu simulaciju, nauku, medicinu i marketing.

Za digitalizovanje podataka, tj. za merenje dimenzija posmatranog objekta, u postupku RE koristi se više različitih tehnika: koordinatne merne mašine, lasersko skeniranje, kompjuterska tomografija i magnetna rezonanca. Od navedenih tehnika u Centru za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu koriste se prve dve upotrebom sistema prikazanih na slikama 6 i 7.

Koordinatne merne mašine (engl. Coordinate Measuring Machine – CMM) koriste kontaktne metode akvizicije 3D geometrije, i mogu biti manuelne ili automatske. Za oba tipa se koristi neka vrsta mernog pipka kojom se prelazi po površini predmeta, i na određenom rastojanju se određuju koordinate tačaka. Zatim se od oblaka tačaka dalje formiraju poligoni, a po želji i NURBS površine.

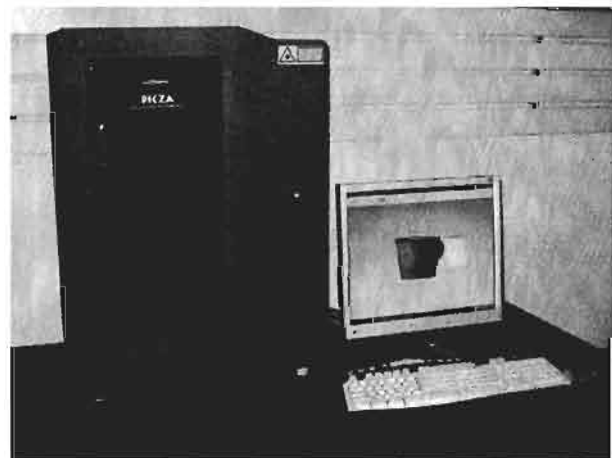
Prednosti ovih sistema su nezavisnost od karakteristika površine i materijala, kao i velika preciznost merenja.

Takođe, kod manuelnih CMM uređaja, moguća je upotreba u CAD modeliranju, gde se uz pomoć uređaja preuzimaju sa stvarnog predmeta samo karakteristične tačke, a model se može formirati i CSG entitetima. Mane CMM uređaja su sporost, velike dimenzije uređaja, i ograničenja koja postavlja kontaktna priroda postupka.



Slika 6. Manuelni CMM uređaj firme Immersion (gore), i automatski CMM uređaj kompanije Roland (dole)

Lasersko skeniranje predstavlja bezkontaktni postupak akvizicije 3D podataka, najčešće po principu laserske triangulacije. Laserska triangulacija je aktivna stereoskopska tehnika gde se rastojanje od objekta izračunava uz pomoć usmerenog izvora svetla i video kamere. Laserski zrak se odbija preko ogledala na objekat skeniranja. Predmet rasipa svetlost, koja se zatim sabira u video kameri na poznatoj udaljenosti triangulacije od lasera. Upotrebom trigonometrije mogu se izračunati X, Y i Z koordinate površinskih tačaka.



Slika 7. Sistem za lasersko 3D skeniranje predmeta, marke Roland

Sistemi za lasersko skeniranje mogu se koristiti za akviziciju 3D geometrije predmeta raznih veličina, od sitnih delova do fabričkih hala. Po prirodi procesa skeniranja predmeta, izlaz iz ovih sistema su oblaci tačaka. Njihovom naknadnom obradom, uglavnom automatski, dobijaju se upotrebljivi podaci. Rezultujući 3D modeli su uglavnom sastavljeni od poligona, mada se mogu dobiti i kao NURBS površine. Pogodno je to što većina sistema može da izveze STL fajlove za direktnu upotrebu na RP mašinama.

Prednost upotrebe ovih sistema je brzina akvizicije, i automatizacija procesa skeniranja. Mana laserskih sistema za 3D skeniranje je što postoje ograničenja u primeni, a koja se odnose na providnost materijala, boju predmeta, mrtve uglove, i sl.

RE počinje skeniranjem fizičkog objekta. Svaki deo koji se skenira zahteva jednu liniju vidljivosti za jedan prolaz, što dovodi do toga da se jedan deo skenira više puta i to iz različitih orijentacija. Uobičajen broj za jednostavnije delove je 10 do 20 skeniranja, dok kod kompleksnih delova taj broj može da ide i preko 100 skeniranja. Za svaki korak skeniranja kao izlaz se dobija oblak tačaka, pri čemu se za svaku tačku beleži X, Y i Z koordinata, dok se kod nekih skenera upisuje i dodatna vrednost koja ukazuje na boju ili intenzitet. Uobičajeno je da svaki prolaz skeniranja sadrži između 50.000 i 2.000.000 individualnih tačaka.

Većina sistema za digitalizaciju 3D objekata kao rezultat skeniranja (merjenja) daje oblak tačaka koji sadrži ogromnu količinu podataka, uključujući i greške merjenja (šum). Da bi se došlo do podataka pogodnih za dalji rad potrebno je najpre dobiti oblak tačaka prečistiti filtriranjem šuma, odstranjivanjem pikova i grešaka skeniranja. Prečišćavanje podataka se može vršiti automatski upotrebom softvera za obradu podataka, ali i ručnim brisanjem pojedinačnih tačaka prema proceni korisnika. Nakon prečišćavanja vrši se pridruživanje (registracija) podataka i njihova integracija u sirovu poligonalnu mrežu, koja zahteva dalju obradu i fino podešavanje. Fino podešavanje obuhvata popunjavanje generisanih otvora koji realno ne postoje, izoštravanje ivica i izravnavanje površina. Karakteristično je da se oštre ivice i uglovi ne mogu generisati skeniranjem, već se moraju naknadno softverski kreirati. Za poboljšanje površina koriste se algoritmi koji vrše repoziciju tačaka na osnovu prosečne vrednosti susednih tačaka. Poboljšavanje površina može biti od značaja kod laserskih skenera, jer omogućava uklanjanje efekta "pomorandžine kore" koji može da se javi.

Dobijena glatka poligonalna mreža predstavlja se u obliku STL fajla koji se može iskoristiti kao ulazni fajl za bilo koju RP/RM tehnologiju. Sa druge strane, ovako dobijeni poligonalni modeli nisu pogodni za dalji rad u CAD sistemima, pa je često potrebno pretvoriti poligone u povoljnije geometrijske entitete, kao što su NURBS površine. Na osnovu ovakvih

podataka, moguće je i modeliranje CSG entitetima i upotreba parametrizovanog dizajna.

## 5. PRIMER SPREGE RE I 3DP

Česta primena tehnologija brze izrade prototipova sa RE je kontrola tačnosti CAD modela dobijenog reverznim inženjeringom[8]. Izrada CAD modela od oblaka tačaka dobijenog postupkom digitalizacije predstavlja složeni postupak pa su moguće greške, bilo usled loše akvizicije geometrije, bilo usled pogrešne interpretacije dobijenih podataka. Zato je poželjno nakon RE postupka izvršiti i proveru modela izradom prototipa nekom RP metodom.

Možemo demonstrirati navedeni postupak primerom iz prakse Centra za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Na osnovu originalnog poklopca kućišta čija tehnička dokumentacija nije bila dostupna bilo je potrebno izraditi CAD model sa izvesnim izmenama detalja. Prvo je izvršena digitalizacija na laserskom 3D skeneru marke Roland. Ovaj uređaj može vršiti skeniranje u dva moda: rotacionom i planarnom. S obzirom na topologiju dela izabran je planarni mod gde se predmet skenira paralelnim zracima iz četiri projekcije. Rezolucija skeniranja je izabrana 0,4 mm po horizontalnoj osi i 0,4 mm po vertikalnoj osi. Dobijen je oblak sastavljen od 1590339 tačaka. Pored toga što je količina podataka bila prevelika za obradu, uočen je i veliki broj dislociranih tačaka koje su posledica prozračivanja i nepotpune refleksije. Stoga je bilo potrebno izvršiti eliminaciju suvišnih i repozicioniranje dislociranih tačaka.



Slika 8. Oblak tačaka dobijen digitalizacijom originalnog dela na laserskom skeneru

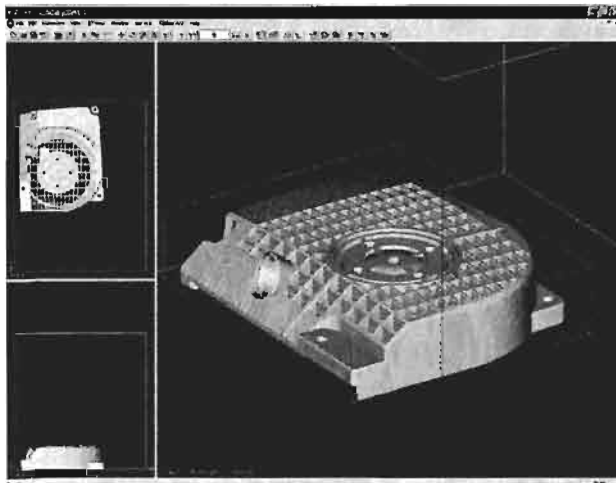
Upotrebom softverskog alata PixForm postignuta je višestruka redukcija broja tačaka bez gubitka detalja. Takođe, u ovom softveru je izvršeno i spajanje četiri projekcije u jedinstvenu površinu. Pikovi usled prozračivanja lasera bili su izraženi zbog prisutnih brojnih šupljina, ali su oni otklonjeni automatskom korekcijom maksimalne udaljenosti susednih tačaka. Nakon obrade digitalizovanih podataka dobijen je referentni model na osnovu koga je u Dassault Catia softveru izrađen CAD model upotrebom NURBS geometrije.

Ovaj postupak izrade CAD modela bio je iterativan, tako što je kreirana geometrija poređena sa referentnim modelom, pa su se mogle korigovati uočene razlike. Kada je postignuta potrebna tačnost CAD modela i izvršene željene izmene oblika, pristupilo se izradi fizičkog modela na RP uređaju.



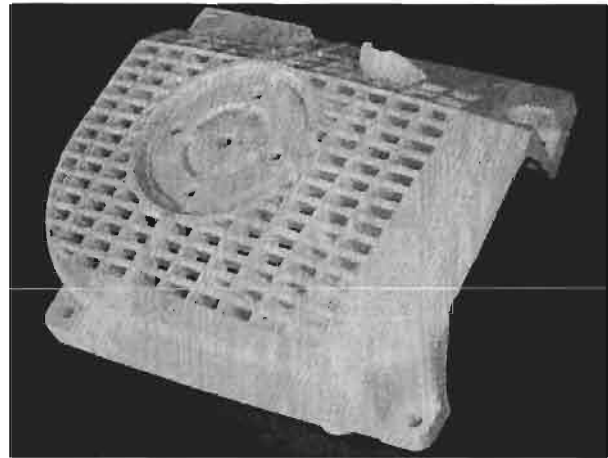
Slika 9. CAD model dobijen postupkom reverznog inženjeringa

U Centru za informacione tehnologije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu u upotrebi je 3D štampač ZCorporation ZPrinter 310 System, na kome je izrađen pomenuti prototip. Da bi se model mogao izraditi na 3D štampaču, bilo je potrebno generisati STL fajl na osnovu CAD modela. Kako je za ovaj zadatak bila potrebna veća kontrola parametara procesa generisanja STL fajla nego što je to dostupno u Catia softveru, korišćen je softver Magics RP kompanije Materialise. Rezultujući STL fajl je učitani u namensku aplikaciju ZPrint Software koja upravlja izradom na 3D štampaču. Nakon podešavanja parametara izrade (na pr. debljina sloja 0,09 mm) i pripreme uređaja pokrenuta je izrada dela, koja je trajala nešto više od 2 časa.



Slika 10. Model spreman za štampu u ZPrint softveru

Nakon izrade u 3D štampaču, deo je izvađen iz praha, očišćen od viška praha i stavljen u pećnicu na sušenje, koje je trajalo 1 čas. Konačno, naneto je i sredstvo za impregniranje (tzv. infiltrant), koji poboljšava mehaničke karakteristike dela i kvalitet površine.



Slika 11. Fizički model dobijen postupkom 3D štampe

Iako kod materijala koji je korišćen za izradu (materijal ZP102 na bazi gipsa) ne postoji promena dimenzija usled sušenja, izvršeno je poređenje fizičkog modela sa CAD modelom. S obzirom da nije uočeno neslaganje dimenzija, izrađeni deo poslat je na ugradnju u originalno kućište. Ovaj završni test je prošao uspešno, a uočene su moguće dodatne modifikacije koje se sada relativno jednostavno mogu sprovoditi na nivou CAD modela.

## 6. ZAKLJUČAK

Savremeni RP sistemi su razvijeni na bazi proverenih i usavršenih tehnologija i, kao takvi, mogu imati široku primenu u procesima razvoja proizvoda. Kada se razvoj nekog proizvoda oslanja na postojeći proizvod, a moguće je primeniti postupak reverznog inženjeringa, upotreba RP sistema za kontrolu tačnosti tog postupka značajno umanjuje mogućnosti greške i troškove koji bi nastali u kasnijim fazama razvoja.

S obzirom da se RP tehnologije stalno unapređuju po pitanju tačnosti i kvaliteta izrađenih delova, a imajući u vidu i činjenicu da svi proizvođači RP sistema teže da prošire svoju ponudu materijala za izradu, ne treba isključiti i mogućnost šire primene ovako dobijenih prototipova. U tom smislu treba pomenuti tehnologije brze izrade alata, kao što je tehnika vakuumske livenja plastike, gde se za najkraće vreme i sa najmanje troškova može doći do proizvodnje malih serija funkcionalnih delova. Isto tako, ne treba zanemariti i mogućnosti primene ovakve sprege RP i RE tehnologija u medicini (na pr. za izradu implanta skrojjenih prema pojedinačnom pacijentu) i drugim netehničkim oblastima.

## LITERATURA

- [1] Jacobs P.F., *Rapid Prototyping & Manufacturing – Fundamentals of StereoLithography*, Society of Manufacturing Engineers, (ISBN 0-87263-425-6), Dearborn, MI, USA, 1992., s. 4-23
- [2] Lauder A., Cima M.J., Sachs E., Fan T., *Three Dimensional Printing: Surface Finish and Microstructure of Rapid Prototyped Components*, Synthesis and Processing of Ceramics: Scientific Issues, Boston, MA, USA, 2-6 Dec. 1991., s. 331-336.

- [3] Venuvinod P.K., Ma W., *Rapid Prototyping – Laser-based and Other Technologies*, Kluwer Academic Publishers, (ISBN 1-4020-7577-4), Norwell, MA, USA, 2004., s. 294-300.
- [4] Gebhart A., *Rapid Prototyping*, Hanser, (ISBN 3-446-21259-0), München, Germany, 2003., s. 178-183
- [5] Grujović N., *Brza izrada prototipova – Rapid Prototyping*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005., s. 53-60
- [6] ZPrinter 310 User Manual, ZCorporation, September 2003.
- [7] Pham D.T., Gault R.S., *A comparison of rapid prototyping technologies*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Elsevier Science, (ISSN 0890-6955), Volume 38, Number 10, October 1998, s. 1257-1287
- [8] Trajanović M., Grujović N., Milovanović J., Milivojević V.: *Računarski podržane brze proizvodne tehnologije*, monografija u štampi, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2008